Sri Waluyanti

Alat Ukur dan Teknik Pengukuran

JILID 2

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

ALAT UKUR DAN TEKNIK PENGUKURAN JILID 2
untuk SMK
Sri Waluyanti

Sri Waluyanti, dkk.

ALAT UKUR DAN TEKNIK PENGUKURAN

JILID 2

SMK

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

ALAT UKUR DAN TEKNIK PENGUKURAN

JILID 2

Untuk SMK

Penulis : Sri Waluyanti
Djoko Santoso
Slamet
Umi Rochayati

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 18,2 x 25,7 cm

WAL a WALUYANTI, Sri
Alat Ukur dan Teknik Pengukuran Jilid 2 untuk SMK oleh Sri Waluyanti, Djoko Santoso, Slamet, Umi Rochayati ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xvii, 261 hlm
Daftar Pustaka : Lampiran. A
Daftar Tabel : Lampiran. B
Daftar Gambar : Lampiran. C
Glosarium : Lampiran. D
ISBN : 978-602-8320-11-5
ISBN : 978-602-8320-13-9

Diterbitkan oleh
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah melaksanakan penulisan pembelian hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui *website* bagi siswa SMK.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 12 tahun 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional tersebut, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkannya *soft copy* ini akan lebih memudahkan bagi masyarakat untuk mengaksesnya sehingga peserta didik dan pendidik di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Selanjutnya, kepada para peserta didik kami ucapkan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta,
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR PENULIS

Pertama-tama penulis panjatkan puji syukur kahadlirat Allah s.w.t. atas segala rahmat dan kuruniaNya hingga penyusunan buku kejuruan SMK Alat Ukur dan Teknik Pengukuran ini dapat terselesaikan.

Buku ini disusun dari tingkat pemahaman dasar besaran listrik, jenis-jenis alat ukur sederhana hingga aplikasi lanjut yang merupakan gabungan antar disiplin ilmu. Untuk alat ukur yang wajib dan banyak digunakan oleh orang yang berkecimpung maupun yang mempunyai ketertarikan bidang elektronika di bahas secara detail, dari pengertian, cara kerja alat, langkah keamanan penggunaan, cara menggunakan, perawatan dan perbaikan sederhana. Sedangkan untuk aplikasi lanjut pembahasan dititik beratkan bagaimana memaknai hasil pengukuran. Penyusunan ini terselesaikan tidak lepas dari dukungan beberapa pihak, dalam kesempatan ini tak lupa kami sampaikan rasa terimakasih kami kepada :

1. Direktur Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Ditjen Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Deparmeten Pendidikan Nasional yang telah memberi kepercayaan pada kami
2. Kesubdit Pembelajaran Direktorat Pembinaan SMK beserta staff yang telah banyak memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan hingga terselesaikannya penulisan buku.
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta beserta staff yang telah membantu kelancaran administrasi
4. Ketua Jurusan beserta staff Pendidikan Teknik Elektronika FT-UNY atas fasilitas dan dukungannya hingga terselesaikannya tugas ini.
5. Teman-teman sesama penulis buku kejuruan SMK di lingkungan FT-UNY atas kerjasama, motivasi, pengertian dan dukungan kelancaran pelaksanaan.
6. Para teknisi dan staff pengajaran yang memberi kelonggaran penggunaan laboratorium dan kelancaran informasi.
7. Dan orang yang selalu ada di hati dan di samping penulis dengan segala pengertian, dukungan semangat dan motivasi hingga terselesaikannya penyusunan buku ini.

Tak ada yang sempurna kecuali Dia yang memiliki segala puji. Oleh karena itu masukan dan saran penulis harapkan untuk kesempurnaan penulisan ini, atas saran dan masukannya diucapkan banyak terimakasih.

Tim penyusun,

DAFTAR ISI

BAB		Halaman
KATA PENGANTAR PENULIS		i
1. PENDALULUAN	JILID 1	1
1.1. Parameter Alat Ukur		1
1.1.1. Sistem Satuan Dalam Pengkuran		3
1.1.2. Satuan Dasar dan Satuan Turunan		3
1.1.3. Sistem-sistem satuan		4
1.1.4. Sistem Satuan Lain		6
1.2. Kesalahan Ukur		6
1.2.1. Kesalahan kesalahan Umum		6
1.2.2. Kesalahan-kesalahan sistematis		8
1.2.3. Kesalahan-kesalahan Tidak Sengaja		9
1.3. Klasifikasi Kelas Meter		9
1.4. Kalibrasi		10
1.4.1. Kalibrasi Ampermeter Arus Searah		10
1.4.2. Kalibrasi Voltmeter Arus Searah		11
1.5. Macam-macam Alat Ukur Penunjuk Listrik		12
1.5.1. Alat Ukur Kumparan putar		13
1.5.2. Alat Ukur Besi Putar		19
1.5.2.1. Tipe Tarikan (*Attraction*)		20
1.5.2.2. Tipe Tolakan (*Repolsion*)		22
1.5.3. Alat Ukur Elektrodinamis		24
1.5.4. Alat Ukur Elektrostatis		27
1.6. Peraga Hasil Pengukuran		28
1.6.1. Light Emitting Dioda (LED)		28
1.6.2. LED Seven Segmen		30
1.6.3. LCD Polarisasi Cahaya		33
1.6.4. Tabung Sinar Katoda (*Cathode Ray Tube/CRT*)		35
1.6.4.1. Susunan Elektroda CRT dan Prinsip Kerja		35
1.6.4.2. Layar CRT		38
1.6.4.3. Gratikulasi		40
2. MULTIMETER		
2.1. Multimeter Dasar		42
2.1.1. Ampermeter Ideal		42
2.1.2. Mengubah Batas Ukur		43
2.1.3. Ampermeter AC		47
2.1.4. Kesalahan Pengukuran		48
2.1.4.1. Kesalahan Paralaks		48
2.1.4.2. Kesalahan Kalibrasi		49
2.1.4.3. Kesalahan Pembebanan		50
2.2. Voltmeter		55
2.2.1. Mengubah Batas Ukur		55
2.2.2. Hambatan Masukkan Voltmeter		58
2.2.3. Kesalahan Pembebanan Voltmeter		59
2.3. Ohmmeter		63
2.3.1. Rangkaian Dasar Ohmmeter Seri		63
2.3.2. Ohmmeter Paralel		66
2.4. Multimeter Elektronik Analog		67
2.4.1. Kelebihan Multimeter Elektronik		67

2.4.2.. Konstruksi Multimeter Analog 69
2.4.3. Multimeter Elektronik Fungsi Tegangan DC 69
2.4.4. Multimeter Elektronik Fungsi Tegangan AC 70
2.4.5. Multimeter Elektronik Fungsi Ohm 71
2.4.6. Parameter Multimeter Elektronik Analog 72
2.4.6.1. Spesifikasi dan Parameter Multimeter Elektronik 72
2.4.6.1.1. Spesifikasi Umum 72
2.4.6.1.2. Range Pengukuran dan Akurasi 72
2.4.6.2. Langkah Keselamatan Alat 73
2.4.7. Prosedur Pengoperasian 74
2.4.7.1. Persiapan Pengukuran 74
2.4.7.2. Panel Depan dan Fungsi Multimeter 75
2.4.7.3. Pengukuran Tegangan 78
2.4.7.3.1. Pengukuran Tegangan DC 78
2.4.7.3.2. Pengukuran Tegangan AC 80
2.4.7.4. Kalibrasi Voltmeter 81
2.4.7.4.1. Kalibrasi Uji Kelayakan Meter 82
2.4.7.4.2. Harga Koreksi Relatif dan Kesalahan Relatif 84
2.4.7.5. Pengukuran Arus DC 85
2.4.7.5.1. Kalibrasi Arus 87
2.4.7.5.2. Harga Koreksi Relatip dan kesalahan relatip 89
2.4.8. Pengukuran Tahanan 90
2.4.9. Pengukuran Keluaran Penguat Audio Frekuensi (dB) 94
2.4.10. Pengukuran Arus Bocor (ICEO) transistor 95
2.4.11. Pengukuran Dioda (termasuk LED) 96
2.4.12. Pengukuran Kapasitor 98
2.4.12. Pengetesan Komponen 99
2.4.13.1. Pengetesan Dioda 99
2.4.13.2. Pengetesan Transistor 102
2.4.13.3. Pengetesan SCR 104
2.4.14. Perawatan 106
2.4.14.1. Mengganti Sekering 106
2.4.14.2. Perawatan Penyimpanan Meter 107
2.4.15. Perbaikan 107
2.5. Multimeter Elektronik Digital 109
2.5.1. Bagian-bagian Multimeter Digital 109
2.5.2. Spesifikasi Digital Multimeter 112
2.5.3. Prinsip Dasar Pengukuran 115
2.5.3.1. Voltmeter 115
2.5.3.2. Ohmmeter 117
2.5.3.3. Pengukuran Frekuensi 117
2.5.3.4. Pengukuran Perioda dan Interval Waktu 118
2.5.3.5. Kapasitansimeter 120
2.5.4. Petunjuk Pengoperasian 122
2.554. Mengatasi Gangguan Kerusakan 123
3. LCR METER
3.1. Prinsip Dasar Pengukuran Komponen LCR 126
3.1.1. Prinsip pengukuran Resistansi 126
3.1.1.2. Jembatan Kelvin 128
3.1.1.3. Jembatan Ganda Kelvin 130
3.1.2. Prinsip Dasar Pengukuran L 132
1.2. LCR meter model 740 140

3.2.1 Spesifikasi LCR meter 140
3.2.2. Pengoperasian 143
3.3. Pembacaan Nilai Pengukuran 145
3.3.1. Pengukuran Resistansi 146
3.3.2. Pengukuran Kapasitansi 149
3.3.3. Pengukuran Induktansi 153
3.4. Pengukuran Resistansi DC Dengan Sumber Luar 156
3.5. Pengukuran resistansi DC 158

JILID 2

4. PENGUKURAN DAYA

4.1. Pengukuran Daya Rangkaian DC 160
4.2. Pengukuran Daya Rangkaian AC 162
4.2.1 Metoda tiga Voltmeter dan metode tiga Ampermeter 163
4.3. Wattmeter 164
4.3.1. Wattmeter satu fasa 164
4.3.2. Wattmeter tiga fasa 166
4.3.3. Pengukuran Daya Reaktif 168
4.3.4. Konstruksi dan Cara Kerja Wattmeter 168
4.3.4.1. Wattmeter tipe elektrodinamometer 168
4.3.4.2. Wattmeter tipe induksi 169
4.3.4.3. Wattmeter tipe thermokopel 170
4.3.4.4. Prinsip Kerja Wattmeter Elektrodinamometer 171
4.3.5. Spesifikasi Alat 175
4.3.6. Karakteristik 175
4.3.7. Prosedur Pengoperasian 175
4.3.7.1. Pengukuran daya DC atau AC satu fasa 175
4.3.7.2. Pengukuran daya satu fasa jika arus melebihi nilai perkiraan 176
4.3.7.3. Pengukuran daya satu fasa jika tegangan melebihi nilai perkiraan 176
4.3.7.4. Pengukuran daya satu fasa jika tegangan dan arus melebihi nilai perkiraan 177
4.3.7.5. Pengukuran daya tiga fasa (metode dua watt meter) 177
4.3.7.6. Pengukuran daya tiga fase jika tegangan dan arus melebihi nilai perkiraan 178
4.3.8. Pemilihan Range 179
1.3.9. Keselamatan Kerja 179
4.3.10. Error (Kesalahan) 179
4.4. Error Wattmeter 180
4.5. Watt Jam meter 183
4.5.1. Konstruksi dan Cara Kerja Wattjam meter 184
4.5.2. Pembacaan 186
4.6. Meter Solid States 187
4.7. Wattmeter AMR 187
4.8. Kasus Implementasi Lapangan 188
4.9. Faktor Daya 191
4.9.1. Konstruksi 191
4.9.2. Cara Kerja 192
4.9.3. Faktor Daya dan Daya 195
4.9.4. Prosedur Pengoperasian Cos Q meter 198
4.10. Metode Menentukan Urutan Fasa 200

4.10.1. Kawat Penghantar Tiga Fasa 200
4.10.2. Prinsip Dasar Alat Indikator Urutan Fasa 203
4.10.3. Cara Kerja Alat 203
4.10.4. Prosedur Pengoperasian Alat 206
5. PENGUJI TAHANAN ISOLASI DAN KUAT MEDAN
5.1.1. Pengujian Tahanan Isolasi 210
5.1.2. Pengukuran Tahanan Isolasi 212
5.2. Tahanan Pentanahan (Earth Ground Resistance) 216
5.2.1. Cara Menguji Sistem Pentanahan 217
5.2.2. Pentanahan dan Fungsinya 217
5.2.3. Nilai Tahanan yang Baik 218
5.2.4. Dasar-dasar Pentanahan 219
5.2.4.1. Komponen elektroda pentanahan 219
5.2.4.2. Hal-hal yang mempengaruhi tahanan tanah 220
5.2.5. Metode Pengetesan Pentanahan Tanah 222
5.2.5.1. Ukuran tahanan tanah 223
5.2.5.2. Cara menghitung tahanan tanah 223
5.2.5.3. Cara mengukur tahanan tanah 224
5.2.6. Metode Pengetesan Pentanahan Tanah 224
5.2.6. 1. Cara kerja uji Drop Tegangan 225
5.2.6. 2. Cara Menempatkan Tiang Pancang 225
5.2.6. 3. Ukuran selektif 226
5.2.7. Metode Pengetesan Pentanahan Tanah Ukuran Tanpa Pancang 227
5.2.7.1. Ukuran impedansi tanah 229
5.2.7.2. Tahanan tanah dua kutub 229
5.2.7.3. Mengukur Tahanan Tanah di Kantor Pusat 230
5.2.8. Aplikasi Tahanan Pentanahan yang Lain 233
5.2.8. 1. Lokasi aplikasi 233
5.2.8. 2. Uji-uji yang direkomendasikan 234
5.3. Pengukuran Medan 235
5.3.1. Field meter Statik : 235
5.3.1.1. Data Teknik 239
5.3.1.1.1. Ukuran Fieldmeter Statik 239
5.3.1.1.2. Letak Pin : 240
5.3.1.2. Metode Pengukuran 240
5.3.1.2.1. Pengaturan Offset 240
5.3.1.2.2. Penghitungan Pengisian Muatan 240
5.3.1.3. Perawatan 241
5.3.1.4. Instruksi Peringatan 241
5.3.2. Field meter Statik Digital 241
5.3.2.1. Diskripsi Instrument 241
5.3.2.2. Fungsi Display 242
5.3.2.3. Prosedur Pengukuran 242
5.3.2.3.1. Set-up 242
5.3.2.3.2. Persiapan Pengukuran 243
5.3.2.4. Data Teknik 243
5.3.3. Smart Field Meter 243
6. PEMBANGKIT SINYAL
6.1. Fungsi Generator 247
6.1.1. Pendahuluan 247
6.1.2. Konstruksi dan Cara kerja 247

6.1.3. Spesifikasi 249
6.1.4. Prosedur Pengoperasian 250
6.1.4.1. *Troubleshooting* dengan teknik *signal tracing* 250
6.1.4.2. *Troubleshooting* menggunakan teknik sinyal pengganti 251
6.1.5. Penggunaan generator fungsi sebagai bias dan sumber sinyal 252
6.1.5.1. Karakteristik beban lebih pada amplifier 253
6.1.5.2. Pengukuran Respon Frekuensi 253
6.1.5.3. Setting Peralatan Tes 254
6.1.5.4. Peraga Respons Frekuensi 254
6.1.5.5. Pengetesan *Tone Control* Sistem Audio 255
6.1.4.6. Pengetesan speaker dan rangkaian impedansi 256
6.1.4.7 Keselamatan Kerja 258
6.2. Pembangkit Frekuensi Radio 258
6.2.1. Konstruksi dan Cara Kerja 259
6.2.1.1. Direct Digital Synthesis 259
6.2.1.2. Creating Arbitrary Waveform 262
6.2.1.3. Pembangkit Gelombang 265
6.2.1.4. Generasi Bentuk Gelombang Pulsa 265
6.2.2. Ketidaksempurnaan Sinyal 266
6.2.2.1. Cacat Harmonis 266
6.2.2.2. Cacat Non-Harmonis 267
6.2.2.3. Pasa Noise 267
6.2.2.4. Kesalahan Kuantisasi 268
6.2.2.5. Pengendali Tegangan Keluaran 268
6.2.3. Pengendali Tegangan Keluaran 270
6.2.3.1. Rangkaian Tertutup Ground 270
6.2.3.2. Atribut Sinyal AC 271
6.2.4. Modulasi 273
6.2.4.1. Modulasi Amplitudo (AM) 274
6.2.4.2. Frequency Modulation (FM) 274
6.2.4.3. Frequency-Shift Keying (FSK) 275
6.2.4.5. Sapuan Frekuensi 276
6.2.4.6. Sinyal Sinkron dan Marker 277
6.2.4.6.1. Burst 277
6.2.4.6.2. Gated Burst 279
6.2.5. Spesifikasi Alat 279
6.2.6. Prosedur Pengoperasian Pengukuran Pulsa noise 280
6.3. Pembangkit Pulsa 282
6.4. Sweep Marker Generator 282
6.4.1. Prosedur Pengoperasian 282
6.4.1.1. Alignment penerima AM 282
6.4.1.2. Alignment penerima Komunikasi FM 284

7.1. Pengantar 287
7.1.1. Pemahaman Dasar Sinyal 287
7.1.2. Pengetahuan dan Pengukuran Bentuk Gelombang 289
7.1.2.1. Gelombang kotak dan segiempat 291
7.1.2.2. Gelombang gigigergaji dan segitiga 292
7.1.2.3. Bentuk Step dan Pulsa 292
7.1.2.4. Sinyal periodik dan Non periodik 292
7.1.2.5. Sinyal sinkron dan tak sinkron 292
7.1.2.6. Gelombang kompleks 293
7.1.3. Pengukuran Bentuk Gelombang 294
7.1.3.1. Frekuensi dan Perioda 294
7.1.3.2. Tegangan 294
7.1.3.3. Amplitudo 294
7.1.3.4. Pasa 295
7.1.3.5. Pergeseran Pasa 295
7.2. Operasi Dasar CRO 295
7.2.1. Prinsip Kerja Tabung Sinar Katoda 298
7.2.2. Sensitivitas Tabung 300
7.3. Jenis-Jenis Osiloskop 301
7.3.1. Osiloskop Analog 301
7.3.2. Jenis- jenis Osiloskop Analog 302
7.3.2.1. Free Running Osciloscope 302
7.3.2.2. Osiloskop sapuan terpicu 303
7.3.2.3. CRO Dua Kanal 305
7.3.2.4. CRO Penyimpanan Analog (Storage Osciloscope) 308
7.4. Osiloskop Digital 313
7.4.1.Prinsip Kerja CRO Digital 313

7.4.2. Metoda Pengambilan Sampel 314
7.4.3. Pengambilan Sampel *Real-Time* dengan Interpolasi 314
7.4.4. Ekuivalensi Waktu Pengambilan Sampel 316
7.4.5. Osiloskop Penyimpan Digital 316
7.5. Spesifikasi Osiloskop 318
7.5.1. Spesifikasi Umum 318
7.5.2. Mode Peraga Vertikal 318
7.5.3. Perhatian Keamanan 319
7.6. Pengukuran Dengan Osikoskop 319
7.6.1. Pengenalan Panel Depan dan Fungsi 319
7.6.2. Pengukuran Tegangan DC 321
7.6.3. Pengukuran Tegangan AC 323
7.6.4. Pengukuran Frekuensi 326
7.6.4.1. Peralatan yang Dibutuhkan 326
7.6.4.2. Pengukuran Frekuensi Langsung 327
7.6.4.3. Pengukuran Frekuensi Model Lissayous 328
7.6.5. Pengukuran Pasa 329
7.7.1. MSO Sumbu XYZ Aplikasi Pada Pengujian Otomotif 331
7.7.2. Mixed Signal Oscilloscope 331
7.7.3. Osiloskop Digital Pospor (Digital Phospor Osciloscope / DPO) 331
7.7.4. Arsitektur Pemrosesan Paralel 332
7.7.5. Mudah Penggunaan 335
7.7.6. Probe 336
7.8. Pengoperasian Osiloskop 338
7.8.1. Pengesetan 338
7.8.2. Menggroundkan osiloskop 338

7.8.3. Ground Diri Pengguna 339
7.8.4. Pengaturan Pengendali 339
7.8.5. Penggunaan Probe 339
7.8.6. Pengukuran Tegangan 342
7.8.7. Pengukuran Waktu dan Frekuensi 342
7.8.8. Pengukuran Lebar dan Waktu Naik Pulsa 343
7.8.9. Pengukuran Pergeseran Pasa 344
8. FREKUENSI METER
8.1. Frekuensi Meter Analog . 345
8.1.1. Alat ukur frekuensi jenis batang atau lidah bergetar 345
8.1.2. Alat pengukur frekuensi dari type alat ukur rasio 347
8.1.3. Alat ukur frekuensi besi putar 348
8.2. Frekuensi Meter Digital 349
8.2.1. Prinsip kerja 349
8.2.2. Rangkaian frekuensi meter digital yang disederhanakan 353
8.3. Metode Pengukuran 354
8.3.1. Pengukuran Frekuensi dengan counter 354
8.3.2 Pengukuran Frekuensi System Heterodyne 355
8.3.3. Pengukuran Perioda Dengan *Counter* Perioda Tunggal 357
8.3.4. Pengukuran Perbandingan atau Perbandingan Ganda 359
8.3.5. Pengukuran Interval Waktu dengan Counter 359
8.3.6. Pengukuran Interval Waktu 360
8.3.7. Totalizer 362
8.4. Kesalahan pengukuran 365
8.4.1. Kesalahan pada “gate” 365
8.4.2. Kesalahan Time Base 366

8.4.3. Kesalahan “Level trigger”. 368

JILID 3

9. PENGANALISA SPEKTRUM

9.1. Pengantar dan Sejarah Perkembangan Spektrum Analiser 370

9.1.1.Tantangan Pengukuran Sinyal RF Modern 372

9.1.2. Pertimbangkan Pengukuran 372

9.2. Jenis-jenis Penganalisa Spektrum 373

9.2.1. Penganalisa Spektrum tersapu 373

9.2.2. Penganalisa Vektor Sinyal dengan Analisis Modulasi Digital 374

9.2.3. Kunci Konsep Analisis Spektrum Waktu Riil 377

9.3. Dasar Analisa Spektrum Waktu Riil 381

9.3.1. Analisa Multi Ranah Korelasi Waktu 381

9.3.2. Prinsip Kerja Spektrum Analisa Waktu Riil 383

9.3.3. Penganalisa Spektrum Waktu Riil 384

9.3.4. Pengaruh Ranah Frekuensi dan Waktu Terhadap Kecepatan Pencuplikan 388

9.3.5. Pemicuan Waktu Riil 389

9.3.5.1. Sistem Picu dengan Akuisis Digital 390

9.3.5.2. Mode Picu dan Corak 392

9.3.5.3. Sumber-sumber Picu RSA 392

9.3.5.4. Membangun Topeng Frekuensi 394

9.3.5.5. Pewaktuan dan Picu 395

9.3.5.6. Baseband DSP 396

9.3.5.7. Kalibrasi / Normalisasi 396

9.3.5.8. Penyaringan 396

9.3.5.9. Analisa Transformasi Fast Fourier 397
9.3.5.10. Modulasi Amplitudo, Frekuensi dan pasa 401
9.3.5.11. Pengukuran Ranah frekuensi 404
9.4. Aplikasi Dalam Penggunaan 415
9.4.1. Informasi Keselamatan 415
9.4.2. Mengukur Perbedaan antara Dua Sinyal Pada Layar 416
9.4.3. Resolving SInyal of Equal Amplitudo 418
9.4.4. Pemecahan Sinyal 419
9.4.5. Pengukuran Frekuensi 421
9.4.6. Pengukuran Sinyal Terhadap Noise 422
9.4.7. Demodulasi Sinyal AM 423
10. PEMBANGKIT POLA
10.1. Latar Belakang Sejarah 431
10.2. Sinyal Pengetesan 432
10.2.1. Komponen Sinkronisasi 432
10.2.2. Sinyal Luminansi (Video Monokrom) 433
10.2.3. Informasi Warna (Krominansi) 433
10.2.4. Ukuran IRE 434
10.2.5. Sinyal Tes TV 434
10.3. Pola Standar 435
10.3.1. Pola Pengetesan EIA 436
10.3.2. Penyusunan Bingkai 436
10.3.3. Pemusatan 436
10.3.3. Linieritas Pembelokan 437
10.3.4. Aspek Perbandingan 439
10.3.5. Cakupan Kontras 439

10.3.6. Penjalinan Gambar (Interlacing) 439

10.3.7. Resolusi 440

10.4. Pola Pengetesan Batang Untuk Pengecekan Lapisan 442

10.4.1. Pengetesan Ringing Dalam Gambar 442

10.4.2. Sinyal Monoscope 444

10.4.3. Chart Bola Untuk Pengetesan Linieritas Kamera 444

10.4.4. Sinyal Batang Warna Standar EIA 446

10.4.5. Batang SMPTE 447

10.4.6. Batang Bidang Putih Penuh 100% 449

10.4.7. Batang Warna Putih EIA 75% 450

10.4.8. Jendela 450

10.5. Pengembangan Pola 451

10.6. Pembangkit Pola 453

10.6.1. Blok diagram Pattern generator 455

10.6.2. Kontrol dan Spesifikasi Pola generator 458

10.7. Spesifikasi 459

10.8. Aplikasi 459

10.8.1. Prosedur Penggunaan Pembangkit Pola 459

10.8.2. Pengukuran Lebar Penalaan Tuner Televisi 461

10.8.3. Pengaturan Gambar dan Suara Menggunakan Pattern generator 462

10.8.4. Pembangkit pola dipasaran 464

10.8.5. Pola Pengetesan Sinyal Video 467

11.MESIN TESTER

11.1. Pengantar 468

11.1.1. MSO 470

11.1.2. Verivikasi Sifat operasi Sistem Whindshield Wiper Automatis 471

11.1.3. Pemicuan MSO Pada Bingkai Kesalahan 474
11.1.4. Pemicuan MSO Mengungkapkan Glitch Acak 476
11.1.5. Penambahan Pengetesan Throughput ECU Otomotip 477
11.1.6. Karakteristik Input dan Output 478
11.2. Elektronik Pengetesan Fungsi Otomotif Menggunakan Sistem Komponen 479
11.2.1. Penghitungan 479
11.2.2. Komunikasi Serial 481
11.2.3. Instrumentasi Pengukuran Frekuensi Rendah 482
11.2.4. Pensaklaran Beban dan Pengukuran 483
11.2.5. Peletakkan Semua Bersama 485
11.3. Aplikasi 486
11.3.1. Pengetesan Rem Anti-lock dan Kontrol Daya Tarik 486
11.3.1.1. Sensor Reluktansi yang dapat divariasi 486
11.3.1.2. Deteksi Kelicinan Roda 486
11.3.1.3. Pengetesan Deteksi Kelicinan Roda 487
11.3.2. Pengetesan Ambang Kecepatan Roda 487
11.3.3. Pengetesan Selenoid Pengarah 488
11.3.4. Pengetsan Smart Drivers 490
11.3.5. Pengujian Remote Keyless Elektronik Otomotif 491
11.3.6. Perlindungan Immobilizer 492
11.3.7. Pengetesan Pengapian 494
11.3.8. Pengetesan Kepemilikan 495
11.3.9. Pengetesan Sistem Pemantauan Tekanan Ban (TPMS) 496
11.3.10. Kalibrasi Pengukuran Kerugian Jalur 499
11.3.11. Kerugian Jalur Pengukuran dan Kalibrasi Pesawat 500

11.3.12. Mesin Tester 501

11.3.13. Spesifikasi 502

11.3.14. Keunikan Pengetesan Fungsi Otomotif 502

11.4. Rupa rupa Penguji Mesin 504

11.5. Penganalisa Gas 505

12. SISTEM POSISI GLOBAL (GPS)

12.1. Pengantar Teknologi GPS 518

12.1.1. Segemen ruang 521

12.1.2. Gerakan Satelit 522

12.1.3. Konstruksi GPS Satelit 523

12.1.4. Sinyal Satelit 525

12.1.5. Segmen Kontrol 526

12.1.6. Segmen Pemakai 527

12.2. Cara Bekerja GPS 528

12.2.1. Koreksi Perbedaan Posisi 528

12.2.2. Navigasi Sederhana 529

12.2.3. Menghitung Jarak Satelit 531

12.2.4. Perhitungan Posisi 532

12.2.5. Sumber-sumber kesalahan 533

12.3. Differential GPS (DGPS) 539

12.3.1. Koreksi Perbedaan Posisi 539

12.3.2. Menentukan Nilai Koreksi 539

12.3.3. Penyiaran Nilai Koreksi 540

12.3.4. Koreksi Pengukuran Cakupan Semu 540

12.3.5. Penerima Acuan 541

12.4. Petunjuk Pengoperasian GPS Maestro 4050 542

12.4.1. Instalasi GPS 543

12.4.2. Pengoperasian Dasar 544

12.4.3. Menu Utama 545

12.4.4. Point Of Interest (POI) 546

12.4.5. Perencana Perjalanan (Trip Planner) 547

12.4.6. Prosedur Point Of Interest (POI) 551

12.4.7. Prosedur Perencana Perjalanan (Trip Planner) 552

13. PERALATAN ELEKTRONIKA KEDOKTERAN

13.1.1 MRI (*Magnetic Resonance Imaging*) 554

13.1.1.1.Scan MRI 556

13.1.1.2.Konstruksi Mesin MRI 557

13.1.1.3. Resonansi Magnetik 559

13.1.1.4. Keselamatan MRI 561

13.1.1.5. Magnet MRI 562

13.1.1.6.Magnit MRI Tambahan 563

13.1.2. Mesin MRI 564

13.1.2.1. MRI Images 565

13.1.2.2. Keuntungan MRI 566

13.1.2.3. Alasan Melakukan MRI 566

13.1.2.4. Kelemahan MRI 567

13.1.3. MRI Masa depan 568

13.1.3.1. Pengertian FMRI 568

13.13.2. Perbedaan Antara MRI dan FMRI 568

13.13.3. Tata cara pemeriksaan dan apa yang akan dialami pasien saat pemeriksaan MRI : 569

13.2.1. Pengertian CT SCAN 569

3.2.1.1. Penemuan Sinar X 571

13.2.1. 2. Pengertian Sinar X 572

13.2.2. Mesin Sinar X 573

13.2.3. Prosedur Scanning 576

13.2.3.1. Cara kerja CT Scan dan Perkembangnnya 577

579

13.2.3.2. Pengoperasian Alat

580

13.2.3.3. Optimalisasi Peralatan Dengan Model jaringan

13.2.4.1. Perawatan 581

13.2.4.2. Kapan CT scan diperlukan 581

13.3.1. Diagnosis Medis Penggambaran Sonography 582

13.3.1.1. Pengertian Ultrasonik Medis 582

13.3.1. 2. Penggambaran Medis Ultrasonography 583

13.3.2. Aplikasi Diagnostik 584

13.3.2.1. Pengolahan Suara Menjadi Gambar 586

13.3.2.2. Produksi Gelombang Suara 586

13.3.2.3. Menerima Pantul 586

13.3.2.4. Pembentukan Gambar 587

13.3.2.5. Susunan transduser linier 588

13.3.3. Metoda Sonography 589

13.3.3.1. Sonography Doppler 589

13.3.3.2. Mesin Ultrasonik 591

13.3.4. Perbedaan Jenis Ultrasonik 594

13.3.5. Prosedur Pengujian Dengan Ultrasonik 596

13.3. Penggambaran Dari Kedokteran Nuklir 597

13.4.1. Prosedur Pengujian 597
13.4.2. Prosedur Pelaksanaan 601
13.4.3. Resiko 609
13.4.4. Keterbatas Tomograpi Emisi Positron 609
13.4.5. Teknik Cardiosvascular Imaging 610
13.4.6. Scanning Tulang 610
DAFTAR PUSTAKA A
DAFTAR TABEL B
DAFTAR GAMBAR C
GLOSARIUM D

BAB 4 PENGUKURAN DAYA

Tujuan

Pembahasan ini bertujuan membekali kemapuan :

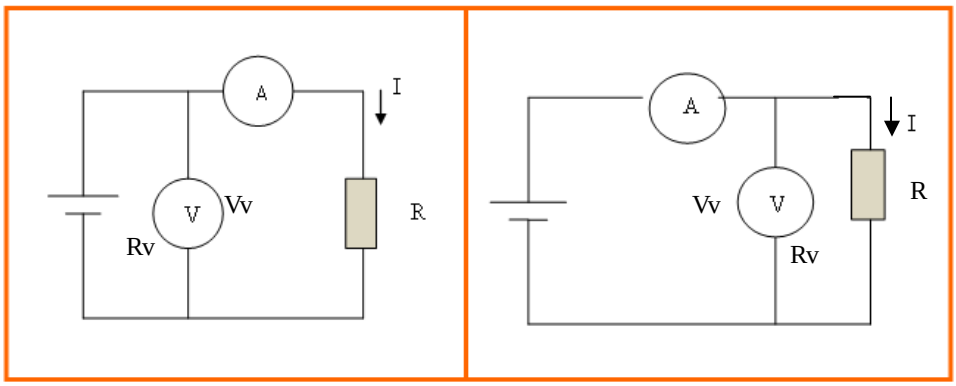
1. Mendiskripsikan jenis dan prinsip pengukuran daya
2. Menggunakan wattmeter sebagai alat ukur daya
3. Menjelaskan prinsip kerja watt jam meter
4. Memprediksi beaya pemakain listrik.

Pokok Bahasan

1. Metoda pengukuran daya
2. Jenis-jenis wattmeter dan cara penggunaan
3. Prinsip kerja wattmeter jam (WH)
4. Kasus aplikasi lapangan wattmeter jam (WH).

4.1. Pengukuran Daya Rangkaian DC

Daya arus searah dapat diukur dengan alat pengukur volt dan alat pengukur amper, yang dihubungkan seperti terlihat pada gambar 4-1. Dalam hal ini penting untuk diperhitungkan kerugian-kerugian daya yang terjadi, olah adanya alat-alat pengukuran.



Gambar 4-1. Pengukuran daya dengan memakai voltmeter dan ampermeter.

Keterangan :
V : voltmeter A : Ampermeter

Misalkan, bila beban adalah R, tegangan beban adalah V dan arus beban adalah I, sedangkan voltmeter dan ampermeter mempunyai tahanan dalam R_v dan R_a. Tegangan pada voltmeter adalah V_v dan arus pada ampermeter adalah I_a . Dengan mempergunakan rangkaian pada gambar 4-1, akan didapatkan :

$V_v = I\,R + I\,R_{a,} \qquad I_a = I$

Maka daya yang akan diukur adalah :

$$W = I^2\,R = V_v\,I_a - I_a{}^2\,R_a$$

Dengan cara yang sama, pada gambar 4-1b diperoleh :

$$W = V\,I = V_v\,I_a - \frac{V_v{}^2}{R_v}$$

Pada gambar (1b), bila dimisalkan tahanan dalam dari voltmeter adalah 10 K? , sedangkan v ltmeter menunjukkan 100 V, dan ampermeter menunjukkan 5 A, maka daya pada beban adalah :

$$W = 100\,x\,5 - \left(100^2 / 10^4\right) = 499\,W$$

Ada dua cara penyambungan pengukuran daya dengan menggunakan voltmeter dan ampermeter seperti ditunjukkan pada gambar 1 diatas. Pada gambar (a) Ampermeter terhubung antara beban dan Voltmeter. Maka voltmeter tidak hanya mengukur tegangan V_L yang ada di beban tetapi juga mengukur tegangan yang drop di Ampermeter. Jika Ra merupakan tahanan dari Ampermeter, drop tegangan

$$V_a = I\,R_a$$

Konsumsi daya beban :

$$V_L\,I = \left(V - V_a\right)I = V\,I - V_a\,I$$
$$= V\,I - I^2\,R_a$$

Pada gambar (b) Voltmeter terhubung antara beban dengan Ampermeter. Maka ampermeter tidak hanya menunjukkan arus yang melewati beban tetapi juga arus yang melewati voltmeter. Arus yang melalui voltmeter

$$I_V = \frac{V}{R_V}$$

dimana *Rv* = tahanan dalam voltmeter.

Konsumsi daya beban

$$= V\ I_L = V\ (I - I_V) = V\left(I - \frac{V}{R_V}\right) = V\ I - \frac{V^2}{R_V}$$

Dalam kedua kasus, daya yang ditunjukkan oleh instrumen sama dengan konsumsi daya pada beban ditambah konsumsi alat ukur daya.

Untuk memperoleh besarnya daya pada , perlu dilakukan koreksi pada kerugian daya yang disebabkan oleh alat ukur. Dalam kondisi normal nilai kerugian daya pada alat ukur cukup kecil bila dibandingkan dengan daya beban. Bagaimanapun juga ampermeter dan voltmeter akan membebani rangkaian yang dapat menyebabkan kesalahan dalam pengukuran daya

4.2. Pengukuran Daya Rangkaian AC

Dalam arus bolak-balik daya yang ada setiap saat berubah sesuai dengan waktu. Daya dalam arus bolak-balik merupakan daya rata-ratanya. Jika sedang dalam kondisi steady state, daya yang ada pada saat itu dirumuskan P = V I.

Dimana P = merupakan harga daya saat itu,
V = tegangan
I = arus.

Jika sinyalnya adalah sinusoidal, maka arus akan tertinggal dengan tegangan dalam fasanya dengan sudut ? , kemudian:

$$v = V_m\ Sin\ \omega t$$
$$i = I_m\ Sin(\omega t - \varphi)$$

Maka besarnya daya adalah sebagai berikut :

$$P = V\ I = V_m\ I_m\ Sin\ \omega t\ Sin\ (\omega t - \varphi)$$
$$Jika\ \ \theta = \omega t$$

sehingga diperoleh

$$P = V_m\ I_m\ Sin\theta\ Sin(\theta - \varphi)$$
$$= V_m\ \frac{I_m}{2}\left[Cos\ \varphi - Cos\ (2\theta - \varphi)\right]$$

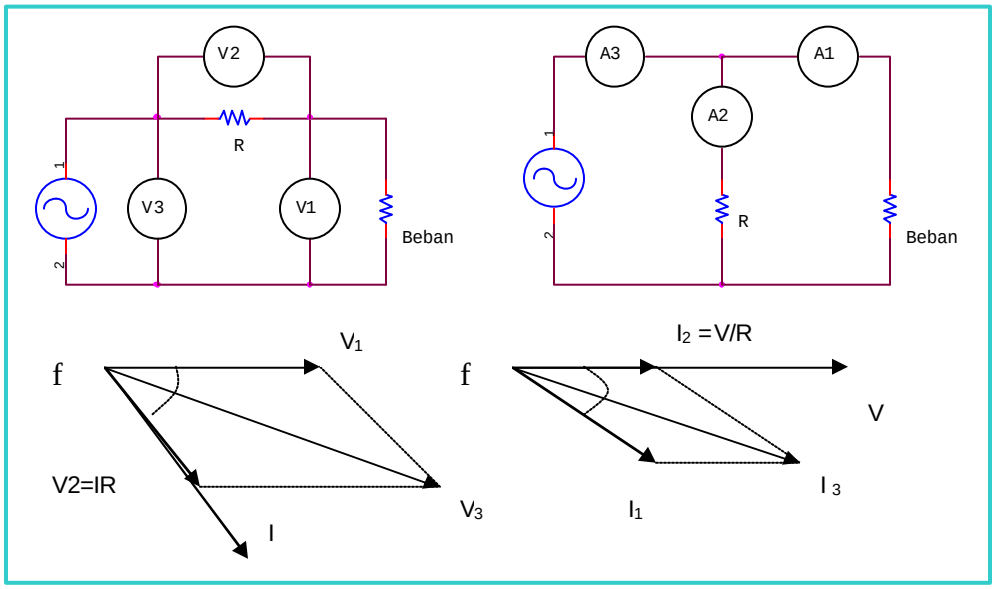
Daya rata-rata untuk tiap periode adalah :

$$= V_m \frac{I_m}{2} Cos\varphi$$
$$= V\ I\ Cos\ \varphi$$

Dimana V dan I merupakan harga rms dari tegangan dan arus. Cos ? merupakan faktor daya dari beban. Dari hasil yang diperoleh didapatkan bahwa faktor daya (cos f) berpengaruh dalam penentuan besarnya daya dalam sirkit AC, ini berarti bahwa wattmeter harus digunakan dalam pengukuran daya dalam sirkuit AC sebagai pengganti Ampermeter dan Voltmeter

4.2.1 Metoda tiga Voltmeter dan metode tiga Ampermeter

Daya satu fasa dapat diukur dengan menggunakan tiga Voltmeter atau tiga Ampermeter. Gambar 4-2 memperlihatkan pengukuran daya dengan menggunakan metode tersebut.



Gambar 4-2. Pengukuran daya metoda tiga voltmeter dan tiga ampermeter

Dalam metoda tiga Voltmeter, masing-masing alat pengukur volt menunjukkan V1, V2 dan V3, maka:

$$V_3^{\,2} = V_1^{\,2} + V_2^{\,2} + 2\,V_1\,V_2\,Cos\,\varphi$$

$$W = V_1\,I\,Cos\,\varphi = V_1\left(\frac{V_2}{R}\right)Cos\,\varphi$$

$$W = \left(\frac{1}{2}\,R\right)\left(V_3^{\,2} - V_2^{\,2} - V_1^{\,2}\right)$$

Dalam menggunakan metode tiga Ampermeter, masing-masing alat pengukur amper menunjukkan I_1, I_2, I_3 maka:

$$I_3^{\,2} = I_1^{\,2} + I_2^{\,2} + 2\,I_1\,I_2\,Cos\;\varphi$$

$$W = V\;I_1\;Cos\;\varphi \;=\; I_2\;R\;I_1\;Cos\;\varphi$$

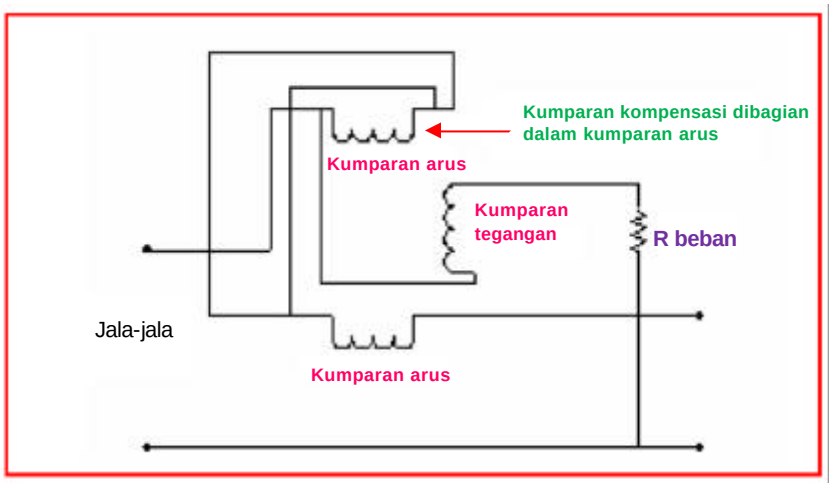
$$W = \frac{R}{2}\left(I_3^{\,2} - I_2^{\,2} - I_1^{\,2}\right)$$

4.3. Wattmeter

Wattmeter digunakan untuk mengukur daya listrik searah (DC) maupun bolak-balik (AC). Ada 3 tipe Wattmeter yaitu Elektrodinamometer, Induksi dan Thermokopel. Jika ditinjau dari fasanya ada 2 yaitu wattmeter satu fasa dan wattmeter tiga fasa.

4.3.1. Wattmeter satu fasa

Elektrodinamometer dipakai secara luas dalam pengukuran daya, wattmeter tipe Elektrodinamometer dapat dipakai untuk mengukur daya searah (DC) maupun daya bolak-balik (AC) untuk setiap bentuk gelombang tegangan dan arus dan tidak terbatas pada gelombang sinus saja. Wattmeter tipe elektrodinamometer terdiri dari satu pasang kumparan yaitu kumparan tetap yang disebut kumparan arus dan kumparan berputar yang disebut dengan kumparan tegangan, sedangkan alat penunjuknya akan berputar melalui suatu sudut, yang berbanding lurus dengan hasil perkalian dari arus-arus yang melalui kumparan-kumparan tersebut. Gambar 4-3 menunjukkan susunan wattmeter satu fasa.



Gambar 4- 3. Wattmeter satu fasa

Arus sesaat didalam kumparan yang berputar (kumparan tegangan) adalah Ip, besarnya Ip=e/Rp dimana e adalah tegangan sesaat pada jala - jala dan Rp adalah tahanan total kumparan tegangan beserta tahanan serinya. Defleksi kumparan putar sebanding dengan perkalian Ic dan Ip , defleksi rata-rata selama satu perioda dapat dituliskan :

$$rata-rata = K\, I_c\, I_p\, dt$$

dimana: rata-rata = defleksi sudut rata-rata kumparan
K = konstanta instrumen
Ic = arus sesaat dalam kumparan arus
Ip = Arus sesaat di dalam kumparan tegangan

Dengan menganggap sementara Ic sama dengan arus beban I (secara aktual Ic = Ip + I) dan menggunakan nilai Ip = e/Rp didapatkan :

$$rata-rata = K\, I\, \frac{e}{R_p}\, dt = K\, \frac{1}{T}\, e\, I\, dt \qquad (*)$$

Menurut definisi, daya rata-rata didalam suatu rangkaian adalah :

$$P\ \ rata-rata = e\, I\, dt$$

Elektrodinamometer yang dihubungkan dalam konfigurasi gambar 4-3 mempunyai defleksi yang sebanding dengan daya rata-rata. Jika f dan I adalah besaran sinus dengan bentuk e = Em sin wt dan I = Im sin (wt + f) maka persamaan (*) berubah menjadi :

$$rata-rata = K\, E\, I\, Cos\varphi$$

dimana E dan I menyatakan nilai - nilai rms tegangan dan arus f menyatakan sudut fasa antara tegangan dan arus.

Wattmeter elektrodinamometer membutuhkan sejumlah daya untuk mempertahankan medan magnetnya, tetapi ini biasanya sangat kecil dibandingkan daya beban sehingga dapat diabaikan, Jika diperlukan pembacaan daya yang tepat, arus kumparan harus sama dengan arus beban, dan kumparan potensial harus dihubungkan diantara terminal beban.

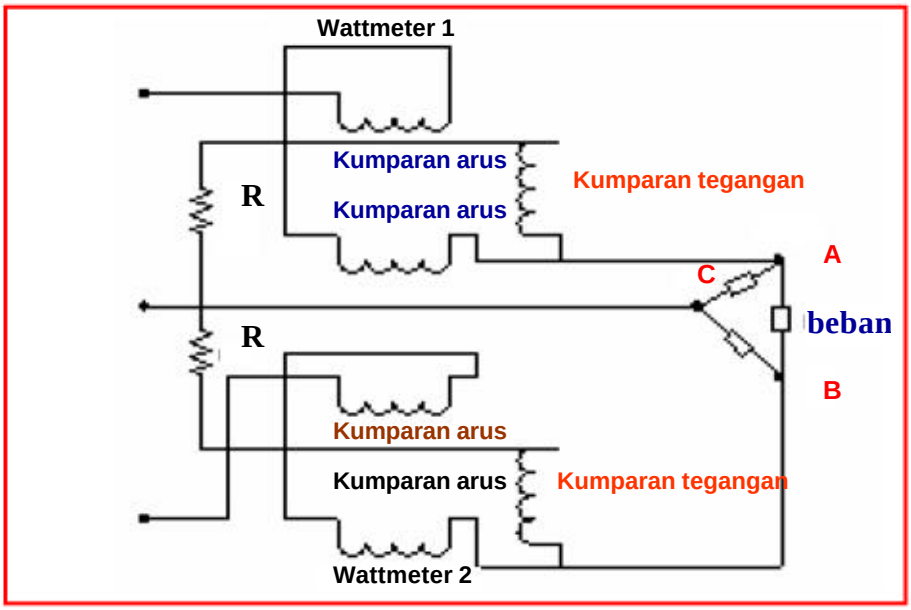
Kesulitan dalam menempatkan sambungan kumparan tegangan diatasi dengan wattmeter yang terkompensasi. Kumparan arus terdiri dari dua kumparan, masing-masing mempunyai jumlah lilitan yang sama. Salah satu kumparan menggunakan kawat lebih besar yang membawa arus beban ditambah arus untuk kumparan tegangan. Kumparan lain menggunakan kawat kecil (tipis) dan hanya membawa arus ke kumparan tegangan. Tetapi arus ini berlawanan dengan arus didalam kumparan besar, menyebabkan fluks yang berlawanan dengan fluks utama. Berarti efek I dihilangkan dan wattmeter menunjukkan daya yang sesuai.

4.3.2. Wattmeter tiga fasa

Pengukuran daya dalam suatu sistem fasa banyak, memerlukan pemakaian dua atau lebih wattmeter. Kemudian daya nyata total diperoleh dengan menjumlahkan pembacaan masing-masing wattmeter secara aljabar. Teorema Blondel menyatakan bahwa daya nyata dapat diukur dengan mengurangi satu elemen wattmeter dan sejumlah kawat-kawat dalam setiap fasa banyak, dengan persyaratan bahwa satu kawat dapat dibuat common terhadap semua rangkaian potensial.

Gambar 4-4 menunjukkan sambungan dua wattmeter untuk pengukuran konsumsi daya oleh sebuah beban tiga fasa yang setimbang yang dihubungkan secara delta.

Kumparan arus wattmeter 1 dihubungkan dalam jaringan A, dan kumparan tegangan dihubungkan antara (jala-jala, line) A dan C. Kumparan arus wattmeter 2 dihubungkan dalam jaringan B , dan kumparan tegangannya antara jaringan B dan C. Daya total yang dipakai oleh beban setimbang tiga fasa sama dengan penjumlahan aljabar dari kedua pembacaan wattmeter. Diagram fasor gambar 4-5 menunjukkan tegangan tiga fasa V_{AC}, V_{CB}, V_{BA} dan arus tiga fasa I_{AC}, I_{CB} dan I_{BA}. Beban yang dihubungkan secara delta dan dihubungkan secara induktif dan arus fasa ketinggalan dari tegangan fasa sebesar sudut ?.



Gambar 4-4 Konfigurasi Wattmeter

Kumparan arus wattmeter 1 membawa arus antara $I_{A'A}$ yang merupakan penjumlahan vektor dan arus-arus fasa I_{AC} dan I_{AB}. Kumparan potensial wattmeter 1 dihubungkan ke tegangan antara V_{AC}. Dengan cara sama kumparan arus wattmeter 2 membawa arus antara $I_{B'B}$ yang merupakan penjumlahan vektor dari arus-arus fasa I_{BA} dan I_{AC}, sedang tegangan pada kumparan tegangannya adalah tegangan antara V_{BC}. Karena beban adalah setimbang, tegangan fasa dan arus-arus fasa sama besarnya dan dituliskan :

$$V_{AC} = V_{BC} = V \text{ dan } I_{AC} = I_{CB} = I_{BA} = I$$

Daya dinyatakan oleh arus dan tegangan masing-masing wattmeter adalah:

$W_1 = V_{AC}.I_{A'A} \text{ Cos } (30°-?) = VI \text{ Cos } (30°-?)$

$W_2 = V_{BC}.I_{B'B} \text{ Cos } (30°+?) = VI \text{ Cos } (30°+?)$

dan

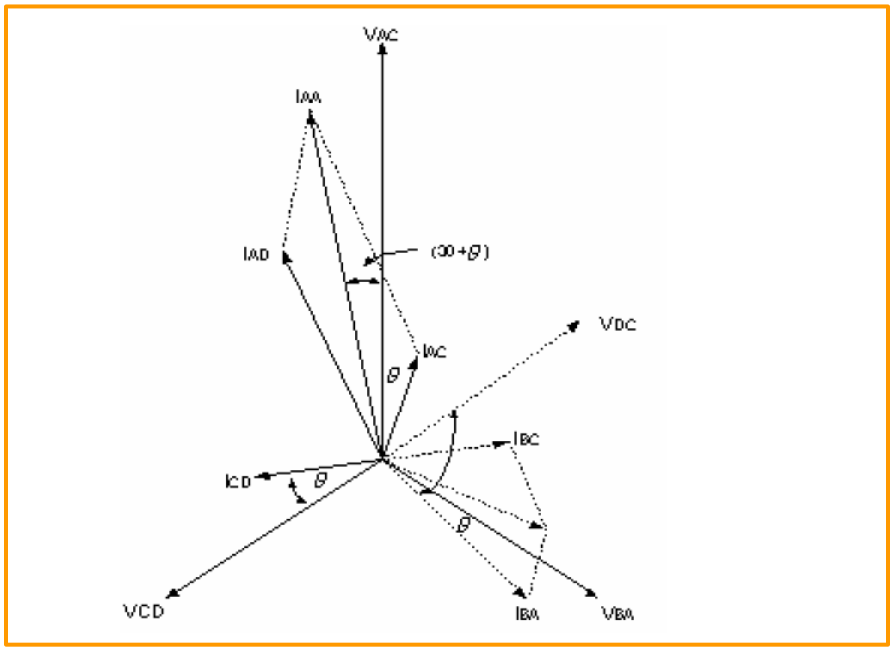
$W_1+W_2 = VI \text{ Cos } (30°-?) + VI \text{ Cos } (30°+?)$

$= VI \text{ Cos } 30°\text{Cos } ? + \text{Sin } 30°\text{Sin}? + \text{Cos}30°\text{Cos}? - \text{Sin}30°\text{sin}?)$

$= 3 VI \text{ Cos}?$

Persamaan diatas merupakan besarnya daya total dalam sebuah rangkaian tiga fasa, dan karena itu kedua wattmeter pada gambar secara tepat mengukur daya total tersebut. Dapat ditunjukkan bahwa penjumlahan aljabar dari pembacaan kedua wattmeter akan memberikan nilai daya yang benar untuk setiap kondisi yang tidak

setimbang. Jika kawat netral dari system tiga fasa juga tersedia seperti halnya pada beban yang tersambung dalam hubungan bintang 4 kawat, sesuai dengan teorema Blondel, diperlukan tiga wattmeter untuk melakukan daya nyata total.



Gambar 4-5. Diagram fasor tegangan tiga fasa V_{AC}, V_{CB}, V_{BA} dan arus tiga fasa I_{AC}, I_{CB} dan I_{BA}.

4.3.3. Pengukuran Daya Reaktif

Daya reaktif yang disuplai ke sebuah rangkaian arus bolak-balik sebagai satuan yang disebut VAR (Volt-Ampere-Reaktif), yang memberikan perbedaan antara daya nyata dan daya oleh komponen reaktif. Merupakan dua fasor E dan I yang menyatakan tegangan dan arus pada sudut fasa ?. Daya nyata adalah perkalian komponen-komponen sefasa dari tegangan dan arus (E.I.cos ?), sedang daya reaktif adalah perkalian komponen-komponen reaktif yaitu E.I.sin ? atau E.I.cos (? - 90°).

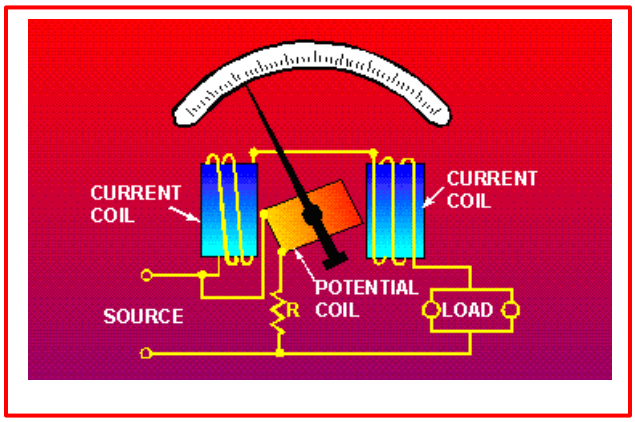
4.3.4. Konstruksi dan Cara Kerja Wattmeter

Wattmeter analog terdiri dari 3 tipe yaitu wattmeter tipe elektrodinamometer, wattmeter tipe induksi dan wattmeter tipe thermokopel.

4.3.4.1. Wattmeter tipe elektrodinamometer.

Wattmeter tipe elektrodinamometer terdiri dari satu pasang kumparan yaitu kumparan yang tetap disebut kumparan arus dan kumparan yang berputar disebut dengan kumparan tegangan, sedangkan alat penunjuknya akan berputar melalui suatu sudut, yang

berbanding lurus dengan hasil perkalian pada arus-arus yang melalui kumparan-kumparan tersebut (gambar 4-6).



Gambar 4-6. Konstruksi wattmeter elektrodinamometer

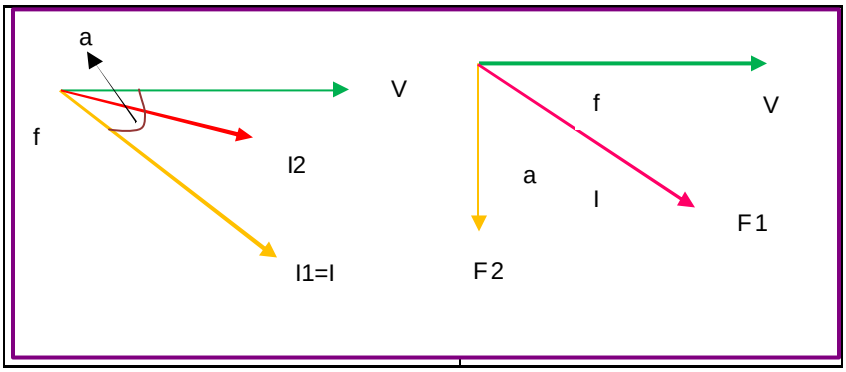
Kumparan arus dari Wattmeter dihubungkan secara seri dengan rangkaian (beban), dan kumparan tegangan dihubungkan parallel dengan line. Jika arus line mengalir melewati kumparan arus dari wattmeter, maka akan

membangkitkan medan disekitar kumparan. Kuat medan ini sebanding dengan besarnya arus line Kumparan tegangan dari wattmeter dipasang seri dengan resisitor yang mempunyai nilai resistansi sangat tinggi. Tujuannya adalah untuk membuat rangkaian kumparan tegangan dari meter mempunyai ketelitian tinggi. Jika tegangan dipasangkan ke kumparan tegangan, arus akan sebanding dengan tegangan line.

4.3.4.2. Wattmeter tipe induksi

Seperti alat ukur wattmeter elektrodinamometer, alat ukur tipe induksi mempunyai pula sepasang kumparan-kumparan yang bebas satu dan lainnya. Susunan ini menghasilkan momen yang berbanding lurus dengan hasil kali dari arus-arus yang melalui kumparan-kumparan tersebut, dengan demikian dapat pula dipergunakan sebagai alat pengukur watt. Untuk memungkinkan hal ini F_1 dalam gambar 4-7 didapat dari arus beban I dan F_2 dari tegangan beban V. Perlu diperhatikan bahwa F_2 akan mempunyai sudut fasa sebesar 90° terlambat terhadap V. Hubungan antara fasa-fasa diperlihatkan dalam gambar 4-8, dan menurut persamaan di dapat :

$$\sin \alpha = \cos \varphi$$



Gambar 4-7.
Diagram vektor wattmeter jenis elektrodinamometer

Gambar 4-8
Diagram vektor wattmeter jenis induksi

Untuk mendapatkan F_2 mempunyai sudut fasa yang terlambat 90° terhadap V, maka jumlah lilitan kumparan dinaikkan sedemikian rupa, sehingga kumparan tersebut dapat dianggap induktansi murni. Dengan keadaan ini maka F_2 sebanding dengan V/? sehingga didapat :

$$\omega\phi_1\,\phi_2 \sin\alpha = KVI\cos\varphi$$

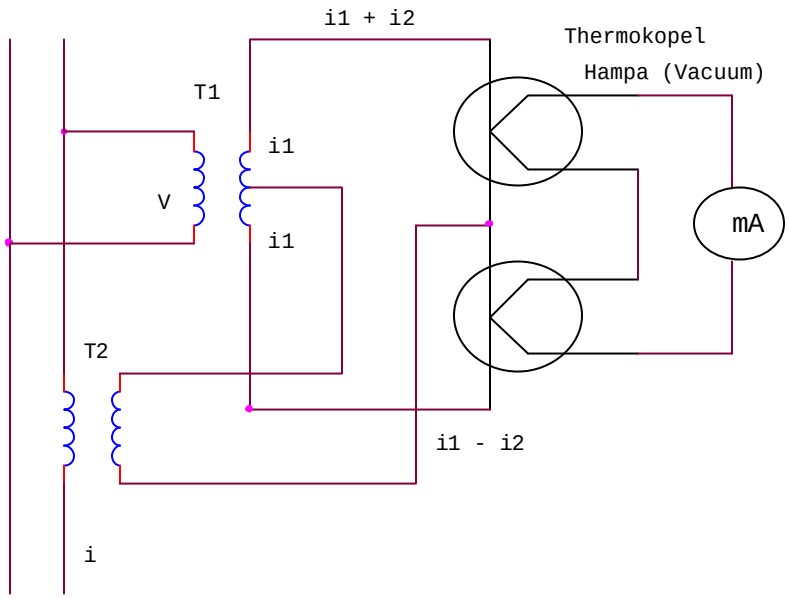
Dengan cara ini pengukuran daya dapat dimungkinkan . Alat pengukur watt tipe induksi sering dipergunakan untuk alat ukur yang mempunyai sudut yang lebar, dan banyak dipakai dalam panil-panil listrik.

4.3.4.3. Wattmeter tipe thermokopel

Alat pengukur watt tipe thermokopel merupakan contoh dari suatu alat pengukur yang dilengkapi dengan sirkuit perkalian yang khusus. Konfigurasi alat ukur ini diperlihatkan dalam gambar 4-9. Bila arus-arus berbanding lurus terhadap tegangannya, dan arus beban dinyatakan sebagai maka akan didapatkan :

$$i_1 = k_1 v \quad dan \quad i_2 = k_2\, i$$

$$(i_1 + i_2)^2 - (i_1 - i_2)^2 = 4 i_1\, i_2 = 4 k_1 k_2 vi$$



Gambar 4-9 Prinsip wattmeter jenis thermokopel

Harga rata – rata dari hasil persamaan tersebut diatas, adalah sebanding dengan daya beban. Dalam gambar 4-9, $i_1 = k_1 v$ adalah arus sekunder dari transformator T_1, dan $2i_2 = 2k_2 i$ adalah arus sekunder dari transformator T_2. Bila sepasang tabung thermokopel dipanaskan dengan arus-arus $(i_1 + i_2)$ dan $(i_1 - i_2)$, maka gaya listrik secara termis akan digerakkan berbanding lurus kwadrat dari arus-arus, dan akan didapat dari masing-masing thermokopel. Bila kedua thermokopel tersebut dihubungkan secara seri sedemikian rupa sehingga polaritasnya terbalik, maka perbedaan tegangan tersebut pada ujung-ujungnya akan dapat diukur melalui suatu alat pengukur milivolt. Dengan demikian maka penunjukan dari alat ukur milivolt tersebut akan berbanding dengan daya yang akan diukur.

Alat pengukur watt jenis thermokopel ini dipakai untuk pengukuran daya-daya kecil pada frekuensi audio. Pada saat ini terdapat banyak bentuk dari alat pengukur watt, yang dilengkapi dengan sirkit-sirkit kalkulasi khusus, dan berbagai detail dapat ditemukan pada alat-alat ukur tersebut.

4.3.4.4. Prinsip Kerja Wattmeter Elektrodinamometer

Wattmeter pada dasarnya merupakan penggabungan dari dua alat ukur yaitu Amperemeter dan Voltmeter, untuk itu pada Wattmeter pasti terdiri dari kumparan arus (kumparan tetap)

dan kumparan tegangan (kumparan putar), sehingga pemasangannyapun juga sama yaitu kumparan arus dipasang seri dengan beban dan kumparan tegangan dipasang paralel dengan sumber tegangan.

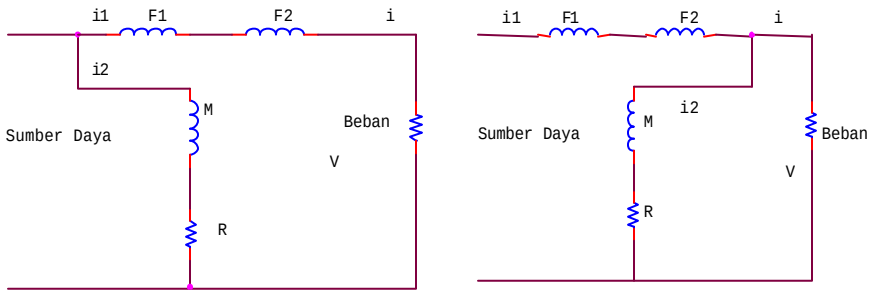
Apabila alat ukur Wattmeter dihubungkan dengan sumber daya (gambar 4-10), arus yang melalui kumparan tetapnya adalah i_1 , serta arus yang melalui kumparan putarnya i_2 , dan dibuat supaya masing-masing berbanding lurus dengan arus beban *i* dan tegangan beban *v*, maka momen yang menggerakkan alat putar pada alat ukur ini adalah i_1. i_2 = *Kvi* untuk arus searah, dimaka *K* adalah adalah suatu konstanta, dengan demikian besarnya momen berbanding lurus dengan daya pada beban *VI* .

Untuk jaringan arus bolak balik maka :

$$i_1 i_2 = Kvi = KVI\left[\cos\varphi - \cos\left(2\omega t - \varphi\right)\right]$$

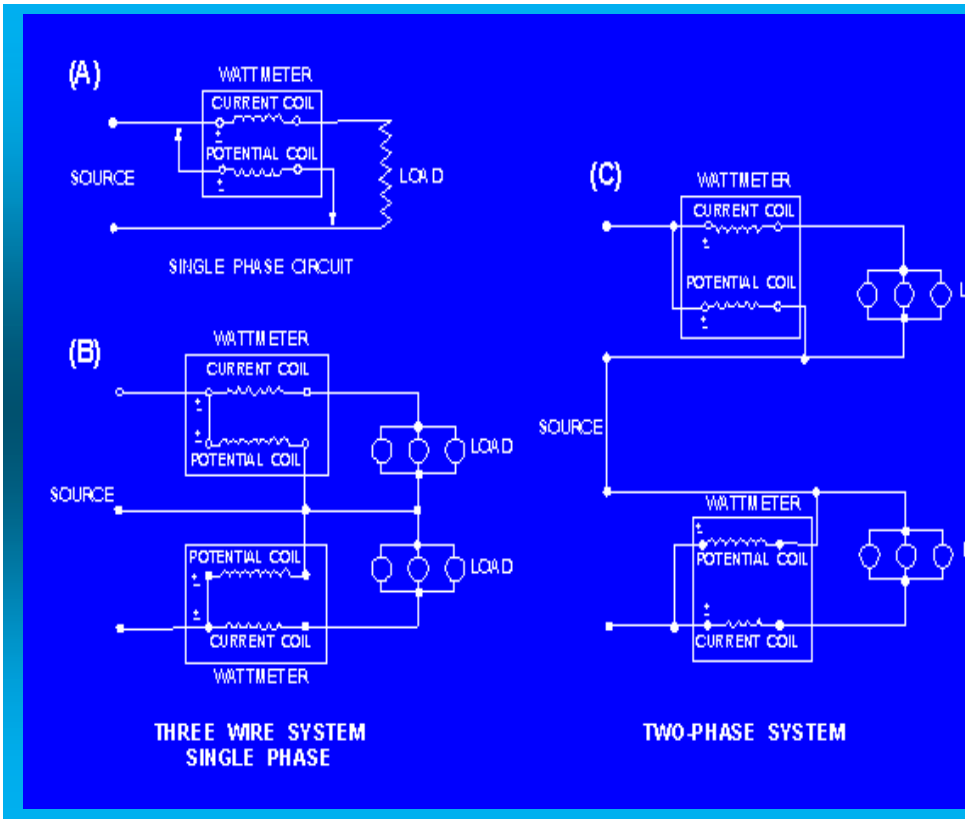
Yang didapat dengan asumsi bahwa :

$$V = V_m \sin \omega t$$
$$i = I_m \sin\left(\omega t - \varphi\right)$$



Gambar. 4-10. Rangkaian wattmeter jenis elektrodinamometer

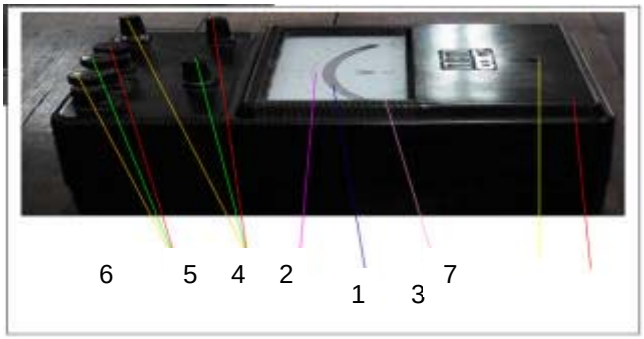
dan i_2 adalah sefasa dengan *V*, maka penunjukan akan berbanding dengan *VI cos f* , yang sama dengan daya yang dipakai oleh beban. Jadi dengan demikian untuk arus searah maupun untuk arus bolak-balik dapat dikatakan bahwa penunjukan dari alat ukut Wattmeter tipe elektrodinamik akan berbanding lurus dengan daya beban.Gambar 4-11. menunjukkan beberapa variasi penyambungan alat ukur wattmeter tergantung dengan sistem yang dipilih.



Gambar 4-11. Variasi penyambungan wattmeter.

Salah satu tipe wattmeter elektrodinamometer adalah tipe Portable Single Phase wattmeter. Alat ukur ini dapat dirancang untuk mengukur DC dan AC (25 ~ 1000 Hz) dengan akurasi tinggi.

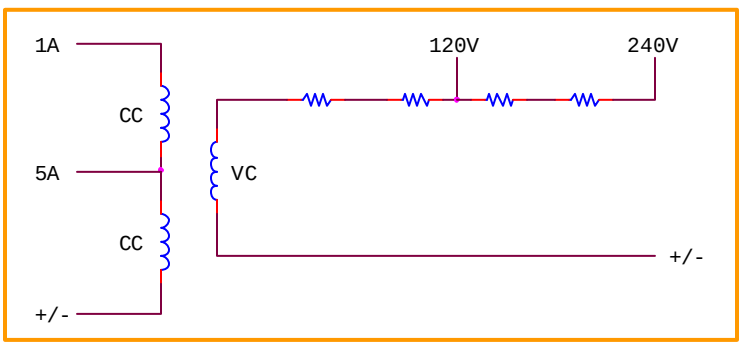
Konstruksi wattmeter tipe Portable Single Phase ditunjukkan pada gambar 4-12. dan hubungan internal dari alat ukur ditunjukan pada gambar 4-13.



Gambar 4-12. Konstruksi wattmeter tipe Portable Single Phase

Seperti ditunjukkan pada gambar 4-12, alat ukur wattmeter ini dikemas dalam kotak bakelite yang kuat. Bagian-bagian external dari wattmeter dijelaskan sebagai berikut :

(1) Jarum penunjuk
(2) Kaca : dfungsikan untuk mengeliminir kesalahan parallax dalam pembacaan.
(3) Pengatur Nol (Zero) : digunakan untuk mengatur posisi nol dari penunjukan
(4) Skala : terdiri dari 120 bagian (linear)
(5) Terminal tegangan : digunakan untuk menyambungkan tegangan. Terminal common tegangan diberi tanda (±), dan terminal tegangan yang lain mengindikasikan ukuran tegangan terukur.
(6) Terminal arus : Salah satu terminal diberi tanda (±) untuk menunjukkan bahwa terminal ini dihubungkan dengan terminal common tegangan, dan terminal arus yang lain mengindikasikan ukuran arus terukur.
(7) Tabel Perkalian : letak tabel perkalian di sisi samping alat ukur, tabel ini digunakan untuk menentukan besarnya daya nyata dari nilai penunjukan.



Gambar 4-13. Hubungan internal wattmeter tipe Portable Single Phase

4.3.5. Spesifikasi Alat

Spesifikasi teknik dan karakteristik alat ukur wattmeter :

Tipe : 2041
Akurasi : ± 0.5% dari nilai skala penuh
Ukuran dimensi : 180 x 260 x 140 mm
Berat : 2.8 Kg
Panjang skala : 135 mm
Skala : 120 bagian
Frekuensi : DC, 25 – 1000 Hz
Kapasitas Overload : Rangkaian tegangan 50%
Rangkaian arus 100%

4.3.6. Karakteristik :

Efek pemanasan diri : ± 0.15%
Perbedaan Pengukuran antara DC dan AC : ± 0.1%
Efek temperature eksternal : ± 0.2% /10° C
Efek medan maghnit eksternal : ± 0.65% /400 A/m
Respons Frekuensi : 45 – 65 Hz 0.0%
50 – 1000 Hz ...0.1%
Efek faktor daya : ± 0.1%
Factor daya dari 1.0 sampai 0.5

Tabel 4-1. Rating, internal impedance, and rated power loss

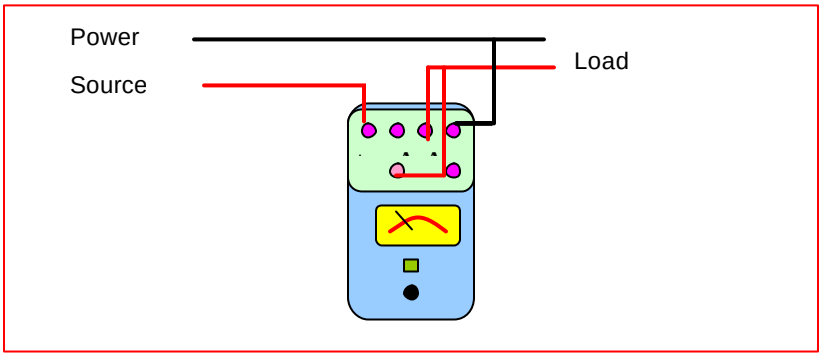
Range		Rating		Internal Impedance	Rated power loss (VA)
Voltage		120 V		Approx 12,000 ?	Approx 1.2VA
Current			240 V	Approx 24,000 ?	Approx 2.4VA
0.2 / 1 A	0.2 A	24 W	48 W	Approx 16.35 ?	Approx 0.66VA
	1 A	120 W	240 W	Approx 0.56 ?	Approx 0.56VA
1 / 5 A	1 A	120 W	240 W	Approx 0.93 ?	Approx 0.93VA
	5 A	600 W	1.2KW	Approx 0.034 ?	Approx 0.84VA
5 / 25 A	5 A	600 W	1.2KW	Approx 0.068 ?	Approx 1.72VA
	25 A	3 KW	3KW	Approx 0.0027 ?	Approx 1.69VA

4.3.7. Prosedur Pengoperasian

4.3.7.1. Pengukuran daya DC atau AC satu fasa :

Hubungkan kumparan arus secara seri terhadap beban. Dengan cara menghubungkan terminal kumparan arus (.±) ke sumber tegangan, sedangkan ujung kumparan arus yang lain (A) dihubungkan ke beban.

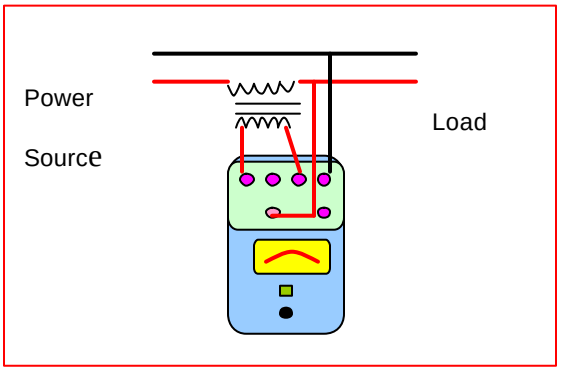
- Hubungkan kumparan tegangan secara parallel dengan beban. Dengan cara menghubungkan terminal kumparan tegangan (±) ke beban, sedangkan ujung terminal tegangan yang lain (V) dihubungkan ke ujung beban yang lainnya.
- Jika jarum penunjuk bergerak kearah kiri, tukar ujung-ujung kumparan tegangannya.



Gambar 4-14 Hubungan kumparan arus seri terhadap beban

4.3.7.2. Pengukuran daya satu fasa jika arus melebihi nilai perkiraan

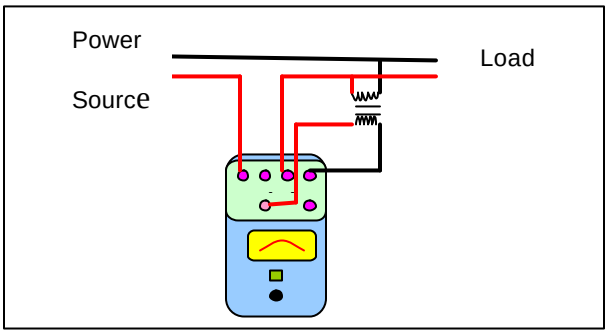
Seperti pada gambar 4-15, sambungkan trafo arus (CT) ke rangkaian arus. Kalikan rasio transformasi arus dengan W (nilai terukur dikalikan konstanta) untuk mendapatkan daya beban. Jangan membuka rangkaian arus sampai pengukuran selesai.



Gambar 4 – 15 Pengukuran daya satu fasa jika arus melebihi nilai perkiraan

4.3.7.3. Pengukuran daya satu fasa tegangan melebihi nilai perkiraan

Seperti pada gambar 4-16, sambungkan trafo tegangan (P.T) ke rangkaian tegangan. Untuk mendapatkan daya beban, kalikan rasio lilitan dari transformator dengan W (nilai terukur dikalikan konstanta). Jika dimungkinkan, hubungkan grounding konduktor dari sumber daya ke rangkaian arus.



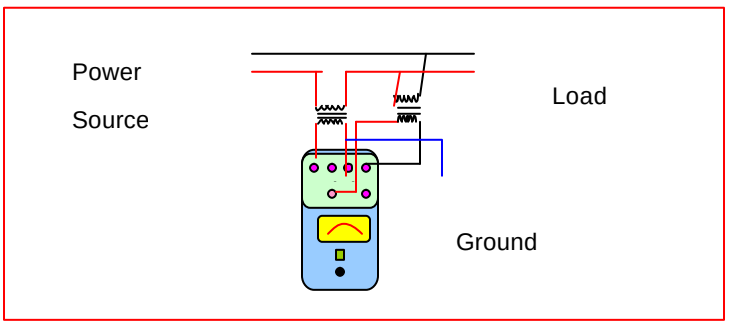
Gambar 4 - 16 Pengukuran daya satu fasa jika tegangan melebihi nilai perkiraan

4.3.7.4. Pengukuran daya satu fasa jika tegangan dan arus melebihi nilai perkiraan

Seperti pada gambar 4-17, hubungkan trafo tegangan (P.T) ke rangkaian tegangan, dan trafo arus (C.T) ke rangkaian arus. Daya beban ditentukan dengan rumus :

W = (nilai yang terindikasi x konstanta perkalian) x rasio C.T x rasio P.T

Contoh, nilai terindikasi = 120,
konstanta perkalian =5 (120V, 5A)
Rasio P.T= 6600/110
Rasio CT= 50/5
W = 120x5x6600/110x50/5=360.000=360kW



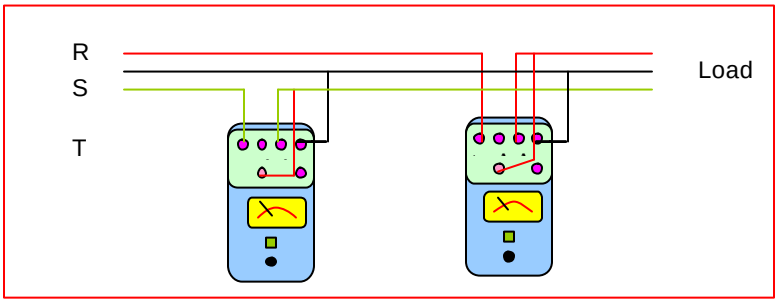
Gambar 4-17 Pengukuran daya satu fasa jika arus dan tegangan melebihi nilai perkiraan

4.3.7.5. Pengukuran daya tiga fasa (metode dua watt meter)

Pengukuran daya tiga fasa dilakukan dengan menghubungkan dua watt meter, seperti yang ditunjukkan gambar 4-18. Nilai daya diindikasikan dengan penjumlahan aljabar dari nilai

indikasi pada dua wattmeter. Ketika faktor daya dari rangkaian yang diukur lebih besar dari 50%, kedua meter akan mempunyai nilai posotif. Total daya beban dihitung dengan penjumlahan dari dua nilai ini.

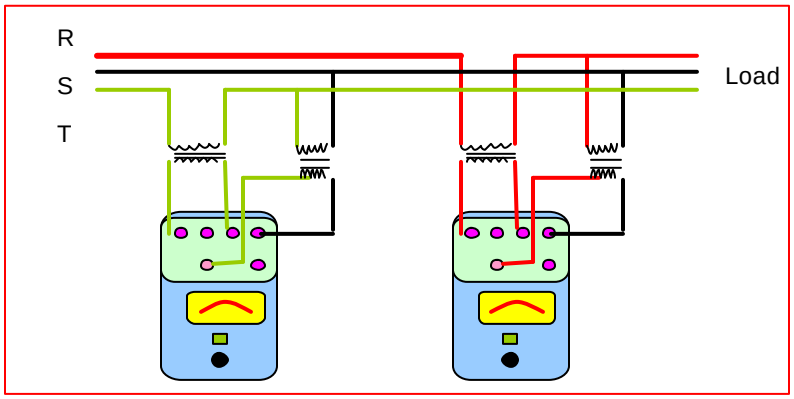
Tetapi, jika faktor daya dari rangkaian lebih rendah dari 50%, satu atau dua wattmeter akan memberi indikasi negatif (penunjuk akan bergerak ke kiri). Jika ini terjadi baliklah hubungan tegangan dari meter dengan defleksi negatif. Jika dibalik maka akan menunjukkan nilai positif. Kurangkan nilai ini dari nilai terindikasi pada meter yang lain, untuk menghasilkan daya beban total.



Gambar 4-18 Pengukuran daya tiga fasa (metode dua wattmeter)

4.3.7.6. Pengukuran daya tiga fase jika tegangan dan arus melebihi nilai perkiraan

Hubungkan dua wattmeter seperti ditunjukkan gambar 4-19 , lalu ikuti prosedur nomor (5) diatas. Daya beban total tiga fase dengan menjumlahkan perhitungan pembacaan daya dari dua meter. Setiap perhitungan dihasilkan dengan mengalikan rasio PT dan rasio CT dengan W (nilai terindikasi x konstanta perkalian).



Gambar 4-19 Pengukuran daya tiga fasa jika arus dan tegangan melebihi nilai perkiraan

4.3.8. Pemilihan Range

Ketika melakukan pengukuran, jika arus beban tidak diketahui, hubungkan rangkaian ke terminal arus yang lebih tinggi dari nilai perkiraan. Kemudian pasang wattmeter ke rangkaian. Range tegangan dan arus diatur dengan menggunakan saklar.Rasio dari range tegangan adalah 120 V dan 240 V sedangkan range arus adalah 1 A dan 5 A.

Ketika menggunakan trafo arus, yakinlah tidak membuat loop terbuka dalam rangkaian sekunder ketika mengubah range arus. Jika trafo arus dilengkapi dengan sebuah lilitan sekunder , tutup rangkaian dengan kunci pertama, dan kemudian rubah range.

Tabel 4-2. Tabel konstanta pengali (tegangan perkiraan 120/240V, arus perkiraan 1/5A)

Range Arus	Konstanta Pengali	
	Range Tegangan	
	120 V	240 V
1 A	1	2
5 A	5	10

Tabel konstanta pengali diatas ditempatkan disisi dari wattmeter, dan digunakan untuk mengkonversi nilai terbaca dari skala ke nilai daya. Daya beban = Nilai terindikasi x konstanta pengali

4.3.9. Keselamatan Kerja

(1) Letakkan wattmeter pada permukaan rata
(2) Cek apakah penunjuk pada posisi nol (0) pada skala. Jika tidak putarlah pengatur nol (lihat gambar 4-12) sampai jarum penunjuk pada posisi nol.
(3) Pastikan sumber daya pada rangkaian yang akan diukur pada posisi off sebelum rangkaian terangkai dengan benar.

4.3.10. Kesalahan (Kesalahan)

Induktansi dari kumparan tegangan pada wattmeter adalah penyebab adanya kesalahan, tetapi dengan tahanan non-induktif yang tinggi yang dipasang seri dengan kumparan tegangan dapat mengurangi kesalahan ini.

Penyebab lain adanya kesalahan adalah

1. Drop tegangan pada rangkaian
2. Arus yang diambil oleh kumparan tegangan

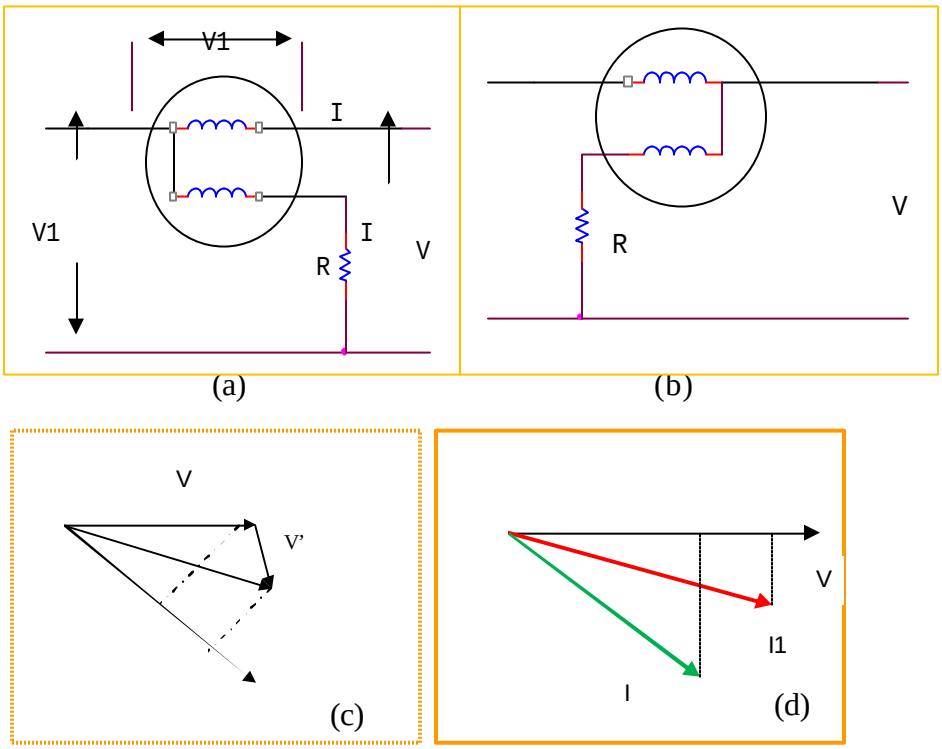
Pada wattmeter standar, kesalahan ini disebabkan karena adanya tambahan kumparan kompensasi, kesalahan yang disebabkan oleh adanya kumparan kompensasi ini dapat diatasi dengan memasang kumparan kompensasi sedemikian rupa sehingga menghasilkan medan yang berlawanan arah dengan

medan yang dihasilkan oleh kumparan arus.

4.4. **Kesalahan Wattmeter**

1. Kesalahan akibat perbedaan rangkaian.

Ada 2 kemungkinan untuk merangkai wattmeter pada rangkaian AC fase tunggal, seperti terlihat pada gambar 4-20, sekaligus dengan diagram vektornya.



Gambar 4- 20. Rangkaian wattmeter AC satu fasa

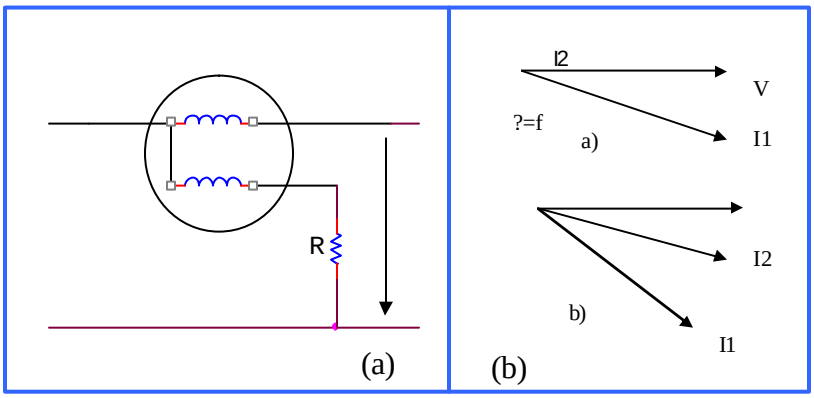
Pada gambar 4-20(a) kumparan arus tidak dilalui arus, sedangkan pada rangkaian gambar 4-20(b) arus melalui kumparan arus. Sebuah wattmeter sebenarnya diharapkan dapat menunjukkan daya yang dipakai oleh beban, tetapi pembacaannya sebenarnya sedikit kelebihan yang disebabkan oleh rugi-rugi daya pada rangkaian instrument. Besarnya kesalahan tergantung dari banyaknya rangkaian.

Perhatikan gambar 4-20(a). Jika cos f adalah power faktor beban, maka daya pada beban adalah = V I cos f . Sekarang, tegangan pada kumparan tegangan adalah V_1 yang merupakan jumlah vektor dari tegangan beban V dan drop tegangan pada kumparan arus = V' (= I r. di , dimana r adalah resistansi pada kumparan arus).

Maka pembacaan daya oleh wattmeter = V_1 I cos f , dimana f adalah beda fase antara V_1 dan I seperti terlihat pada diagram vektor gambar 4-20(a).

$V_1 \cos f \ . I = (V \cos f + V') I$
$= V.I \cos f + V' I$
$= V I \cos f + I^2 . r$
= Daya beban + Daya pada rangkaian kumparan tegangan.

2. Kesalahan akibat induktansi kumparan tegangan
Kesalahan pembacaan pada wattmeter disebabkan juga oleh induktansi pada kumparan tegangan.



Gambar 4-21. Rangkaian kumparan tegangan

a. Jika induktansi kumparan tegangan diabaikan :

$$I_2 = \frac{V}{(R+R_V)} = \frac{V}{R}$$

$\theta = \phi$, terlihat pada gambar 4-21 a.
Jadi pembacaan wattmeter

$$= I_1 \frac{V}{R} Cos\,\theta \quad \text{.....(1)}$$

b. Jika induktansi kumparan tegangan diperhitungkan :

$$I_2 = \frac{V}{\sqrt{(R+R)^2 + X_L{}^2}} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L{}^2}} = \frac{V}{Z_P}$$

Dimana I_2 ini tertinggal terhadap V dengan sudut a (gambar 4-21 b) sehingga

$$\tan = \frac{X_L}{(R_V + R)} = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L_V}{R}$$

Jadi pembacaan wattmeter :

$$= \frac{I_1 V \cos\theta}{Z_V} = \frac{I_1 V \cos(\phi - \alpha)}{Z_V}$$

Jadi pembacaan wattmeter

$$= I_1 \frac{V}{R} \cos(\phi - \alpha) \quad \text{.....(2)}$$

Persamaan (1) untuk pembacaan wattmeter dimana induktansi kumparan tegangan diabaikan dan persamaan (2) untuk pembacaan wattmeter dimana induktansi kumparan tegangan ikut diperhitungkan. Faktor koreksi yang diberikan oleh perbandingan antara pembacaan sesungguhnya (W_t) dengan pembacaan yang ada pada wattmeter (W_a) adalah :

$$\frac{W_t}{W_a} = \frac{\frac{V\ I_1}{R_1}\cos\phi}{\frac{V\ I_1}{R}\cos\alpha\ \cos(\phi - \alpha)} = \frac{\cos\phi}{\cos\alpha\ \cos(\phi - \alpha)}$$

Pada prakteknya karena sangat kecil, maka $\cos\alpha = 1$

Maka :

$$\frac{W_t}{W_a} = \frac{\cos\phi}{\cos(\phi - \alpha)}$$

Kesalahan pembacaan adalah :

= Pembacaan yang ada – pembacaan sesungguhnya

= pembacaan yang ada

$$\frac{\cos\phi}{\cos(\phi - \alpha)}\ x\ pembacaan\ yang\ ada$$

$$= \text{pembacaan yang ada} \left(1 - \frac{\cos\phi}{\cos(\phi - \alpha)}\right)$$

$$= \frac{\cos\phi + \sin\phi \sin\alpha - \cos\phi}{\cos\phi + \sin\phi \sin\alpha}\ x\ pembacaan\ yang\ ada$$

$$= \frac{\sin\phi \sin\alpha}{\cos\phi + \sin\phi \sin\alpha}\ x\ pembacaan\ yang\ ada$$

$$= \frac{\sin \alpha}{\cot \phi + \sin \alpha} \; x \; pembacaan\ yang\ ada$$

$$\text{Jadi presentase kesalahan} = \frac{\sin \alpha}{\cot \phi + \sin \alpha} \; x\, 100\%$$

3. **Kesalahan akibat medan STRAY (Pengganggu)**
   Karena medan yang bekerja pada instrument ini adalah kecil, maka mudah dipengaruhi oleh kesalahan akibat medan pengganggu dari luar. Oleh karena itu harus dijaga agar sejauh mungkin berada dari medan STRAY tadi. Tetapi , kesalahan akibat medan ini pada umumnya dapat diabaikan.
4. **Kesalahan akibat kapasitansi dalam kumparan tegangan**
   Pada bagian rangkaian kumparan tegangan , terutama pada bagian tahanan serinya akan selalu muncul kapasitansi walaupun kecil. Akibatnya akan mengurangi besarnya sudut, dengan demikian mengurangi kesalahan yang diakibatkan induktansi pada rangkaian kumparan tegangan. Pada kenyataannya pada beberapa wattmeter, sebuah kapasitor dihubungkan paralel terhadap tahanan seri untuk mendapatkan rangkaian kumparan tegangan yang non-induktif.
   Jelas bahwa kompensasi yang berlebihan akan membuat resultante reaktansi kapasitif, dengan demikian akan menyebabkan sudut negatif.
5. **Kesalahan akibat EDDY-Current (Arus pusar)**
   Eddy-current adalah medan arus bolak-balik pada bagian-bagian logam yang padat dari instrument. Ini dihasilkan oleh medan bolak-balik pada kumparan arus akan mengubah besar dan kuat medan kerja, dengan demikian menimbulkan kesalahan bagi pembacaan wattmeter. Kesalahan ini tidak mudah dihitung meskipun dapat menjadi sangat besar jika tidak berhati-hati dalam memindahkan bagian padat dari dekat kumparan arus tadi.

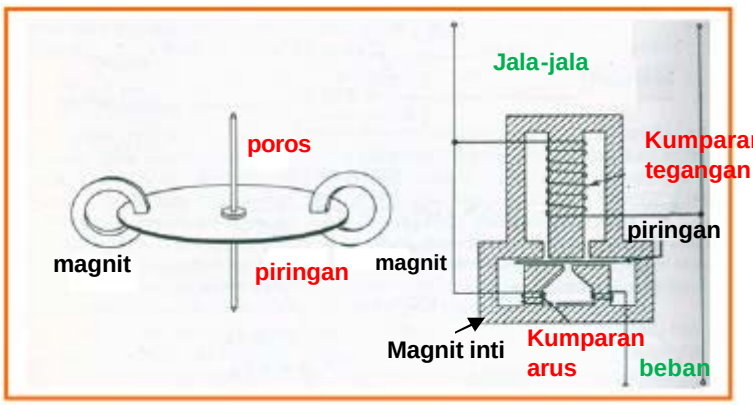
4.5. Watt Jam meter

Watt jam meter merupakan alat ukur untuk mengukur energi listrik dalam orde Kwh. Karena energi merupakan perkalian antara daya dengan waktu, maka watt jam meter membutuhkan kedua faktor ini. Pada prinsipnya, watt jam meter adalah sebuah motor kecil yang mempunyai kecepatan sebanding dengan daya yang melaluinya. Total putaran dalam suatu waktu sebanding dengan total energi, atau watt-jam, yang dikonsumsi selama waktu tersebut. Alat ukur watt jam tidak sering digunakan di laboratorium tetapi banyak digunakan untuk pengukuran energi listrik komersil. Kenyataannya adalah bahwa disemua tempat dimanapun, perusahaan listrik menyalurkan energi listrik ke industri dan

pemakai setempat (domestik). Alat ini bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi.

4.5.1. Konstruksi dan Cara Kerja Watt jam meter

Elemen alat ukur watt jam satu fasa ditunjukkan pada gambar 4-22 dalam bentuk skema. Kumparan arus dihubungkan seri dengan jala-jala, dan kumparan tegangan dihubungkan paralel. Kedua kumparan yang dililitkan pada sebuah kerangka logam dengan desain khusus melengkapi dua rangkaian maghnit. Sebuah piringan aluminium ringan digantung di dalam senjang udara medan kumparan arus yang menyebabkan arus pusar mengalir di dalam piringan. Reaksi arus pusar dan medan kumparan tegangan membangkitkan sebuah torsi (aksi motor) terhadap piringan dan menyebabkannya berputar.



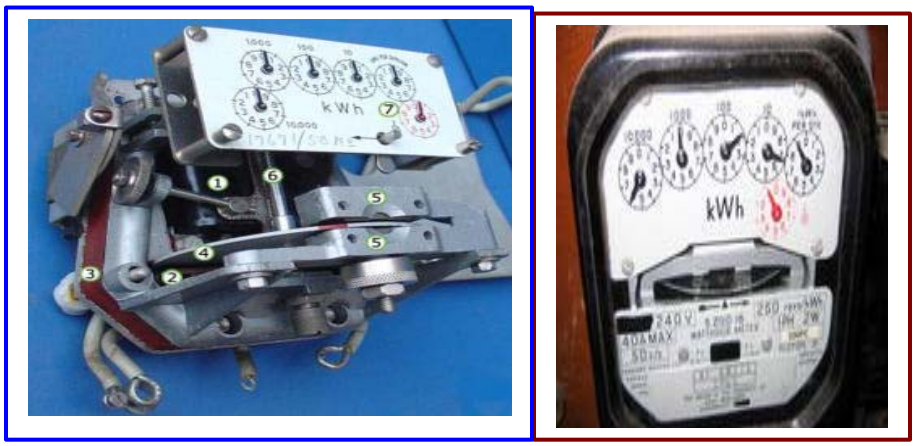
Gambar 4 - 22. Konstruksi watt jam meter

Torsi yang dibangkitkan sebanding dengan kuat medan kumparan tegangan dan arus pusar di dalam piringan yang berturut-turut adalah fungsi kuat medan kumparan arus. Berarti jumlah putaran piringan sebanding dengan energi yang telah dipakai oleh beban dalam selang waktu tertentu, dan diukur dalam kilowatt-jam (kWh, kilowatt jam). Poros yang menopang piringan aluminium dihubungkan melalui susunan roda gigi ke mekanisme jam dipanel alat ukur, melengkapi suatu pembacaan kWh yang terkalibrasi dalam desimal.

Redaman piringan diberikan oleh dua maghnit permanen kecil yang ditempatkan saling berhadapan pada sisi piringan. Bila piringan berputar, maghnit-maghnit permanen mengindusir arus pusar di dalamnya. Arus-arus pusar ini bereaksi dengan medan maghnit dari maghnit-maghnit permanen kecil dan meredam gerakan piringan.

Kalibrasi alat ukur watt jam dilakukan pada kondisi beban penuh yang diijinkan dan pada kondisi 10% dari beban yang diijinkan. Pada beban penuh, kalibrasi terdiri dari pengaturan

posisi maghnit-maghnit permanent kecil agar alat ukur membaca dengan tepat. Pada beban-beban yang sangat ringan, komponen tegangan dari medan menghasilkan suatu torsi yang tidak berbanding langsung dengan beban. Kompensasi kesalahan diperoleh dengan menyisipkan sebuah kumparan pelindung atau pelat diatas sebagian kumparan tegangan dengan membuat alat ukur bekerja pada 10% beban yang diijinkan. Kalibrasi alat ukur pada kedua posisi ini biasanya menghasilkan pembacaan yang memuaskan untuk semua beban-beban lainnya. Sebuah alat ukur watt jam satu fasa ditunjukkan pada gambar 4-23.



Gambar 4-23. Mekanik meter induksi elektromekanik

Keterangan :

(1) Kumparan tegangan, yang dihubungkan paralel dengan beban
(2) Kumparan arus, dihubungkan seri dengan beban
(3) Stator
(4) Piringan Aluminium Rotor
(5) rotor brake magnets
(6) spindle dengan worm gear
(7) Display dial : 1/10, 10 dan 1000 , 1, 100 dan 10000.dials berputar searah jarum jam

Meter induksi elektromekanik beroperasi dengan menghitung putaran dari cakram aluminium yang dibuat berputar dengan kecepatan proporsional dengan power yang digunakan. Alat ini mengkonsumsi power yang kecil sekitar 2 watts. Cakram metalik bekerja dengan dua kumparan. Kumparan satu disambungkan dengan sebuah benda yang menghasilkan flux magnetik yang

proporsional dengan tegangan dan kumparan kedua disambungkan dengan benda yang menghasilkan cakram dan efeknya adalah gaya yang digunakan dalam cakram proporsional dengan hasil arus dan tegangan. Magnet permanen menggunakan gaya berlawanan yang proporsional dengan kecepatan rotasi cakram, hal ini menyebabkan sebuah flux magnetik yang proporsional dengan arus. Keadaan ini menghasilkan eddy currents di pengereman yang menyebabkan cakram berhenti berputar. Tipe meter yg didiskripsikan di atas digunakan pada AC fasa tunggal. Perbedaan konfigurasi antara fasa tunggal dan tiga fasa adalah terletak adanya tambahan kumparan tegangan dan arus.

Gambar 4-24. Meter induksi elektromekanik, 100 A 230/400 V. cakram baling-baling aluminium horisontal merupakan pusat meter

Pengukuran energi dalam sistem tiga fasa dilakukan oleh alat ukur watt jam fasa banyak. Kumparan arus dan kumparan tegangan dihubungkan dengan cara yang sama seperti wattmeter tiga fasa. Masing-masing fasa alat ukur watt jam mempunyai rangkaian maghnetik dan piringan tersendiri, tetapi semua piringan dijumlahkan secara mekanis dan putaran total permenit dari poros sebanding dengan energi total tiga fasa yang dipakai.

4.5.2. Pembacaan

Cakram aluminium dilengkapi dengan sebuah spindle yang mempunyai worm-gear untuk menggerakkan register. Register seri dengan dial yang berfungsi untuk merekam jumlah energi yang digunakan. Dial termasuk tipe cyclometer, yaitu sebuah display seperti odometer yang menampilkan setiap dial digit tunggal lewat jendela pada permukaan meter, atau tipe pointer

dimana sebuah pointer menunjukkan setiap digit. Pointer biasanya berputar dalam arah berlawanan dengan mekanik ulir.
Jumlah energi yang dipergunakan ditunjukkan oleh putaran cakram, dinotasikan dengan simbol KWh yang diberikan dalam unit watt jam per putaran. Dengan mengetahui nilai KWh, seorang pelanggan dapat menentukan konsumsi daya yang dipergunakan dengan cara menghitung putaran cakram dengan stopwatch. Jika waktu yang dibutuhkan cakram dalam detik untuk menyelesaikan satu putaran adalah *t*, dan daya dalam watt adalah P=3600xKWh/t. Contoh, jika KWh=7.2 dan satu putaran membutuhkan waktu 14.4 detik, maka dayanya adalah 1800 watts. Metode ini dapat digunakan untuk menentukan konsumsi daya dari peralatan rumah tangga.
Sebagian besar meter listrik domestik masih dicatat secara manual, dengan cara perwakilan/utusan dari perusahaan listrik atau oleh pelanggan. Dimana pelanggan membaca meter, pembacaan harus dilaporkan ke perusahaan listrik lewat telepon,post atau internet. Seorang karyawan perusahaan listrik biasanya mengunjungi pelanggan sedikitnya setiap tahun untuk mengecek pembacaan pelanggan serta melakukan pengecekan keselamatan dasar meter.

4.6. Meter Solid States

Jenis meter meter listrik terbaru adalah solid state yang dilengkapi dengan LCD untuk menampilkan daya serta dapat dibaca secara otomatis.
Selain dapat mengukur listrik yang digunakan , meter solid state dapat juga merekam parameter lain dari beban dan suplai seperti permintaan maksimum, faktor daya, dan daya reaktif yang digunakan. Meter solid state dapat menghitung jumlah listrik yang dikonsumsi, dengan penetapan harga yang bervariasi menurut waktu setiap hari, minggu, dan musim.

Gambar 4-25. Meter listrik solid state

4.7. Wattmeter AMR

Sebagian besar meter solid state menggunakan arus transformer untuk mengukur arus. Ini artinya bahwa arus tidak melewati meter sehingga meter dapat di letakkan di lokasi yang jauh dari konduktor yang membawa arus. Teknologi meter solid state ini merupakan keuntungan bagi instalasi yang menggunakan daya besar, teknologi ini memungkinkan juga

menggunakan transformer arus jarak jauh dengan meter elektromekanikal, hal ini jarang dilakukan.

Meter elektronik sekarang ini dilengkapi dengan komunikasi teknologi antara lain low power radio, GSM, GPRS, Bluetooth, IRDA yang terpisah dari hubungan konvensional, dengan menggunakan RS-232 dan RS-485. Meter elektronik dapat menyimpan semua penggunaan daya dengan waktu penggunaan dan dapat menayangkan kembali hanya dengan meng-klik tombol, data pembacaan disimpan dengan akurat. Profile data ini diproses dan hasilnya berupa laporan atau grafik. Pembacaan meter jarak jauh menerapkan aplikasi telemetri. Biasanya, meter yang di desain untuk pembacaan semi automatik mempunyai serial port untuk komunikasi dengan meletakkan LED infra merah diatas permukaan meter.

4.8. Kasus Implementasi Lapangan

Pada dasarnya, besarnya energi yang telah dipakai oleh pelanggan ditunjukkan dengan angka-angka (register) yang tertera pada alat ukur kWh meter. Jumlah pemakaian yang sebenarnya dihitung berdasarkan angka-angka yang tertera pada register sebelumnya (awal) yang dikurangkan terhadap angka-angka yang tertera pada register terakhir (akhir) atau dapat dinyatakan dengan rumus kWh = (selisih pembacaan meter kWh) x Faktor Meter. Selisih pembacaan meter kWh = Penunjukan meter bulan ini - Penunjukan meter bulan lalu. Faktor Meter = Rasio CT x Rasio PT x Faktor Register

Kasus Aplikasi Lapangan

4.8.1. Pelanggan Tegangan rendah (TR) yang tidak memerlukan CT (pelangan dengan tarif S2-R1-R2-R3-U1). Untuk tarif S2-R3-U1 :

Stand meter bulan lalu : 07139

Stand meter bulan lalu : 06825

Selisih pembacaan meter : 314 (pemakaian kWh).

Untuk tarif R2-R3

Stand meter bulan ini : 15762

Selisih pembacaan standmeter : 269 (pemakaian kWh).

Pemakaian blok1= (60jamX daya terpasang1300VA)/1000 = 78kWh

Pemakaian blok 2 = (pemakaian total – blok1) = 191 kWh.

Perhitungan biaya gunakan CT tariff S3-R4-U2.

4.8.2. Pelanggan Tegangan Rendah (TR) yang menggunakan CT (pelanggan dengan tarif: S3 - R4 - U2)

Stand meter bulan ini = 70495
Stand meter bulan lalu = 68231
selisih pembacaan meter = 2264 x Faktor meter (CT)
= ..... Pemakaian kWh

4.8.3. Pelanggan TM dipasang kWh Meter merk Fuji tipe FF23HTI, 100v 5 A, 3 fase 4 kawat, dengan:

Trafo arus terpasang = 100/5 A, Rasio CT = 20
Trafo tegangan terpasang = 20.000/100 V, Rasio PT = 200
Faktor register = 1
Stand meter bulan ini : LWBP = 5.690 dan WBP
Stand meter bulan lalu : LWBP = 5.600 dan WBP
Jadi : Selisih pembacaan meter LWBP = 5.690 - 5.600 = 90
Selisih pembacaan meter WBP = 2.516 - 2.500 = 16

Maka: Pemakaian kWh LWBP = 20 x 200 x 1 90
= 360.000 kWh
Pemakaian kWh WBP = 20 x 200 x 1 16
= 64.000 kWh

Catatan:
***** Bila pada meter kWh tidak tercantum adanya faktor register (konstanta), maka faktor register dianggap = 1
* Untuk pengukuran tegangan rendah (TR), tidak ada rasio PT

4.8.4. Pelanggan dipasang kWh Meter merk Mecoindo tipe A6C1, 3 fase 4 kawat, 25/5 A, P/S 20.000/V3/100/V3, 50 Hz, dengan :

Trafo arus terpasang = 100/5 A
Untuk kWh meter jenis ini, arus pengenal meter 25/5 A, maka rasio CT sebenarnya menjadi = 100/5 : 25/5 = 4
Meter jenis ini dirancang untuk dipasang pada tegangan menengah 20.000 VOLT, jadi rasio PT tidak dihitung. Faktor register = 200
Stand meter bulan ini : LWBP = 08970 dan WBP = 03540
Stand meter bulan ini : LWBP = 07920 dan WBP = 03030
Selisih pembacaan meter LWBP = 8970 - 7920
= 1050
Selisih pembacaan meter WBP = 3530 - 3030
= 510
Maka : Pemakaian kWh LWBP = 4 x 200 x 1050
= 840.000 kWh
Pemakaian kWh WBP = 4 x 200 x 510
= 408.000 kWh

4.8.5. Pembacaan pemakaian energi reaktif

Cara pembacaan dan perhitungannya sama dengan pembacaan kWh Meter.

Pemakaian kVARh = (Selisih pembacaan kVARh) x Faktor meter

Selisih pembacaan kVARh = Penunjukan kVARh bulan ini - Penunjukan kVARh bulan lalu

Faktor meter = Rasio CT x Rasio PT x Faktor register

Pelanggan h-3/TM, pengukuran TM dipasang kVARH merk Osaki tipe OR91SH, 58/100 V, 5A, dengan:

Trafo arus (CT) terpasang = 125/5 A
Trafo tegangan (PT) terpasang = 20.000/100 V
Stand meter kVARh bulan ini = 7.860
kVARh bulan lalu = 6.750
Konstanta meter = 0,1
Faktor meter = 125/5 x 20.000/100 x 0,1 = 500
Selisih pembacaan kVARh = 7.860 - 6.750
= 1.110
Pemakaian kVARh = 1.110 x 500 kVARh
= 555.000 kVARh

4.8.6. Cara pembacaan pemakaian daya listrik

Pemakaian daya maksimum oleh pelanggan setiap bulannya. Meter jenis ini dipasang untuk mengetahui daya maksimum yang dipakai pelanggan tiap bulannya. Bila dipasang kW Max, maka hasil perhitungannya masih harus dibagi dengan faktor daya sebesar 0,85. Golongan pelanggan yang dipasangi alat ini adalah hotel (H-3) I5, dan industri Tanur Busur (I-4). kW Max atau kVA Max yang dipasang adalah dengan interval 15 menit. Yang dimaksud dengan istilah daya terukur maksimum dengan interval 15 menit adalah "Nilai daya terukur maksimum untuk tiap bulan sama dengan 4 (empat) kali nilai tertinggi dari kVA yang dipakai selama tiap 15 (lima belas) menit terus menerus dalam bulan tersebut". Untuk saat ini kVA Max yang terpasang kebanyakan dari jenis yang menggunakan jarum penunjuk.

Rumusnya dapat dituliskan :

Daya terukur = Penunjukan meter x Faktor meter
Faktor meter = CT terpasang : CT meter x PT terpasang x register

Contoh:

Pelanggan Tanur Busur I-4/TM, pengukuran TM, dipasang MW Max merk Enertec tipe A7A11, 3 fase 3 kawat, 50 Hz, 3 x 600/5A, 3 x 20.000/100 V, dengan :

Trafo arus terpasang = 300/5 A

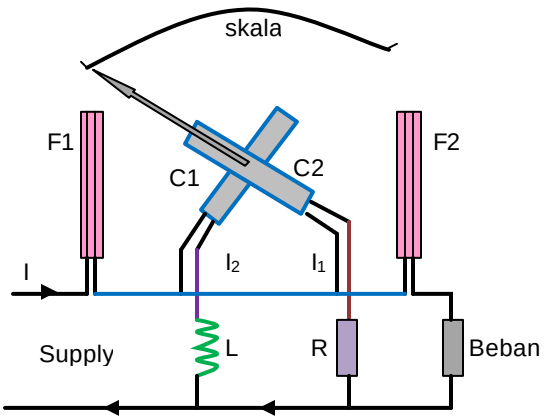
Trafo tegangan terpasang = 20.000/100 V
Penunjukan meter = 20
Faktor register = 1
Faktor meter = 300/5 : 600/5 x 20.000/100 : 20.000/100 x = 0,5
Daya terukur = 20 x 0,5 = 10 MW

4.9. Faktor Daya (Cos ?)

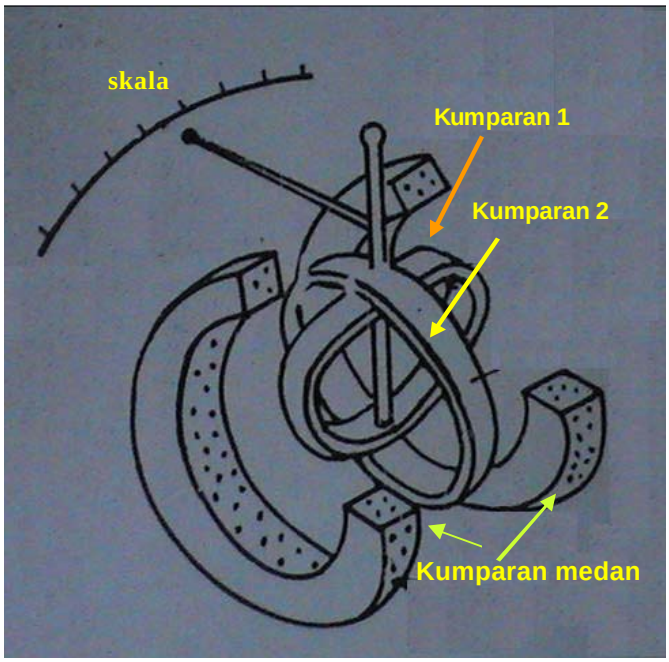
Menurut definisi, faktor daya adalah cosinus sudut fasa antara tegangan dan arus, dan pengukuran faktor daya biasanya menyangkut penentuan sudut fasa ini. Pada dasarnya instrumen ini bekerja berdasarkan prinsip elektrodinamometer, dimana elemen yang berputar terdiri dari dua kumparan yang dipasang pada poros yang sama tetapi tegak lurus satu sama lain. Kumparan putar berputar di dalam medan maknetik yang dihasilkan oleh kumparan medan yang membawa arus jala-jala. Ini ditunjukkan dalam kerja alat ukur *faktor daya*.

4.9.1. Konstruksi

Alat ukur faktor daya kumparan bersilang (*crossed-coil power faktor meter*) seperti terlihat pada gambar 4-26 dan 4-27. Instrumen ini mempunyai sebuah coil diam, yang terdiri dari F_1 dan F_2. Dengan dihubungkan seri dengan line supply maka akan dialiri arus. Jelaslah bahwa medan yang merata akan dihasilkan oleh F1 dan F2, yang sebanding dengan arus line. Pada medan ini diletakkan moving coil C1 dan C2 yang dipasang pada tangkai atau spindle yang sama. Kedua moving coil ini adalah coil tegangan C1 yang mempunyai tahanan seri R, sedangkan coil C2 mempunyai induktansi L. Harga R dan L seperti halnya lilitan C1 dan C2, diatur sedemikian hingga ampere-turn pada C1 dan C2 sama besar. Arus I1 sefasa dengan tegangan supply V, sedangkan I2 lagging (tertinggal) 90° (atau mendekati 90°) dibelakang V.



Gambar 4-26 Rangkaian alat ukur faktor daya satu fasa



Gambar 4-27. Konstruksi alat ukur faktor daya

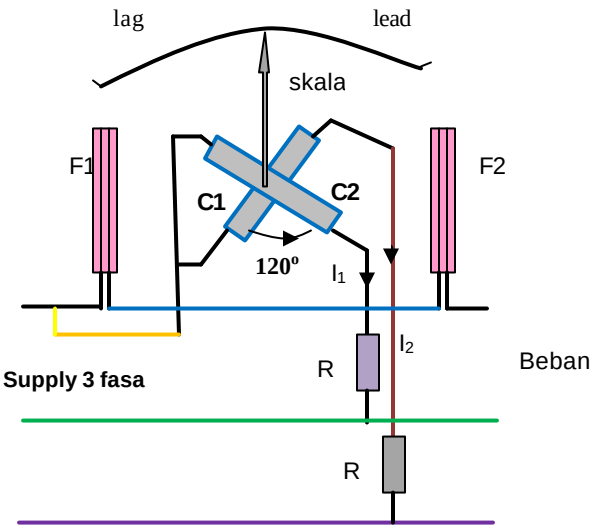
4.9.2. Cara Kerja

Dianggap bahwa power-faktor (p.f) sama dengan satu, yaitu I (arus) sefasa dengan V (tegangan). Kemudian I_1 sefasa dengan I sedangkan I_2 lagging 90° terhadap I. Akibatnya timbul sebuah kopel yang bekerja pada C_1, menimbulkan gaya gerak mengarah bidang tegak lurus terhadap sumbu magnit kumparan F_1 dan F_2. Secara bersamaan dengan posisi penunjuk pada p.f sama dengan 1. Sedangkan pada C_2 tidak ada kopel.

Sekarang anggap bahwa p.f = 0, yaitu I lagging 90° terhadap V. Dalam hal ini I_2 dibuat sefasa dengan I sedangkan I_1 berbeda fasa 90° dengan I. Akibatnya, tidak ada kopel pada C_1 tetapi akan timbul kopel pada C_2 sehingga bidangnya tegak lurus terhadap sumbu megnetis F_1 dan F_2.

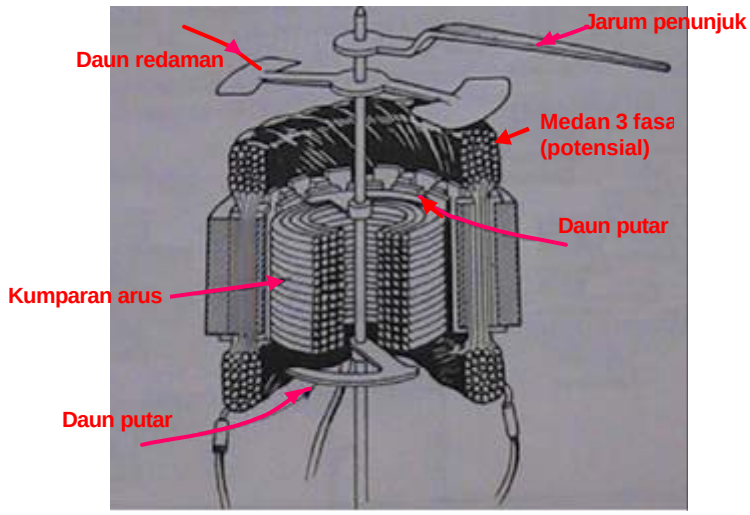
Pada harga p.f pertengahan, simpangan penunjuk akan bersesuaian dengan simpangan sudut p.f, yaitu F, atau cos F. Jika instrumen ini dikalibrasi langsung menunjukkan besarnya p.f.

Pada beban seimbang 3 fasa, instrumen ini dimodifikasi sedemikian agar C1 dan C2 bersudut 120° satu sama lain, bukannya 90° seperti pada supply fasa tunggal. Seperti terlihat pada gambar 4-28, C_1 dan C_2 dihubungkan seri terhadap fasa ketiga (sehingga mengalirkan arus line). Karena tidak diperlukan fasa bercelah diantara arus-arus pada C_1 dan C_2, I_1 dan I_2 tidak ditentukan oleh circuit fasa bercelah (fasa splitting), akibatnya instrumen ini tidak akan berpengaruh oleh perubahan frekuensi maupun bentuk gelombang arus.



Gambar 4-28. Rangkaian alat ukur faktor daya tiga fasa

Alat ukur faktor daya dengan daun terpolarisasi (*polarized vane power-faktor meter*) ditunjukkan dalam sketsa konstruksi gambar 4-29. Instrumen ini terutama digunakan dalam sistem daya tiga fasa sebab prinsip kerjanya bergantung pada pemakaian tegangan tiga fasa.



Gambar 4-29. Alat ukur faktor daya tipe daun terpolarisasi

Kumparan luar adalah kumparan potensial yang dihubungkan ke antaran-antaran sistem tiga fasa. Penyambungan tegangan tiga fasa ke kumparan potensial menyebabkan bertindak seperti

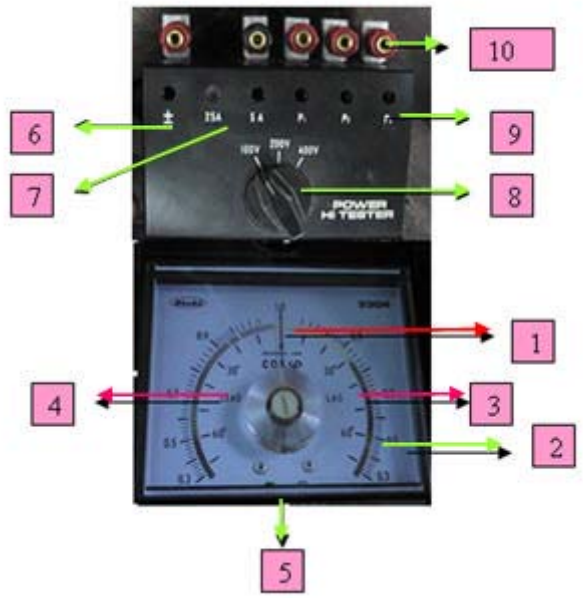
stator motor induksi tiga fasa sewaktu membangkitkan fluksi magnit berputar. Kumparan ditengah atau kumparan arus dihubungkan seri dengan salah satu antaran fasa, dan ini *mempolariser* daun-daun besi. Daun-daun terpolarisasi bergerak di dalam medan magnit berputar dan mengambil suatu posisi dimana medan putar pada suatu saat mempunyai fluksi polarisasi paling besar (maksimal). Posisi ini merupakan indikasi sudut fasa dan berarti indikasi faktor daya.

Instrumen ini dapat digunakan dalam sistem satu fasa dengan syarat bahwa rangkaian pemisah fasa (serupa dengan yang digunakan dalam motor satu fasa) ditambahkan untuk membangkitkan medan magnit putar yang diperlukan.

Konstruksi faktor daya digambarkan gambar 4-30. dapat digunakan untuk satu fasa maupun tiga fasa. Alat tersebut mempunyai range tegangan dan arus seperti tertera pada tabel 4-3.

Tabel 4-3. Range tegangan dan arus

Range Tegangan dan Arus	
100 V	85 – 160 V
200 V	160 – 320 V
400 V	320 – 500 V
1 A	0,1 – 2 A
5 A	0,5 – 10 A
25 A	2,5 – 50 A



Gambar 4-30 Konstruksi faktor daya (Cos ? meter)

Seperti ditunjukkan pada gambar 4-30, alat ukur Cos ? meter bagian-bagian eksternalnya dijelaskan sebagai berikut :

(1) Jarum penunjuk
(2) Kaca : difungsikan untuk mengeliminir kesalahan parallax dalam pembacaan.
(3) Skala : bagian kanan pada beban induktif, faktor dayanya ketinggalan (*lag*).
(4) Skala : bagian kiri pada beban kapasitif, faktor dayanya mendahului (*lead*).
(5) Tabel range tegangan dan arus, tabel ini digunakan untuk memilih tegangan pada selektor.
(6) Terminal arus, salah satu terminal diberi tanda (±) untuk menunjukkan bahwa terminal ini dihubungkan dengan terminal common tegangan, dan terminal arus yang lain mengindikasikan ukuran arus terukur.
(7) Terminal arus, untuk memilih batas ukur sesuai dengan besaran yang diukur.
(8) Selektor tegangan.
(9) Terminal tegangan : digunakan untuk menyambungkan tegangan. Terminal common tegangan diberi tanda (±), dan terminal tegangan yang lain mengindikasikan ukuran tegangan dipilih.
(10) Terminal untuk menghubungkan kawat penghantar.

4.9.3. Faktor Daya dan Daya

Secara umum daya listrik mengandung unsur resistansi dan reaktansi atau impedansi kompleks sehingga daya yang diserap tergantung pada sifat beban. Hal tersebut dikarenakan yang menyerap daya adalah beban yang bersifat resistif, sedang beban yang bersifat reaktif tidak menyerap daya. Dengan demikian perkalian antara tegangan efektif dengan arus efektif adalah merupakan daya semu (S)

$$S = V\,I \quad VA$$

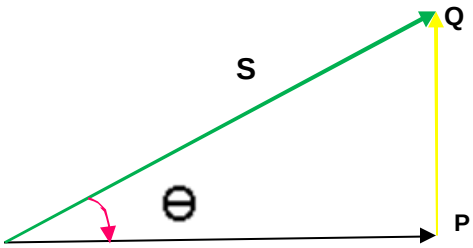
Sedangkan besarnya daya nyata (P) adalah :

$$P = V\,I\,\cos\theta \quad Watt$$

Disamping adanya daya nyata (P), daya semu (S), ada daya yang disebabkan oleh beban reaktif (Q), besarnya adalah :

$$Q = V\,I\,\sin\theta \quad VAR$$

Hubungan antara ketiga daya nyata, daya semu dan daya reaktif dapat dilukiskan dengan segitiga daya.

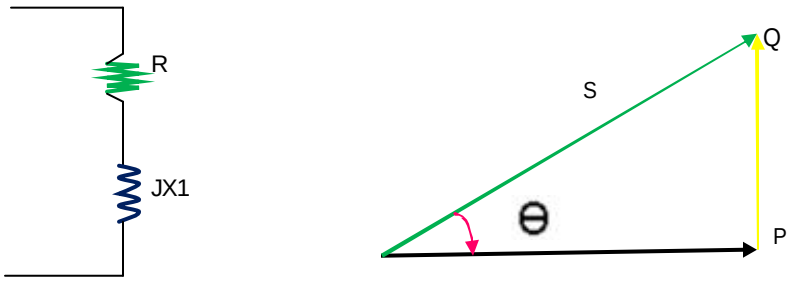


Gambar 4 – 30. Segitiga Daya

Perbandingan antara daya nyata dengan daya semu disebut dengan faktor daya

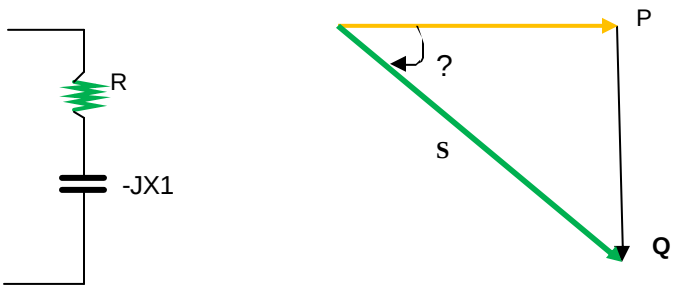
$$\text{Faktor daya} = \frac{P}{S} = \frac{V \cdot I \cdot \cos\theta}{V \cdot I} = \cos\theta$$

Sewaktu menyebut faktor daya dikatakan ketinggalan jika $\theta > 0$, karena arus ketinggalan dari tegangannya.



Gambar 4 – 31. Daya bersifat induktif

Demikian daya juga dikatakan mendahului jika $\theta < 0$, karena arusnya mendahului tegangannya.



Gambar 4 – 32. Daya bersifat kapasitif

Contoh Aplikasi :

1. Sebuah tahanan R = 22 Ω seri dengan reaktansi kapasitip X_C = 10 Ω mempunyai tegangan efektif sebesar 100 V. Tentukan informasi daya lengkap.

   Solusi :

   $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

   $= \sqrt{22^2 + 10^2} = 24{,}17\ \Omega$

   $$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{Z} = \frac{100}{24{,}17} = 4{,}137\ A$$

   $P = Ieff^2 \cdot R = 4{,}137^2 \cdot 22 = 376{,}52$ Watt

   $Q = Ieff^2 \cdot X_C = 4{,}137^2 \cdot 10 = 171{,}15$ VAR

   $S = Ieff^2 \cdot Z = 4{,}137^2 \cdot 24{,}17 = 413{,}66$ VA

2. Rangkaian terdiri dari tahanan R seri dengan elemen yang belum diketahui, mempunyai tegangan effektif sebesar 50 V, daya 30 Watt, dan faktor daya 0,707 menyusul. Tentukan besarnya elemen-elemen tersebut, bila rangkaian bekerja pada frekuensi 100 Hz.

   Solusi :

   $P = V_{eff} \cdot I_{eff} \cdot \cos\theta$

   $30 = 50 \cdot I_{eff} \cdot 0{,}707$

   $$I_{eff} = \frac{30}{50 \cdot 0{,}707} = 0{,}8486\ A$$

   $P = I_{eff}^2 \cdot R$

   $$30 = (0{,}8486)^2 \cdot R \rightarrow R = \frac{30}{(0{,}8486)^2} = 41{,}659\ \Omega$$

   Cos θ = 0,707 menyusul berarti bebannya induktif

   $\theta = \text{arc Cos } 0{,}707 = 45°$

   $Z = R + j X_L \rightarrow X_L = R\ Tg\ 45° = 41{,}659\ \Omega$

   $\omega L = 2 \pi f L$

$$L = \frac{\omega L}{2\pi f} = \frac{41{,}659\ \Omega}{2\pi .100}$$

$$= 66{,}30\ mH$$

Atau :

$$Z = \frac{V\ eff}{I\ eff} = \frac{50}{0{,}8486} = 58{,}9205\ \Omega\ <\ 45°$$

$$\cos\theta = \frac{R}{Z}$$

$$R = 58{,}9205 .\ 0{,}707$$

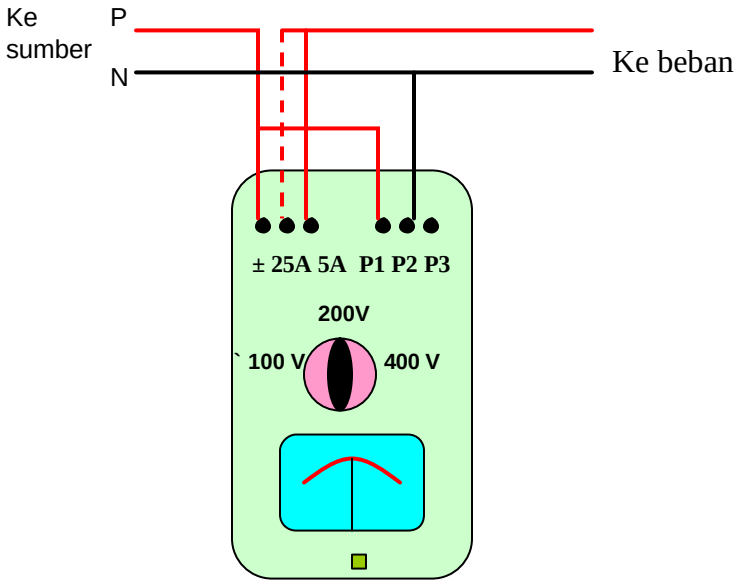
$$= 41{,}656\ \Omega$$

4.9.4. Prosedur Pengoperasian Cos ? Meter

4.9.4.1. Pengukuran Faktor Daya (Cos ?) satu fasa :

Hubungkan kumparan arus secara seri terhadap beban. Dengan cara menghubungkan terminal kumparan arus (.±) ke sumber tegangan, sedangkan ujung kumparan arus yang lain (A, pilih besar arus sesuai dengan tabel 4-3) dihubungkan ke beban.

- Hubungkan kumparan tegangan secara parallel dengan beban. Dengan cara menghubungkan terminal kumparan tegangan (±) ke (P_1), sedangkan ujung terminal tegangan yang lain (P_2) dihubungkan ke ujung beban yang lainnya.
- Pilih selektor tegangan sesuai dengan tegangan sumber yang akan diukur faktor dayanya (perhatikan tabel 4-3).
- Jika jarum penunjuk bergerak kearah kiri, berarti sifat bebanya kapasitif, maka faktor dayanya mendahului (*lead*).
- Jika jarum penunjuk bergerak kearah kanan, berarti sifat bebanya induktif, maka faktor dayanya ketinggalan (*lag*) lebih jelasnya perhatikan gambar 4-33.

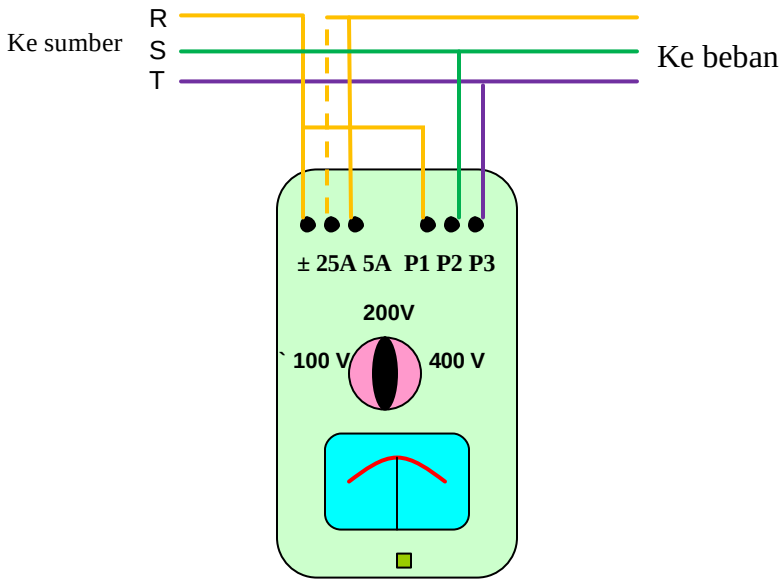


Gambar 4-33 Pengukuran faktor daya satu fasa

4.9.4.2. Pengukuran Faktor Daya (Cos ?) tiga fasa :

Hubungkan kumparan arus secara seri terhadap beban. Dengan cara menghubungkan terminal kumparan arus (±) ke sumber tegangan, sedangkan ujung kumparan arus yang lain (A, pilih besar arus sesuai dengan tabel 4-3) dihubungkan ke beban.

- Hubungkan kumparan tegangan secara parallel dengan beban. Dengan cara menghubungkan terminal kumparan tegangan (±) ke (P_1 dan R), ujung terminal tegangan yang lain dihubungkan ke ujung beban yang lainnya, sedangkan (P_2 dan S) serta (P_3 dan T) dihubungkan ke sumber maupun ke beban.
- Pilih selektor tegangan sesuai dengan tegangan sumber yang akan diukur faktor dayanya (perhatikan tabel 4-3).
- Jika jarum penunjuk bergerak kearah kiri, berarti sifat bebanya kapasitif, maka faktor dayanya mendahului (*lead*).
- Jika jarum penunjuk bergerak kearah kanan, berarti sifat bebanya induktif, maka faktor dayanya ketinggalan (*lag*) lebih jelasnya perhatikan gambar 4-34.



Gambar 4-34 Pengukuran faktor daya tiga fasa

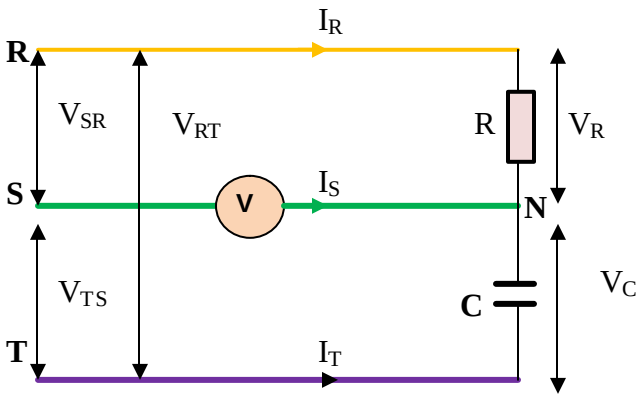
4.10. Metode Menentukan Urutan Fasa

4.10.1. Kawat Penghantar Tiga Fasa

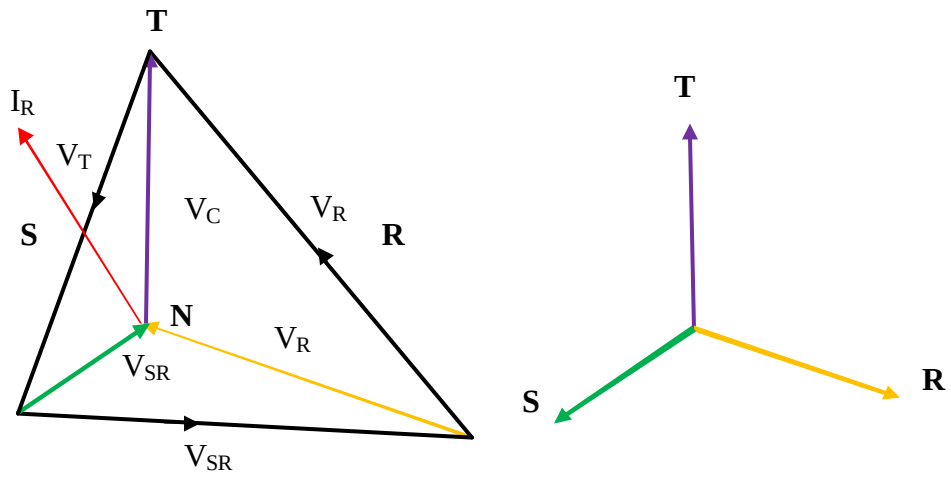
Sebuah sumber berfasa tiga adalah sumber yang mempunyai tiga tegangan yang sama, tetapi berbeda fasa 120^0 terhadap satu sama lain. Dari ketiga macam fasa terdapat bermacam-macam notasi, yaitu :

Fasa I : 1 atau A atau R
Fasa II : 2 atau B atau S
Fasa III : 3 atau C atau T

Untuk mengetahui mana fasa R, fasa S, atau fasa C dapat digunakan dengan metode sebagai berikut :

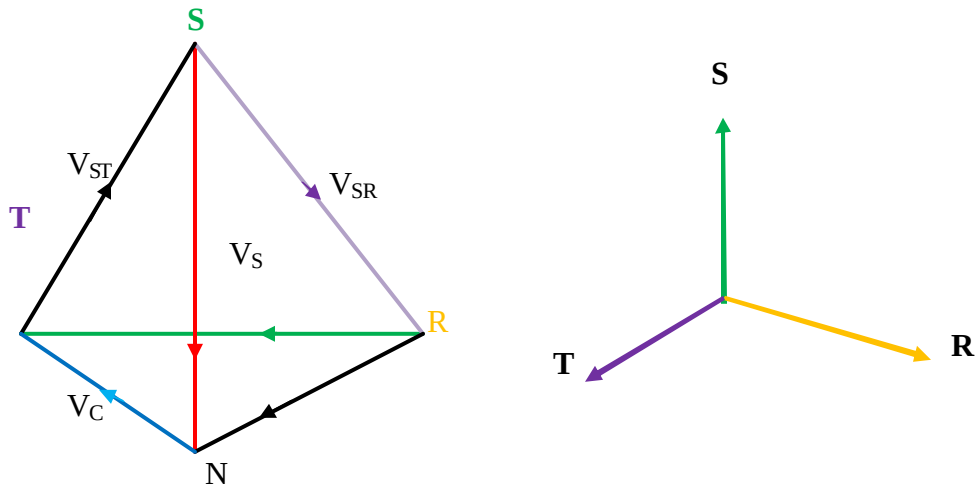


Gambar 4-36. Metode menentukan urutan fasa dengan R dan C



Gambar 4–37. Phasor diagram saat urutan fasa

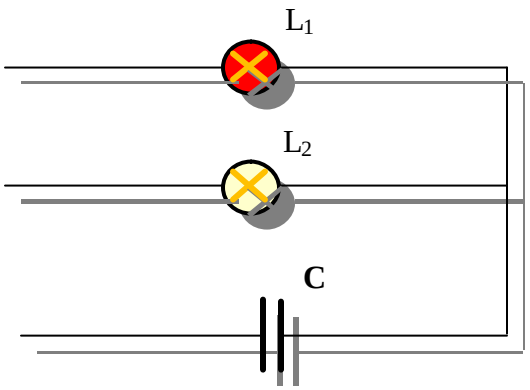
Jika urutan fasa seperti gambar 4-37 (urutan yang benar) maka besarnya tegangan yang terukur pada volt meter SN lebih kecil dari harga-harga V_C dan V_R atau lebih kecil dari $V_{RT.}$ I_R mendahului V_{RT} dengan sudut 45° dan berada di dalam segitiga tegangan. Jika fasa R dan T dibalik akan diperoleh urutan fasa yang terbalik (perhatikan gambar 4-38).



Gambar 4–38. Phasor diagram saat urutan fasa tidak

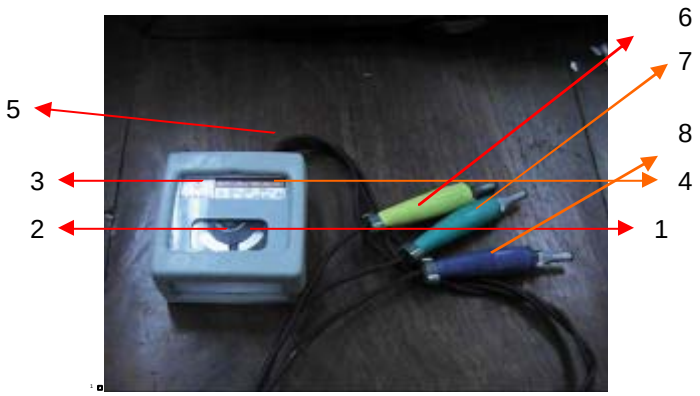
4-38 I_R tetap mendahului V_{RT}, tetapi berada di luar segitiga tegangan. Hal ini mengakibatkan besarnya tegangan S_N (tegangan

pada voltmeter) jauh lebih besar dibanding dengan tegangan V_{RT} (tegangan *Line*).
Disamping metode di atas dapat juga digunakan metode lain, yaitu dengan menggunakan dua buah lampu pijar dengan daya yang sama dan sebuah kapasitor. Indikasi urutan fasa ditunjukkan dengan kondisi :
Lampu yang terang merupakan urutan fasa I
Lampu yang redup merupakan urutan fasa II
Pada C adalah urutan fasa III.



Gambar 4-39. Metode menentukan urutan fasa dengan lampu

Adapun alat ukur yang digunakan untuk mengetahui urutan fasa adalah indikator test urutan fasa. Gambar 4-40 menggambarkan konstruksi indikator test urutan fasa.



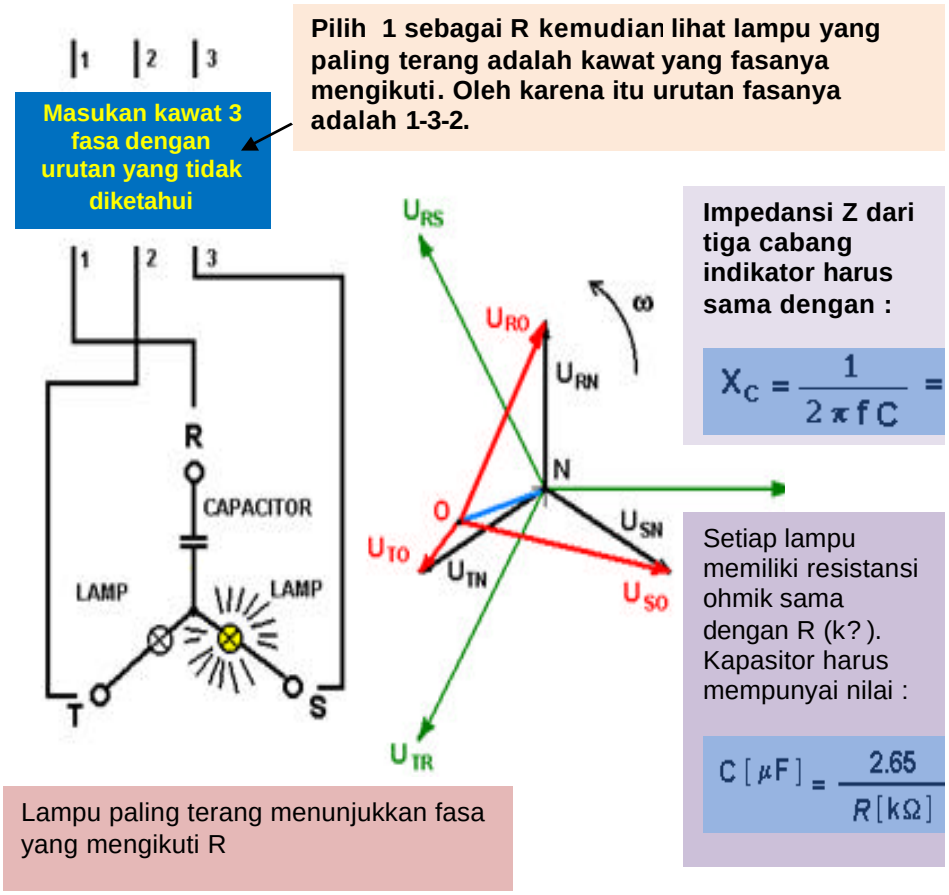
Gambar 4-40. Konstruksi indikator test urutan fasa

Seperti ditunjukkan pada gambar 4-40, alat ukur indikator test urutan fasa bagian-bagian externalnya dijelaskan sebagai berikut :
(1) Piringan yang berputar
(2) Arah panah piringan yang berputar

(3) Range tegangan yang tersedia
(4) Range frekuensi yang tersedia
(5) Kabel penghubung dari indikator test urutan fasa ke masing-masing fasa
(6) Fasa R atau 1 atau A warna kuning
(7) Fasa S atau 2 atau B warna hijau
(8) Fasa T atau 3 atau C warna ungu

4.10.2. Prinsip Dasar Alat Indikator Urutan Fasa

Indikator urutan fasa ini mampu untuk menentukan urutan sistem 3 fasa 3 kawat. Karena supply 3 fasa – 3 kawat harus diketahui urutan fasanya. dengan indikator urutan fasa sederhana dapat menemukan fasa mana yang dipilih untuk diikuti dengan benar.



Gambar 4-41. Prinsip indikator urutan fasa

4.10.3. Cara Kerja Alat

Cara kerja rangkaian sangat sederhana berdasarkan phasor bidang kompleks. Menghubungkan tiga reaktansi yang sama

nilainya ke dalam susunan sistem tiga bintang tanpa kabel netral. Jika semua reaktansi positip sistem akan seimbang dan tidak ada tegangan pada titik netral. Namun arus kapasitor akan tertinggal 90° terhadap tegangan, sehingga sistem tidak lama seimbang dan titik netral 0 mempunyai tegangan (Von).
Karena tegangan line konstan, fasa tegangan akan menyusun kembali dalam rangka memberi tegangan pada titik netral Von.
Secara matematis resolusi untuk 3 fasa – 3 kawat 3 X 220 V.

UL = tegangan line (220 V dari 3 X 220 V system bintang) **Urs, Ust, Utr**

UF = tegangan fasa (UL / $\sqrt{3}$) = 127 V, Urn, Usn, Utn
Zr = Xc ; Zs = R dan Zt = R impedansi indikator
Yr = 1/Zr ‘ Ys = 1/Zs ; Yt = 1/Zt admitansi percabangan

Ini memungkin ditunjukkan titik 0 dari indikator hubungan bintang, yang akan mendapatkan tegangan Uon berkaitan dengan kawat netral N disupply :
Uon = (Urn. Yr + Usn.Ys + Utn.Yt)/(Yr + Ys) + Yt.

Oleh karena itu, akan digantikan tegangan fasa baru terhadap titik netral menggantikan referensi terhadap N. Tegangan fasa percabangan :

Uro = Urn - Uon
Uso = Usn - Uon
Uto = Utn – Uon

arus fasa percabangan (arus line)
Ir = Uro . Yr
Is = Uso . Ys
It = Uto . Yt

Sekarang verifikasi bahwa titik netral telah tergantikan :
Uro + Uso + Uto = - 3 . Uon
dan sebagai tegangan line konstan :
Urs = Uro - Uso
Ust = Uso - Uto
Uto = Uto - Uro

Dikerjakan secara matematika dan mengingat bahwa ini berkaitan dengan phasor bidang kompleks maka akan diperoleh :

UL = 220 v ; **Uf = 127 Volt**
Uro = 170 v (indikator percabangan kapasitor)
Uso = 190 v (cabang yang mengikuti percabangan kapasitor)
Uto = 51 v (cabang yang mengikuti cabang dengan lampu yang diterang)

Sebagaimana yang terlihat percabangan dengan tegangan terbesar (asumsikan indikator telah dihubungkan dalam urutan yang benar RST). Cabang dengan 190 Volt, misal lampu akan lebih terang dari pada yang hanya 51 Volt. Oleh karena itu fasa yang mengikuti percabangan kapasitor adalah yang dihubungkan pada terminal dengan lampu yang paling terang. Juga mungkin perlu diketahui mengapa harus menggunakan lampu pijar dengan tegangan yang sama, dengan tegangan line misal 190 – 220 Volt. Karena jika digunakan lampu pijar indikator 127 Volt akan bekerja namun, tidak diinginkan untuk membeli lampu baru setiap menggunakan peralatan untuk pengujian.

Catatan :
Dalam pengujian urutan fasa ini akan membutuhkan 2 lampu pijar dengan tegangan kerja sama dengan sistem tegangan line missal 3 X 380 Volt rating tegangan 380 Volt, dalam sistem 3 X rating 220 Volt. Kapasitor juga dengan tegangan kerja AC dengan rating tegangan sama dengan dua kali tegangan line (menjadikan lebih aman). Tiga elemen dihubungkan dalam hubungan bintang namun tanpa kabel netral. Mengukur resistansi kontak ohmik R dari lampu pijar. Kondisi sesuai bila ketiga reaktansi sama, sehingga reaktansi kapasitip menjadi :
XC = **R** and **Xc = 1 / (2.?. f . C)** sehingga :
C = 1 / (2. ? . f . R)
dengan **R** dalam kilo ohms, **C** dalam mikro farad dan f = 50 Hz ,
didapatkan nilai kapasitor
C [uF] = **1 / (0.12 ? R) = 3.185 / R** [kohm]

Contoh lain yang ada dipasaran

http://www.tesco-advent.com/tesco-phase-sequence.html

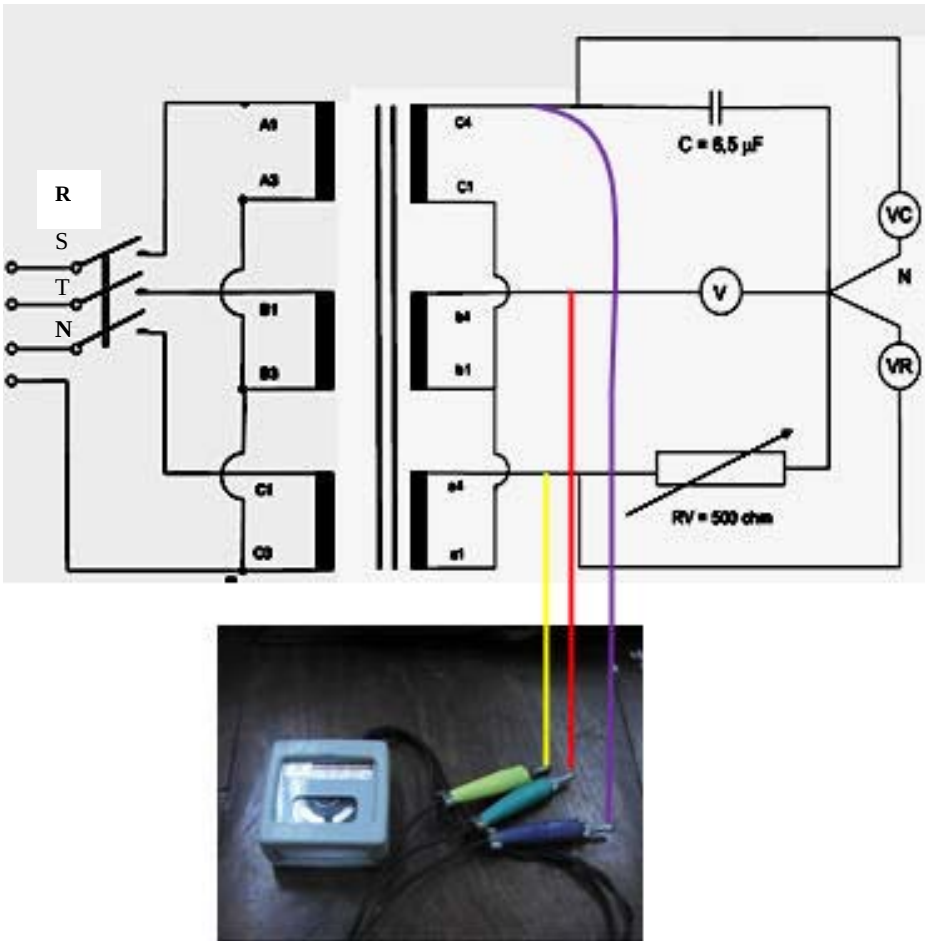
http://www.knoppinc.com/phase_seq.htm

Gambar 4-42. Contoh indikator urutan fasa yang lain

4.10.4. Prosedur Pengoperasian Alat

Gambaran prosedur pengoperasian indikator test urutan fasa sebagai brikut :

- Digunakan transformator tiga fasa, dengan rangkaian seperti gambar 4- 43.

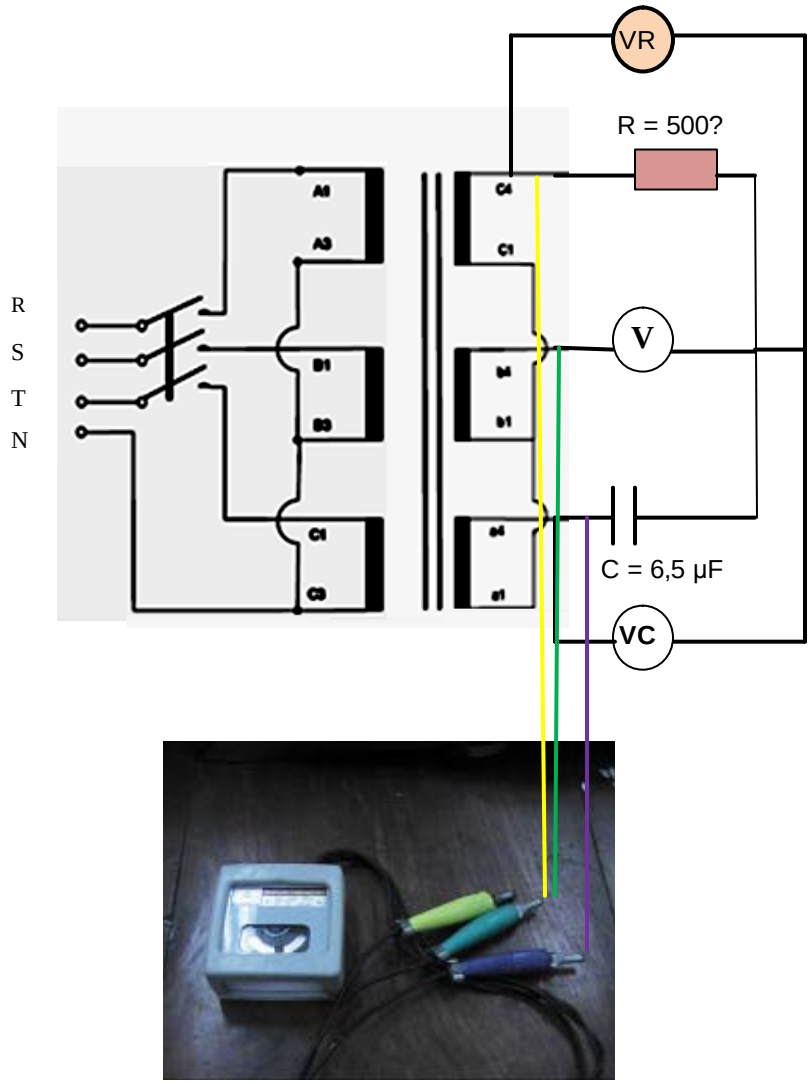


Gambar 4 – 43. Pengoperasian indikator test urutan fasa dengan R dan C pada urutan benar

- Teliti rangkaian, jika telah yakin sumber tegangan AC 3 fasa dihubungkan. R_V diatur hingga diperoleh harga $V_R = V_C$, kemudian catat besarnya tegangan penunjukan V_R, V_C dan V. Apabila besarnya V lebih kecil dari V_R dan V_C, dan lead indikator urutan fasa dihubungkan dengan posisi R pada terminal a_4 ;S pada terminal b_4 ; dan T pada terminal c_4 , maka arah putaran piringan dari lead indikator urutan fasa ke kanan (searah jarum

jam). Dengan demikian urutan fasanya sudah betul, dan urutan fasanya adalah R S T.

- Selanjutnya sumber tegangan dimatikan, beban kapasitor dipindahkan pada terminal a_4 ; resistor pada terminal c_4. Lead indikator posisinya juga dipindahkan.

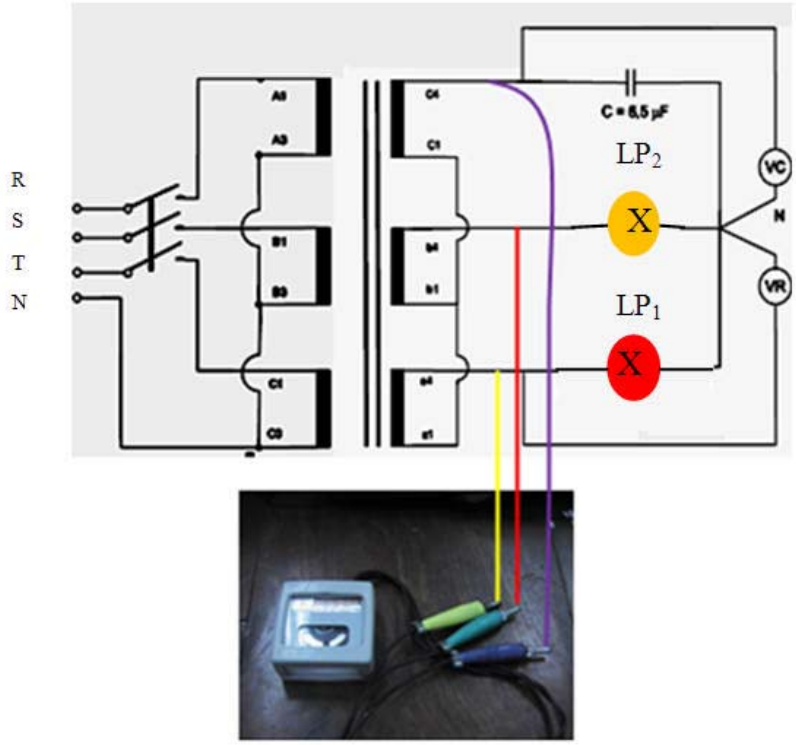


Gambar 4 – 44 Pengoperasian indikator test urutan fasa dengan R dan C pada urutan salah

- Sumber tegangan 3 fasa dihidupkan, besarnya tegangan penunjukan V_R, V_C dan V dicatat. Apabila besarnya V lebih besar dari V_R dan V_C, dan lead indikator urutan fasa

dihubungkan dengan posisi R pada terminal c_4 ; S pada terminal b_4 ; dan T pada terminal a_4 , maka arah putaran piringan dari lead indikator urutan fasa ke kiri (berlawanan arah jarum jam). Dengan demikian urutan fasanya salah, dan urutan fasanya T S R .

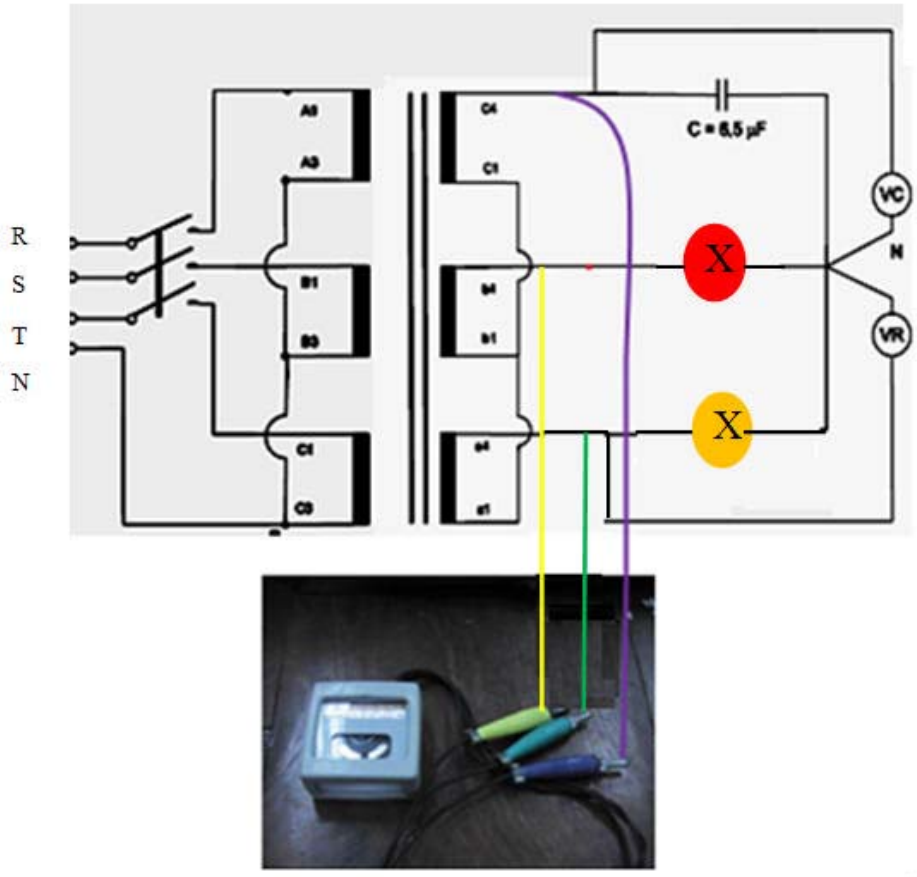
- Dapat pula gambar 4-43 dilakukan dengan cara mengganti resistor dengan lampu pijar LP_1 pada terminal a_4; Voltmeter dengan lampu pijar LP_2 pada terminal b_4; posisi lead indikator tetap.



Gambar 4 – 45. Pengoperasian indikator test urutan fasa dengan lampu pada urutan benar

- Sumber tegangan 3 fasa dihidupkan, lampu yang terang LP_1 dan yang redup LP_2, arah putaran piringan dari lead indikator urutan fasa ke kanan (searah jarum jam). Dengan demikian urutan fasanya sudah betul, dan urutan fasanya adalah R S T.

❖ Selanjutnya sumber tegangan dimatikan , kemudian beban dipindahkan : lampu pijar LP_2 pada terminal c_4, kapasitor C pada terminal b_4, dan posisi lead indikator tetap.



Gambar 4 – 46 Pengoperasian indikator test urutan fasa dengan lampu pada urutan salah

❖ Sumber tegangan 3 fasa dihidupkan, lampu yang terang LP_2 dan yang redup LP_1, arah putaran piringan dari lead indikator urutan fasa ke kiri (berlawanan arah jarum jam). Dengan demikian urutan fasanya salah, dan urutan fasanya adalah S R T.

BAB 5 PENGUJI TAHANAN ISOLASI DAN KUAT MEDAN

Tujuan

Setelah mengikuti pembahasan tentang penguji tahanan isolasi dan kuat medan, para pembaca diharapkan dapat :

1. Mampu menjelaskan prinsip dasar tahanan isolasi
2. Mampu menjelaskan cara mengukur tahanan pentanahan
3. Mampu menjelaskan prinsip dasar alat ukur medan

Pokok Bahasan

Tananan isolasi merupakan hal yang harus diperhatikan saat memasang instalasi listrik dengan menggunakan kawat tertutup. Demikian pula tahanan pentanahan juga harus diperhatikan. Kedua hal tersebut oleh konsumen sering diabaikan sehingga sering berakibat fatal bagi penggunanya. Oleh karena itu cara-cara pengukurannya perlu diketahui.

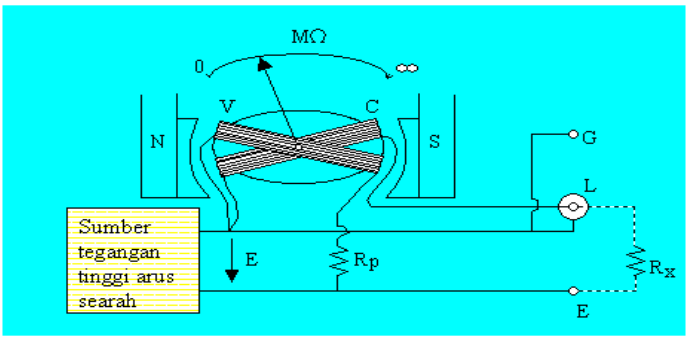
Pelepasan muatan elektrostatik merupakan masalah utama pada kebanyakan tempat kerja yang menggunakan teknologi mikro elektronik, sebagai contoh Microchips. Pelepasan muatan elektrostatik juga sangat berbahaya untuk beberapa cabang industri, sebagai contoh industri telekomunikasi, industri plastik dan industri pembuatan bahan peledak. Pengisian muatan listrik lebih dari 10.000 V dapat membahayakan manusia, bahan dan peralatan.

Elektrostatik field meter digunakan untuk pengukuran pengisian muatan listrik pada suatu obyek secara ”non kontak”. Alat ini mengukur medan elektrostatik dari suatu obyek dalam satuan Volt, dan banyak digunakan dalam industri kontrol statik.

5.1. Pengujian Tahanan Isolasi

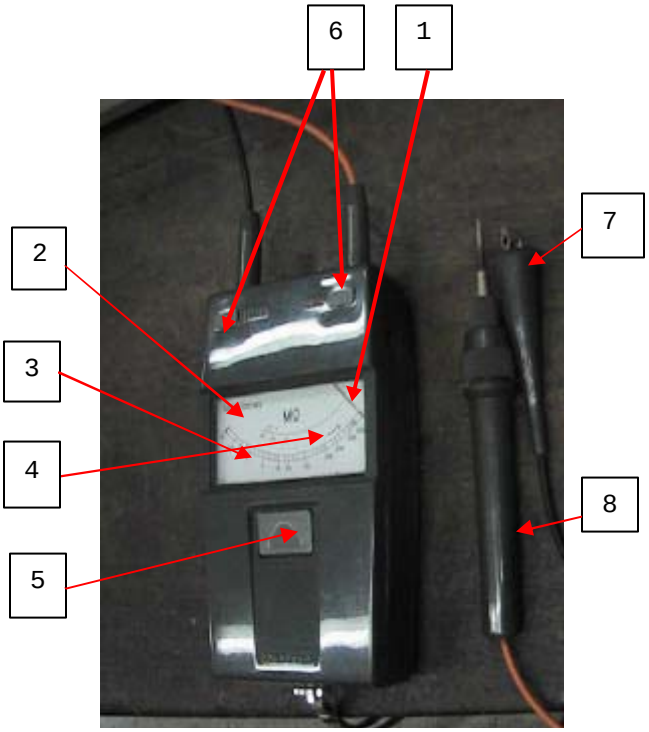
Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan tanah (*ground*). Pengukuran tahanan isolasi digunakan untuk memeriksa status isolasi rangkaian dan perlengkapan listrik, sebagai dasar pengendalian keselamatan. Secara prinsip penguji tahanan isolasi adalah dua kumparan V dan C yang ditempatkan secara menyilang gambar 5 -1. Kumparan V

besarnya arus yang mengalir adalah E/Rp dan kumparan C besarnya arus yang mengalir adalah E/Rx. Rx adalah tahanan yang akan diukur. Jarum akan bergerak disebabkan oleh perbandingan dari kedua arus, yaitu sebanding dengan Rp/Rx atau berbanding terbalik terhadap tahanan yang akan diukur.



Gambar 5 – 1 Pengujian tahanan isolasi

Variasi tegangan tidak akan berpengaruh banyak terhadap harga pembacaan, karena hasilnya tidak ditentukan dari sumber tegangan arus searah. Sumber tegangan arus searah adalah sumber tegangan tinggi, yang dihasilkan dari pembangkit yang diputar dengan tangan. Umumnya tegangannya adalah 100, 250, 500, 1000 atau 2000 V. Sedangkan daerah pengukuran yang efektif adalah 0,02 sampai 20 MO dan 5 sampai 5.000 MO. Tetapi sekarang pengujian tahanan isolasi menggunakan sumber tegangan tinggi dari tegangan tetap sebesar 100 sampai 1.000 V yang didapat dari baterai sebesar 8 sampai 12 V dan disebut alat pengujian tahanan isolasi dengan baterai. Alat ini membangkitkan tegangan tinggi lebih stabil dibanding dengan yang menggunakan generatar diputar dengan tangan.



Gambar 5–2 Konstruksi penguji tahanan isolasi menggunakan baterai

Seperti ditunjukkan pada gambar 5-2, alat ukur penguji tahanan isolasi bagian-bagian externalnya dijelaskan sebagai berikut :

(1) Jarum penunjuk
(2) Kaca, difungsikan untuk mengeliminir kesalahan parallax dalam pembacaan.
(3) Skala
(4) Check baterai
(5) Tombol pengaktif meter
(6) Lubang line untuk colok oranye dan lubang earth untuk colok hitam
(7) Probe meter dengan penjepit
(8) Probe meter runcing, juga sebagai pencolok pengecekan beterai.

5.1.1. Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi untuk perlengkapan listrik menggunakan pengujian tahanan isolasi, yang mana pengoperasiannya pada waktu perlengkapan rangkaian listrik tidak bekerja atau tidak dialiri arus listrik. Secara umum bahan isolasi yang digunakan sebagai pelindung dalam saluran listrik atau sebagai pengisolir bagian satu dengan bagian lainnya harus memenuhi syarat-syarat yang sudah ditentukan. Harga tahanan isolasi antara dua saluran kawat pada

peralatan listrik ditetapkan paling sedikit adalah 1000 x harga tegangan kerjanya. Misal tegangan yang digunakan adalah 220 V, maka besarnya tahanan isolasi minimal sebesar : 1000 x 220 = 220.000 O atau 220 KO. Ini berarti arus yang diizinkan di dalam tahanan isolasi 1 mA/V. Apabila hasil pengukuran nilai lebih rendah dari syarat minimum yang sudah ditentukan, maka saluran/kawat tersebut kurang baik dan tidak dibenarkan kalau digunakan. Waktu melakukan pengukuran tahanan isolasi gunakan tegangan arus searah sebesar 100 V atau lebih, ini disebabkan untuk mengalirkan arus yang cukup besar dalam tahanan isolasi. Di samping untuk menentukan besarnya tahanan isolasi, nilai tegangan ukur yang tinggi juga untuk menentukan kekuatan bahan isolasi dari saluran yang akan digunakan. Walaupun bahan-bahan isolasi yang digunakan cukup baik dan mempunyai tahanan isolasi yang tinggi, tetapi masih ada tempat-tempat yang lemah lapisan isolasinya, maka perlu dilakukan pengukuran.

5.1.2. Prosedur Pengujian Tahanan Isolasi

Sebelum menggunakan alat pengujian tahanan isolasi perlu dilakukan langkah sebagai berikut :

1. Melakukan pengecekan kondisi batere meter dengan menghubungkan colok oranye ke line dan B check (gambar 5- 3). Baterai masih dalam kondisi baik, jika jarum menunjuk pada tanda huruf B di peraga meter (gambar 5-4).

Gambar 5-3 Pengecekan kondisi baterai

Gambar 5-4 Baterai dalam kondisi baik

2. Meter siap digunakan, dengan menghubungkan colok oranye ke lubang line dan colok hitam ke lubang earth (gambar 5-5).

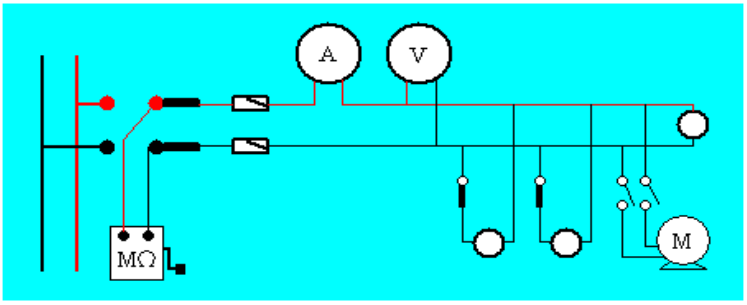
Gambar 5-5 Meter siap digunakan

Gambar 5-6 Mengukur tahanan isolasi

3. Yakinkan bahwa kawat yang akan diukur tahanan isolasinya tidak terhubung dengan sumber tegangan (tidak berarus)
4. Hubungkan colok oranye dan colok hitam dengan ujung-ujung kawat yang akan diukur tahanan isolasinya, tekan tombol pengaktif meter dan baca penunjukkan jarum (gambar 5-6).

5.1.3. Pengujian Tahanan Isolasi Pada Instalasi Listrik

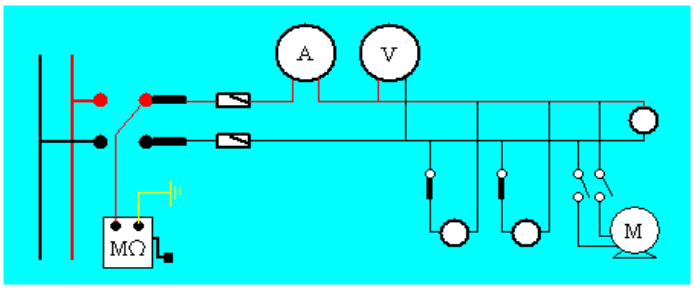
Jika kawat listrik terdiri dari dua kawat saluran misal kawat fasa dan kawat nol N, maka tahanan isolasinya adalah : (1) antara kawat fasa dengan kawat nol N, (2) antara kawat fasa dengan tanah G, (3) antara kawat nol N dengan tanah G. Pada saat melakukan pengukuran tahanan isolasi antara fasa dan nol N, hal pokok yang perlu diperhatikan adalah memutus semua alat pemakai arus yang terpasang secara paralel pada saluran tersebut.



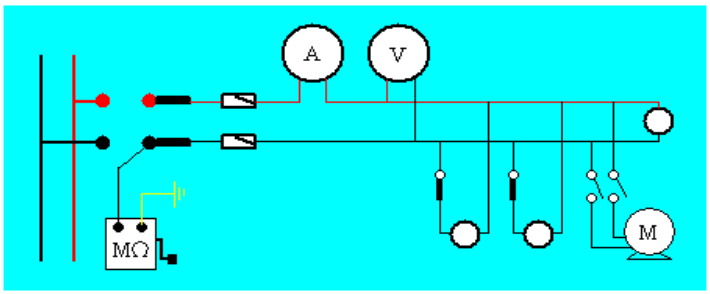
Gambar 5 – 7 Pengukuran tahanan isolasi antara fasa dengan nol N

Contoh : lampu-lampu, motor-motor, voltmeter, dan sebagainya. Sebaliknya semua alat pemutus seperti : kontak, penyambung-penyambung, dan sebagainya yang tersambung secara seri harus ditutup.

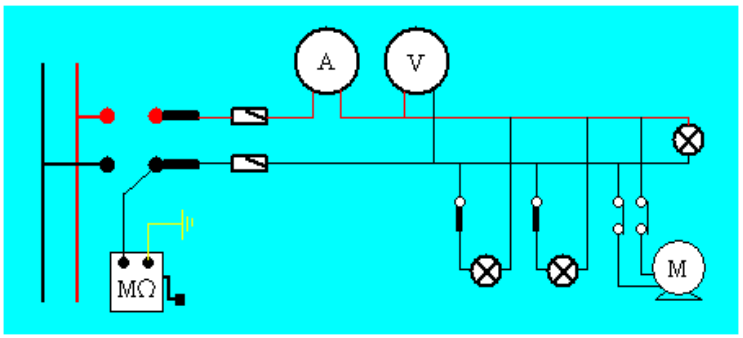
Di samping digunakan untuk mengetahui keadaan tahanan isolasi, juga untuk mengetahui kebenaran sambungan yang ada pada instalasi. Jika terjadi sambungan yang salah atau hubung singkat dapat segera diketahui dan diperbaiki. Gambar 5 - 8 di bawah mencontohkan pengukuran tahanan isolasi pada instalasi listrik bangunan baru.



Gambar 5 - 8 Pengukuran tahanan isolasi antara fasa dengan tanah G



Gambar 5 - 9 Pengukuran tahanan isolasi antara nol N dengan tanah G



Gambar 5-10 Pengukuran tahanan isolasi antara instalasi dengan tanah G

5.2. Tahanan Pentanahan (Earth Ground Resistance)

Tahanan pentanahan merupakan hal yang tidak boleh diabaikan dalam pemasangan jaringan instalasi listrik . Pentanahan yang kurang baik tidak hanya membuang-buang waktu saja, tetapi pentanahan yang kurang baik juga berbahaya dan meningkatkan resiko kerusakan peralatan. Tanpa sistem pentanahan yang effektif, maka akan dihadapkan pada resiko kejutan listrik, disamping itu juga mengakibatkan kesalahan instrumen, distorsi harmonik. masalah faktor daya dan delima kemungkinan adanya intermitten. Jika arus gangguan tidak mempunyai jalur ke tanah melalui sistem pentanahan yang di desain dan dipelihara dengan baik, arus gangguan akan mencari jalur yang tidak diinginkan termasuk manusia.

Gambar 5 – 11 Elektroda yang mempunyai pengaruh lapisan

Organisasi pemberi rekomendasi standar untuk kemananan pentanahan

- OSHA (Occupational Safety Health Administration)
- NFPA (National Fire Protection Association)
- ANSI/ISA (American National Standards Institute and Instrument Society of America)
- TIA (Telecommunications I ndustry Association)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Sebaliknya, pentanahan yang baik tidak hanya sekedar untuk keselamatan; tetapi juga digunakan untuk mencegah kerusakan peralatan industri. Sistem pentanahan yang baik akan meningkatkan reliabilitas peralatan dan mengurangi kemungkinan kerusakan akibat petir dan arus gangguan. Miliyaran uang telah hilang tiap tahunnya di tempat kerja karena kebakaran akibat listrik. Kerugian-kerugian di atas tidak termasuk biaya pengadilan dan

hilangnya produktivitas individu dan perusahaan.

5.2.1. Cara Menguji Sistem Pentanahan

Dalam waktu yang lama, tanah yang korosif dengan kelembaban tinggi, mengandung garam, dan suhu tinggi akan menurunkan batang pentanahan dan sambungan-sambungannya.

Walaupun sistem pentanahan saat awalnya dipasang mempunyai harga tahanan pentanahan ke tanah rendah, tahanan sistem pentanahan akan meningkat jika batang pentanahan rapuh. Alat ukur pentanahan, yang dibuat industri, adalah alat pencari kesalahan yang tidak diragukan guna membantu pemeliharaan. Masalah-masalah listrik yang sering mati berkaitan dengan pentanahan kurang baik atau kualitas daya yang rendah. Itulah sebabnya sangat dianjurkan semua pentanahan dan sambungan pentanahan harus diperiksa minimal satu tahun sekali sebagai bagian dari rencana pemeliharaan. Selama periode pemeriksaan, jika terjadi peningkatan nilai tahanan lebih dari 20 %, harus dilakukan pencarian sumber permasalahan dan dilakukan koreksi agar nilai tahanannya lebih rendah, dengan mengganti atau menambah batang pentanahan ke dalam sistem pentanahan.

Gambar 5 – 12 Tanah yang korosif

5.2.2. Pentanahan dan Fungsinya

NEC, *National Electrical Code* (Kitab Undang-undang Kelistrikan Nasional), Pasal 100 mendefinisikan pentanahan. Pentanahan sebagai: “membuat hubungan, baik sengaja ataupun tidak sengaja antara rangkaian listrik dan tanah, atau menghubungkan dengan benda konduksi yang berada di tanah.” Ketika berbicara tentang pentanahan, sebenarnya ada dua

subjek yang berbeda: pentanahan bumi dan pentanahan alat. Pentanahan bumi adalah hubungan sengaja dari rangkaian konduktor, biasanya netral, ke elektroda tanah yang ditempatkan di bumi. Peralatan pentanahan menjamin kerja peralatan dalam struktur bangunan ditanahkan dengan baik. Kedua sistem pentanahan perlu dijaga terpisah kecuali untuk sambungan antara kedua sistem. Ini untuk mencegah perbedaan tegangan potensial kemungkinan loncatan api kalau terjadi sambaran petir. Perlunya pentanahan disamping melindungi manusia, tanaman, dan peralatan juga untuk memperoleh jalur yang aman untuk penghamburan arus liar, sambaran petir, listrik statis, interferensi elektromagnetik (EMI) dan sinyal gangguan frekuensi radio (RFI).

Gambar 5 – 13 Sambaran petir

5.2.3. Nilai Tahanan yang Baik

Ada kerancuan antara pentanahan yang baik dan nilai tahanan yang seharusnya. Idealnya suatu pentanahan besar tahanannya nol ohm. Tidak ada satu standar mengenai ambang batas nilai tahanan pentanahan yang harus diikuti oleh semua badan. Tetapi badan NFPA dan IEEE telah merekomendasikan nilai tahanan pentanahan lebih kecil atau sama dengan 5 Ohm.

Gambar 5 –14 Nilai tahanan pentanahan ideal

Badan NEC menyatakan bahwa untuk meyakinkan impedansi sistem ke tanah besarnya kurang dari 25 Ohm dan tercantum dalam NEC 250.56. Fasilitas dengan peralatan yang sensitif nilai tahanan tanahnya harus 5 ohm atau kurang. Industri telekomunikasi telah mengguna-kan 5 ohm atau kurang sebagai nilai tahanan pentanahan dan sambungan. Tujuan nilai tahanan pentanahan adalah untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang serendah mungkin yang bisa dipertimbangkan baik secara ekonomis dan secara pisik

5.2.4. Dasar-dasar Pentanahan

5.2.4.1. Komponen elektroda pentanahan

Elektroda pentanahan umumnya dibuat dari bahan yang sangat konduktif/tahanan rendah seperti baja atau tembaga, besar tahanan elektroda tanah dan sambungannya umumnya sangat rendah sehingga arus mengalir tidak terhambat. Hubungan antara penghantar tanah dan elektroda tanah seperti gambar di bawah.

Gambar 5 – 15 Hubungan antara penghantar tanah dan elektroda tanah

Tahanan kontak tanah di sekitar elektroda menurut *National Institute of Standards* (lembaga pemerintah dalam Departemen Perdagangan AS) menunjukkan bahwa tahanan hampir dapat diabaikan dengan ketentuan bahwa elektroda pentanahan bebas cat, pelumas, dan lain-lain. Elektroda pentanahan harus dalam hubungan yang tetap dengan tanah.

Sedangkan tahanan tanah di sekitar elektroda, pentanahan dikelilingi tanah yang secara konseptual terbentuk dari sel-sel yang melingkari semuanya memiliki ketebalan sama. Sel-sel yang paling dekat dengan elektroda pentanahan memiliki jumlah area terkecil yang menghasilkan tingkat tahanan terbesar. Masing-masing sel berikutnya membentuk area lebih besar yang menghasilkan tahanan lebih rendah. Pada akhirnya ini akan mencapai titik dimana sel-sel tambahan menawarkan tahanan kecil ke tanah di sekitar elektroda pentanahan. Jadi berdasarkan informasi ini,maka akan difokus pada cara-cara untuk mengurangi tahanan tanah ketika memasang sistem pentanahan.

5.2.4.2. Hal-hal yang mempengaruhi tahanan tanah

Pertama, *NEC code* (1987, 250-83-3) mensyaratkan panjang elektroda pentanahan minimum 2,5 meter (8 kaki) dihubungkan dengan tanah. Ada empat variabel yang mempengaruhi tahanan sistem pentanahan, yaitu:

1. Panjang/kedalaman elektroda pentanahan

Satu cara yang sangat efektif untuk menurunkan tahanan tanah adalah memperdalam elektroda pentanahan. Tanah tidak tetap tahanannya dan tidak dapat diprediksi. Ketika memasang elektroda pentanahan, elektroda berada di bawah garis beku (*frosting line*). Ini dilakukan sehingga tahanan tanah tidak akan dipengaruhi oleh pembekuan tanah di sekitarnya. Secara umum, menggandakan panjang elektroda pentanahan bisa mengurangi tingkat tahanan 40%. Ada kejadian-kejadian dimana secara fisik tidak mungkin dilakukan pendalaman batang pentanahan daerah-daerah yang terdiri dari batu, granit, dan sebagainya. Dalam keadaan demikian, metode alternatif yang menggunakan semen pentanahan (*grounding cement)* bisa digunakan.

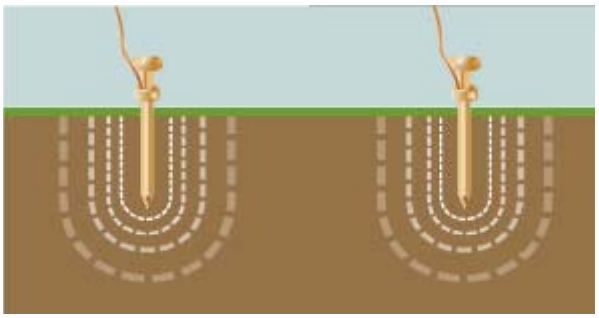
2. Diameter elektroda pentanahan

Menambah diameter elektroda pentanahan berpengaruh sangat kecil dalam menurunkan tahanan. Misalnya, bila diameter elektroda digandakan tahanan pentanahan hanya menurun sebesar 10%.

3. Jumlah elektroda pentanahan

Cara lain menurunkan tahanan tanah adalah menggunakan banyak elektroda pentanahan. Dalam desain ini, lebih dari satu elektroda dimasukkan ke tanah dan

dihubungkan secara paralel untuk mendapatkan tahanan yang lebih rendah. Agar penambahan elektroda efektif, jarak batang tambahan setidaknya harus sama dalamnya dengan batang yang ditanam. Tanpa pengaturan jarak elektroda pentanahan yang tepat, bidang pengaruhnya akan berpotongan dan tahanan tidak akan menurun. Untuk membantu dalam memasang batang pentanahan yang akan memenuhi kebutuhan tahanan tertentu, maka dapat menggunakan tabel tahanan pentanahan di bawah ini. Ingatlah, ini hanya digunakan sebagai pedoman, karena tanah memiliki lapisan dan jarang yang sama (homogen). Nilai tahanan akan sangat berbeda-beda.



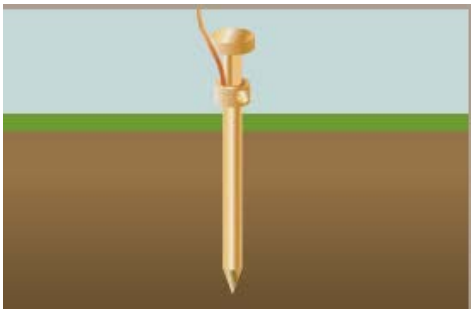
Gambar 5 – 16 Elektroda yang mempunyai ‘pengaruh lapisan

Tabel 5 – 1 Tahanan pentanahan

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah R_E	Tahanan Pentanahan					
		Kedalaman Electroda ke tanah (Meter)			Potongan Pentanahan (Meter)		
	MØ	3	6	10	5	10	20
Tanah lembab,seperti rawa	30	10	5	3	12	6	3
Tanah Pertanian, tanah liat	100	33	17	10	40	20	10
Tanah liat berpasir	150	50	25	15	60	30	15
Tanah lembab berpasir	300	66	33	20	80	40	20
Campuran 1:5	400	-	-	-	160	80	40
Kerikil lembab	500	160	80	48	200	100	50
Tanah kering berpasir	1000	330	165	100	400	200	100
Kerikil kering	1000	330	165	100	400	200	100
Tanah berbatu	30.000	1000	500	300	1200	600	300
Batu karang	10^7	-	-	-	-	-	-

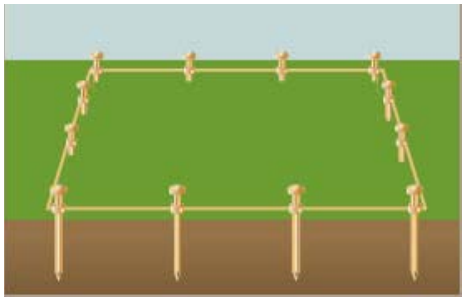
4. Desain sistem pentanahan

Sistem pentanahan sederhana terdiri dari satu elektroda pentanahan yang dimasukkan ke tanah. Penggunaan satu elektroda pentanahan adalah hal yang umum dilakukan dalam pentanahan dan bisa ditemukan di luar rumah atau tempat usaha perorangan lebih jelasnya perhatikan gambar 5 – 17.

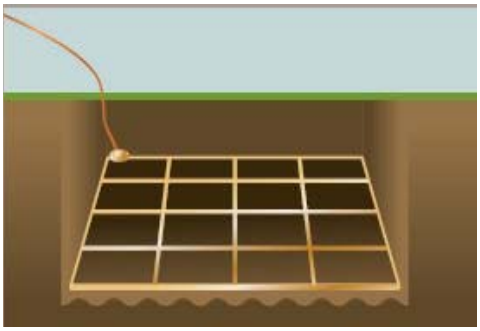


Gambar 5 – 17 Elektroda pentanahan

Ada pula sistem pentanahan kompleks terdiri dari banyak batang pentanahan yang terhubung, jaringan bertautan atau kisi-kisi, plat tanah, dan loop tanah (gambar 5 – 18) .

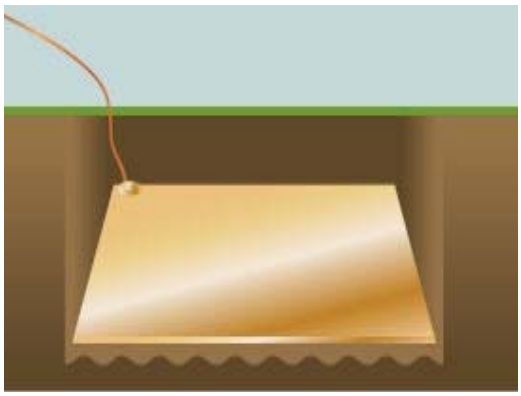


Gambar 5– 18 Hubungan beberapa elektrode pentanahan



Gambar 5 – 19 Jaringan bertautan

Sistem-sistem ini dipasang secara khusus di substasiun pembangkit listrik, kantor pusat, dan tempat-tempat menara seluler. Jaringan kompleks meningkatkan secara dramatis jumlah kontak dengan tanah sekitarnya dan menurunkan tahanan tanah.



Gambar 5 – 20 Pelat tanah

5.2.5. Metode Pengetesen Pentanahan Tanah

Ada empat jenis metode pengetesen pentanahan tanah:

- Tahanan tanah (menggunakan tiang pancang)
- Gerak benda potensial (menggunakan tiang pancang)
- Selektif (menggunakan 1 klem 1 dan tiang pancang)
- Tanpa tiang pancang (hanya menggunakan 2 klem)

5.2.5.1. Ukuran tahanan tanah

Hal-hal yang menentukan tahanan tanah

Resistivitas tanah (*Soil Resistivity*) paling penting dalam menentukan desain sistem pentanahan untuk instalasi baru (aplikasi lapangan hijau) guna memenuhi syarat tahanan tanah. Idealnya, harus menemukan lokasi dengan tahanan tanah serendah mungkin. Tapi seperti yang dibahas sebelumnya, kondisi tanah yang buruk bisa diatasi dengan sistem pentanahan yang lebih rumit. Komposisi tanah, kandungan embun, dan suhu mempengaruhi tahanan tanah. Tanah jarang bersifat homogen dan tahanan tanah akan sangat berbeda secara geografis dan pada kedalaman tanah berbeda. Kandungan uap berubah berdasarkan musim, berbeda-beda menurut sifat sublapisan tanah, dan kedalaman posisi air permanen. Karena tanah dan air umumnya lebih stabil di tempat yang lebih dalam, direkomendasikan agar batang pentanahan ditempatkan sedalam mungkin di dalam tanah, pada permukaan air tanah jika memungkinkan. Juga, batang pentanahan harus dipasang di tempat yang suhunya stabil, yaitu di bawah garis beku. Agar sistem pentanahan efektif, maka harus dirancang agar tahan pada kondisi terburuk.

5.2.5.2. Cara menghitung tahanan tanah

Prosedur pengukuran yang digambarkan di bawah ini menggunakan metode Wenner yang diterima secara universal yang dikembangkan oleh Dr. Frank Wenner dari *US Bureau of*

Standards (Biro Standar AS) tahun 1915. (F. Wenner, *A Method of Measuring*

Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$\rho = 2\pi A R$$

(ρ = rata-rata tahanan tanah pada kedalaman A dalam ohm-cm)

π = 3,1416

A = jarak antara elektroda dalam cm

R = nilai tahanan terukur dalam ohm dari uji instrumen

Catatan:

Ohm-centimeter pada nilai 100 dapat diubah ke ohm-meter. Perhatikan satuannya.

Contoh:

Memasang batang pentanahan sepanjang tiga meter sebagai bagian dari sistem pentanahan. Untuk mengukur tahanan tanah pada kedalaman tiga meter tersebut, jarak antara elektroda tes dihitung tiga meter. Bila tahanan tanah diukur dengan menggunakan alat ukur, maka nilai tahanan dibaca dalam ohm. Dalam hal ini diasumsikan nilai tahanan adalah 100 ohm.

Jadi, dalam soal ini diketahui:

A = 3 meter, dan R = 100 ohm.

Maka tahanan tanahnya adalah:

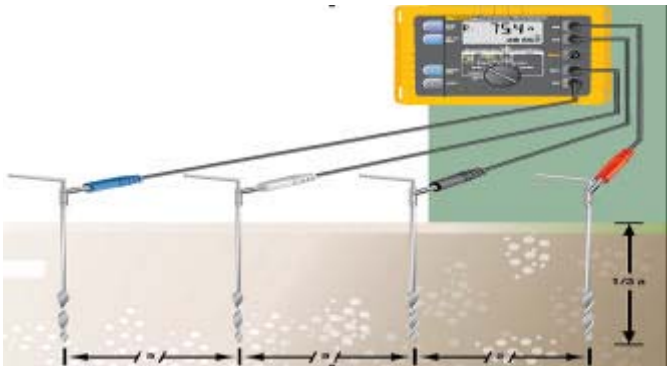
ρ = 2 x π x A x R

ρ = 2 x 3,1416 x 3 meter x 100 ohm

ρ = 1885 Om

5.2.5.3. Cara mengukur tahanan tanah

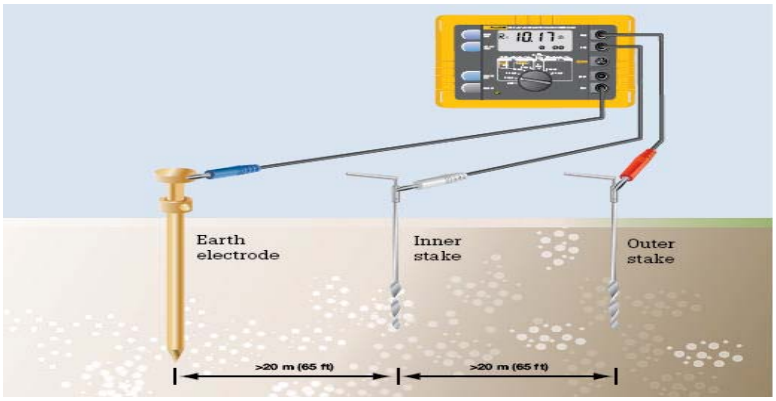
Untuk mengetes tahanan tanah, hubungkan pengetes pentanahan seperti ditunjukkan gambar 5-19. Seperti terlihat, empat tiang pancang tanah ditempatkan di tanah dalam posisi garis lurus, jarak satu sama lain sama. Jarak antara tiang pancang tanah minimal tiga kali lebih besar dari kedalaman tiang. Jadi jika kedalaman masing-masing tiang pancang adalah satu kaki (0,30 meter), pastikan jarak antar tiang pancang lebih dari tiga kaki (0,91 meter). Alat ukur menghasilkan satu arus yang diketahui melalui dua tiang pancang luar dan penurunan beda tegangan diukur antara dua tiang pancang bagian dalam. Dengan menggunakan hukum Ohm (V=IR), alat uji tersebut secara otomatis menghitung tahanan tanah. Karena hasil pengukuran sering terdistorsi dan dibuat tidak valid yang dikarenakan oleh potongan-potongan logam di bawah tanah, maka diperlukan ukuran tambahan sumbu tiang pancang diputar 90 derajat. Dengan mengubah kedalaman dan jarak beberapa kali, profil bisa dihasilkan guna menentukan sistem tahanan tanah yang sesuai. Ukuran tahanan tanah sering berubah dipengaruhi oleh adanya arus tanah dan harmonisnya. Untuk mencegah hal ini, maka alat ukur dilengkapi *Automatic Frequency Control (AFC) System* (Sistem Kendali Frekuensi Otomatis). Ini biasanya memiliki frekuensi pengetesan dengan jumlah noise minimal sehingga memungkinkan untuk mendapat hasil pembacaan yang jelas.



Gambar 5 – 21 Cara mengukur tahanan tanah

5.2.6. Metode Pengetesen Pentanahan Tanah Ukuran Drop Tegangan

Metode uji drop Tegangan (*Fall-of-Potential*) digunakan untuk mengukur kemampuan sistem pentanahan tanah atau elektroda individual untuk menghamburkan energi dari suatu tempat.



Gambar 5 – 22 Uji drop tegangan

5.2.6. 1. Cara kerja uji drop tegangan

Pertama, elektroda kepentingan tanah harus dilepaskan dari tempat itu.

Kedua, alat uji dihubungkan ke elektroda tanah. Kemudian, uji drop tegangan 3 kutub, dua tiang pancang tanah di tanah dalam garis lurus – jatuh dari elektroda tanah. Biasanya, jarak 20 meter (65 kaki) sudah cukup. Untuk lebih rinci tentang penempatan tiang pancang, lihat bagian berikutnya. Arus yang dikenal dihasilkan oleh alat ukur antara tiang pancang luar (tiang pancang tanah bantuan) dan elektroda tanah, sedangkan jatuhnya potensi tegangan diukur antara tiang pancang tanah dalam dan elektroda tanah. Dengan menggunakan Hukum Ohm (V =

IR), alat uji tersebut secara otomatis menghitung tahanan elektroda tanah. Hubungkan alat uji pentanahan seperti yang ditunjukkan dalam gambar. Tekan START dan baca nilai R_E (tahanan). Ini adalah nilai sebenarnya dari elektroda pentanahan pada tes. Jika elektroda pentanahan paralel atau seri dengan batang pentanahan lain, maka nilai R_E adalah nilai total semua tahanan.

5.2.6. 2. Cara Menempatkan Tiang Pancang

Untuk mencapai tingkat akurasi tertinggi ketika melakukan uji tahanan tanah 3 kutub, diperlukan agar penyelidikan dilakukan di luar bidang pengaruh elektroda pentanahan pada uji dan tanah bantuan. Jika Anda tidak berada di luar bidang pengaruh, daerah efektif tahanan akan tumpang tindih dan membuat pengukuran tidak valid. Tabel adalah panduan penetapan penyelidikan secara tepat (tiang pancang dalam) dan tanah bantuan (tiang pancang luar). Untuk menguji ketepatan hasil dan untuk memastikan bahwa tiang pancang luar di luar bidang pengaruh, reposisi (pemindahan posisi) tiang pancang luar (penyelidikan) 1 meter (3 kaki) dalam salah satu arah dan lakukan pengukuran baru. Jika ada perubahan yang signifikan dalam pembacaan (30%), Anda harus menambah jarak antara uji batang pentanahan pada uji, tiang pancang dalam (penyelidikan) dan tiang pancang luar (pentanahan bantuan) sampai nilai-nilai yang diukur benar-benar tetap ketika memindahkan tiang pancang dalam (penyelidikan).

Tabel 5 – 2 Panduan penetapan penyelidikan

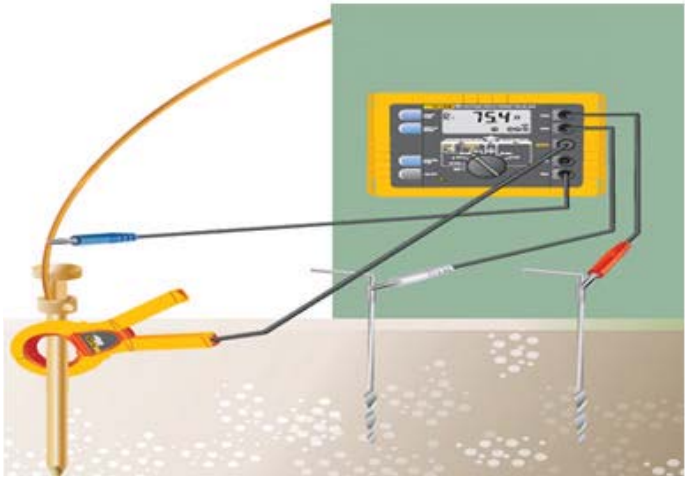
Kedalaman Electroda ke tanah	Jarak pancang bagian dalam	Jarak pancang bagian luar
2 m	15 m	25 m
3 m	20 m	30 m
6 m	25 m	40 m
10 m	30 m	50 m

5.2.6.3. Ukuran selektif

Pengetesen selektif sangat mirip dengan pengujian drop tegangan, keduanya menghasilkan ukuran yang sama, tapi dengan cara yang jauh lebih aman dan lebih mudah. Ini dikarenakan dengan pengujian selektif elektroda tanah tidak harus dilepaskan dari sambungannya ke tempat itu. Teknisi tidak harus membahayakan dirinya dengan melepaskan pentanahan, juga tidak membahayakn orang lain atau

perlengkapan listrik di dalam bangunan tanpa pentanahan. Seperti halnya uji drop tegangan, dua tiang pancang tanah ditempatkan di tanah secara segaris, jauh dari elektroda tanah. Biasanya, jarak 20 meter (65 kaki) sudah cukup. Alat uji tersebut kemudian dihubungkan ke elektroda tanah terkait, dengan kelebihan bahwa koneksi (hubungan) di pada tempat itu tidak perlu dilepaskan. Akan tetapi, kelem khusus ditempatkan di sekitar elektroda tanah, yang menghilangkan pengaruh tahanan paralel dalam sistem yang ditanahkan, jadi hanya elektroda tanah terkait yang diukur. Seperti sebelumnya, arus yang diketahui dihasilkan oleh alat ukur antara tiang pancang luar (tiang pancang tanah bantu) dan elektroda tanah, sedangkan jatuhnya potensi tegangan diukur antara tiang pancang tanah dalam dan elektroda tanah. Hanya arus yang mengalir melalui elektroda tanah terkait yang diukur menggunakan kelem tersebut. Arus yang dihasilkan juga akan mengalir melalui tahanan paralel lain, tapi hanya arus melalui kelem (yakni, arus yang melalui elektroda tanah terkait) yang digunakan untuk menghtiung tahanan (V=IR). Jika tahanan total sistem pentanahan harus diukur, maka masing-masing tahanan elektroda tanah harus diukur dengan menempatkan kelem di sekitar masing-masing elektroda tanah individual. Kemudian total tahanan sistem pentanahan bisa ditentukan dengan kalkulasi. Menguji tahanan elektroda tanah individu dari menara transmisi tegangan tinggi dengan pentanahan overhead atau kawat statis mengharuskan agar kawat-kawat ini dilepaskan. Jika sebuah menara memiliki lebih dari satu pentanahan di landasannya, maka harus dilepaskan juga satu per satu.

Meskipun demikian alat ukur ini memiliki aksesoris pilihan, kelem berdiameter 320 mm (12,7 inchi) pada transformator arus, yang bisa mengukur tahanan satuan masing-masing kaki, tanpa melepaskan timah pentanahan atau kawat statis overhead / pentanahan.

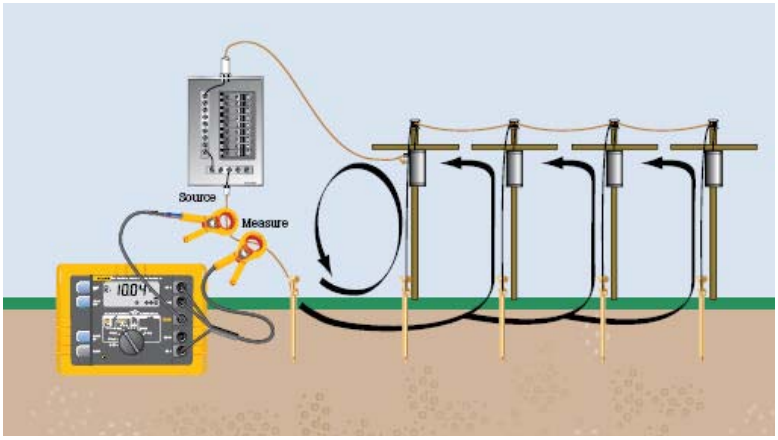


Gambar 5 – 23 Pengetesen selektif

Hubungkan penguji tahanan tanah seperti ditunjukkan. Tekan START dan baca nilai RE. Ini adalah nilai tahanan elektroda tanah yang diuji

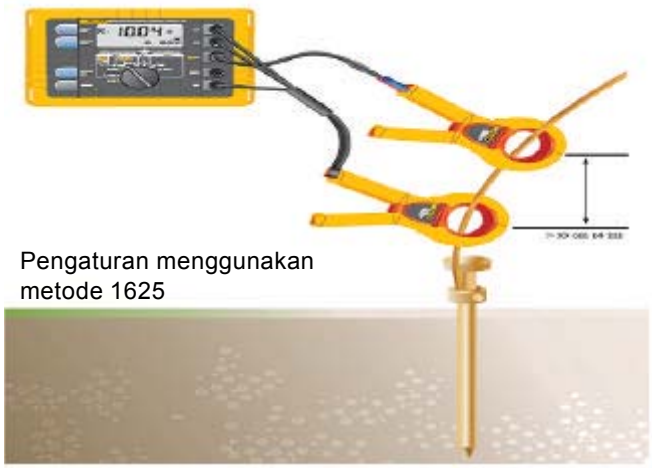
5.2.7. Metode Pengetesen Pentanahan Tanah Ukuran tanpa tiang pancang

Alat uji pentanahan tanah buatan industri dapat mengukur tahanan loop pentanahan tanah untuk sistem multipentanahan hanya menggunakan klem arus. Teknik uji ini menghilangkan bahaya dan kegiatan yang memakan waktu untuk melepaskan pentanahan paralel, dan juga proses untuk menemukan lokasi yang cocok untuk tiang pancang pentanahan bantu. Dapat juga melakukan uji pentanahan tanah di tempat-tempat yang tidak dipertimbangkan sebelumnya: dalam gedung, di tonggak menara pembangkit atau di manapun tidak bisa diketemukan tanah. Dengan metode uji ini, dua klem ditempatkan di sekitar batang pentanahan tanah atau kabel penghubung dan masing-masing dihubungkan ke alat uji. Tiang pancang pentanahan tanah tidak digunakan sama sekali. Tegangan yang diketahui diinduksi deh satu klem, dan arus diukur menggunakan klem kedua.



Gambar 5 – 24 Pengetesen alur arus metoda tanpa pancang

Alat uji tersebut secara otomatis menentukan tahanan loop tanah pada batang pentanahan ini. Jika hanya ada satu jalan ke tanah, seperti di banyak tempat pemukiman, metode tanpa tiang pancang ini tidak akan memberikan nilai yang cocok dan metode uji drop tegangan bisa digunakan. Alat ukur tersebut bekerja berdasarkan prinsip bahwa dalam sistem yang ditanahkan secara paralel/multi tahanan bersih dari semua cara pentanahan akan sangat rendah ketika dibandingkan dengan jalan tunggal (yang sedang diuji). Jadi, tahanan murni dari semua tahanan jalan hasil paralel secara efektif adalah nol. Ukuran tanpa tiang pancang hanya mengukur tahanan batang pentanahan secara paralel dengan sistem pentanahan bumi. Jika sistem pentanahan tersebut tidak paralel dengan tanah maka akan memiliki sirkuit terbuka atau mengukur tahanan loop tanah.



Gambar 5 – 25 Susunan metoda tanpa pancang

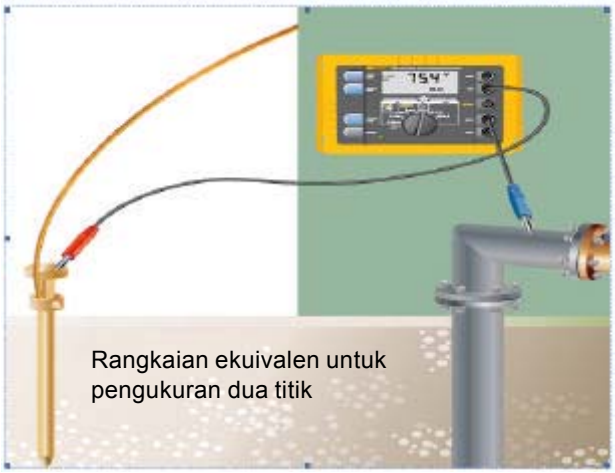
5.2.7.1. Ukuran impedansi tanah

Ketika mencoba menghitung arus hubung pendek yang mungkin terjadi dalam pembangkit listrik atau keadaan arus/tegangan tinggi, maka menentukan impedansi pentanahan yang kompleks adalah penting. Hal ini dikarenakan impedansi akan membentuk elemen induktif dan kapasitif. Karena induktifitas dan tahanan diketahui dalam sebagian besar kasus, maka impedansi aktual bisa ditentukan dengan menggunakan perhitungan kompleks. Karena impedansi tergantung frekuensi, maka peralatan yang menggunakan sinyal gelombang 55 Hz untuk keperluan perhitungan mendekati frekuensi operasi tegangan. Ini memastikan bahwa ukuran tersebut mendekati nilai frekuensi operasi sebenarnya. Dengan menggunakan peralatan tersebut, kemungkinan bisa didapat ukuran langsung yang akurat tentang impedansi pentanahan. Teknisi alat pembangkit listrik, yang menguji jalur transmisi tegangan tinggi, tertarik dengan dua hal.

Tahanan tanah dalam kasus hantaman petir dan impedansi dari seluruh sistem dalam kasus arus pendek pada titik tertentu. Arus hubung pendek (short circuit) dalam kasus ini berarti kawat aktif yang putus lepas dan menyentuh benda logam suatu menara (tower).

5.2.7.2.Tahanan tanah dua kutub

Dalam keadaan dimana memasukkan tiang ke tanah tidak praktis atau tidak memungkinkan, alat uji tersebut memberikan kepada pengguna kemampuan untuk melakukan ukuran tahanan tanah dua kutub, seperti ditunjukkan di bawah ini. Untuk melakukan uji ini, teknisi harus memiliki akses ke tanah yang baik, dikenal seperti semua pipa air logam. Pipa air harus cukup panjang dan terbuat dari logam keseluruhan tanpa kopling atau flens penyekat. Alat seperti balat melakukan pengujian dengan arus yang relatif tinggi (arus sirkuit pendek> 250 mA) yang memastikan hasil stabil.

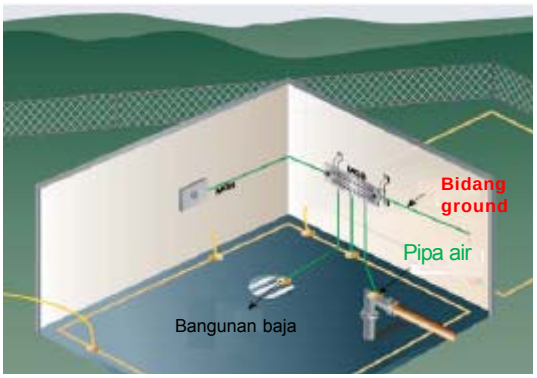


Gambar 5 – 26 Mengukur tahanan tanah dengan dua kutub

5.2.7.3.Mengukur Tahanan Tanah Di kantor pusat (*central offices*)

Ketika melakukan pemeriksaan pentanahan di kantor pusat ada tiga ukuran berbeda yang diperlukan. Sebelum pengujian, tempatkan MGB (*Master Ground Bar*/Batang Pentanahan Utama) dalam kantor pusat untuk menentukan jenis sistem pentanahan yang ada. Seperti ditunjukkan gambar 5 – 27 di bawah, MGB akan mentanahkan tanah yang terhubung ke:

- MGN (*Multi-Grounded Neutral*) atau jasa pendapatan,
- bidang tanah,
- pipa air, dan
- baja gedung atau bangunan



Gambar 5 – 27. MGB mentanahkan tanah

* Pertama, lakukan uji tanpa tiang pancang pada seluruh pentanahan yang lepas dari MGB. Tujuannya untuk memastikan bahwa semua pentanahan terhubung,

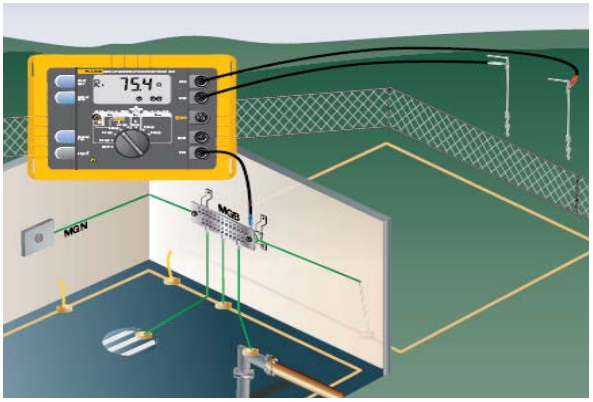
khususnya MGN. Penting untuk dicatat bahwa pengguna tidak sedang mengukur tahanan individu, tapi tahanan loop dari apa yang dikelemkan di sekitarnya. Seperti ditunjukkan gambar 5 - 28, sambungkan alat ukur tersebut dan kelem induksi dan sensing, yang terletak di sekitar masing-masing hubungan untuk mengukur tahanan MGN, bidang pentanahan, pipa air, dan baja gedung.

* Kedua, lakukan uji drop tegangan 3 kutub pada seluruh sistem pentanahan, yang terhubung ke MGB seperti diilustrasikan pada gambar 5 -29. Untuk mendapatkan tanah yang jauh, banyak perusahaan telepon memanfaatkan pasang-an kabel tak terpakai yang keluar sejauh satu mil. Catat hasil pengukuran dan ulangi uji ini setidaknya setahun sekali.

* Ketiga, ukur tahanan individu sistem pentanahan dengan menggunakan uji selektif dari alat ukur tersebut. Hubungkan alat uji ukur tersebut seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5 - 30. Ukur tahanan MGN; nilainya adalah tahanan kaki MGB tertentu. Kemudian ukur bidang tanah. Hasil pembacaan menunjukkan nilai tahanan sebenarnya dari bidang tanah kantor pusat. Sekarang berpindah ke pipa air, dan kemudian ulangi untuk tahanan baja gedung.

Penguna alat bisa dengan mudah memeriksa (memverifikasi) akurasi pengukuran ini melalui Hukum Ohm. Tahanan baku satuan, ketika dihitung, harus sama dengan tahanan seluruh sistem yang diberikan (memungkinkan untuk kesalahan yang beralasan karena semua elemen tanah mungkin tidak bisa diukur). Metode-metode uji ini memberikan ukuran paling akurat dari suatu kantor pusat, karena memberikan kepada pengguna tahanan individu dan perilaku nyata dalam suatu sistem pentanahan. Meskipun akurat, ukuran-ukuran tersebut tidak akan menunjukkan cara sistem bekerja sebagai suatu jaringan, karena jika terjadi ledakan petir atau gagal arus, semuanya terhubung.

Gambar 5 – 28 Pengetesen kantor pusat tanpa pancang



Gambar 5 – 29 Pelaksanaan pengetesen drop tegangan pada sistem pentanahan secara keseluruhan

Gambar 5 – 30 Pengukuran tahanan tanah masing-masing pada sistem pentanahan menggunakan pengetesen terpilih

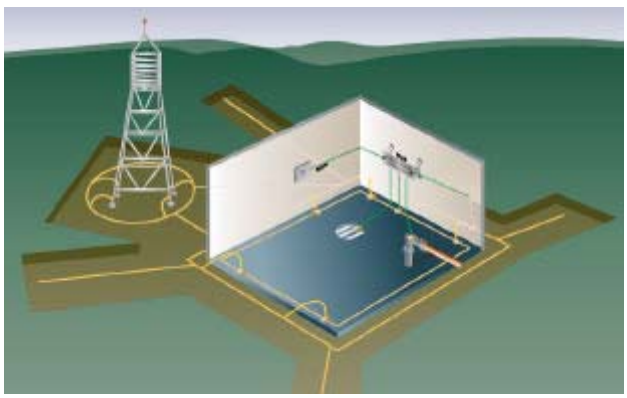
Untuk membuktikan ini, pengguna perlu melakukan beberapa uji tambahan pada tahanan individu.
Pertama, lakukan uji drop tegangan 3 kutub pada masing-masing kaki lepas dari MGB dan catat masing-masing ukuran. Gunakan lagi Hukum Ohm, ukuran-ukuran ini harus sama dengan tahanan seluruh sistem. Dari perhitungan-perhitungan tersebut pengguna akan melihat bahwa dari 20 % hingga 30 % lepas dari nilai RE total. Yang terakhir, ukur tahanan berbagai kaki MGB dengan menggunakan metode tanpa tiang pancang selektif. Cara ini bekerja seperti metode tanpa tiang pancang, tapi berebda dalam cara penggunaan dua kelem terpisah. Penempatkan kelem tegangan induksi sekitar kabel yang mengarah ke MGB, dan karena MGB terhubung dengan sumber arus, yang paralel dengan sistem pentanahan, pengguna alat telah mencapai syarat itu. Tempatkan kelem sensing dan letakkan di sekitar kabel pentanahan yang mengarah ke bidang tanah. Ketika

kita mengukur tahanan, ini adalah tahanan sebenarnya bidang tanah, ditambah jalan paralel MGB. Dan karena harus sangat rendah ohm-nya, maka pasti tidak memiliki pengaruh nyata pada bacaan terukur. Proses ini bisa diulang untuk kaki-kaki lain dari batang pentanahan, yaitu pipa air dan baja bangunan. Untuk mengukur MGB melalui metode selektif tanpa tiang pancang, tempatkan kelem tegangan induksi sekitar garis pipa air tersebut (karena pipa air tembaga memiliki tahanan yang sangat rendah) dan hasil pembacaannya adalah tahanan untuk MGN saja.

5.2.8. Aplikasi Tahanan Pentanahan yang Lain

5.2.8. 1. Lokasi aplikasi

Ada empat aplikasi khusus untuk mengukur kemampuan sistem pentanahan tanah. Lokasi aplikasi sebagian besar, ada menara 4 kaki dengan masing-masing kaki terpasang ke tanah sendiri-sendiri. Tanah-tanah ini kemudian dihubungkan dengan kabel tembaga. Di dekat menara ada gedung tempat sel, tempat semua perlengkapan transmisi. Dalam gedung tersebut ada pentanahan halo dan MGB, dengan tanah halo yang terhubung ke MGB. Gedung tempat sel ditanahkan pada 4 pojok yang terhubung dengan MGB melalui kabel tembaga dan 4 pojok tersebut terinterkoneksi melalui kawat tembaga. Juga ada sambungan antara cincin pentanahan gedung dan cincin pentanahan tower (menara).



Gambar 5 – 31 Susunan khas sistem pentanahan pada suatu instalasi menara selular.

Substasiun listrik adalah pangkalan pada sistem transmisi dan distribusi dimana tegangan biasanya diubah dari nilai tinggi ke nilai rendah. Substasiun khusus akan berisi struktur pemutusan jalur, pengalih tegangan tinggi (*high-voltage switchgear*), satu atau lebih transformator daya, pengubah tegangan rendah (*low-voltage switchgear*), perlindungan

gelombang, kontrol, dan pengukuran (metering).
Tempat pengubah jarak jauh yang juga dikenal sebagai *slick sites*, dimana konsentrator jalur digital dan perlengkapan telekomunikasi lain beroperasi. Tempat jarak jauh ditanahkan secara khusus pada ujung kabinet lain dan kemudian akan memiliki serangkaian tiang pancang tanah sekitar kabinet yang terhubung dengan kawat tembaga.

Sebagian besar sistem perlindungan gagal arus karena petir mengikuti desain setelah desain yang keempat pojok gedungnya ditanahkan dan biasanya terhubung lewat kabel tembaga. Tergantung pada ukuran gedung dan nilai tahanan yang dirancang untuk dicapai, jumlah batang tahanan akan berbeda-beda.

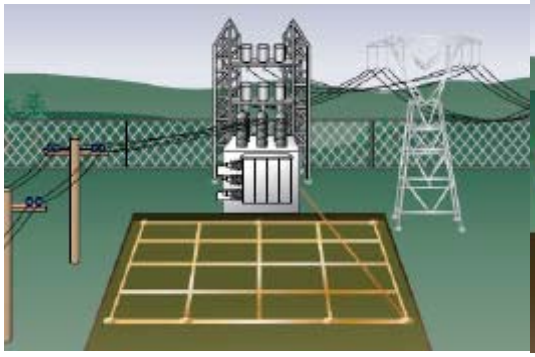
5.2.8.2. Uji-uji yang direkomendasikan

Pengguna akhir diharuskan melakukan tiga uji yang sama untuk masing-masing aplikasi: ukuran tanpa tiang pancang, ukuran drop tegangan 3 kutub dan ukuran selektif. Ukuran tanpa tiang pancang, pertama lakukan ukuran tiang pancang pada:

- Kaki-kaki individu menara dan empat pojok gedung (tempat/menara sel)
- Semua sambungan pentanahan (substasiun listrik)
- Jalur yang berjalan ke tempat jarak jauh (*remote switching*)
- Tiang pancang tanah gedung tersebut (perlindungan dari petir).

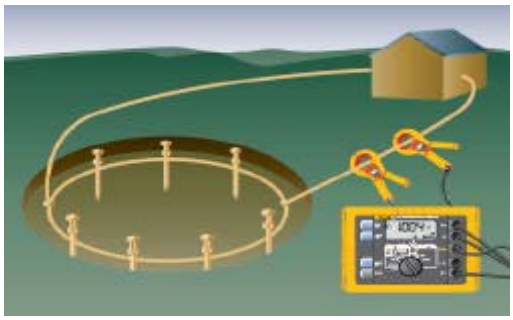
Untuk seluruh aplikasi, ini bukan ukuran tahanan tanah yang sebenarnya karena merupakan tanah jaringan tersebut. Cara ini terutama berfungsi sebagai uji kontinuitas guna memastikan apakah tempat itu ditanahkan, hingga kita bisa melakukan sambungan listrik, dan bahwa sistem tersebut bisa dilewati arus.
Ukuran drop tegangan 3 kutub, kedua saat mengukur tahanan seluruh sistem melalui metode drop tegangan 3 kutub, pikirkan tentang aturan untuk penetapan tiang pancang. Ukuran ini harus direkam dan pengukuran harus dilakukan setidaknya dua kali per tahun. Ukuran ini adalah nilai tahanan untuk seluruh tempat.
Terakhir, lakukan ukur pertanahan individu dengan uji selektif. Ini akan membuktikan integritas pertanahan individu, sambungan-sambungannya, dan tentukan apakah potensi pentanahan benar-benar sama secara keseluruhan. Jika ukuran menunjukkan itngkat variabilitas yang lebih besar dari yang lain, alasannya harus ditentukan. Tahanan harus diukur pada:

- Masing-masing kaki menara dan keempat pojok gedung (tempat/menara seluler)
- Batang pentanahan individu dan sambungan-sambungannya
- Kedua ujung dari tempat jarak jauh (*remote switching*)
- Keempat pojok gedung (perlindungan dari petir)



Gambar 5 – 32 Susunan khas sistem pentanahan gardu induk

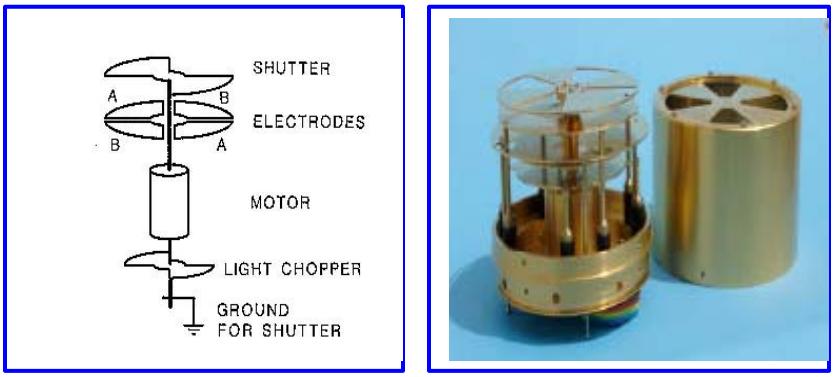
Gambar 5 – 34
Penggunaan pengetesan tahanan tanah terpilih pada sistem penangkal petir



Gambar 5 – 33 Penggunaan pengetesan tanpa pancang pada instalasi swtching jarak jauh.

5.3. Pengukuran Medan

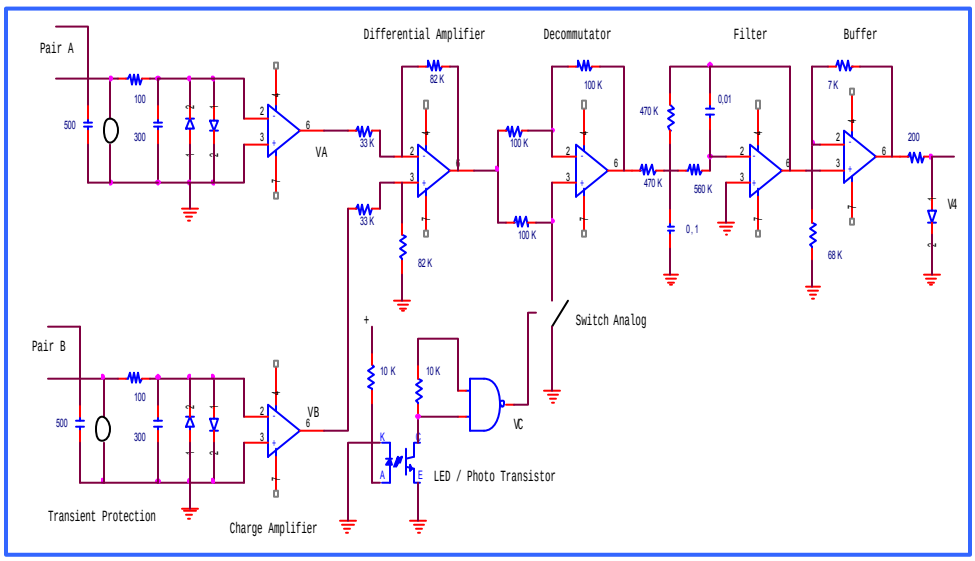
5.3.1. Field meter Statik :



Gambar 5 - 35 Mekanik field meter (www.ee.nmt.edu/`langmuir)

Field meter statik dikenal juga sebagai field mills. Dalam sebuah field meter, penghantaran, pentanahan, rotating shutter dan elektrode digunakan sebagai elemen pengukuran. Field meter

berfungsi untuk mengukur suatu kuat medan, prinsip kerja field meter yaitu mengubah medan menjadi tegangan yang sebanding dengan medan listrik. Prinsip kerjanya menggunakan prinsip induksi dari suatu muatan listrik pada elektrode yang ada pada field meter, setelah dikuatkan pada suatu amplifier, sinyal dimodulasikan dan di filter untuk menghasilkan tegangan.
Gambar 5-35 menunjukkan komponen mekanik field meter statik. Motor memutar shutter dan light chopper. Medan listrik diinduksikan pada elektrode, sinyal dari light chopper digunakan untuk demodulasi sinyal periodik dari elektrode. Rangkaian elektronik dari field meter statik terdiri dari rangkaian Transient Protection, Charge Ampifier, Differential Amplifier, Decommutator, Filter, Buffer dan Photo Transistor. Secara lengkap ditunjukkan pada gambar 5 - 36.



Gambar 5 -36 Rangkaian elektronik field meter statik.

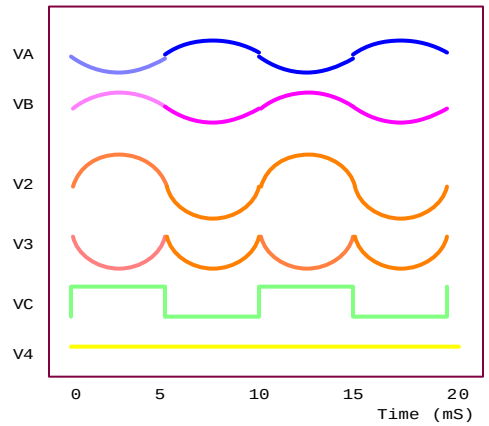
Gambar 5-35 menunjukkan komponen mekanik dari field meter dimana salah satu komponen utamanya adalah elektrode, dari gambar terlihat ada 4 buah elektrode yaitu satu pasang elektrode A dan satu pasang elektrode B. Pasangan elektrode A terbuka ketika pasangan elektrode B tertutup dan sebaliknya. Sinyal periodik dari satu pasangan berbeda 180 derajat dengan sinyal periodik pasangan yang lainnya.

Berdasarkan gambar 5-36, keluaran setiap pasang elektrode dikuatkan oleh sebuah amplifier, muatan yang terinduksi dirubah ke tegangan. Differential amplifier berfungsi untuk menguatkan output

dari amplifier. Modulator adalah suatu amplifier sederhana yang mempunyai penguatan +/- 1 seperti ditunjukkan pada gambar 5-36. Filter dan buffer melengkapi demodulasi dan menghasilkan tegangan yang sebanding dengan besaran medan elektrik. Penambahan komponen-komponen pada input dan output berfungsi untuk perlindungan terhadap tegangan transient.

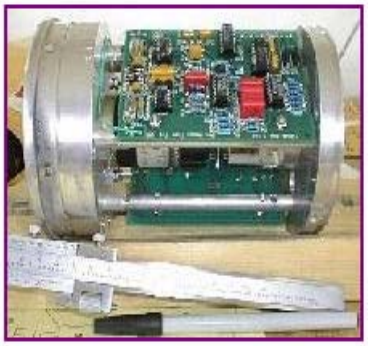
tergantung sinyal dari light chopper, sinyal searah yang dihasilkan oleh demodulator

Semua resistansi yang digunakan dalam ohm, nilai kapasitansi lebih besar dari 1 piko farad dan lebih kecil dari 1 mikro farad. Bentuk gelombang dari tegangan V_A, V_B, V_C, V_2, V_3 dan V_4 ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 5 – 37. Hasil pengukuran tegangan

Field meter statik mempunyai parametrik amplifier. Medan listrik menyebabkan terbangkitnya arus AC, arus yang terbangkit sebanding dengan besarnya kekuatan medan. Arus ini dapat diukur dengan menggunakan sebuah selektive amplifier yaitu dengan menggunakan elektrode influenz berupa logam emas. Elektrode ini merupakan sebuah elektrode non galvanis. Metode pengukuran yang diterapkan tidak menggunakan bahan radioaktif.



Gambar 5 - 38. Field meter Statik

Gambar 5-38. menunjukkan bentuk phisik field meter statik dan rangkaian elektronik yang ada di dalam field meter statik.

Sistem modulator dengan sistem elektronik diintegrasikan dalam sebuah tabung metal yang dihubungkan ke ground. Elektrode influenz berbentuk bintang (star). Di ujung elektrode ini dipasangkan sebuah ground yang dihubungkan dengan roda baling-baling.

Bagian ini berupa logam emas yang keras untuk melindungi distorsi galvanik. Elektrode influenz berfungsi untuk melindungi ring elektrode dari gerakan mekanik. Disisi belakang ada sebuah tombol untuk mengaktifkan pengaturan offset. Transfer data ke elektronik menggunakan interface serial RS-485, panjang kabel maksimal yang diijinkan 10 meter.

Gambar 5-39 (a) menunjukkan rotating shutters yang berada pada permukaan belakang field meter. Salah satu pemakaian field meter di luar ruangan ditunjukkan pada gambar 5-39 (b), pada gambar tersebut field meter digunakan untuk mengukur medan yang ditimbulkan oleh suatu pemancar.

(a)

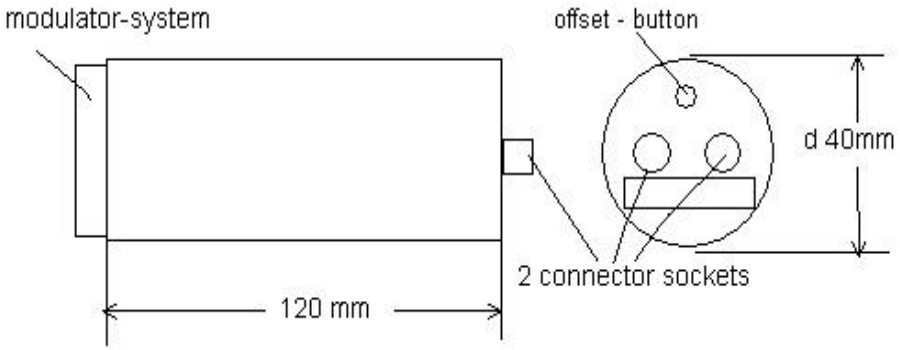
(b)

Gambar 5 - 39. a. Rotating shutters pada permukaan belakang field meter

b. Field meter digunakan di luar ruangan

5.3.1.1. Data Teknik

5.3.1.1.1. Ukuran Fieldmeter Statik

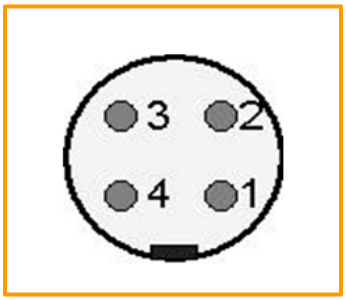


Gambar 5 - 40 Ukuran fieldmeter statik

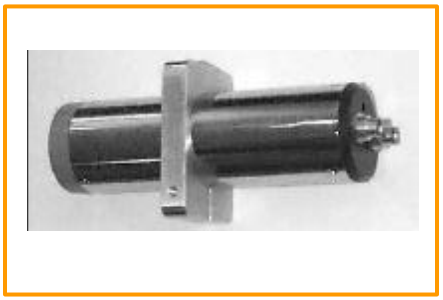
Tabel 5 - 3 Spesifikasi field meter statik

Karakteristik	Parameter
Range Pengukuran	20kV/m, 80kV/m, 200kV/m, 800kV/m
Ketelitian	± 5% dalam medan homogen
Kalibrasi	Dalam sebuah medan homogen dari plate kondens Ukuran plate : 200mm x 200mm Jarak plate : 25mm Sistem modulator centric terintegrasi dalam sebuah grounded-plate
Power supply	5V DC ± 5% / e.g. 80mA
Interface	serial RS-485
Penguat	aluminium – clamp dengan ulir
Waktu operasi	8 jam setiap hari minimal 2 tahun
	Dapat dihubungkan dengan Kompatibel PC.

5.3.1.1.2. Letak Pin :



Gambar 5 - 41 Letak pin fieldmeter statik



Gambar 5 - 42 Aluminium-clamp dengan ulir

1 = RS-485 Data B
2 = RS-485 Data A
3 = Power-supply (+5V DC ±5%)
4 = Ground (GND)

Aluminium-Clamp difungsikan sebagai penguat fieldmeter ketika dipergunakan untuk melakukan pengukuran.

5.3.1.2. Metode Pengukuran :

5.3.1.2.1. Pengaturan Offset

- Untuk mengatur offset, aturlah protection-cap ke system modulator.
- Tekan tombol offset sesaat. Setelah ± 2 detik, pengaturan offset otomatik dilakukan.

5.3.1.2.2. Penghitungan Pengisian Muatan :

Nilai pengukuran dikirim berupa sinyal digital dengan lebar data 8 bit. Bit pertama merupakan 200-an bagian dari range pengukuran. Range pengukuran dimasukkan dalam bit kedua. Pengukuran kuat medan (E) dihitung dengan cara range pengukuran dikalikan dengan arus output dalam mA.
Untuk menghitung pengisian muatan (V) = kuat medan (E) x jarak (A).

Contoh Aplikasi :

Range (MB) 200kV/m, Nilai biner yang terkirim (GB) 64h ⇨ 100 Bit
E = MB/200 x GB = 200 kV/m / 200 x 100 = 100kV/m
Jarak objek ⇨ Fieldmeter statik = 5 cm (0,05m)
Pengisian muatan (U) = Kuatmedan (E) x Jarak (A) (dalam meter)

U = E x A = 100.000 V/m x 0,05 m = 5.000 V

5.3.1.3. Perawatan :

Sistem modulator membutuhkan perawatan untuk dibersihkan serta pengaturan offset yang harus dilakukan secara rutin.

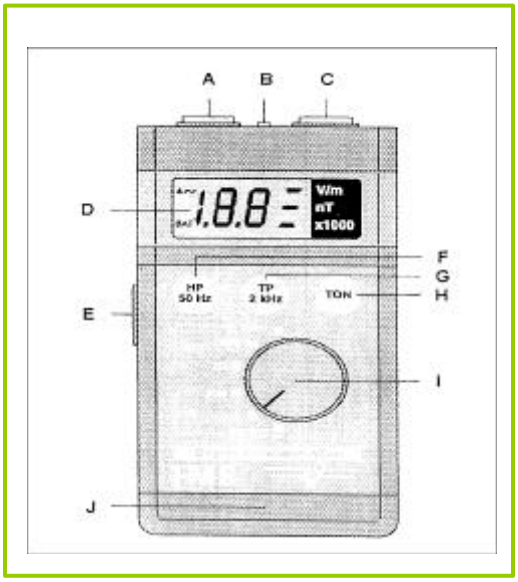
5.3.1.4. Instruksi Peringatan :

- Pengukuran ini tidak untuk pengukuran dalam area explosive
- Untuk medan elektrostatik yang sangat kuat,
- fieldmeter statik harus di ground kan.
- Pengosongan muatan sparkle ke sistem modulator dapat merusak rangkaian elektronik

5.3.2. Field meter Statik Digital

Field meter di bawah ini termasuk statik field meter yang mampu untuk mengukur medan listrik AC, medan maghnit AC dan tegangan body.

5.3.2.1. Diskripsi Instrument



Gambar 5 - 43 Instrumen field meter digital

A) AC/DC-output

B) Earthing socket
Jika digunakan untuk pengukuran medan listrik dan tegangan body, kabel hitam (grounding) disambungkan ke soket ground. Ujung yang lainnya disambungkan dengan jepitan buaya untuk membuat sebuah pentanahan (jangan disambungkan ke lubang)

C) Measuring probe socket
Probe pengukuran untuk mengukur medan maghnit atau medan listrik, kabel pengukuran warna merah untuk pengukuran tegangan body.

D) Display

Display digunakan menampilkan nilai terukur (digital).

E) On/Off Switch

F) Filter button
Tekan tombol filter untuk mengaktifkan fungsi ini, pada display akan nampak seperti simbol sebuah gelombang ~. Penekanan kembali tombol filter akan meng-non aktifkan fungsi ini. Filter aktif mengukur frekuensi antara 500Hz sampai 100kHz.

G) Low Pass push button

H) Push button untuk tone

I) Field dial
Putar field dial untuk mengaktifkan pengukuran medan berikut :
Medan listrik dalam V/m (Volt per meter)
* 0 - 20 V/m
* 0 - 200 V/m
* 0 - 2000 V/m
Medan maghnit dalam nT (Nanotesla)
* 0 - 200 nT
* 0 - 2000 nT
* 0 - 20 000 nT.

J) Battery
Battery berada di sisi belakang instrument, tempat battery dapat dibuka dengan menggunakan kunci atau obeng. Instrumen ini membutuhkan battery 9 Volt.

5.3.2.2. Fungsi Display :

Bagian-bagian display ditunjukkan dalam gambar berikut :

Gambar 5 – 44 Display field meter digital

(K) Fungsi Filter (low pass 2kHz). Jika " ? " ditunjukkan berarti fungsi filter aktif.

[L] Fungsi Filter (high pass 50Hz) Jika "~" ditunjukkan berarti fungsi filter aktif.

[N] Measurement value

[O] Measurement field indicator

[M] : Battery warning
Jika muncul " BAT " , battery harus diganti jika tidak maka akan terjadi kesalahan pengukuran.

5.3.2.3. Prosedur Pengukuran :

5.3.2.3.1. Set-up :

Sebelum melakukan pengukuran. Ikuti langkah-langkah berikut :

- Buka tempat battery pada bagian belakang instrument dengan menggunakan obeng

- Masukkan battery 9 Volt atau accu
- Tutup tempat battery
- Masukkan probe untuk pengukuran medan maghnit dan listrik atau untuk pengukuran tegangan body
- Jika dibutuhkan pentanahan hubungkan dengan kabel grounding
- ON kan instrumen
- Putar dial ke tipe medan yang diinginkan dan level sensitivitas

5.3.2.3.2. Persiapan Pengukuran

Untuk membuat pengukuran efektif dan memperoleh hasil valid membutuhkan persiapan. Ikuti langkah-langkah berikut :

- Pertama, ruangan yang akan diukur dibersihkan. Pengukuran kekuatan medan ditulis pada suatu plan.
- Semua peralatan dalam kondisi ON
- Nilai ambang yang direkomendasi adalah :
  Medan listrik : 10 - 100 V/m
  Medan maghnit: 10- 1000 nT
  body voltage: 0- 1 V
- Catatan bahwa kekuatan medan maghnit dan listrik naik apabila jaraknya semakin dekat.

5.3.2.4. Data Teknik

Tabel 5 - 4 Data teknik

Property	Ukuran dimensi dalam mm
Phisik	155 x 80 x 36
Probe	130 x 40 x 24
Cable	1,50 m
Weight	with Battery : 215 g Probe : 118 g
Display	LCD, 2 1/2
Parallel direction	TRMS
Frequency band	Tanpa Filter : 16 Hz - 100 kHz ± 1 dB dengan Filter: 16 Hz - 500 Hz ± 1 dB
Measuring fields	electric field : 20/200/2000 V/m magnetic field : 200/2000/20000 nT
AC Voltage	20/200 (/2000) V

5.3.3. Smart Field Meter

Smart Field Meter (Electromagnetic Field meter) mempunyai tampilan kombinasi antara ciri utama peralatan monitoring kualitas medan dengan kenyamanan dan kesederhanaan multi meter. Pengoperasian multimode (rerata, puncak dan pulsa) memungkinkan pengukuran sinusoidal dan medan modulasi

dengan penampilan rerata atau nilai puncak secara bersama. Respon cepat dapat digunakan untuk analisis data secara jarak jauh dan kontrol medan loop tertutup. Disain ringan mudah dibawa dengan battery tahan lama dan probe isotropik dapat dipisahkan memberi keuntungan bagi para pengguna.

Gambar 5 – 45 Smart field meter

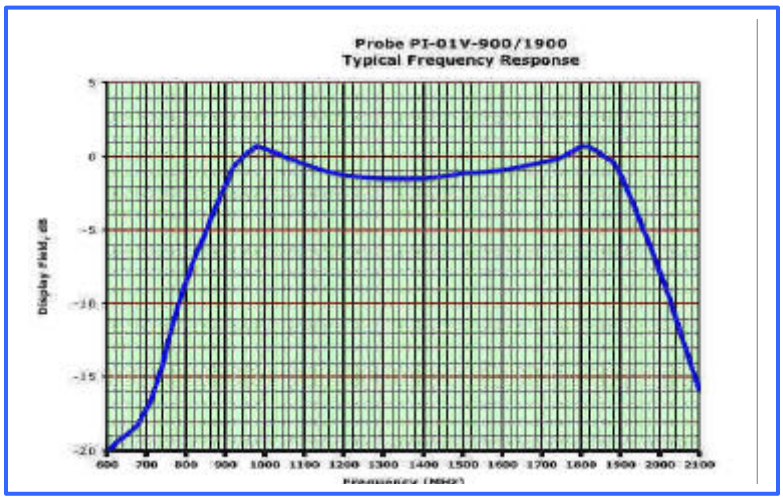
5.3.3.1. Aplikasi Smart Field Meter

Smart Field Meter dapat digunakan untuk mengevaluasi dan mengukur medan elektromaghnit dari beberapa sumber medan yaitu :

AM, FM, TV dan Stasiun Seluler
Pemancar dan Radio CB
Komputer dan Monitor Peralatan
Ponsel
Oven mikrowave
Industri, Peralatan Kedokteran
Sistem test EMC

Gambar 5-46, menunjukkan salah satu pemakaian Smart Field Meter untuk mengukur medan suatu Stasiun pemancar. Gambar 5-47. menggambarkan respon frekuensi hasil pengamatan. Sumbu mendatar menunjukkan frekuensi dimulai dari 600 MHz sampai dengan 2.100 MHz. Sumbu tegak menunjukkan display field meter dalam dB mulai dari – 20 dB sampai dengan 5 dB.

Gambar 5 - 46 Aplikasi smart field meter



Gambar 5 - 47 Frekuensi respon

5.3.3.2. Spesifikasi Smart Field Meter

Pemahaman spesifikasi peralatan diperlukan sebagai pembekalan kemampuan penilaian produk. Disamping penilaian kesesuaian kebutuhan, juga optimalisasi penggunaan secara aman. Spesifikasi field meter salah satu produk ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 5 – 5 Spesifikasi smart field meter

Karakteristik	Parameter
Lebar Cakupan	0.2 - 600 V/m
Cakupan frekuensi	0.2 MHz-3000 MHz
Probe langsung	Omni directional
Cakupan (V/m, skala penuh)	2, 20, 200, 600
Akurasi kalibrasi	+/- 0.5 dB
Deviasi linieritas	+/- 1.5 dB (cakupan 10-100% dari skala penuh).
Probe respon frekuensi	+/- 2.5 dB (0.5 MHz–3GHz), -3 dB @ 0.2MHz
Probe isotropik	+/- 1.5 dB (100, 500, and 2500 MHz).
Mode operasi	Rerata, pulsa dan puncak
Pengenolan	Otomatis dan / atau pengaturan
Umur baterai	100 jam (9V batere alkalin).

BAB 6 PEMBANGKIT SINYAL

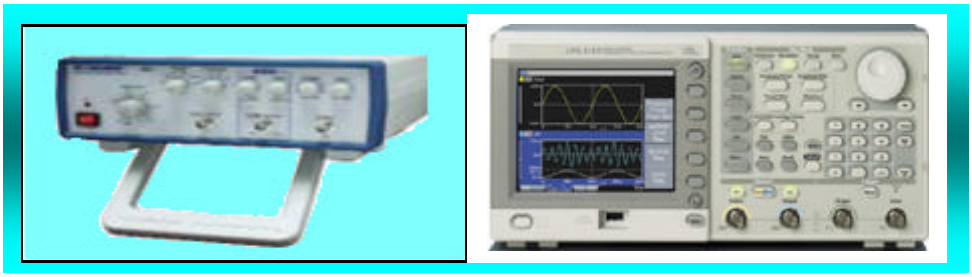
Tujuan :
Setelah mempelajari bab pembangkit sinyal diharapkan akan dapat :
1. Mendiskripsikan jenis-jenis pembangkit sinyal
2. Menjelaskan konstruksi dan cara kerja pembangkit sinyal generator
3. Menjelaskan spesifikasi pmbengkit sinyal
3. Menjelaskan kegunaan sinyal generator dalam pengetesan

6.1. Fungsi Generator

6.1.1. Pendahuluan

Function Generator (generator fungsi) adalah alat tes elektronik yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal atau gelombang listrik. Bentuk gelombang pada umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu sinusoida, persegi, dan segitiga. Pada gambar 6-1 dapat dilihat salah satu jenis *generator fungsi*.

Dengan generator fungsi ini seorang teknisi dapat melakukan pengetesan suatu alat yang akan dites (*devices under test*). Dari analisis terhadap hasil berbagai bentuk gelombang respons alat tersebut, akan dapat diketahui ketepatan karakteristik sesuai dengan ketentuan yang dikehendaki.



Gambar 6-1. Contoh generator Fungsi

6.1.2. Konstruksi dan Cara Kerja

Blok diagram generator fungsi dapat dilihat pada gambar 6-2. Pada umumnya frekuensi yang dibangkitkan dapat divariasi dengan mengatur kapasitor dalam rangkaian LC atau RC. Dalam instrumen ini frekuensi dikendalikan oleh variasi arus yang mengemudikan integrator. Generator fungsi memberikan keluaran berbentuk gelombang sinus, segitiga dan kotak dengan jangkauan frekuensi dari 0,01 Hertz sampai 100 kilo Hertz.

Frekuensi terkendali tegangan (*frequency controlled voltage*)

mengatur dua sumber arus *Upper* dan *Lower Constant Current Source*. *Upper Constant Current Source* mensuplai arus tetap ke integrator yang menghasilkan tegangan output naik secara linier terhadap waktu, menurut persamaan berikut :

$$V_{output} = -\frac{1}{C}\int idt$$

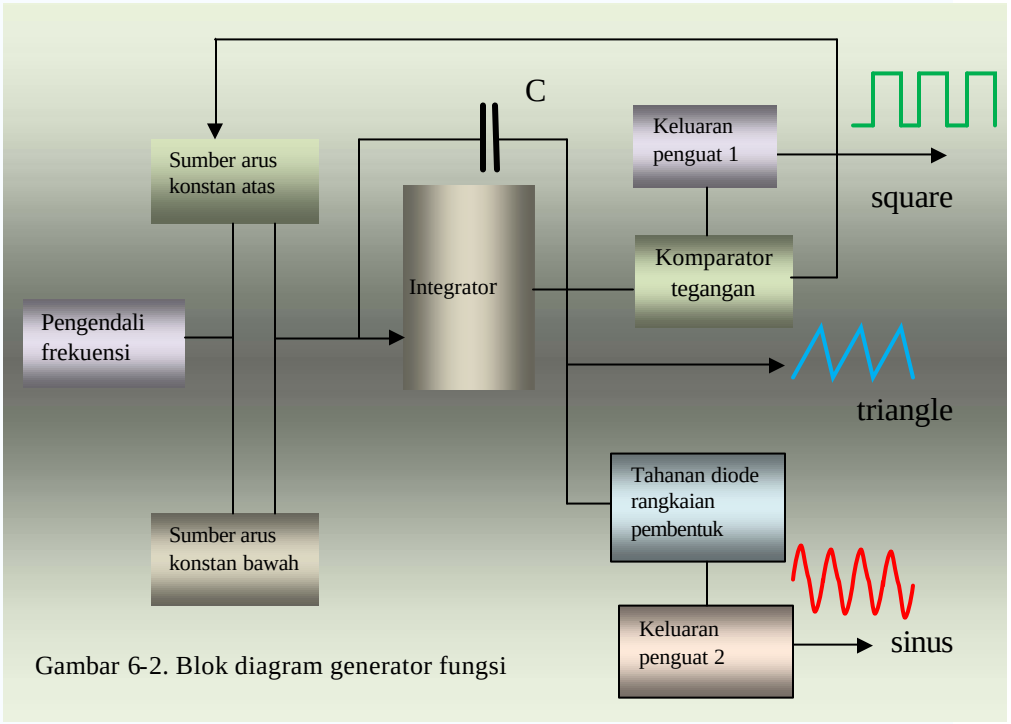
Kenaikan dan penurunan arus akan mengakibatkan naik atau turunnya *slope* tegangan output, yang akan mengatur besarnya frekuensi. Tegangan komparator akan mengubah keadaan ke level maksimum tegangan output integrator yang telah ditetapkan. Perubahan ini akan memutus sumber arus konstan *Upper* beralih ke *Lower constant current source*

Sumber arus konstan *Lower* akan mencatu arus balik ke integrator, sehingga tegangan output turun secara linier terhadap waktu. Bila output mencapai batas minimum yang ditetapkan, maka tegangan komparator akan berubah keadaan dan menyambung ke *Upper constant current source*, demikian seterusnya kembali seperti semula. Dengan demikian terjadilah siklus yang terus menerus.Tegangan output integrator adalah bentuk gelombang segitiga yang besar frekuensinya tergantung pada besar kecil arus yang dicatu oleh kedua sumber arus konstan *Upper* dan *Lower*.

Keluaran komparator memberikan tegangan gelombang kotak (SQUARE) dengan *duty cycle* 50%. Rangkaian *diode resistance* mengatur slope dari gelombang segitiga (TRIANGLE) sehingga amplitudonya berubah menghasilkan gelombang SINUS dengan distorsi kurang dari 1 %.

Jenis konektor yang dipakai tergantung frekuensi kerjanya. Kebanyakan generator fungsi generasi terbaru frekuensi kerjanya sampai 20MHz memakai konektor jenis-BNC, dengan terminasi 50 ~ 75 Ω.

Generator fungsi seperti lazimnya kebanyakan generator sinyal, terdapat juga bagian *attenuator*, beberapa jenis gelombang modulasi output, dan memiliki fasilitas frekuensi gelombang sapuan yang memberi kemampuan untuk pengetesan respons frekuensi dari rangkaian elektronik yang diberikan. Beberapa generator fungsi dilengkapi kemampuan membangkitkan sinyal derau putih (*pink noise*).



Gambar 6 – 2 Blok diagram generator fungsi

6.1.3. Spesifikasi

Sebagai produk dari pabrik pembuat instrumen elektronik generator fungsi dilengkapi spesifikasi instrumen. Para pemakai (*users*) akan mendapatkan informasi teknik penting tentang produk yang mereka pakai. Berikut diberikan contoh sebuah spesifikasi dari sebuah generator fungsi yang lazim dipakai.

Tabel 6.1 Spesifikasi generator fungsi

OUTPUT UTAMA
Rentang Frekuensi. . .....0.5Hz sampai 3MHz dalam 6 Rentang
Bentuk Gelombang .....6 (Sinus, persegi, segitiga, Ramp, +Pulse, - Pulse)
Amplitudo . . . . . .20Vp-p sampai Open (10Vp-p in to 50W)
Attenuator . . . . . .0dB, -20db (+2%)
Impedansi Output . . . . . .50W (+2%)
DC Offset . . . . . .+10V (pull ADJ.)
Frequency Adjust . . . . . .Counter Accuracy
Distorsi . . . . . .<1%, 1Hz to 100KHz
Rise/Fall Time. . . . . .<60nS
V.C.F. Input . . . . . .0 to +10V control
SYNC OUTPUT
Rise Time . . . . . .<40nS
Level . . . . . >3Vp-p (open)
Bentuk gelombang . . . . . .Square, Pulse
SWEEP
Modus . . . . . .Linear/Log Sweep
Lebar . . . . . .>100:1 Continously Variable
Rate . . . . . .From 10mS to 5S Continuously Variable
Output Sweep. . . . . .10Vp-p (open)
Impedansi Output . . . . . .1KW +2%

6.1.4. Prosedur Pengoperasian

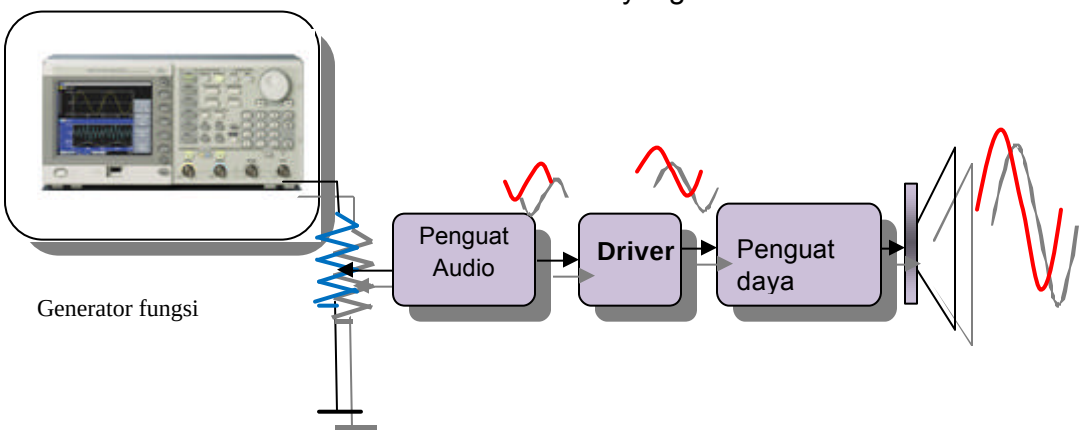
Dalam uraian tentang prosedur pengoperasian generator fungsi akan dijelaskan berbagai aplikasi dari generator fungsi, antara lain : *troubleshooting* dengan teknik *signal tracing*, *troubleshooting* dengan teknik *signal substitution* atau teknik sinyal pengganti, penggunaan generator fungsi sebagai bias dan sumber sinyal, karakteristik penguat dengan beban lebih (*overload*), berbagai pengukuran respons frekuensi, pengetesan performansi penguat dengan gelombang persegi, pengetesan speaker dan rangkaian impedansi. Uraian berikut akan berisi penjelasan cara pengetesan, *setting up* peralatan, dilengkapi dengan uraian dan gambar kerja tentang pelaksanaan pengetesan masing-masing.

6.1.4.1. Troubleshooting dengan teknik *signal tracing*

Salah satu teknik *troubleshooting* untuk mencari kerusakan pada komponen system audio adalah, dengan mengijeksikan sinyal dari generator fungsi pada bagian input alat yang akan dites. Kemudian osiloskop dipakai untuk memeriksa output setiap tingkat dari penguat. Hal ini dimulai dari bagian input dan bergerak kearah output. Bila suatu tingkat memberikan sinyal output yang cacat atau tidak ada

output sama sekali, maka dapat diduga pada tingkat tersebut terdapat kerusakan. Sinyal input yang lazim digunakan berbentuk sinusoida dengan amplitudo rendah, sedemikian rupa supaya tidak menimbulkan cacat bentuk pada tingkat berikutnya. Pada gambar 6-3 dapat dilihat *troubleshooting* pada rangkaian penguat audio menggunakan teknik *signal tracing*.

Teknik yang sama dapat diterapkan pada peralatan non-audio. Umumnya generator fungsi dapat menghasilkan sinyal sampai 2 MHz, bahkan beberapa model mampu memberikan frekuensi sampai 10 MHz atau lebih tinggi. Pada teknik sinyal tracing ini tidak diperlukan tegangan DC-offset dari generator fungsi, walaupun rangkaian penguat audio menggunakan kopling kapasitor yang mampu memblokir tegangan DC yang berasal dari sumber.



Gambar 6.3. Gambar troubleshooting menggunakan teknik pelacakan sinyal

6.1.4.2.Troubleshooting menggunakan teknik sinyal pengganti

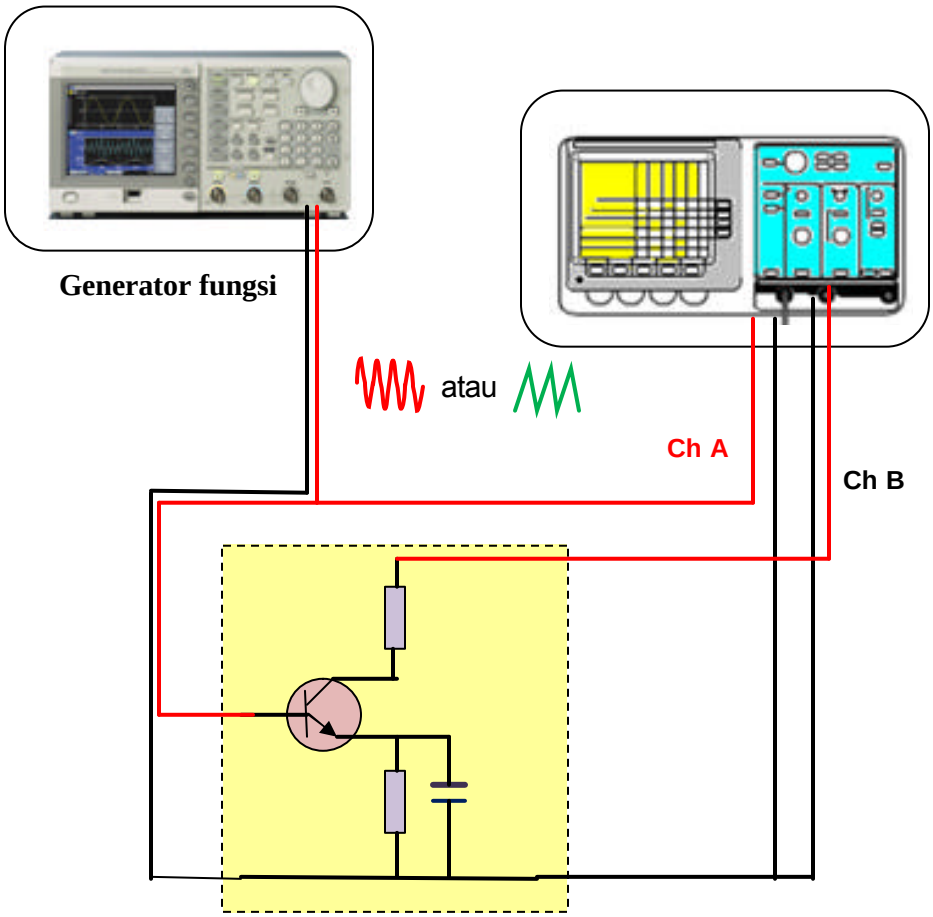
Variasi dari metode *signal tracing* adalah dengan memanfaatkan sinyal frekuensi audio yang berfungsi sebagai sinyal pengganti, diinjeksikan pada berbagai titik dalam peralatan yang sedang dites. Dalam teknik ini pertama kali sinyal diinjeksikan pada titik terdekat dengan speaker, kemudian bergerak maju menuju tingkat sebelumnya secara bertahap sampai tidak terdengar suara pada speaker. Tingkat yang tidak menghasilkan suara pada speaker diduga mengandung kerusakan. Gambar 6-3 dapat dipakai sekaligus untuk troubleshooting menggunakan teknik sinyal pengganti. Perlu diperhatikan bahwa pada teknik sinyal pengganti ini pengaturan tegangan DC offset sumber sinyal dijamin harus cocok dengan tegangan bias masing-masing tingkat pada sistem audio tersebut. Ketidak sesuaian tegangan offset dari operasi normal rangkaian, dapat berakibat operasi tingkat tersebut cut-off dan akan nampak seolah-olah terjadi kerusakan, bahkan dapat juga menyebabkan kerusakan pada bagian tersebut.

Oleh karena itu dapat digunakan kapasitor kopling pada probe sehingga tegangan DC offset tidak akan masuk menggangu titik kerja karena sinyal tetap mengambang pada titik kerja yang dikehendaki.

Teknik sinyal pengganti ini cukup menggunakan indikator speaker saja, karena suara yang keluar dari speaker sudah cukup untuk mendeteksi ada / tidaknya kerusakan.

6.1.5. Penggunaan generator fungsi sebagai bias dan sumber sinyal

Beberapa generator fungsi modern mampu mencampurkan tegangan *DC-offset* pada tegangan output ACnya.



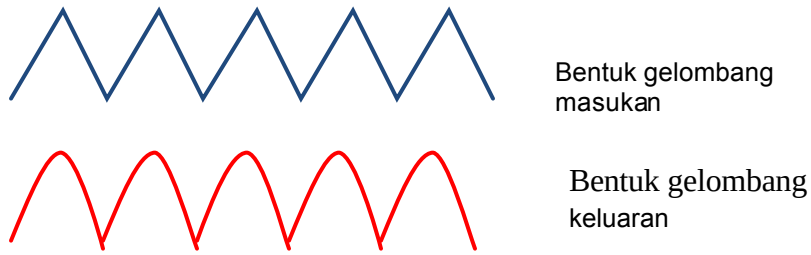
Gambar 6.4. Penggunaan generator fungsi sebagai kombinasi bias dan sumber sinyal

Seperti nampak pada gambar 6-4 kemampuan ini dapat dipakai untuk membias transistor penguat yang dites dengan melengkapi

komponen AC dari sinyal input. Dengan mengamati output penguat pada osiloskop, amplitudo dan bias transistor dapat dioptimalkan pada output tidak cacat. Dengan melakukan variasi *DC-offset*, maka pengaruh beberapa bias (klas A, B dan C) dapat ditentukan.

6.1.5.1. Karakteristik beban lebih pada amplifier

Titik beban lebih (*overload*) dari beberapa penguat sulit ditentukan dengan cara pengetesan menggunakan input gelombang sinusoida. Bentuk gelombang segitiga merupakan bentuk gelombang ideal untuk keperluan ini, karena setiap titik awal dari linieritas mutlak suatu gelombang dapat dideteksi dengan baik. Dengan output segitiga kondisi puncak pembebanan lebih dari sebuah penguat akan mudah ditentukan. Kondisi *overload* tersebut dapat dilihat pada gambar 6-5.



Gambar 6-5. Karakteristik penguat kondisi overload

6.1.5.2. Pengukuran Respon Frekuensi

Generator fungsi dengan kapabilitas sweep adalah ideal untuk pengecekan respons frekuensi pada peralatan seperti penguat, kendali bass dan treble, filter band-pass, filter *High Pass* dan *Low Pass*, rangkaian kopling, dan speaker maupun rumah speaker. Penguat IF, *tuned circuit*, *notch filter* dan rangkaian impedansi lainnya. Dengan range frekuensi generator fungsi sampai minimal 1 MHz, maka dapat dipakai untuk pengukuran, mengaturan dan analisis respons peralatan pasip atau aktip sampai batas frekuensi tersebut.

Sebagai tambahan pada fasilitas *sweep* internal, beberapa generator memiliki input frekuensi terkontrol tegangan (*VCF = voltage controlled frequency*), yang memungkinkan pengendalian sinyal *sweep* oleh gelombang sinus atau pola khusus lainnya. Juga beberapa unit tercakup rentang audio dari 20 Hz ~ 20 kHz dapat masuk dalam satu *sweep* dengan mudah.

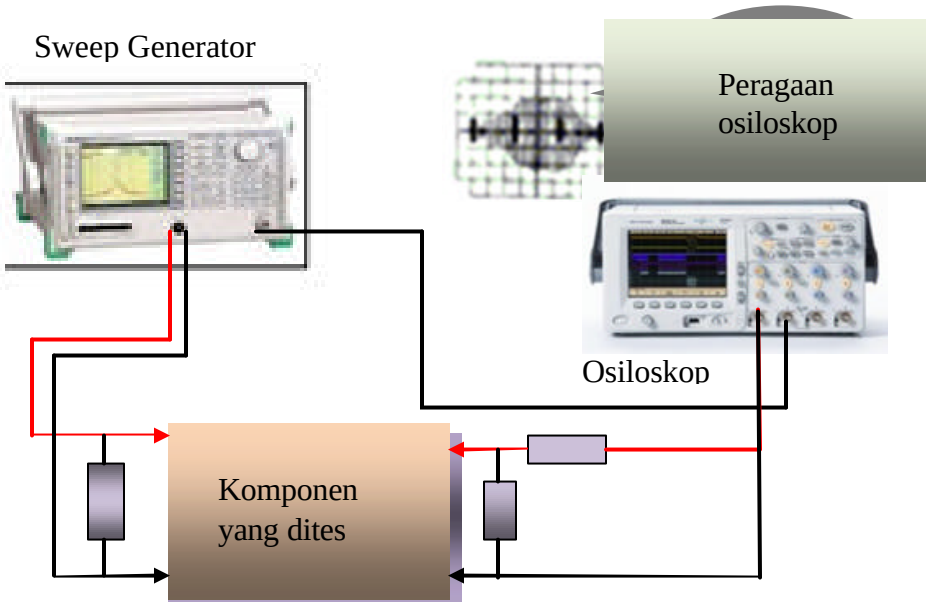
6.1.5.3. Setting Peralatan Tes

Prosedur berikut ini mengacu gambar. 6-6 . menjelaskan cara penyiapan dan metode pengukuran respons frekuensi.

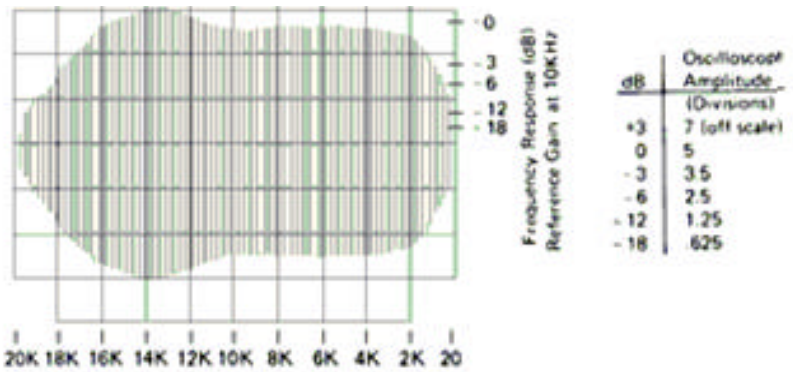
1. Pilih rentang frekuensi yang dikehendaki pada generator.
2. Sambungkan kabel dari terminal output pada generator ke input horisontal (X) dari osiloskop.
3. Pasang osiloskop pada posisi input X-Y.
4. Dengan pembangkit sweep pada posisi OFF, variasikan operasi dari alat pada frekuensi dasar.
5. Nyalakan signal sweep dan atur lebar dan titik awal untuk melacak semua arah yang dikehendaki oleh ”marker” pada layar. Atur kecepatan sweep sehingga displai bebas dari derau.
6. Sambungkan output generator dengan input rangkaian yang akan dites. Bila perlu sisipkan terminasi untuk matching impedance antara output generator dengan input rangkaian. Hal ini tidak perlu kalau impedansi input dan output telah cocok misalkan sebesar 50Ω.
7. Sambungkan input vertical (Y) osiloskop untuk mengukur tegangan output beban dari rangkaian yang dites.
8. Pilih bentuk sinyal sinus, segitiga, atau persegi manakah yang sesuai. Sinyal sinus yang lazim dipakai pada pengecekan respons frekuensi. mengendalikannya sesuai tegangan sweep.

6.1.5.4. Peraga Respon Frekuensi

Bila menggunakan osiloskop kovensional, maka peraga yang diperoleh akan nampak seperti gambar 6-7 Penguatan atau atenuasi relatip dari seluruh frekuensi dalam pita tersebut akan ditampilkan. Tampilan akan dapat dianalisis untuk menerima atau menolak karakteristik respons frekuensi. Dalam penguat pita-lebar, tujuan analisis umumnya adalah untuk menjaga respons frekuensi rata pada lebar-pita selebar mungkin. Tampilan respons frekuensi dari rangkaian filter dan kopling menunjukkan frekuensi dan ketajaman *cut-off.*



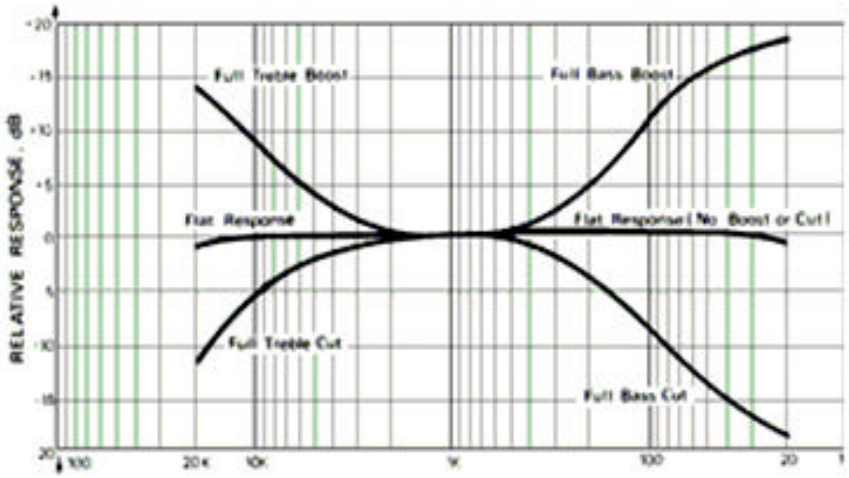
Gambar 6-6. Setting Peralatan dan Pengukuran Respon Frekuensi



Gambar 6-7. Peragaan respon frekuensi penguat audio

6.1.5.5. Pengetesan *Tone Control* Sistem Audio

Bila penguat audio yang dites dilengkapi dengan kendali bass dan treble, pengaruh pengendalian itu pada keseluruhan respons dapat ditentukan degan tes respos frekuensi jalan kalau pengendalian dilakukan pada range frekuensi secara penuh. Gambar berikut memberikan gambaran hasil respons frekuensi dari variasi *tone control*.



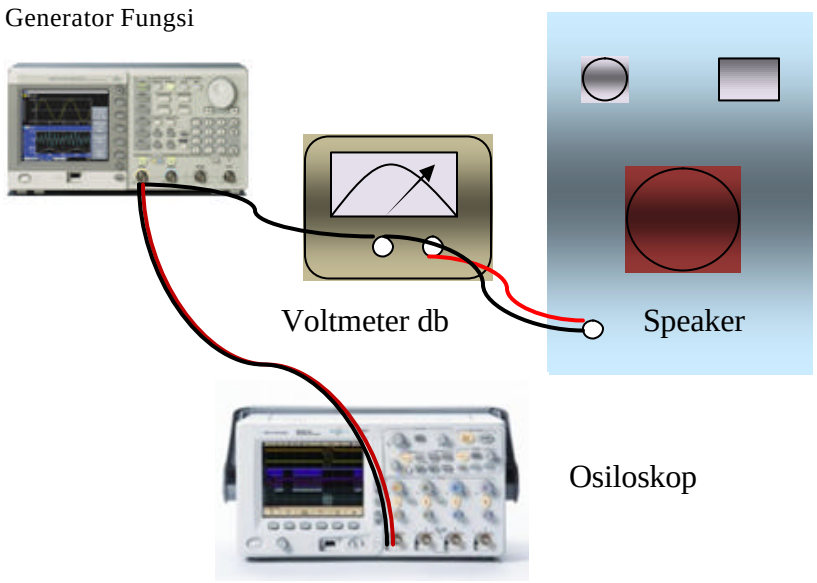
Gambar 6-8 Pengaruh variasi *tone control* pada frekuensi respons system audio

6.1.4.6. Pengetesan speaker dan rangkaian impedansi

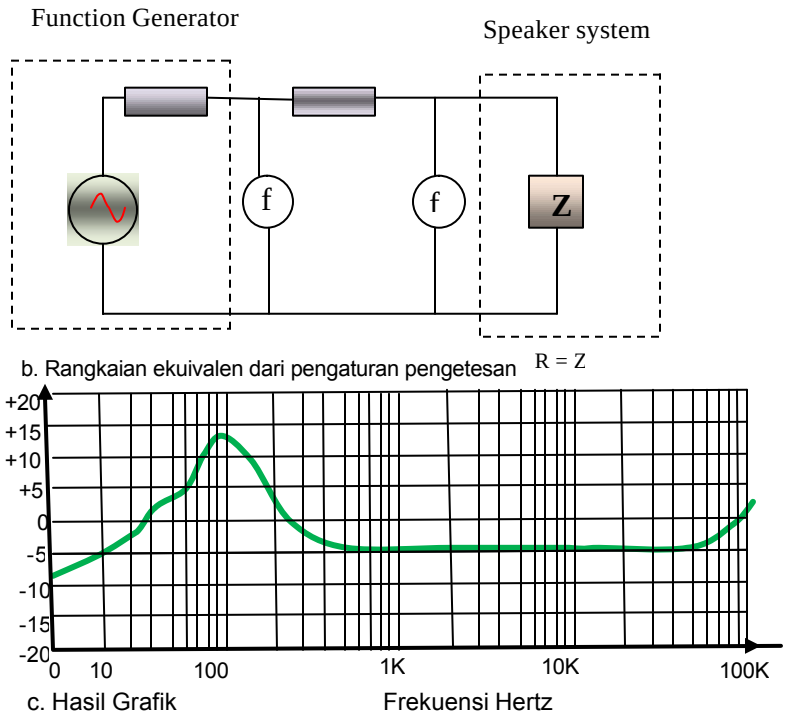
Generator fungsi dapat dipakai untuk memperoleh informasi mengenai impedansi input suatu speaker atau sembarang rangkaian impedansi yang lain terhadap frekuensi. Dengan kata lain frekuensi resonansi rangkaian dapat ditentukan.

Adapun prosedur pengetesannya adalah sebagai berikut:

1. Hubungkan peralatan seperti tertera pada gambar 6-9 osiloskop dapat dipakai untuk memastikan apakah output generator fungsi tidak dalam kondisi terpotong.
2. Bila menggunakan metode voltmeter, variasikan nilai frekuensi sampai range penuh dan logaritmik tegangan terukur pada terminal speaker terhadap frekuensi. Skala dB dari Voltmeter AC sesuai untuk mengkonversi data ke dalam satuan respons standar.
3. Bila memilih menggunakan CRO, maka gunakan sweep untuk pengukuran respons frekuensi.



Gambar 6-9a. Pengetesan sistem speaker



Gambar 6-9b. Karakteristik sistem speaker dan rangkaian impedansi

4. Dalam pengetesan speaker akan naik pada frekuensi tegangan sinyal percakapan rendah. Frekuensi resonansi

dihasilkan seperti pada kurva gambar 6.9.c. Hal ini sangat dipengaruhi oleh konstruksi kotak speaker. Para perancang kotak speaker dapat menggunakan karakteristik yang dihasilkan, untuk mengevaluasi pengaruh berbagai faktor seperti bahan peredam, jenis bahan kotak speaker, dan tentu saja jenis speakernya sendiri.

5. Dalam pengetesan rangkaian impedansi, tidak perlu terjadi resonansi pada frekuensi rendah. Tetapi bila mendekati resonansi level sinyal akan naik.

Impedansi rangkaian dapat diukur pada frekuensi resonansi, atau pada frekuensi lain bila dikehendaki, dengan cara seperti berikut :

(a) Hubungkan resistor variabel non-konduktif, seperti pada gambar 6.9b.
(b) Ukur tegangan pada titik E1 dan E2 dan atur resistor variabel R1, sehingga tegangan E2 = ½ dari E1.
(c) Impedasi dari rangkaian = nilai resistor variabel R1 yang diperoleh.

6.1.4.7. Keselamatan Kerja

1. Periksa apakah tegangan pada ground Generator fungsi terhadap netral stop kontak tetap 0 Volt.
2. Bila ternyata tegangan ground tersebut tidak sama dengan nol, laporkan pada teknisi atau instruktur, hentikan sementara percobaan.
3. Jangan biasakan memutar tombol-tombol kontrol diluar ketentuan praktikum
4. Jangan coba masukkan tegangan DC atau apapun ke terminal output Generator fungsi.
5. Jangan coba memasukkan tegangan apapun ke input. terminal EXT SYNC, selain tegangan eksternal sinkronisasi yang diperlukan (tanyakan pada instruktur).
6. Jangan menggunakan Generator fungsi pada tempat yang bersuhu sangat tinggi, kelembaban tinggi dan dalam medan elektromagnetik tinggi.
7. Simpanlah Generator fungsi di tempat yang sejuk, dan bebas debu. Sebaiknya disimpan dalam almari tertutup dan berilah silika-gel untuk menghindari kelembaban dalam almari.

6.2. Pembangkit Frekuensi Radio

Dalam penggunaan RF generator banyak dipakai pada bidang telekomunikasi atau dalam bidang RF (*radio frequency*). Peralatan dan komponen di bidang telekomunikasi sering membutuhkan pengetesan, baik dalam masa pembuatan, pemasangan maupun pemeliharaan. Simulasi sinyal input kadang diperlukan untuk mengganti komponen rusak, atau menganalisis karakteristik piranti di bawah kondisi sinyal yang berbeda.

Gambar.6.10. Pengoperasian Generator RF.

Pada gambar nampak seorang ahli teknik sedang melakukan pengujian sistem elektronik dengan menggunakan generator RF modern, yang disebut *Arbitrary/Generator fungsi*. Alat ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pengetesan frekuensi respons piranti RF, seperti pengukuran lebar pita filter atau penguat IF, pengukuran distorsi intermodulasi, simulasi sinyal radar, maupun pengukuran bilangan derau (NF, *noise figure*). Instrumen ini mampu membangkitkan sinyal *Continous Wave (CW)* sampai 240 MHz, dan sinyal pulsa sampai 120 MHz, dengan daya output sampai 16 dBm. Sinyal ini dapat dimodulasi dalam frekuensi, amplitudo dan fasa melalui generator modulasi internal yang tersedia atau sumber dari luar sampai modulasi frekuensi 50 kHz.

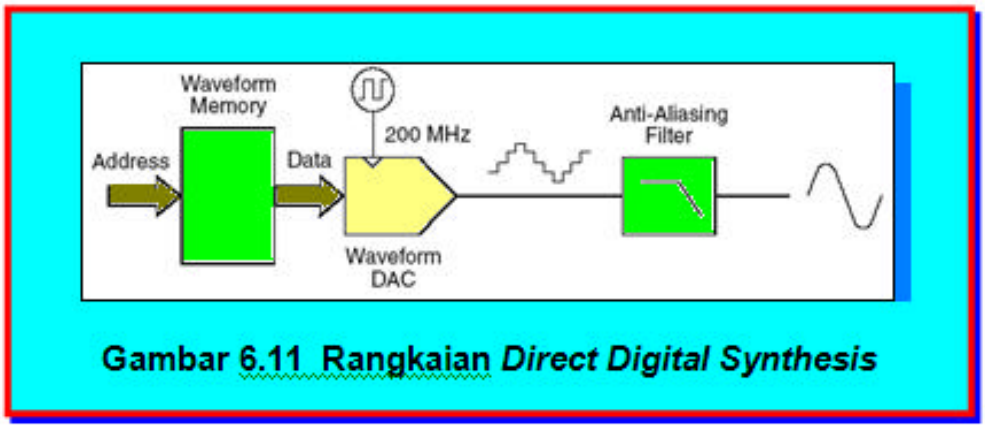
6.2.1. Konstruksi dan Cara kerja

6.2.1.1. *Direct Digital Synthesis*

Metoda DSP (*digital signal processing*) dipakai pada banyak pemakaian. Dengan metoda ini banyak hal dapat dilakukan, seperti : digital audio CD Player, piano, bentuk gelombang kompleks dapat dengan mudah dibuat atau direproduksi menggunakan metode pembangkitan sinyal digital. AFG ini menggunakan teknik pembangkitan gelombang yang disebut DDS (*Direct Digital Synthesis)* untuk semua jenis gelombang fungsi kecuali pulsa.

Seperti nampak pada gambar di bawah nampak aliran data digital menyatakan gelombang yang diinginkan, dibaca secara beruntun dari memori bentuk gelombang dan dipasang pada input konverter DAC. DAC diberi input clock pada frekuensi sampling generator fungsi sebesar 200 MHz dan outputnya merupakan sederet tegangan undak (*step*) mendekati

bentuk gelombang yang diinginkan. Filter low pass "anti-aliasing" kemudian menghaluskan gelombang undak untuk membangkitkan bentuk gelombang akhir.



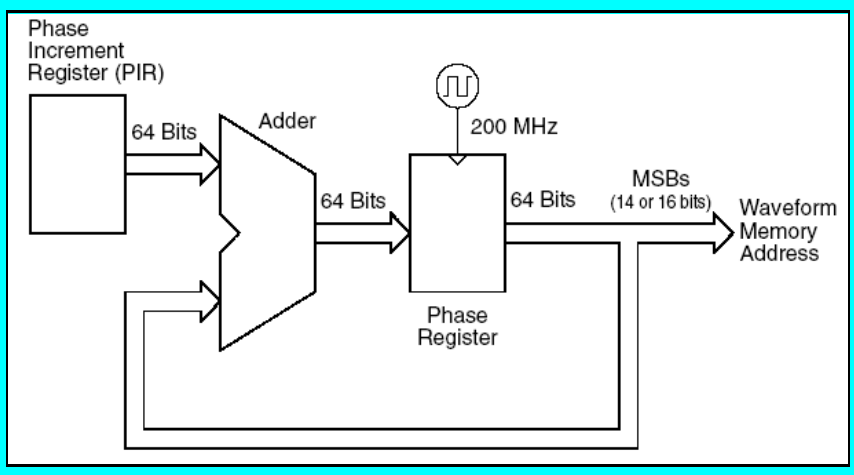
Gambar 6.11 Rangkaian *Direct Digital Synthesis*

Jenis AFG ini menggunakan dua buah filter "*anti aliasing*". Sebuah filter eliptik orde ke-9 dipakai untuk gelombang sinus kontinyu, sebab mempunyai lebar pita yang rata dan frekuensi cut-off yang tajam diatas 80MHz. Karena filter eliptik menghasikan beberapa "ringing" untuk bentuk gelombang selain sinus kontinyu, filter orde ke-7 berfasa linier dipakai untuk semua bentuk gelombang fungsi. Untuk bentuk gelombang standar, arbitrary waveform didefinisikan dengan lebih kecil dari 16.384 (16K) titik, generator fungsi memakai memori bentuk gelombang sebesar 16K kata. Sedangkan untuk generator fungsi yang didefinisikan lebih dari 16K titik, generator fungsi memakai memori bentuk gelombang sebesar 65.536 (64K) kata (*words*).

AFG ini mempunyai nilai amplitudo 4.096 level tegangan diskrit atau 12-bit resolusi vertikal. Data bentuk gelombang spesifik dibagi kedalamsampel sedemikian rupa, sehingga satu siklus bentuk gelombang dengat tepat mengisi memori bentuk gelombang (lihat gambar di bawah untukgemombang sinus). Bila anda membangkitkansembarang bentuk gelombang yang tidak berisi tepat 16 K atau 64K titik, bentuk gelombang akan secara otomatik direntang oleh titik-titik perulangan atau oleh interpolasi antara titik-titik yang ada yang diperlukan untuk mengisi memori bentuk gelombang. Bilasemua memori bentuk gelombang terisi satu siklus gelombang, setiap lokasi memori sesuai dengan sudut fasa 2pi/16.384 radian atau 2pi/65.536 radian.

Gb.6.12 Presentasikan gelobang sinus dalam memori gelombang

Generator DDS menggunakan teknik akumulasi fasa untuk mengendalikan pengalamatan memori bentuk gelombang. Selain penghitung untuk membangkitkan alamat memori sekuensial, juga dipakai "*adder*". Pada setiap siklus clock, konstanta dibebankan pada register kenaikan fasa (*the phase increment register, PIR*) ditambahkan pada hasil yang ada dalam akumulator fasa. MSB (*the most-significant bits)* dari output akumulator fasa dipakai untuk pengalamatan memori bentuk gelombang. Dengan mengubah konstanta PIR, jumlah siklus clock yang diperlukan untuk menaiki tangga meliputi seluruh memori bentuk gelombang ikut berubah, sehingga terjadi perubahan pada frekuensi output. Bila konstanta PIR baru dibebankan pada register, frekuensi bentuk gelombang mengubah fasa secara kontinyu mengikuti siklus clock berikutnya. PIR menentukan kecepatan nilai fasa berubah terhadap waktu dan akhirnya mengendalikan frekuensi yang disintesis. Semakin besar bit dalam akumulator fasa akan menghasilkan resolusi frekuensi yang makin halus. Bila PIR hanya mempengaruhi nilai kecepatan perubahan nilai fasa (bukan fasanya itu sendiri), perubahan dalam frekuensi bentuk gelombang mempunyai fasa kontinyu.



Gambar 6-13 Phase accumulator circuitry

AFG ini menggunakan akumulator fasa 64-bit yang dapat menghasilkan 2 ~ 64 X 200 MHz atau 10,8 picoHertz resolusi frekuensi internal. Perlu dicatat bahwa 14 atau 16 MSB dari register fasa dipakai sebagai alamat memori bentuk gelombang. Akan tetapi bila menyintesis frekuensi rendah (< 12,21 KHz), alamat tidak akan berubah sepanjang siklus clock dan beberapa titik akan diloncati. Bila cukup banyak titik diloncati, gejala "*aliasing*" akan terjadi dan bentuk gelombang output akan mengalami distorsi.

Teorema Sampling Nyquist menyatakan bahwa untuk mencegah terjadinya ***aliasing***, komponen frekuensi tertinggi dari bentuk gelombang output yang diinginkan harus **lebih kecil dari setengah** frekuensi sampling (dalam alat ini dipakai 100 MHz)

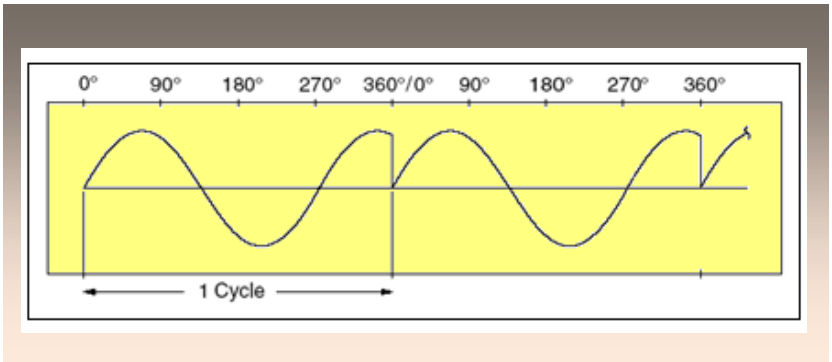
6.2.1.2. Creating Arbitrary Waveforms

Untuk aplikasi pada umumnya, tidak perlu menciptakan suatu bentik gelombang sembarang (arbitrary) dengan sejumlah titik khusus selama generator fungsi mengulang titik (atau interpolasi) yang perlu untuk mengisi memori bentuk gelombang. Contoh kalau anda memilih 100 titik, setiap titik bentuk gelombang akan diulang dengan rerata 16.384 / 100 atau 163,84 kali. Pada alat ini anda

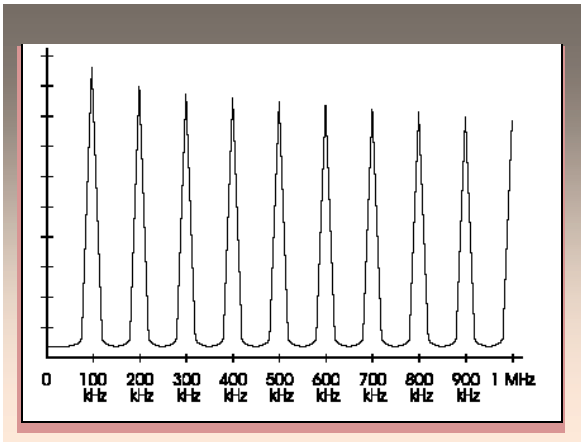
tidak perlu menubah panjang bentuk gelombang untuk mengubah frekuensi output.
Semua yang harus dikerjakan menciptakan bentuk gelombang dengan panjang berapapun, dan kemudian mengatur frekuensi output generator fungsi. Tetapi untuk memperoleh hasil yang terbaik (dan meminimalkan kekeliruan kuantisasi tegangan, direkomendasikan bahwa penggunaan rentang penuh (full range) dari pembentuk gelombang DAC (digunakan 4.096 semua tingkat).

Hanya melaui panel belakang dapat menggunakan interpolasi linier untuk menghaluskan transisi antar titik bentuk gelombang. Hal itu memungkinkan menciptakan bentuk gelombang sembarang dengan titik-titik yang relatip sedikit. Frekuensi dapat diperoleh maksimal 25 MHz. Tetapi perlu dicatat bahwa manfaat frekuensi batas atas, biasanya kurang dipengaruhi keterbatasan bandwidth generator fungsi dan aliasing. Komponen bentuk gelombang di atas bandwidth 3 dB akan diredam.
Ketika memilih bentuk gelombang pada fungsi panel belakang generator, tidak perlu memasukkan pilihan interval waktu. Pilihan interval waktu ditambahkan bilamana diperlukan bentuk gelombang yang sangat komplek. Hanya melalui panel belakang, dapat digunakan interpolasi linier untuk memperhalus peralihan antar bentuk gelombang. Dalam perkembangannya memungkinkan membentuk gelombang acak yang dengan sejumlah titik yang relatip sedikit. Instrumen 33250A, keluaran gelombang acak frekuensi tertinggi MHz. Bagaimanapun, perlu dicatat bahwa batas atas yang biasa digunakan sedikit lebih rendah dari pada pembatasan luas bidang pada fungsi generator. Komponen bentuk gelombang generator fungsi di atas lebar band -3 dB akan diperlemah. Bila pada keluaran frekuensi diatur sampai 5 MHz frekuensi keluaran sebenarnya akan menjadi 5 MHz dan amplitudo akan dilemahkan 3dB. Pada frekuensi sekitar 8 MHz, distorsi bentuk gelombang dalam kaitan dengan aliasing akan menjadi penting. Beberapa aliasing akan ada dalam bentuk gelombang arbitrary, tetapi akan menyusahkan atau tidaknya tergantung pada aplikasi spesifik pemakaian.
Pada saat membentuk gelombang arbitrary, generator fungsi akan selalu berusaha untuk replicate pada saat merekam, sehingga menghasilkan versi data periodik dalam memori bentuk gelombang.
Bagaimanapun, dimungkinkan bentuk dan pasa sinyal yang terjadi diskontinyuitas pada bagian akhir. Bila bentuk gelombang diulangai sepanjang waktu, titik akhir diskontinyuitas ini akan mengantarkan kesalahan kebocoran dalam ranah frekuensi yang dikarenakan banyak spektrum diperlukan untuk menguraikan diskontinuitas.
Kesalahan kebocoran disebabkan bila rekaman bentuk gelombang tidak meliputi jumlah siklus

keseluruhan dari frekuensi dasar. Daya frekuensi dasar, dan harmonisnya ditransfer pada komponen spektrum segi empat fungsi pencuplikan. Kesalahan kebocoran dapat dikurangi dengan mengatur panjang jendela meliputi jumlah integer dari siklus dalam jendela, untuk mengurangi ukuran residu titik akhir diskontinuitas. Beberapa sinyal dikomposisikan dari diskrit, yang berkaitan dengan frekuensi non harmonis. Karena sinyal ini tidak diulang-ulang, semua komponen frekuensi tidak dapat menjadi harmonisasi berkaitan dengan panjang jendela. Penanganan situasi ini harus secara hati-hati untuk meminimkan bagian akhir diskontinyuitas dan kebocoran spektrum.



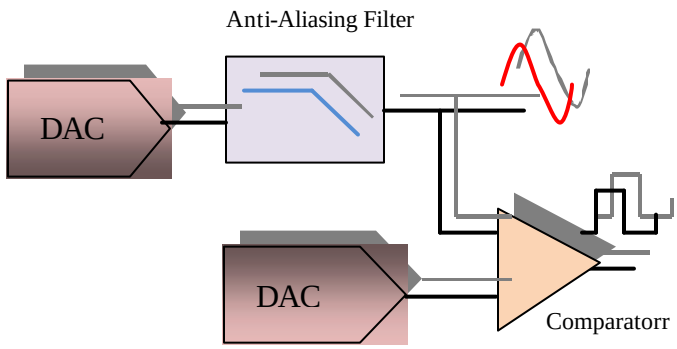
Gambar 6-14 Bentuk gelombang arbitrary dengan diskontinyuitas



Gambar 6-15 Spektrum dari bentuk gelombang diatas pada 100 kHz

6.2.1.3. Pembangkit Gelombang

Untuk mengeliminasi distorsi aliasing pada frekuensi yang lebih tinggi, 3325E menggunakan teknik pembangkit gelombang kotak yangberbeda untuk menghasilkan gelombang kotak. Untuk frekuensi di atas 2 MHz, gelombang kotak dibuat dengan routing DDS pembangkit gelombang sinus ke dalam komparator. Keluaran digital dari komparator kemudian digunakan sebagai basis keluaran bentuk gelombang kotak. Duty cycle bentuk gelombang dapat divariasi dengan mengubah threshold komparator . Untuk frekuensi di bawah 2 MHz pembentuk gelombang berbeda dibebankan kepada pembentuk gelombang memory untuk meminimkan jitter.

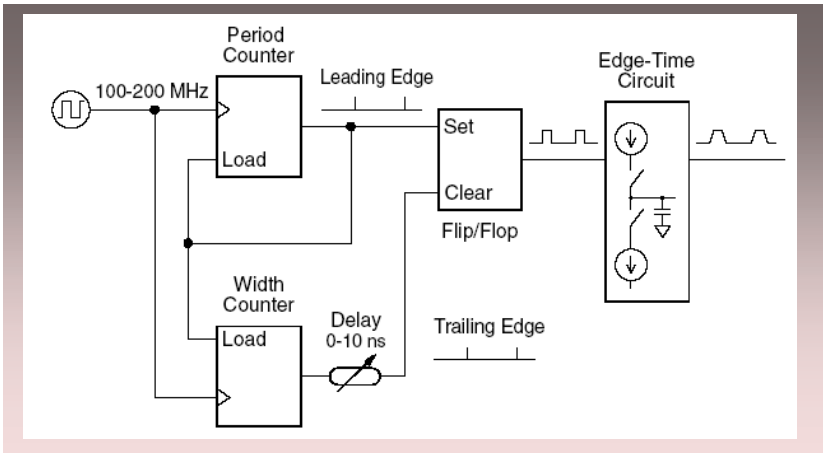


Gambar 6-16 Rangkaian pembangkit bentuk gelombang kotak

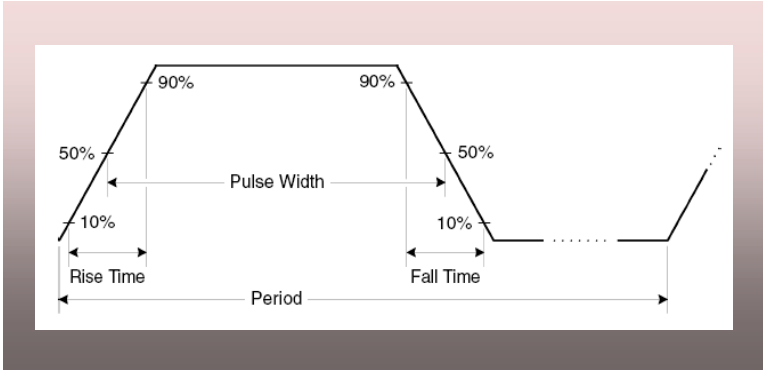
6.2.1.4. Generasi bentuk gelombang pulsa

Untuk mengeliminasi distorsi aliasing pada frekuensi yan lebih tinggi, 33250 A juga menggunakan teknik pembangkitan bentuk gelombang yang berbeda untuk membuat gelombang pulsa. Pembangkitan gelombang pulsa, siklus clock dihitung diturunkan pada kedua perioda dan lebar pulsa. Untuk mencapai resolusi amplitudo yang halus frekuensi clock divariasi dari 100 Mhz sampai 200 MHz dengan menggunakan PLL (Phase Lock Loop).

Untuk mencapai resolusi lebar pulsa yang halus, analog ditunda (0 sampai 10 ns) diaplikasikan pada ujung akhir perioda. Waktu naik dan turun dikontrol oleh rangkaian yang memvariasi muatan arus dalam kapasitor. Perioda, lebar pulsa dikendalikan secara independen dalam batasan yang pasti.



Gambar 6-17. Rangkaian pembangkit bentuk gelombang pulsa



Gambar 6-18 Parameter bentuk gelombang pulsa

6.2.2. Ketidaksempurnaan sinyal

Untuk bentuk gelombang sinus, ketidaksempurnaan sinyal paling mudah untuk diuraikan dan diamati dalam ranah frekuensi dengan menggunakan penganalisa spektrum. Banyak komponen sinyal keluaran yang mempunyai frekuensi berbeda dengan frekuensi dasar (pembawa) dipandang sebagai sinyal palsu. Ketidaksempurnaan sinyal dapat dikatagorikan sebagai harmonis, non harmonis atau pasa noise dan dispesifikasikan relatip terhadap tingkat pembawa atau dBc.

6.2.2.1. Cacat Harmonis

Komponen harmonis selalu muncul pada kelipatan dari frekuensi dasar yang disebabkan oleh sifat non linieritas dalam pembentuk tegangan DAC dan elemen jalur sinyal lain. Tipe 30250A menggunakan filter frekuensi rendah 100 MHz untuk melemahkan harmonis frekuensi yang sangat tinggi. Pada frekuensi lebih rendah dan amplitudo lebih rendah, mungkin ada sumber distorsi harmonis lain yang menyebabkan arus mengalir melalui kabel yang dihubungkan

ke penghantar keluaran serempak (syn). Arus ini menyebabkan timbulnya tegangan gelombang kotak dengan amplitudo rendah pada ujung-ujung resistansi kabel pengaman. Tegangan ini dapat bercampur dengan tegangan sinyal utama. Jika dalam aplikasi tidak bisa diabaikan kabel dapat dipindahkan atau dilemahkan. Jika dalam aplikasi membutuhkan penggunaan penghantar keluaran serempak, pengaruh ini dapat diminimkan dengan menterminasikan dengan kabel yang mempunyai impedansi beban tinggi.

6.2.2.2. Cacat Non-Harmonis

Sumber terbesar dari komponen non harmonis spurs (dinamakan "spurs/taji") adalah bentuk gelombang DAC. Ketaklinearan dalam DAC mengarah pada timbulnya harmonic alias atau “folded back”, ke dalam bandpass dari generator fungsi. Harmonis spur ini sangat signifikan pada saat terdapat hubungan sederhana antara frekuensi sinyal dan frekuensi pencuplikan generator fungsi (200MHz). Misal pada frekuensi 75 MHz, DAC menghasilkan harmonis pada 150 MHz dan 225 MHz. Harmonis yang 50 MHz dan 25 MHz berasal dari frekeunsi pencuplikan generator fungsi 200 MHz, akan muncul seperti taji pada 50 MHz dan 25 MHz. Sumber lain dari non harmoni spurs adalah penghubung sumber-sumber sinyal yang tidak berkaitan dengan sinyal keluaran (seperti clock mikroprossor). Spurs ini biasanya mempunyai amplitudo tetap (= -75 dBm atau 112 µVpp) amplitudo ini tidak bias diabaikan terutama sinyal di bawah 100 mVpp. Untuk mencapai amplitudo rendah dengan kandungan spurs minimum, keluaran generator fungsi dipertahankan pada level relatip tinggi dan menggunakan attenuator eksternal jika dimungkinkan.

6.2.2.3. Fasa Noise

Pasa noise diakibatkan dari perubahan kecil frekuensi keluaran sesaat (jitter). Noise datar pada sekitar frekuensi dasar dan bertambah sebesar 6 dBc/oktaf terhadap frekuensi pembawa. Pada 33250A noise pasa ditampilkan jumlah dari semua komponen noise dengan band 30 KHz berpusat pada frekuensi dasar. Hubungan integrasi noise pasa terhadap jitter memenuhi persamaan berikut.

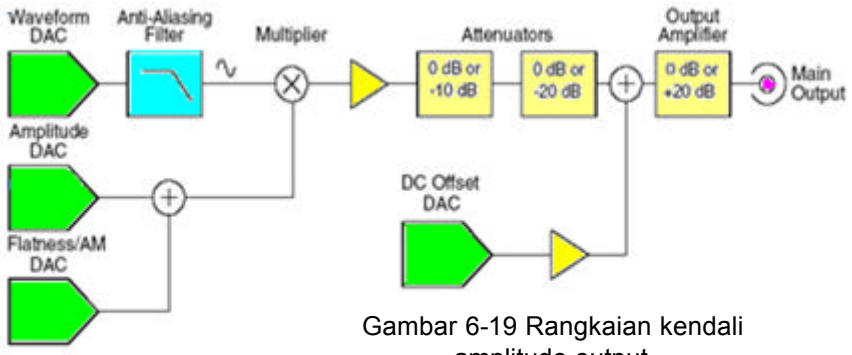
$$\text{Jitter in Seconds (rms)} = \frac{1}{2\pi \times \text{Frequency}} \times 10^{(\text{Phase Noise in dBc}/20)}$$

6.2.2.4. Kesalahan Kuantisasi

Resolusi DAC terbatas (12 bit) menjadi penyebab utama kesalahan kuantisasi tegangan. Asumsi kesalahan secara seragam didistribusikan melebihi cakupan ± 0,5 nilai bit terendah (least-significant bit /LSB), ekuivalen tingkat noise -74 dBc untuk gelombang sinus yang menggunakan cakupan DAC penuh (4096 tingkatan). Panjang memori bentuk gelombang terbatas menjadi penyebab utama terjadinya kesalahan pasa kuantisasi. Perlakuan kesalahan ini seperti modulasi pasa tingkat rendah dan dengan asumsi distribusi merata melampaui cakupan LSB, tingkat ekuivalen noise -76 dBc untuk gelombang sinus yang mempunyai panjang sampel 16K. Standarisasi bentuk gelombang menggunakan cakupan masukan DAC dan panjang sampel 16K. Beberapa bentuk gelombang arbitrary yang menggunakan kurang dari cakupan masukan DAC, atau ditetapkan dengan lebih sedikit dibanding 16.384 poin-poin, akan memperlihatkan secara proporsional kesalahan kuantisasi relatip lebih tinggi.

6.2.2.5. Pengendali Tegangan Keluaran

Multiplier analog digunakan untuk mengendalikan sinyal yang mempunyai amplitudo melampaui 10 dB. Seperti ditunjukkan pada gambar 6-19. satu dari beberapa masukan multiplier dilewatkan dalam sebuah filter anti-aliasing. Masukan lain berasal dari control tegangan DC yang merupakan jumlah dari dua keluaran DAC. Salah satu DAC diatur sesuai dengan tegangan nominal amplitudo keluaran yang dikehendaki. DAC kedua memberikan suatu tegangan untuk mengkoreksi variasi respon frekuensi generator fungsi. Prosedur kalibrasi 33250A dilengkapi semua informasi yang diperlukan untuk menghitung nilai DAC. Dua attenuator (- 10 dB dan – 20 dB) dan penguat (+20 dB) digunakan sebagai variasi kombinasi untuk mengendalikan tegangan keluaran dalam step 10 dB melampaui lebar cakupan nilai amplitudo (1 mVpp sampai 10 Vpp).

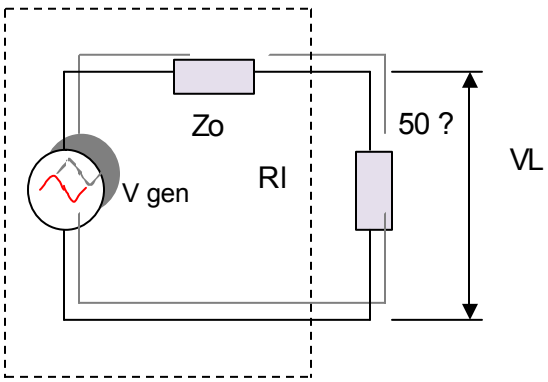


Gambar 6-19 Rangkaian kendali amplitudo output

Catatan :

Perlu diperhatikan bahwa offset dc merupakan jumlah sinyal ac setelah attenuator, sebelum penguat keluaran. Ini memungkinkan sinyal ac kecil di offsetkan dengan tegangan dc yang relatip besar. Misal tegangan 100mVpp dapat dioffsetkan dengan hampir 5Vdc (dalam beban 50 ?).

Pada saat merubah cakupan, selalu mensaklar attenuator yang demikian ini menyebabkan tegangan keluaran tidak pernah melampaui pengaturan awal amplitudo arus. Bagaimanapun, gangguan sesaat atau glitch yang disebabkan oleh pensaklaran, dalam beberapa aplikasi dapat menyebabkan masalah. Untuk alasan inilah, 33250A mengembangkan *range hold* untuk menyegarkan saklar attenuator dan amplifier dalam arus kerjanya. Bagaimanapun, amplitudo, akurasi dan resolusi offset (seperti halnya ketepatan bentuk gelombang) mungkin berpengaruh kurang baik ketika mengurangi amplitudo di bawah cakupan yang diharapkan. Sebagaimana ditunjukkan di bawah ini 33250A memiliki impedansi seri keluaran yang tetap 50 ?, membentuk pembagi tegangan dengan tahanan beban.



Gambar 6-20 Impedansi keluaran generator fungsi

Sebagai kenyamanan, impedansi beban dapat ditetapkan sebagimana diperlihatkan oleh generator fungsi dan dengan demikian dapat diperagakan tegangan beban dengan benar. Jika impedansi beban sebenarnya berbeda dengan nilai yang ditetapkan, amplitudo yang diperagakan, offset, dan tingkatan tinggi / rendah menjadi salah. Variasi tahanan sumber diukur dan diperhitungkan selama instrumen dikalibrasi. Oleh karena itu akurasi tegangan beban terutama bergantung pada akurasi tahanan beban dengan persamaan ditunjukkan di bawah ini.

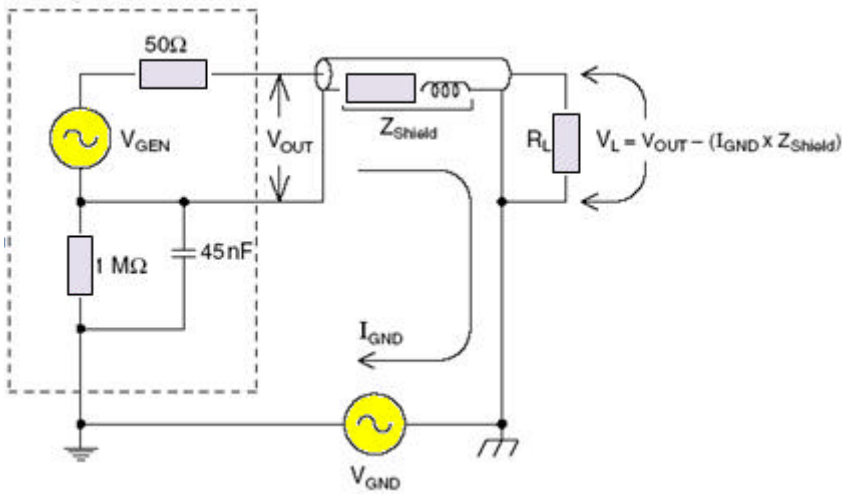
$$\Delta V_L(\%) \cong \frac{50}{R_L + 50} \times \Delta R_L(\%)$$

6.2.3.Pengendali Tegangan Keluaran

6.2.3.1. Rangkaian Tertutup Ground

Kecuali untuk antar muka hubungan jarak jauh dan pemicu, 33250A diisolasi dari ground chasis (tanah). Isolasi ini membantu mengeliminasi rangkaian tertutup ground dalam system dan juga memungkinkan ke acuan sinyal keluaran tegangan selain terhadap ground.

Ilustrasi di bawah ini menunjukkan generator fungsi dihubungkan ke beban melalui kabel koaksial. Terdapat banyak perbedaan dalam tegangan ground (VGND) yang akan cenderung membuat arus IGND mengalir ke dalam pengaman kabel, sehingga menyebabkan penurunan tegangan pada impedansi pengaman (Zshield). Akibatnya penurunan tegangan (IGND X Zshiled) mengakibatkan kesalahan tegangan beban. Bagaimanapun, karena instrumen diisolasi, terdapat impedansi seri yang besar (umumnya 1 M? parallel 45 nF) dalam jalur yang berlawanan dengan aliran arus IGND dengan demikian mengurangi efek ini.

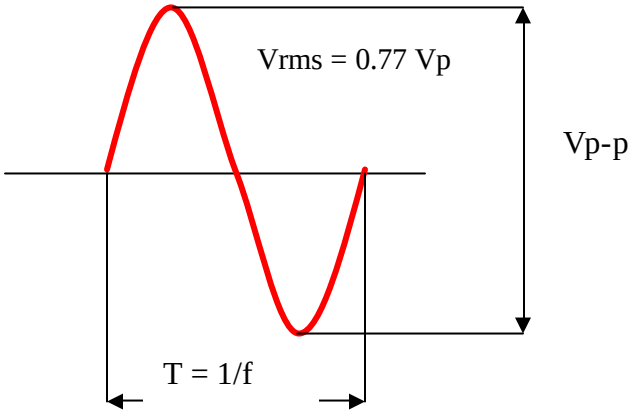


Gambar 6-21 Pengaruh rangkaian tertutup ground

Pada frekuensi di atas beberapa KHz pengaman kabel koaksial menjadi bersifat induktif, lebih baik dari pada resistif dan kabel berfungsi seperti transformator. Bila ini terjadi, ada kecenderungan daya pengaman arus konduktor sama besarnya namun dalam arah yang berlawanan. Tegangan drop dalam pengaman serupa dengan tegangan drop pada konduktor. Ini dikenal sebagai *balun effect* dan pada frekuensi yang lebih tinggi ini mengurangi rangkaian tertutup ground.Perlu diperhatikan bahwa resistansi pengaman lebih rendah menyebabkan balun effect menjadi lebih banyak, merupakan faktor frekuensi lebih rendah. Oleh karena itu, kabel koaksial dengan dua atau tiga pita rambut pengaman sangat lebih baik dari pada dengan pita rambut pengaman tunggal. Untuk mengurangi kesalahan karena rangkaian tertutup ground, hubungan generator fungsi dan beban menggunakan kabel koaksial kualitas tinggi. Ground pada beban dilewatkan melalui kabel pengaman. Jika dimungkinkan, generator fungsi dan beban dihubungan dengan saluran listrik yang sama untuk memperkecil perbedaan tegangan ground.

6.2.2.4. Atribut Sinyal AC

Kebanyakan sinyal ac berupa gelombang sinus. Dalam faktanya, beberapa periodik sinyal dapat ditampilkan sebagai penjumlahan dari gelombang sinus yang berbeda. Besaran gelombang sinus biasanya di spesifikasi dengan harga puncak, puncak ke puncak atau efektif (root meansquare /rms). Semua besaran ini dengan asumsi bahwa bentuk gelombang memiliki tegangan offset nol.

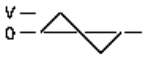
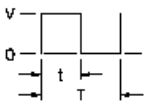


Gambar 6-22 Nilai tegangan yang penting pada gelombang sinusoida

Tegangan puncak bentuk gelombang merupakan harga absolute dari semua titik dalam bentuk gelombang. Tegangan puncak ke puncak merupakan perbedaan antara harga maksimum dan minimum. Tegangan rms diperoleh dengan menjumlahkan kuadrat tegangan disetiap titik bentuk gelombang, dibagi jumlah titik dan kemudian hasil bagi diakar pangkat dua. Harga rms bentuk gelombang juga menunjukkan daya rata-rata sinyal satu siklus . **Daya = $(Vrms)^2$ / Rl**

Crest faktor merupakan perbandingan harga sinyal puncak terhadap harga rms dan harganya akan berbeda sesuai dengan bentuk gelombang. Tabel di bawah ini menunjukkan beberapa bentuk gelombang pada umumnya dengan besanrnya *crest faktor* dan harga rms.

Tabel 6-2 Crest faktor dan bentuk gelombang

Waveform Shape	Crest Factor (C.F.)	AC RMS	AC+DC RMS
	1.414	$\frac{V}{1.414}$	$\frac{V}{1.414}$
	1.732	$\frac{V}{1.732}$	$\frac{V}{1.732}$
	$\sqrt{\frac{T}{t}}$	$\frac{V}{C.F.} \times \sqrt{1-\left(\frac{1}{C.F.}\right)^2}$	$\frac{V}{C.F.}$

Adakalanya tingkatan arus bolak-balik ditetapkan dalam " desibel relatip terhadap 1 milliwatt" (dBm). Karena dBm menampilkan tingkat daya yang diperlukan untuk mengetahui tegangan rms sinyal dan resistansi beban dalam hal ini dapat diperhitungkan :

dBm = 10 x log10(P / 0.001)

dimana P = VRMS 2/ RL

Untuk gelombang sinus beban 50 ? berkaitan dengan tegangan dBm ditunjukan dalam tabel berikut.

Tabel 6-3 Konversi dBm

dBm	RMS Voltage	Peak-to-Peak Voltage
+23.98 dBm	3.54 Vrms	10.00 Vpp
+13.01 dBm	1.00 Vrms	2.828 Vpp
+10.00 dBm	707 mVrms	2.000 Vpp
+6.99 dBm	500 mVrms	1.414 Vpp
0.00 dBm	224 mVrms	632 mVpp
-6.99 dBm	100 mVrms	283 mVpp
-10.00 dBm	70.7 mVrms	200 mVpp
-36.02 dBm	3.54 mVrms	10.0 mVpp

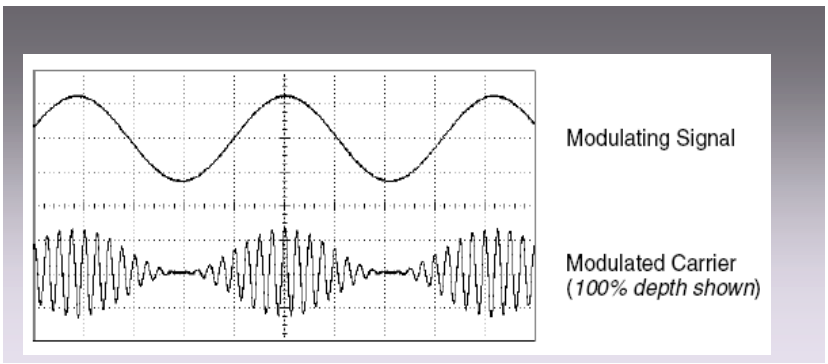
6.2.4. Modulasi

Modulasi merupakan proses memodifikasi sinyal frekuensi tinggi (disebut sinyal pembawa, *carrier signal*) dengan sinyal informasi frekuensi rendah (disebut sinyal pemodulasi, *modulating signal*). Bentuk gelombang sinyal pemodulasi bisa beraneka ragam, sedangkan bentuk sinyal pembawa biasanya gelombang sinusoida. Dua jenis modulasi yang terkenal adalah AM (amplitudo modulation) dan FM (frequency modulation). Kedua jenis modulasi tersebut memodifikasi amplitudo, frekuensi pembawa sesuai dengan harga sesaat sinyal pemodulasi. Jenis modulasi ketiga adalah *frequency-shift keying* (FSK), yang memiliki frekuensi output bergeser antara dua frekuensi tergantung pada keadaan sinyal pemodulasi digital. Generator fungsi akan menerima sumber modulasi internal dan eksternal. Bila anda memilih sumber internal, maka gelombang termodulasi dibangkitkan oleh proses pembangkit DDS dari prosesor signal digital (DSP, digital signal processor). Namun bila dipilih sumber eksternal, maka

gelombang termodulasi dikendalikan oleh level sinyal dari panel belakang generator fungsi bertanda MODULATION IN. Sinyal eksternal disampel dan didigitalkan oleh konverter analog ke digital (ADC) dan kemudian disambung ke DSP. Sumber sinyal pemodulasi, dapat dihasilkan stream sampel digital yang mewakili gelombang pemodulasi. Perlu dicatat bahwa pada FSK, frekuensi output ditentukan oleh level sinyal dari konektor TRIGGER IN pada panel belakang.

6.2.4.1. Modulasi Amplitudo (AM)

Untuk AM, DSP merupakan contoh modulasi DAC yang kemudian mengendalikan amplitudo keluaran melalui sebuah pengali analog. DAC dan pengali sama seperti yang digunakan untuk mengatur tingkat keluaran generator fungsi. Bentuk AM pemancar menggunakan pembawa double sideband dan merupakan jenis modulasi yang digunakan pada kebanyakan stasiun radio AM.



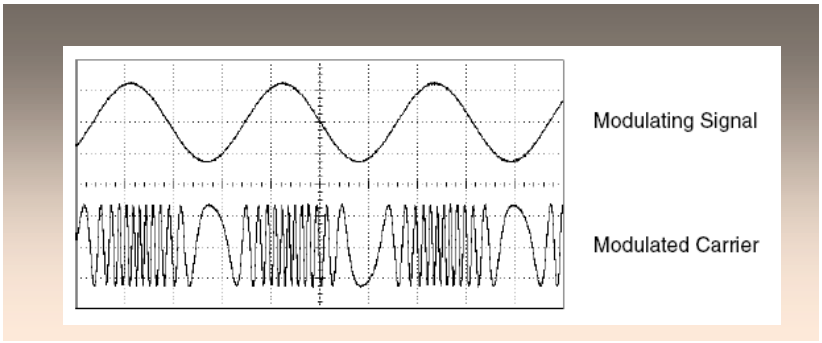
Gambar 6-23 Modulasi amplitudo

Jumlah modulasi amplitudo merupakan apa yang dinamakan kedalaman modulasi yang direferensikan sebagai bagian dari cakupan amplitude. Misalnya seting kedalaman 80% menyebabkan amplitudo bervariasi dari 10% sampai 90% dari seting amplitudo (90% - 10%) = 80%) dengan salah satu siyal pemodulasi (± 5V) internal atau eksternal.

6.2.4.2. Frequency Modulation (FM)

Frekuensi modulasi dan DSP menggunakan sampel modulasi untuk memodifikasi frekuensi keluaran instrumen dengan mengubah isi PIR. Perlu dicatat bahwa karena panel belakang masukan modulasi dihubungkan langsung, 33250A dapat digunakan untuk menandingi osilator yang frekuensinya dikendalikan dengan tegangan (VCO). Variasi frekuensi bentuk gelombang modulasi dari frekuensi pembawa dinamakan deviasi frekuensi. Bentuk gelombang dengan frekeunsi deviasi di bawah 1% dari lebar sinyal modulasi direferensikan sebagai FM band

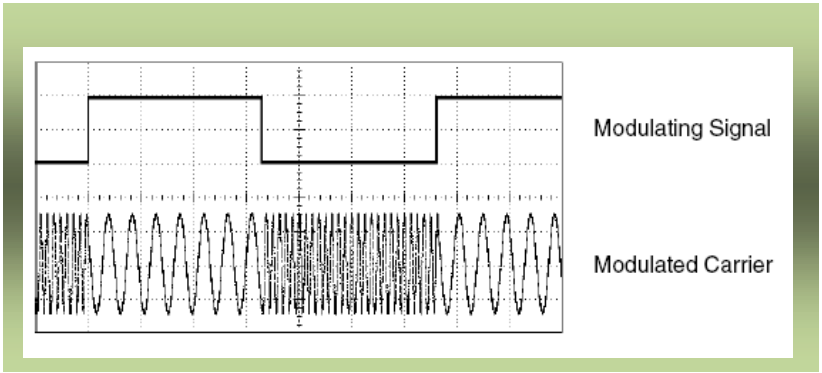
sempit. Bentuk gelombang dengan deviasi yang lebih besar direferensikan sebagai FM band lebar. Bandwidth sinyal yang dimodulasi dapat didekati dengan persamaan berikut.
BW 8 2 X (lebar band sinyal modulasi) untuk FM band sempit
BW 8 2 X)Deviasi + lebar band sinyal modulasi) untuk FM band lebar.
Stasiun FM komersial di Amerika pada umumnya mempunyai lebar band modulasi 15 kHz dan deviasi 75 kHz, membuat band lebar. Oleh karena itu, lebar band modulasi = 2 X (75 kHz + 15 kHz) = 180 kHz. Jarak antar kanal 200 kHz.



Gambar 6-24. Modulasi frekuensi

6.2.4.3. Frequency-Shift Keying (FSK)

FSK serupa dengan FM kecuali perubahan frekuensi antara dua harga preset. Kecepatan pergeseran keluaran antara dua frekeunsi (dinamakan frekuensi pembawa dan frekuensi harapan) ditentukan oleh kecepatan generator internal atau level sinyal Trig In pada panel belakang. Perubahan frekuensi seketika dan pasa kontinyu. Sinyal internal modulasi berbentuk gelombang kotak dengan duty cycle 50%. Kecepatan FSK dapat diatur secara internal dari 2 mHz sampai 100 kHz.

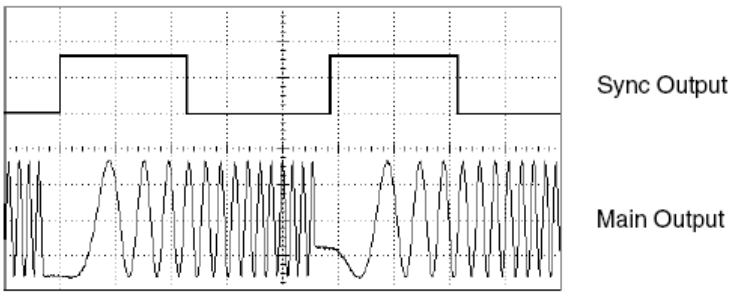


Gambar 6-25. Frequency shift keying

6.2.4.5. Sapuan Frekuensi

Sapuan frekuensi serupa dengan FM namun tidak menggunakan bentuk gelombang pemodulasi. DSP internal mengatur frekuensi keluaran yang didasarkan pada salah satu fungsi linier atau logaritmis. Dalam sapuan linier, perubahan frekuensi keluaran konstan hertz per detik. Dalam sapuan logaritmis, perubahan frekuensi keluaran dalam konstanta oktaf/detik atau decade per detik. Sapuan logaritmis sangat berguna untuk meliputi cakupan frekuensi yang luas dimana resolusi pada frekuensi rendah secara potensial akan kehilangan sapuan linier. Sapuan dibangkitkan dengan menggunakan sumber pemici dari dalam atau luar berupa perangkat keras sumber pemicu. Bila sumber eksternal dipilih, generator fungsi akan menerima perangkat keras pemicu yang diterapkan pada konektor panel belakang Trig In. Generator Fungsi memulai satu sapuan pada setiap menerima Trig In berupa pulsa TTL.

Satu sapuan terdiri dari sejumlah langkah-langkah kecil frekuensi. Karena setiap langkah mengambil waktu yang sama, sapuan waktu yang lebih lama menghasilkan langkah lebih kecil dan oleh karena itu resolusinya lebih baik. Jumlah titik titik frekuensi diskrit dalam sapuan secara otomatis dihitung oleh generator fungsi dan didasarkan pada waktu sapuan yang telah dipilih.

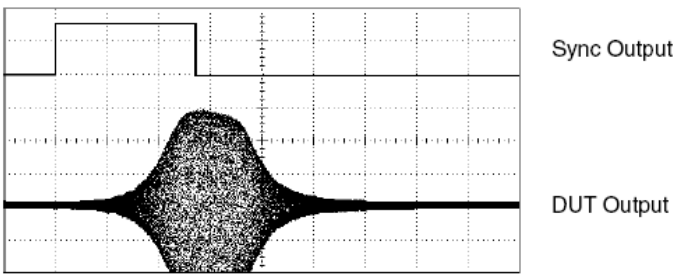


Gambar 6-26 Frekuensi sapuan

Pemicu sapuan, sumber picu dapat berupa sinyal eksternal, kunci atau komentar yang diterima dari antarmuka jarak jauh. Masukan sinyal picu eksternal dihubungkan Trig In yang berada pada panel belakang. Penghubung ini kecuali TTL, berada pada tingkat kompatibel dan direferensikan terhadap ground chasis (bukan ground mengambang). Bila tidak digunakan sebagai masukan, konektor Trig In dapat dikonfigurasikan sebagai keluaran sehingga memungkinkan instrument 33250A untuk memicu instrumen lain pada waktu yang sama sebagai pemicu kejadian internal.

6.2.4.6. Sinyal Sinkron dan Marker

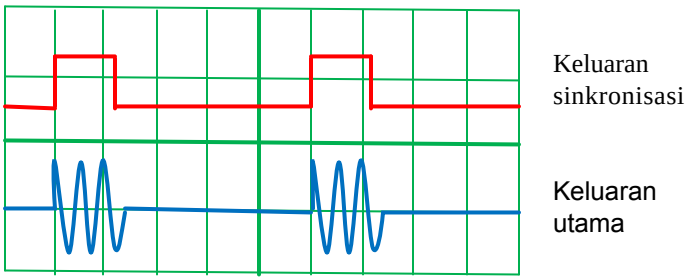
Keluaran penghantar sync pada panel belakang menuju tinggi pada setiap permulaan sapuan. Jika fungsi marker *disable* (lumpuh), sinyal sync menuju rendah pada titik tengah sapuan. Jika fungsi marker memungkinkan, sinyal syn menuju rendah pada saat frekuensi keluaran mencapai frekuensi marker tertentu. Frekuensi marker harus berada diantara frekuensi mulai dan frekuensi berhenti. Penggunaan fungsi marker untuk mengidentifikasi frekuensi tertentu dalam respon piranti yang diuji (Device under test/DUT) missal jika diinginkan untuk identifikasi frekuensi resonansi. Untuk mengerjakan ini, hubungkan keluaran sync ke satu kanal osiloskop dan hubungkan keluaran DUT pada kanal osiloskop yang lain. Kemudian, picu osiloskop dengan ujung awal dari sinyal sync pada posisi permulaan frekuensi pada sisi kiri osiloskop. Lakukan penyesuaian frekuensi marker sampai sinyal syn menuju keadaan rendah, respon piranti akan membentuk corak yang menarik. Frekuensi dapat dibaca pada peraga panel belakang instrument 33250A



Gambar 6-27 Sweep with marker at DUT resonance

6.2.4.6.1. Burst

Keluaran generator fungsi dapat diatur pada bentuk gelombang dengan jumlah siklus tertentu yang dinamakan burst. Burst dapat digunakan dalam salah satu dari dua mode burst siklus N (juga dinamakan triggered burst atau gated burst). Burst siklus N merupakan burst siklus N yang terdiri dari bentuk gelombang dengan jumlah siklus tertentu (1 sampai 1.000.000) dan selalu diaktifkan dengan peristiwa picu. Burst juga dapat diset untuk menghitung tak hingga yang dihasilkan pada bentuk gelombang kontinyu pada generator fungsi terpicu.

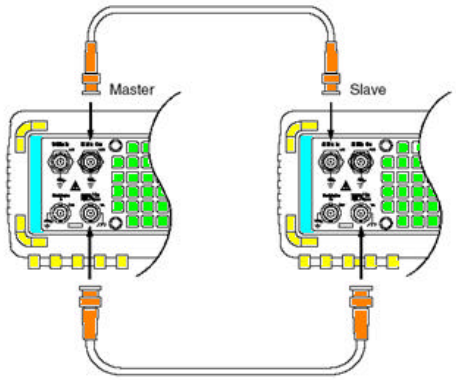


Gambar 6-28 Bentuk gelombang keluaran sync dan tiga siklus bentuk gelombang burst

Untuk burst, sumber picu dapat berupa sinyal eksternal, suatu pewaktu internal, kunci, atau komand yang diterima dari antarmuka jarak jauh. Masukan sinyal picu eksternal melalui penghantar Trig In yang berada pada panel belakang. Penghantar ini kecuali TTL, berada pada tingkat kompatibel dan direferensikan terhadap ground chasis (bukan ground mengambang). Bila tidak digunakan sebagai masukan, penghantar dapat dikonfigurasikan sebagai keluaran sehingga memungkinkan 33250A untuk memicu instrumen lain pada saat yang sama sebagai pemicu kejadian internal. Pengaruh picu dapat ditunda sampai 85 detik (penambahan 100 picodetik) untuk menyerempakkan permulaan burst dengan kejadian lain.

Trigger delay juga dapat disisipkan untuk mengkompensasi peundaan kabel dan waktu respon instrumen lain dalam system. Pada burst N siklus selalu dimulai dan diakhiri pada titik yang sama pada bentuk gelombang, yang dinamakan *start phase*. Pasa permulaan pada 0° berhubungan dengan awal perekaman bentuk gelombang dan 360° berhubungan dengan akhir perekaman bentuk gelombang.

Misal perkiraan aplikasi memerlukan dua bentuk gelombang sinus frekuensi 5 MHz yang secara pasti satu sama lain berbeda pasa 90°. Dapat menggunakan dua 33250A seperti diuraikan berikut ini. Pertama rencanakan satu generator fungsi sebagai *master* dan yang lain sebagai *slave*. Seperti ditunjukkan 6-29. hubungkan penghantar keluaran master 10 MHz ke penghantar masukan slave 10 MHz dengan menggunakan kabel koaksial kualitas tinggi. Konfigurasi ini akan meyakinkan bahwa kedua instrumen akan membangkitkan secara pasti frekuensi sama dan tidak akan terdapat istilah pergeseran pasa diantara kedua instrumen. Berikutnya, hubungkan dua penghantar masukan dan keluaran trigger bersama-sama untuk memungkinkan master memicu slave.



Gambar 6-29 Konfigurasi dua instrumen

Setelah membuat hubungan seperti yang ditunjukan gambar 6-29. ikuti langkah-langakh di bawah ini.

1. Atur kedua instrumen pada keluaran bentuk gelombang sinus dengan frekuensi 5 MHz.
2. Pada kedua instrumen, diatur pada mode N siklus burst, set burst menghitung sampai tiga siklus, dan set pasa permulaan 0 derajat.
3. Pada master, pilih sumber picu internal dan memungkinkan sinyal keluaran picu dengan *rising edge* dari penghantar *Trig Out.*
4. Pada slave, pilih sumber picu eksternal dan memungkinkan pemicuan pada *rising edge* dari sinyal picu.
5. Dengan menggunakan osiloskop, verifikasi bahwa kedua instrumen sekarang membangkitkan bentuk gelombang burst tiga siklus. Kemudian lakukan penyesuaian parameter penundaan picu satu instrumen untuk membawa burst keduanya ke dalam kelurusan satu sama lain. Sekarang dua instrumen diserempakkan dan akan tetap diserempakkan sampai pengaturan parameter penundaan picu.
6. Atur pasa permulaan dari satu instrumen pada 90°. Kemudian, atur penjumlah burst pada masing-masing instrumen sebagaimana diperlukan untuk aplikasi. Jika diperlukan bentuk gelombang burst kontinyu, pilih jumlah burst tak hingga pada kedua instrumen dan memungkinkan pemicuan manual pada master. Dalam contoh ini, menjadi parameter penunda picu, konstanta system kalibrasi.

Sekali ditetapkan, kedua instrumen dipertahankan lurus dalam waktu, sekalipun jika frekuensi atau pasa permulaan diubah. Setiap waktu master dipicu slave, kedua instrumen diserempakkan kembali. Jika tenaga diedarkan, instrumen dapat distel kembali dengan pemugaran keterlambatan picu sebelumnya. Perlu dicatat bahwa perbedaan harga

penundaan mungkin diperlukan jika pasangan instrumen yang digunakan berbeda atau jika bentuk gelombang fungsi yang dipilih berbeda.

6.2.4.6.2. Gated Burst

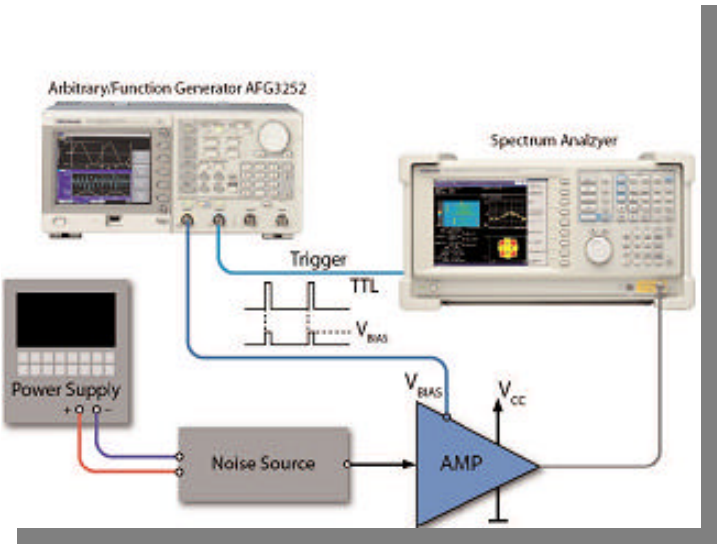
Dalam mode gated burst, bentuk gelombang keluaran merupakan salah satu on atau off didasarkan pada level sinyal eksternal yang diaplikasikan pada konektor panel dengan Trig In. Pada saat sinyal gate benar keluaran generator fungsi bentuk gelombang kontinyu. Bila sinyal gate menuju salah, siklus bentuk gelombang arus dilengkapi dan kemudian generator fungsi berhenti selagi tetap berada pada level tegangan yang sesuai dengan pasa burst awal dari bentuk gelombang yang dipilih. Bentuk gelombang noise, keluaran berhenti seketika bila sinyal gate menuju salah.

6.2.5. Spesifikasi Alat

Model	**: AFG3251 / AFG3252**
Channels	**:** 1 / 2
Sine Wave	**:** 1 µHz to 240 MHz
Amplitudo	
<200 MHz	: 50 mVp-p to 5 Vp-p / –30 dBm to 18.0 dBm
>200 MHz	: 50 mVp-p to 4 Vp-p / –30 dBm to 16.0 dBm
Harmonic Distortion (1 Vp-p)	
10 Hz to 1 MHz	: <–60 dBc
1 MHz to 5 MHz	: <–50 dBc
5 MHz to 25 MHz	: <–37 dBc
>25 MHz	: <–30 dBc
THD (10 Hz – 20 kHz, 1 Vp-p)	: <0.2%
Spurious (1 Vp-p)	
10 Hz to 1 MHz	: <–50 dBc
1 MHz to 25 MHz	: <–47 dBc
>25 MHz	:<–47dBc+ 6 dBc/octave
Phase Noise, typical offset, 1 Vp-p	: <–110 dBc/Hz at 20 MHz, 10 kHz
Residual Clock Noise	: –57 dBm
Modulation	**:** AM, FM, PM
Source	: Internal/External
Internal Modulation Frequency	: 2 mHz to 50.00 kHz
Frequency Shift Keying	**:** 2 keys
Source	: Internal/External
Internal Modulation Frequency	: 2 mHz to 1.000 MHz
Sweep	**:** Linear, logarithmic
Burst	**:**Triggered, gated
Internal Trigger Rate	: 1.000 ms to 500.0 s
Gate and Trigger Sources	: Internal, external, remote interface
ArbitraryWaveforms	**:** 1 mHz to 120 MHz
Sample Rate	: 2 GS/s
Waveform Memory	: 2 to 128 K

6.2.6. Prosedur Pengoperasian Pengukuran bilangan pulsa noise

Bilangan derau atau NF (*Noise Figure*) adalah suatu parameter penting dari amplifier telekomunikasi, yang menyatakan berapa besar sumbangan noise pada output amplifier. Hal itu menjelaskan turunnya nisbah sinyal ke derau SNR (*signal to noise ratio*), yang disebabkan oleh komponen dalam rantai sinyal. Definisinya merupakan nisbah antara signal terhadap derau dari output terhadap input. Misalnya dari : ponsel dan penguat pada stasiun pangkalan TDMA, GSM dan standar radio *burst-type* lainnya. Untuk memperoleh hasil pengukuran yang teliti, bilangan noise harus diukur dengan amplifier yang dioperasikan pada kondisi mode pulsa seperti kondisi operasi normalnya.

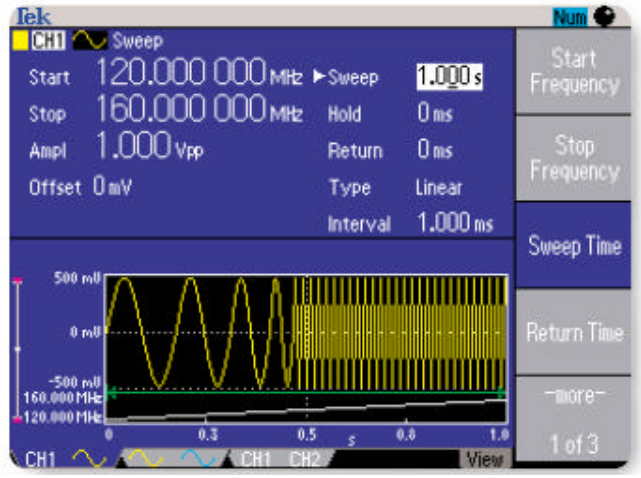


Gambar 6-30 Pengukuran lebar band dari filter bandpass dan penguat IF

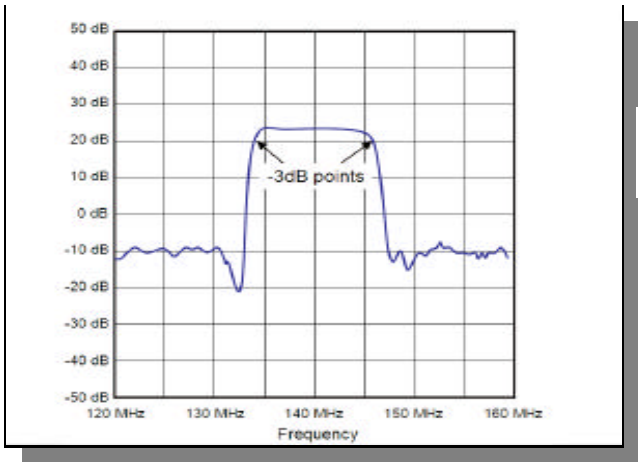
Setiap penguat RF baru dan filter dirancang memiliki karakteristik bandpass yang harus diukur untuk meyakinkan hasil sesuai tujuan rancangan. Kebanyakan peguat dirancang memiliki respon linier sepanjang cakupan frekuensi aplikasi. Hal serupa, filter dirancang untuk melewatkan band frekuensi yang telah ditetapkan sebelumnya dan menolak yang lain. Kedua jenis komponen yang cenderung memiliki cakupan frekuensi dimana respon amplitudo relatip datar. Pada salah satu ujung cakupan respon amplitudo ini secara mantap berkurang. Titik dimana respon turun -3 dB dari amplitudo puncak ke puncak didefinisikan sebagai batasan lebar band.

Dalam aplikasi ini misalnya kita akan menguji penguat IF 140 MHz dan mengukur batas frekuensi atas dan bawah lebar band dimana amplitudo keluaran turun -3 dB. Turun -3dB ekuivalen dengan 70,71% harga puncak ke

puncak. AFG memberikan sapuan gelombang sinus seperti sinyal masukan ke penguat dan penganalisa spektrum melacak sinyal keluaran dalam mode hold peak. Menekan tombol mode sweep AFG mengantarkan layar dengan semua bentuk gelombang yang perlu dilihat, meliputi tampilan bentuk gelombang itu sendiri (gambar 6-31). Tampak bentuk gelombang pada bingkai didekat layar bagian bawah. Meringkas semua detil yang menyolok berkaitan dengan sinyal yang dibangkitkan : amplitudo, frekuensi, slope dari gelombang ramp yang meningkatkan frekuensi dan panjang total sapuan (waktu). Gambar 6-32 melukiskan instrumen pelacak dari penganalisa spektrum. Penggunaan marker, instrumen menghasilkan cakupan frekuensi dari 133 MHz sampai 147 MHz. Diluar lebar band ini respon penguat di bawah titik -3 dB.



Gambar 6-31 Bantuk gelombang keluaran generator fungsi



Gambar 6-32 Pelacakan penganalisa spektrum

6.3. Pembangkit Pulsa

6.3.1. Pendahuluan

Generator pulsa ini dipakai pada pengukuran dengan dikombinasikan pemakaian CRO. Dengan pengukuran ini dihasilkan informasi kualitatif dan kuantitatif tentang peralatan yang sedang dites. Pengetesan yang sering dilakukan dengan generator pulsa ini adalah pengetesan transient respons dari amplifier. Perbedaan pokok antara generator pulsa dengan generator gelombang kotak, adalah pada duty cyclenya. Pada generator gelombang kotak duty cyclenya 50%. Pada generator pulsa, duty cyclenya bervariasi, dimana duty cycle dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Duty cycle} = \frac{pulsewidth}{pulseperiode}$$

6.3.2. Spesifikasi Alat

Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh sebuah generator pulsa.

1. Pulsa harus mempunyai distorsi minimal, sehingga setiap distorsi yang terjadi pada peraga murni hanya disebabkan oleh alat yang dites.
2. Karateristik dasar dari pulsa adalah rise time, overshoot, ringing, sag dan undershoot.

6.4. Sweep Marker Generator

6.4.1. Prosedur Pengoperasian

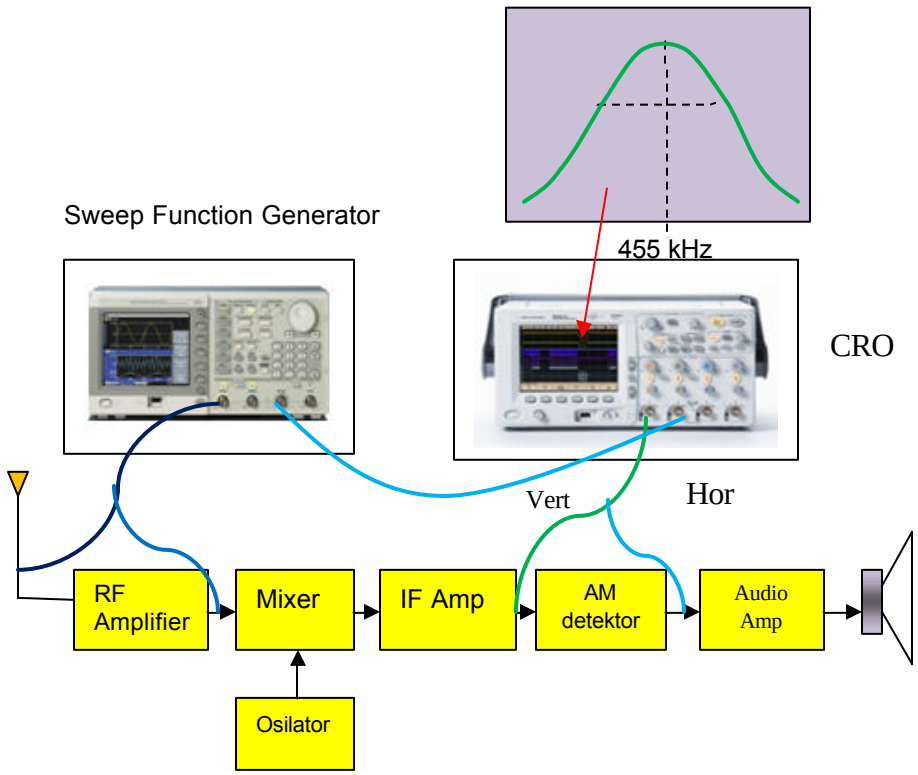
6.4.1.1. Alignment penerima AM

Prosedur pelaksanaan alignment penerima AM dilakukan sebagai berikut

1. Gunakan rangkaian pengetesan seperti nampak pada gambar 6-33, dengan snyal generator pada posisi output gelombang sweep linier.
2. Menggunakan pengetesan gambar 6-33 dengan mengatur generator untuk menghasilkan peragaan sapuan linier.
3. Jika penghitungan frekuensi senter teliti akan digunakan selama pengetesan. Generator fungsi dengan penghitung frekuensi (peraga digital) merupakan langkah sederhana. Sebelum operasi sapuan dimulai, atur pemutar frekuensi pada generator untuk mencapai frekuensi yang diinginkan. Cek melalui penghitung dan tempatkan marker pada layar osiloskop dengan menggunakan lemak pinsil.
4. Sinyal dapat dinjeksikan melalui salah satu mixer (455 kHz) atau pada antenna. Bila injeksi sinyal 455 kHz pada masukan mixer, osilator harus dipasipkan.
5. Bila respon IF yang diamati pada masukan detektor AM, probe detektor RFdiperlukan kecuali jika titik demodulasi telah ditetapkan oleh pabrikan.

6. Pengaturan tuning penguat IF dapat dilakukan seperti yang diinginkan memperoleh kurva respon IF yang dikehendaki. Seringkali, setiap rangkaian tune diatur untuk memperoleh amplitudo maksimum pada titik tengah frekuensi IF. Bagaimanapun, beberapa penguat IF tune bertingkat untuk mencapai lebar band yang diinginkan.

Sapuan eksternal mungkin digunakan jika diinginkan gelombang sinus atau pola sapuan lain. Menghubungkan sumber tegangan sapuan eksternal ke jack masukan VCF dari generator. Tegangan sapuan eksternal dapat juga diaplikasikan pada masukan horisontal osliloskop. Pengaturan frekuensi marker, dapat dilakukan dengan power suplly yang dapat divariasi diumpankan pada jack masukan VCF. Masukan horisontal osiloskop dan penghitung mungkin dapat digunakan untuk mengukur frekuensi keluaran. Bagaimanapun, sama dengan operasi sapuan eksternal, mungkin ini lebih nyaman dalam pengaturan frekuensi marker menggunakan tegangan keluaran GCV untuk mengendalikan masukan horisontal osiloskop. Karena memungkinkan berkorelasi langsung antara peraga osiloskop, penghitung frekuensi dan pengaturan frekuensi generator.



Gambar 6-33 Alignment penerima AM

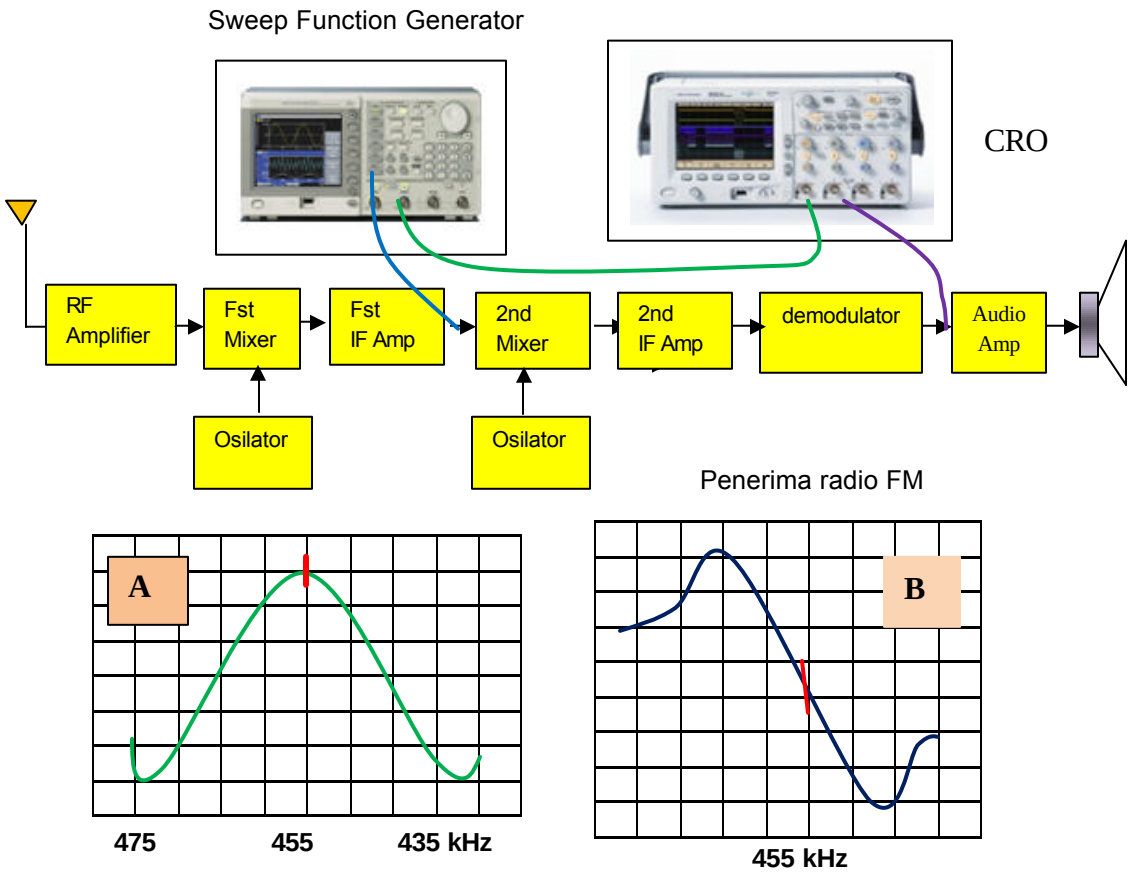
6.4.1.2. Aligment penerima komunikasi FM

Pengetesan pada gambar 6.-33 dapat dipakai untuk proses *alignment* pesawat penerima FM, yaitu bagian frekuensi menengah sumber marker kristal-terkontrol (*crystal-controlled marker source*) 455 kHz, dengan cara sebagai berikut:

1. Pilih bentuk gelombang sweep, dan gunakan sinyal ke bagian IF 455 kHz.
2. Bila sinyal output bagian IF 455 kHz didisplaikan, kurva respons akan nampak seperti gambar 6-34.a marker (*marker*) "pip" seharusnya pada pusat kurva respons.
3. Bila kurva respons diskriminator diperagakan, kurva respons akan nampak seperti gambar 6-34b. Kurva "S" harus setimbang pada setiap sisi dari "pip" marker.

(*intermediate frequency* = *IF*) 455 kHz, dan bagian diskriminator. Untuk ketepatan pengaturan frekuensi tersebut dapat dipakai

Dalam skenario alignment penerima hanya dapat dievaluasi dan diverifikasi tanpa pengaturan. Dimana rangkaian tune dapat diatur, dengan mengikuti prosedur pabrikan untuk meyakinkan bahwa respon keseluruhan dicapai dengan tepat.



Gambar 6-34 Alignment dari penerima IF komunikasi FM dan diskriminator

6.4.1.3 Pengukuran Noise Figure

Noise figure merupakan parameter penting dalam penguat telekomunikasi seperti seberapa banyak noise yang dikonstribusikan oleh penguat dalam sinyal keluaran. Ini menguraikan degradasi perbandingan sinyal terhadap noise yang disebabkan oleh komponen sinyal. Ini didefiniskan sebagai perbandingan sinyal terhadap noise pada keluaran yang pada inputnya dapat berupa :Telpon seluler dan penguat pangkalan stasiun TDMA, GSM dan jenis burst radio standar yang hanya bertenaga mesin sepanjang slot waktu aktip untuk memelihara tenaga. Untuk mencapai ketelitian hasil pengukuran, noise figure harus diukur dengan penguat yang dioperasikan dalam mode pulse seperti selama operasi normal.

Suatu metoda pengukuran SNR yang populer adalah metoda faktor Y. Hal ini terletak pada kalibrasi sumber derau dengan nisbah derau lebih (ENR = *excess noise ratio*) yang dihubungkan ke input amplifier yang dites (lihat gambar 6-34). Kanal 1 dari AFG3252 menyebabkan amplifier ON dan OFF melalui signal pulsa yang mengemudikan input bias penguat. Lebar dan kecepatan pengulangan pulsa di atur sesuai dengan standar pengetesan. Penganalisa spektrum dikonfigurasikan dalam mode gated time hanya untuk mengukur keluaran penguat selama saklar pada posisi pasa. Kanal 2 dari sinyal picu AFG pada spektrum serempak untuk mengendalikan pulsa pembias penguat.

Penurunan noise figure dengan metoda ini pertama diperlukan untuk menentukan apa yang dinamakan faktor Y yang merupakan perbandingan kepdatan noise keluaran dari sumber noise dalam keadaan ON dan OFF. Untuk dapat mencapai reproduksi hasil pengukuran rerata dari pengukuran yang dikehendaki.

Dengan faktor Y diukur dan ENR dibagi dengan sumber yang menghasilkan noise untuk frekuensi tertentu, noise figure sekarang dapat dihitung sebagai berikut :

$$NF = ENR\ dB - (10\log (Y-1)).$$

Sebagai contoh asumsikan bahwa ENR adalah 5,28 dB dan kepadatan noise yang diukur ditingkatkan dari -90 dBm/Hz sampai -87 dBm/Hz setelah sumber noise ditune. Faktor Y dari 3dB yang diperlukan untuk diubah ke nilai linier untuk digunakan dalam persmaan di atas. Penggunaan formula Y(lin) = 10Y(dB)/10 dcapai Y(lin) =1,995. Pengisian harga ini ke dalam formula di atas untuk noise figure NF=5,3 dB.

Keuntunga penggunaan AFG dalam aplikasi ini bahwa

menawarkan dua kanal yang dapat disinkronkan dalam frekuensi dan pengaturan ampitudo secara independen disesuaikan level bias yang diperlukan penguat dan masukan picu dari penganalisa spektrum atau pengukur **noise figure.**

BAB 7 OSILOSKOP

Tujuan

Setelah mengikuti pembahasan osiloskop pembaca diharapkan mampu :

1. Mampu menjelaskan prinsip dasar operasi CRO
2. Mampu mendiskripsikan jenis-jenis CRO
3. Mampu menjelaskan prinsip pengukuran sinyal dengan CRO.

Pokok Bahasan

Pembahasan CRO meliputi :

1. Pengertian jenis-jenis sinyal, amplitudo, frekuensi dan fasa.
2. Operasi dasar CRO
3. Jenis-jenis CRO Analog dan digital
4. Pengoperasian CRO untuk pengukuran karakteristik sinyal.
5. MSO perkembangan CRO digital dalam aplikasi khusus.

7.1 Pengantar

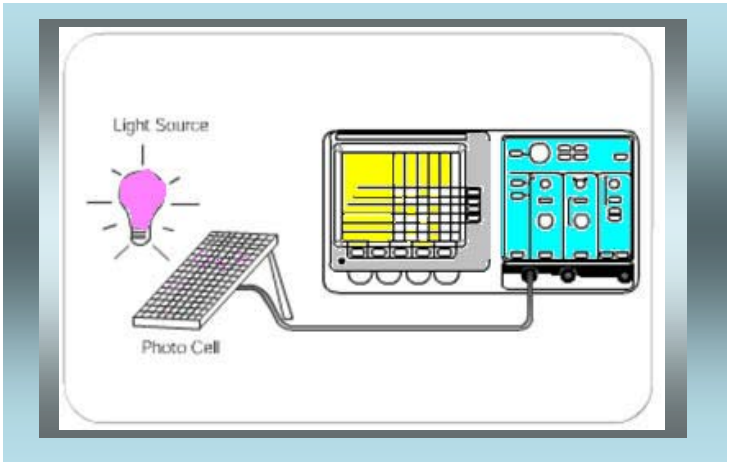
7.1.1. Pemahaman Dasar Sinyal

Gerakan alami dalam bentuk gelombang sinus, serupa ombak lautan, gempa bumi, suara bising dan bergetar, suara melalui udara atau frekuensi alami dari gerakan tubuh. Energi, getaran partikel dan gaya yang tidak tampak meliputi pisik alam semesta. Cahaya merupakan bagian partikel, bagian gelombang berupa frekuensi dasar, yang dapat diamati sebagai warna.

Pengamatan dan pengukuran untuk melihat perbedaan gerakan diperlukan alat yang mampu memvisualisasi. Berdasarkan visualisasi tersebut gerakan dapat dibedakan kekuatan, besarnya perioda pengulangan. Alat yang mampu mevisualisasikan gerakan periodik ini dinamakan osiloskop.

Osiloskop merupakan perangkat yang sangat dibutuhkan untuk perancangan, pabrikasi atau perbaikan peralatan elektronika. Perkembangan teknologi sekarang ini para teknisi atau ahli membutuhkan ketersediaan perangkat terbaik untuk menyelesaikan tantangan pengukuran secara cepat dan tepat. Osiloskop merupakan kunci jawaban tantangan tuntutan pengukuran secara akurat.

Kegunaan osiloskop tidak dibatasi pada dunia elektronik. Dengan transduser yang tepat osiloskop dapat mengukur semua jenis phenomena. Transduser merupakan piranti yang menciptakan sinyal listrik dalam respon terhadap rangsangan pisik seperti suara, tekanan mekanik, tekanan, cahaya atau panas. Sebuah mikropon merupakan transducer yang mengubah suara ke dalam sinyal listrik. Gambar 7-1 menunjukkan data ilmiah yang dapat dikumpulkan oleh osiloskop.



Gambar 7-1. Pengambilan data dengan CRO

Osiloskop digunakan oleh semua orang dari ahli fisika sampai teknisi perbaiki TV. Ahli mesin otomotif menggunakan osiloskop untuk mengukur getaran mesin. Peneliti medis menggunakan osiloskop untuk mengukur gelombang otak. Berbagai kemungkinan tidak ada akhirnya.

Setelah membaca bahasan ini akan mampu :

1. Menguraikan bagaimana osiloskop bekerja
2. Menguraikan perbedaan antara osiloskop analog, penyimpan digital, phaspor digital dan pencuplikan digital.
3. Menguraikan jenis-jenis bentuk gelombang
4. Memahami pengendali dasar osiloskop
5. Melakukan pengukuran sederhana.

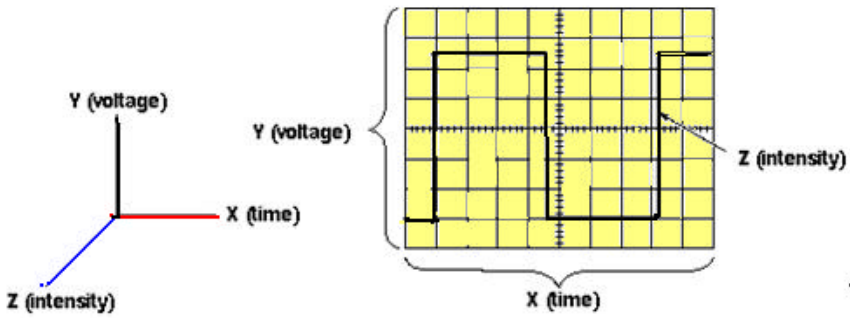
Buku manual yang disertakan dengan osiloskop akan memberi informasi khusus tentang bagaimana menggunakan osiloskop. Beberapa penghasil osiloskop juga memberikan banyak aplikasi untuk membantu dalam aplikasi pengukuran tertentu.

Grafik yang digambarkan dapat menginformasikan banyak tentang sinyal yang diukur diantaranya :

- harga tegangan dan waktu sinyal.

Osiloskop sinar katoda (cathode ray oscilloscope) selanjutnya disebut instrumen CRO merupakan instrumen yang sangat bermanfaat dan terandalkan untuk pengukuran dan analisa bentuk-bentuk gelombang dan gejala lain dalam rangkaian elektronik yang bersifat dinamis. Pada dasarnya CRO merupakan alat pembuat grafik yang menunjukkan bagaimana sinyal berubah terhadap waktu : sumbu vertikal mempresentasikan tegangan dan sumbu horisontal mempresentasikan waktu. Intensitas atau kecerahan peragaan seringkali disebut sumbu Z.

- menghitung frekuensi sinyal osilasi.
- gerakan bagian dari rangkaian yang direpresentasikan dalam bentuk sinyal.
- kesalahan fungsi komponen seperti sinyal terdistorsi.
- seberapa banyak sinyal DC atau sinyal AC.
- seberapa banyak sinyal noise dan apakah noise berubah mengikuti perubahan waktu.



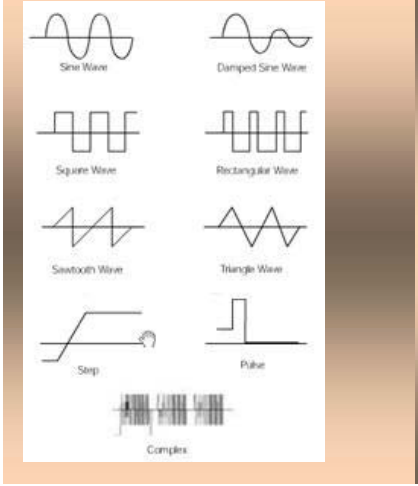
Gambar 7-2: Peraga bentuk gelombang komponen X, Y, Z. (www.interq or japan/se-inoue/e-oscilo0.htm)

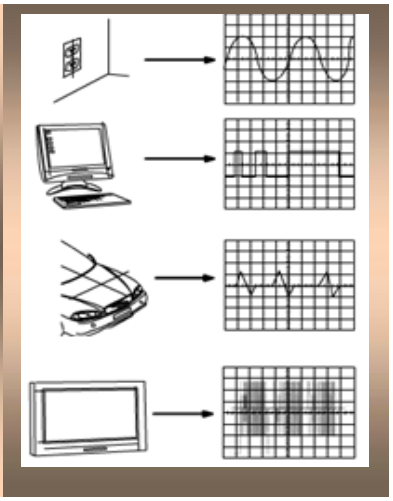
Dalam pemakaian CRO yang biasa, sumbu X masukan horisontal berupa tegangan tanjak (ramp voltage) linier yang dibangkitkan secara internal yang merupakan basis waktu (time base) secara periodik menggerakkan bintik cahaya dari kiri ke kanan melalui permukaan layar. Tegangan yang akan diamati dimasukkan ke sumbu Y atau masukan vertikal CRO, menggerakkan bintik cahaya ke atas dan ke bawah sesuai dengan nilai sesaat tegangan masukan. Selanjutnya bintik cahaya akan menghasilkan jejak berkas gambar pada layar yang menunjukan variasi tegangan masukan sebagai fungsi waktu. Bila tegangan masukan berulang dengan laju yang cukup cepat, gambar akan kelihatan sebagai pola yang diam pada layar. Dengan demikian CRO melengkapi suatu cara pengamatan tegangan yang berubah terhadap waktu. Disamping tegangan CRO dapat menyajikan gambaran visual dari berbagai fenomena dinamik melalui pemakaian transduser yang mengubah arus, tekanan, tegangan, temperatur, percepatan dan banyak besaran fisis lainnya menjadi tegangan.

7.1.2. Pengetahuan dan Pengukuran Bentuk Gelombang

Istilah umum untuk suatu pola pengulangan dari waktu ke waktu adalah gelombang, misal gelombang suara, gelombang otak, dan gelombang tegangan atau semua pola yang berulang. Osiloskop mengukur gelombang tegangan. Satu siklus dari

gelombang merupakan bagian dari pengulangan gelombang. Satu bentuk gelombang merupakan penampilan grafik dari pengulangan gelombang. Suatu bentuk gelombang tegangan menunjukkan waktu pada sumbu horisontal dan tegangan pada sumbu vertikal.





Gambar 7-3. Bentuk gelombang pada umumnya

Gambar 7-4. Sumber-sumber bentuk gelombang pada umumnya

Mengungkapkan bentuk gelombang sebagian besar tentang sinyal. Kapanpun dapat dilihat perubahan tinggi bentuk gelombang, waktu dalam sumbu horisontal. Garis lurus diagonal merupakan perubahan linier tegangan naik ataupun turun tegangan keadaan mantap. Ketajaman sudut pada bentuk gelombang menunjukkan perubahan mendadak. Gambar 7-3 menunjukkan bentuk gelombang pada umumnya dan gambar 7-4 menunjukkan sumber-sumber bentuk gelombang pada umumnya.

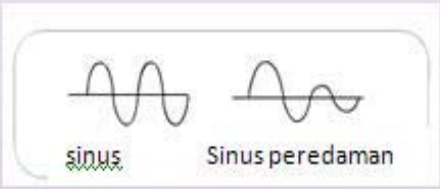
Jenis-jenis Gelombang

Gelombang dapat diklasifikasi kedalam jenis :

- Gelombang sinus
- Gelombang kotak dan segi empat
- Gelombang segitiga dan gigi gergaji
- Bentuk step dan pulsa
- Sinyal periodik dan non periodik
- Sinyal sinkron dan asinkron

7.1.2.1. Gelombang Sinus

Gelombang sinus merupakan bentuk gelombang dasar untuk beberapa alasan. Mempunyai sifat harmonis matematis Tegangan dalam saluran dinding bervariasi seperti gelombang sinus. Tes sinyal yang dihasilkan rangkaian osilator dari pembangkit sinyal seringkali berupa gelombang sinus. Kebanyakan sumber-sumber daya menghasilkan gelombang sinus (AC menandakan arus bolak-balik, meskipun tegangan bolak-balik jua, DC arus rata yang berarti arus dan tegangan seperti yang dihasilkan baterai.Gelombang sinus damped merupakan kasus tertentu yang dapat dilihat pada rangkaian yang berosilasi namun menurun dari waktu ke waktu. Gambar 7-5 menunjukkan macam-macam bentuk gelombang.



Gambar 7-5 Gelombang sinus

Gambar 7-6. Bentuk gelombang kotak dan segi empat

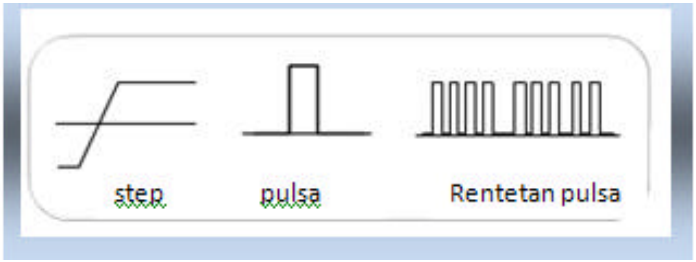
Gambar 7-7 Bentuk gelombang gigi gergaji

7.1.2.1 Gelombang Kotak dan Segi empat

Gelombang kotak merupakan bentuk gelombang lain yang umum. Pada dasarnya gelombang kotak merupakan tegangan yang on dan off (tinggi dan rendah) pada interval yang teratur. Ini merupakan gelombang standar untuk menguji penguat – penguat baik amplitudo bertambah gelombang kotak mempunyai distorsi minimum. Rangkaian televisi, radio dan komputer sering menggunakan gelombang kotak untuk sinyal pewaktuan. Gelombang segi empat menyerupai gelombang kotak kecuali bahwa interval waktu tinggi dan rendahnya tidak sama panjang. Terutama sekali diperlukan pada saat untuk menganalisa rangkaian digital.

7.1.2.2. Gelombang gigigergaji dan segitiga

Gelombang gigigergaji dan segitiga hasil dari rangkaian yang dirancang untuk mengendalikan tegangan secara linier, seperti sapuan horisontal dari osiloskop analog atau scan raster televisi. Transisi antar tingkat tegangan dari perubahan gelombang ini kecepatannya konstan. Transisi dinamakan ramp ditunjukkn pada gambar 7-8.



Gambar 7-8. Step, pulsa dan rentetan pulsa

7.1.2.3. Bentuk Step dan Pulsa

Sinyal seperti step dan pulsa jarang terjadi atau tidak secara periodik ini dinamakan single shot atau sinyal transien. Step menunjukkan perubahan tegangan mendadak seperti perubahan pada pemidahan saklar on power. Pulsa menunjukkan perubahan tegangan mendadak, serupa dengan perubahan tegangan jika memindahkan saklar power on dan kemudian off lagi. Pulsa mungkin ditunjukkan satu bit dari informasi yang berjalan melalui rangkaian komputer atau mungkin glitch atau dalam rangkaian cacat. Kumpulan pulsa-pulsa berjalan bersama membuat pulsa train. Komponen digital dalam komputer komunikasi dengan setiap penggunaan pulsa yang lain. Pulsa biasanya juga dalam sinar X dan peralatan komunikasi. Gambar 7-8 menunjukan contoh bentuk step dan pulsa dan pulsa train.

7.1.2.4. Sinyal periodik dan Non periodik

Pengulangan sinyal direferensikan sebagai sinyal periodik, sementara sinyal yang perubahannya konstan dikenal sebagai sinyal non periodik.

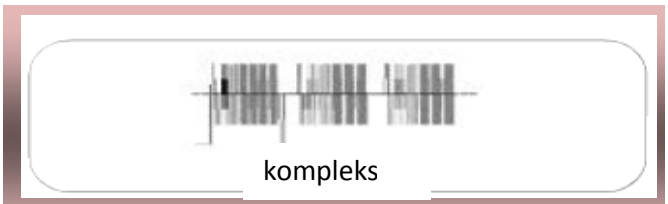
7.1.2.5. Sinyal sinkron dan tak sinkron

Bila pewaktuan berhubungan dengan keberadaan dua sinyal, sinyal direferensikan sebagai sinyal sinkron. Sinyal clock, data dan alamat di dalam komputer merupakan contoh sinyal sinkron. Asinkron merupakan istilah yang digunakan untuk menguraikan sinyal antara yang tidak

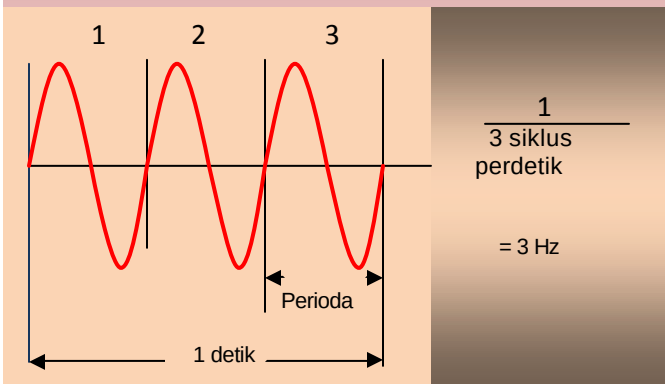
berhubungan dengan keberadaan pewaktuan. Karena tidak ada korelasi waktu antara aksi penyentuhan kunci pada keyboard komputer dan clock di dalam komputer, ini dipandang sebagai sinyal asinkron.

7.1.2.6. Gelombang kompleks

Banyak bentuk gelombang yang mengkombinasikan karakteristik sinus, kotak, step dan pulsa untuk menghasilkan bentuk gelombang yang memenuh tantangan osiloskop. Sinyal informasi mungkin ditempelkan dalam bentuk variasi amplitudo, fasa dan atau frekuensi. Contoh meskipun sinyal dalam gambar 7-9 merupakan sinyal video komposit biasa, ini dicampur banyak siklus dari bentuk gelombang frekuensi yang lebih tinggi yang ditempelkan dalam amplop frekuensi yang lebih rendah. Misal ini biasanya sangat diperlukan untuk mengetahui tingkat relatip dan pewaktuan yang berhubungan dengan step. Untuk melihat sinyal ini diperlukan sebuah osiloskop yang mengambil amplop frekuensi rendah dan campuran dalam gelombang frekuensi lebih tinggi dalam suatu intensitas peunjukan yang bernilai sehingga dapat dilihat keseluruhan kombinasi sebagai gambar yang dapat diinterpretasikan secara visual. Osiloskop phosphor analog dan digital sangat menyenangkan untuk melihat gelombang kompleks. Gambar 7-9. mengilustrasikan peraga yang memberikan informasi kejadian frekuensi yang diperlukan atau penilaian intensitas, penting untuk dipahami apa sebenarnya bentuk gelombang.



Gambar 7-9. Bentuk gelombang komplek video



Gambar 7-10. perioda gelombang sinus

7.1.3. Pengukuran Bentuk Gelombang

Banyak istilah digunakan untuk menguaikan jenis - jenis pengukuran yang dilakukan dengan osiloskop. Pada bagian ini menguraikan beberapa pengukuran dan istilah pada umumnya.

7.1.3.1. Frekuensi dan Perioda

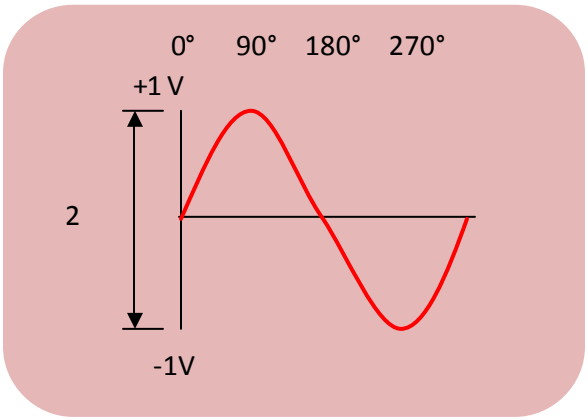
Jika ada pengulangan sinyal, ini memiliki frekuensi. Frekuensi diukur dalam Hertz dan sama dengan jumlah pengulangan sinyal dalam waktu satu detik direferensikan sebagai siklus perdetik. Pengulangan sinyal juga mempunyai perioda ini mengambil banyak waktu untuk sinyal melengkapi satu siklus. Perioda dan frekuensi timbal balik satu sama lain, sehingga 1/perioda sama dengan frekuensi dan 1/frekuensi sama dengan perioda. Misal gelombang sinus dalam gambar 7-10 mempunyai frekuensi 3Hz dan perioda 1/3 detik.

7.1.3.2. Tegangan

Tegangan merupakan jumlah potensial listrik atau kekuatan sinyal antara dua titik rangkaian. Biasanya satu dari titik ini adalah ground atau nol volt, namun tidak selalu. Untuk mengukur tegangan dari puncak maksimum ke puncak minimum dari bentuk gelombang, direferensikan sebagai tegangan puncak ke puncak.

7.1.3.3. Amplitudo

Amplitudo referensi terhadap sejumlah tegangan antara titik dalam rangkaian. Amplitudo biasanya direferensikan tegangan maksimum dari sinyal yang diukur terhadap ground. Bentuk gelombang ditunjukkan dalam gambar 7-11 mempunyai amplitudo 1V dan puncak ke puncak 2V.



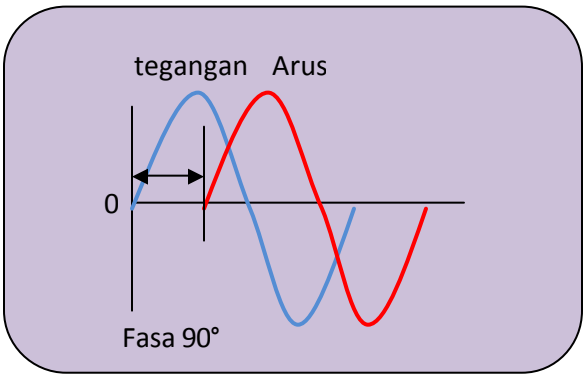
Gambar 7-11. Amplitudo dan derajat gelombang sinus

7.1.3.4. Fasa

Fasa terbaik dijelaskan dengan melihat pada gelombang sinus. Level tegangan dari gelombang sinus didasarkan pada gerakan melingkar. Lingkaran mempunyai 360°, satu siklus gelombang sinus mempunyai 360° sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 7-11. Penggunaan derajat dapat digunakan sebagai acuan untuk sudut fasa gelombang sinus bila ingin menguraikan seberapa banyak perioda telah dilalui.

7.1.3.5. Pergeseran Fasa

Pergeseran fasa menguraikan perbedaan antara dua sinyal serupa satu sama lain. Bentuk gelombang gambar 7-12 ditandai arus sehingga dikatakan tertinggal fasa dengan bentuk gelombang yang ditandai tegangan, karena gelombang mencapai titik sama dalam siklus ¼ siklus (360°/4=90°). Pergeseran fasa biasanya dalam elektronik dinyatakan dalam derajat.



Gambar 7-12 Pergeseran fasa

7.2. Operasi Dasar CRO

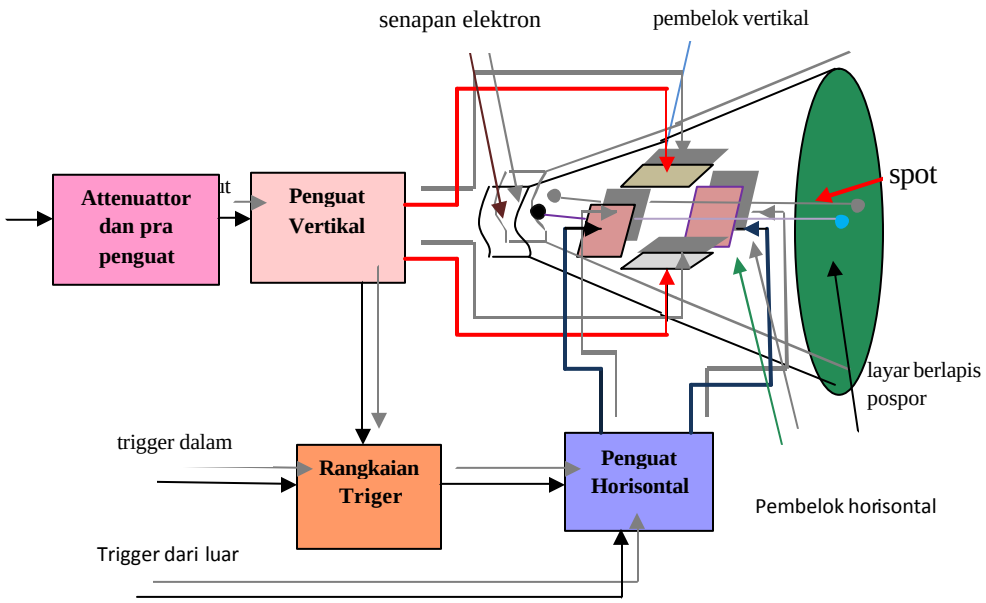
Subsistem utama CRO untuk pemakaian umum ditunjukkan gambar diagram di bawah ini terdiri atas :

1. Tabung sinar katoda (CRT)
2. Penguat vertikal (vertikal amplifier)
3. Rangkaian trigger (Trigger Circuit)
4. Penguat Horisontal (Horisontal Amplifier).

Tabung sinar katoda atau CRT merupakan jantung siloskop , pada dasarnya CRT menghasilkan berkas elektron yang dipusatkan secaravtajam dan dipercepat pada kecepatan yang sangat tinggi. Berkas yang tajam dan kecepatan tinggi bergerak dari sumbernya (senapan elektron) ke layar CRT bagian depan, membentur bahan lapisan flouresensi yang melekat di permukaan CRT. Akibat benturan ini menimbulkan energy yang cukup untuk membuat layar

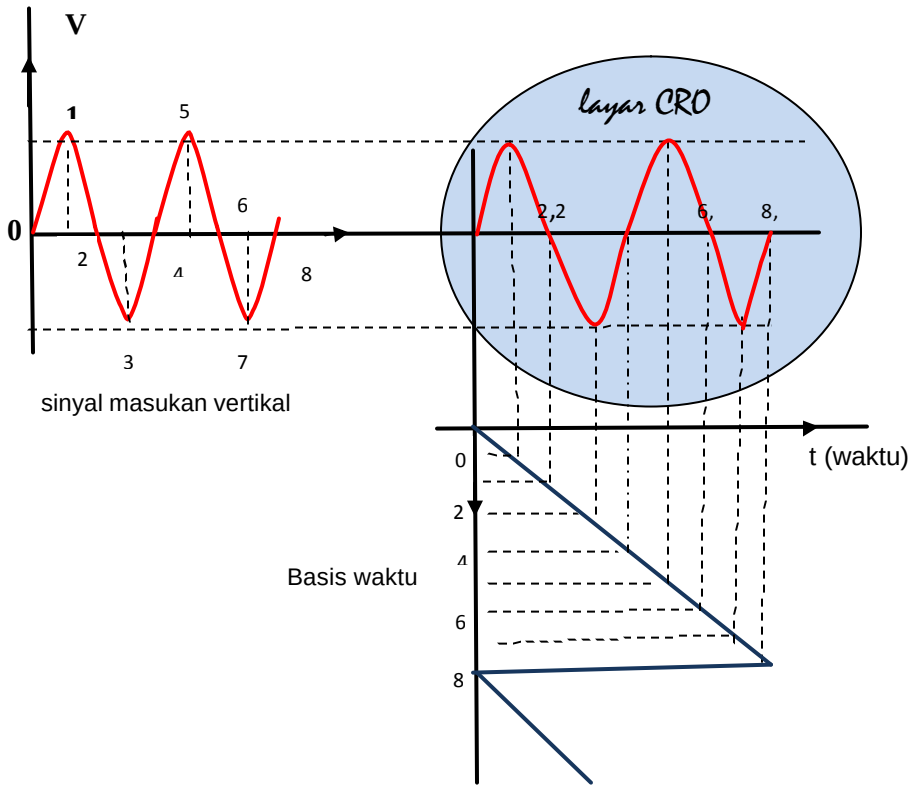
bercahaya dalam sebuah bintik kecil. Dalam perjalanannya menuju layar, berkas elektron melewati sefasang pelat defleksi vertikal dan sefasang pelat defleksi horisontal. Tegangan yang dimasukkan pada pelat defleksi vertikal dapat menggerakkan berkas elektron pada bidang vertikal sehinga bintik CRT bergerak dari atas ke bawah. Sedangkan tegangan yang dimasukkan pada pelat defleksi horisontal dapat menggerakkan berkas elektron pada bidang horisontal sehingga bintik akan bergerak dari kiri ke kanan. Gerakan-gerakan ini tidak saling bergantungan satu sama lain sehingga bintik CRT dapat ditempatkan di setiap tempat pada layar dengan menghubungkan masukan tegangan vertikal dan horisontal yang sesuai secara bersamaan. Bentuk sinyal yang diamati dihubungkan ke masukan penguat vertikal dengan menggunakan probe. Penguat vertikal dilengkapi rangkaian attenuator atau pelemah yang telah dikalibrasi, biasanya diberi tanda Volt/Div. Setelah sinyal diperkuat cukup untuk mengendalikan bintik CRT diteruskan ke bagian defleksi vertikal.

Generator basis waktu disediakan untuk operasi internal, sedangkan dalam pengoperasian eksternal basis waktu diambil dari sinyal masukan pada horisontal amplifier seperti pada gambar. Generator basis waktu membangkitkan gelombang gigi gergaji yang digunakan sebagai tegangan defleksi horisontal dalam CRT.



Gambar 7-13. Operasi dasar CRO

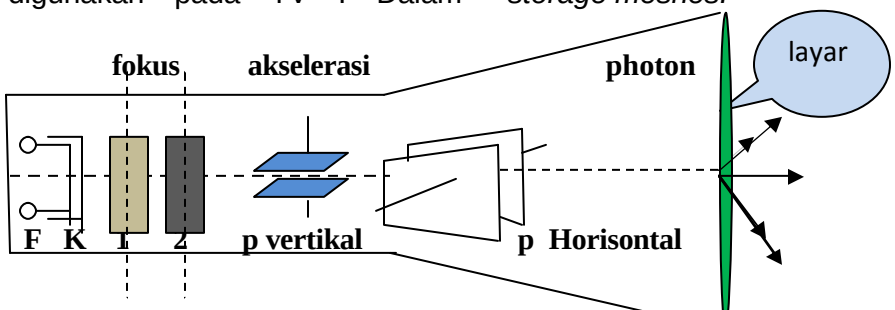
Bagian gelombang gigi gergaji yang menuju positip bersifat linier, dan laju kenaikkan dapat disetel dengan alat control di panel depan yang diberi anda Time/Div. Tegangan diumpankan pada penguat horisontal, gigi geraji positip dimasukkan pada pelat defleksi horisontal CRT sebelah kanan dan gigi gergaji menuju negatip dumpankan pada pelat defleksi horisontal sebelah kiri. Tegangan-tegangan ini akan menyebabkan berkas elektron akan menyapu sepanjang layar dari arah kiri ke kanan, dalam satuan waktu yang dikontrol oeh Time/Div. Tegangan defleksi kedua fasangan pelat secara bersamaan menyebabkan bintik CRT meninggalkan berkas bayangan pada layar. Ini ditunjukkan pada gambar 7-14.. Pada gambar ini menunjukkan sebuah tegangan gigi gergaji dimasukkan ke pelat defleksi horisontal dan sinyal gelombang sinus dimasukkan pada pelat defleksi vertikal. Karena tegangan penyapu horisontal bertambah secara lnier terhadap waktu, maka bintik CRT bergerak sepanjang layar pada kecepatan konstan dari kiri ke kanan. Pada akhir penyapuan bila tegangan gigi gergaji tiba-tiba turun dari harga maksimalnya ke nol, bintik CRT kembali dengan cepat ke posisi awal di bagian kiri layar dan tetap berada disana sampai ada penyapuan baru. Bila secara bersamaan diberikan sinyal masukan pada pelat defleksi vertikal, berkas elektron akan dipengaruhi oleh dua gaya, yaitu satu dalam bidang horisontal menggerakkan bintik CRT dengan laju linier, dan satu lagi dalam bidang vertikal menggerakan bintik CRT dari atas ke bawah sesuai dengan besar dan polaritas sinyal masukan. Dengan demikian gerak resultante dari berkas elektron menghasilkan peragaan sinyal masukan vertikal pada CRT sebagai fungsi waktu.



Gambar 7-14. Hubungan basis waktu masukan dan tampilan

7.2.1. Prinsip Kerja Tabung Sinar Katoda

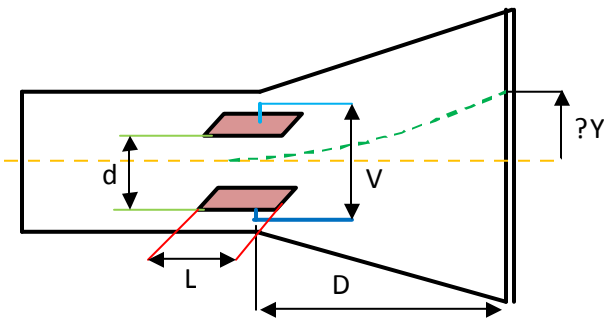
Tabung sinar katoda pada beberapa penganalisa logika (Logic Analysers) defleksi secara magnetik, dapat monokrom atau warna. Pada jenis ini peraga menggunakan teknik seperti yang digunakan pada TV . Dalam tabung sinar katoda *storage oscilloscope* pada dasarnya serupa dengan defleksi elektrostatik jenis tabung yang akan dijelaskan di bawah ini hanya ditambahkan satu atau lebih *storage meshes.*



Gambar 7-15. Strktur tabung gambar

Tabung sinar katoda merupakan komponen utama jantung oasiloskop, pada dasarnya terdiri dari susunan elektroda yang dilapisi kaca bejana. Elektroda-elektroda berfungsi sebagai berikut

- Susunan tiga elektroda (triode) yang berfungsi membangkitkan berkas elektron, biasa disebut sinar katoda yang terdiri dari katoda (K) filamen pemanas (F), grid pengontrol (G) dan elektroda pemercepat berkas elektron (1).
- Elektroda pemfokus berkas elektron (2).
- Berkas elektron dipercepat sebelum mencapai pelat defleksi.
- Pelat pembelok vertikal mengubah arah berkas sebanding dengan beda tegangan kedua pelat. Bila beda tegangan nol atau besar tegangan kedua pelat sama berkas akan dilewatkan lurus. Disebut pelat defleksi vertikal karena dapat membelokkkan berkas ke arah vertikal, sehingga berkas dapat berada pada layar berupa titik yang bergerak dari atas ke bawah. Pelat defleksi horisontal serupa dengan defleksi vertikal hanya arah pembelokkan berkas elektron dalam arah horisontal dari kiri ke kanan.
- Setelah berkas dbelokkan akan menumbuk lapisan flouresensi yang berada pada permukaan layar tabung sinar katoda. Lapisan terdiri dari lapisan tipis pospor, olahan kristal garam metalik yang sangat halus didepositkan pada kaca. Akibatnya berkas berpijar, semua emisi cahaya dalam arah maju.



Gambar 7-16. Sistem pembelokan berkas elektron

Beda tegangan pada elektroda focus diatur agar berkas yang menumbuk layar berupa bintik yang kecil. Sayangnya , jika tidak ada pengontrol lain seringkali didapati pengaturan control focus minimum titik yang terbentuk, melebar berbeda dengan titik berkas tinggi minimum. Ini dapat dicegah dengan memberikan control astigmatism. Dalam kasus tabung sinar katoda sederhana terdiri dari potensiometer yang mengatur beda tegangan relatip

pada elektroda Anoda akhir dan layar terhadap tegangan pelat defleksi. Pengaturan fokus dan astigmatism memungkinkan dicapai titik berkas elektron dalam ukuran sekecil mungkin. Pada saat berkas elektron dilewatkan diantara dua pelat pembelok vertikal yang mempunyai beda tegangan V volt antara kedua pelat defleksinya maka berkas akan didefleksikan secara vertikal besarnya :

$$? Y = \frac{KVLD}{2 Va d}$$

Dimana
L = Panjang pelat
D = jarak antara pelat dan titik pada sumbu dimana defleksi diukur.
d = jarak antar pelat
Va = tegangan pem ercepat yang diberikan
K = konstanta yang berhubungan dengan muatan dan masa

Brilliance atau intensitas modulasi atau juga dinamakan modulasi Z dicapai dengan memberikan beda tegangan pada katoda atau grid yang mengontrol intensitas berkas elektron. Pada umumnya perubahan 5 V akan menghasilkan perubahan kecerahan yang nyata, ayunan maksimum sekitar 50V akan memadamkan intensitas penjejakan berkas elektron. Secara normal berkas akan dipadamkan selama *flayback* atau penjejakan balik berupa elektroda pemadam yang dapat mendefleksikan berkas tanpa mencapai layar.

7.2.2. Sensitivitas Tabung

Pelat defleksi dari tabung sinar katoda dihubungkan dengan penguat, yang dapat menjadikan perancangan relatip sederhana bila diperlukan amplitudo keluaran rendah, namun diperlukan tabung yang memiliki sensitivitas setinggi mungkin. Penguat yang diperlukan memiliki lebar band yang lebar, kapasitansi antar pelat harus dijaga rendah sehingga harus dalam ukuran kecil dan terpisah secara baik. Untuk mencapai penjejakan yang jelas dari sinyal yang mempunyai pengulangan frekuensi rendah energy berkas harus tinggi. Idealnya tabung harus pendek (praktis) : D kecil Cerah (tegangan pemercepat tinggi) : V besar kapasitas pelat pembelok pemercepat rendah : L kecil, d besar. Ini menghasilkan tabung dengan sensitivitas sangat besar, diformulasikan :

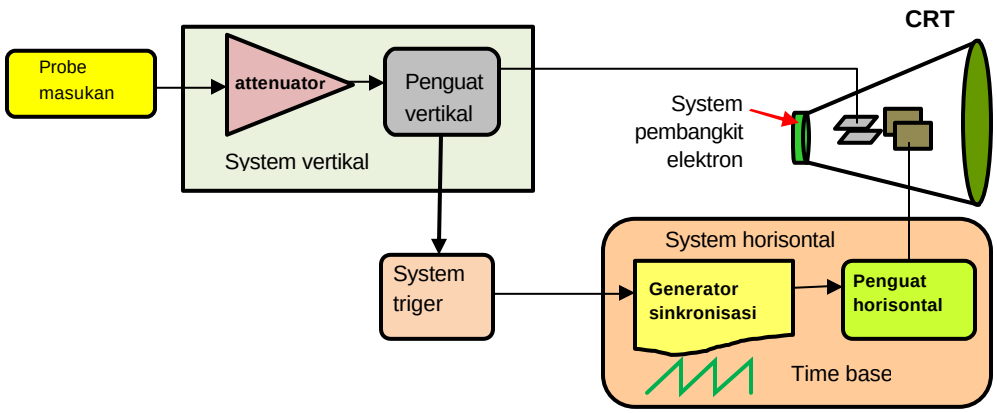
$$\text{Sensitivitas} = \frac{?Y}{V} = \frac{KLD}{2Va\,d}$$

Kebutuhan sensitivitas tinggi kontradiksi dengan persamaan. Praktisnya tabung sinar katoda diperoleh dari hasil kompromi. Oleh karena itu teknik yang dikembangkan untuk meningkatkan parameter yang dipilih dengan tanpa mengabaikan terhadap parameter yang lain. Kecemerlangan penjejakan dengan sensitivitas tetap terjaga baik dapat ditingkatkan dengan melewatkan berkas melalui sistem defleksi dalam kondisi energy rendah. Ini dicapai dengan menggunakan tegangan beberapa kilovolt pada layar tabung sinar katoda.

7.3. Jenis-jenis Osiloskop

7.3.1. Osiloskop Analog

Pada dasarnya sebuah osiloskop analog bekerja dengan menerapkan sinyal tegangan yang diukur secara langsunng diberikan pada sumbu vertikal dari berkas elektron yang berpindah dari kiri melintasi layar osiloskop – biasanya tabung sinar katoda. Disisi sebaliknya dari layar diberlakukan dengan perpendaran pospor yang menyala dimana saja berkas elektron membenturnya. Sinyal tegangan membelokkan berkas ke atas dan turun berpindah secara proporsional sebagaimana perindahan secara hrisontal, pelacakan bentuk gelombang pada layar. Lebih sering berkas membentur lokasi layar tertentu, semakin terang nyalanya.



Gambar 7-17. Blok diagram CRO analog

CRT membatasi cakupan frekuensi yang dapat diperagakan dengan osiloskop analog. Pada frekuensi yang sangat rendah, sinyal muncul sebagai titik terang bergerak lambat yang sulit membedakan sebagai ciri bentuk gelombang. Pada frekuensi tinggi kecepatan penulisan CRTterbatas. Bila frekuensi sinyal melbihi kecepatan menulis CRT, peraga menjadi sangat samar untuk dilihat. Osiloskop analog tercepat dapat memperagakan frekuensi sampai sekitar 1 GHz.

Bila sinyal dihubungkan rangkaian probe osiloskop, tegangan sinyal berjalan melalui probe ke sistem vertikal dari osiloskop. Gambar 7-17. mengilustasikan bagaimana osiloskop analog memperagakan sinyal yang diukur. Tergantung pada bagaimana pengaturan skala vertikal (control Volt/div), attenuator mengurangi tegangan sinyal dan sebuah penguat menambah tegangan sinyal.

Selanjutnya sinyal berjalan langsung ke pelat pembelok vertikal dari CRT. Tegangan yang diberikan pada pelat pembelok menyebabkan perpendaran pada titik yang bergerak melintasi layar. Nyala titik dibuat oleh berkas elektron yang membentur pospor luminansi di dalam CRT.Tegangan positip menyebabkan titik berpindah ke atas sementara tegangan negatip menyebabkan titik bergerak ke bawah.

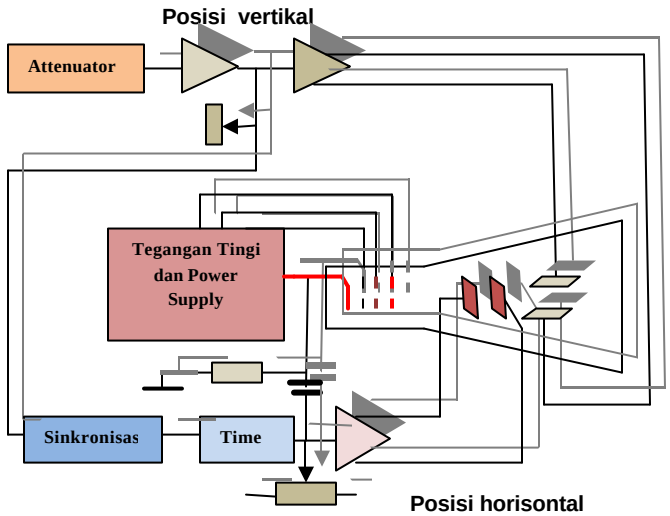
7.3.2. Jenis-jenis Osiloskop Analog

7.3.2.1. Free Running Osciloskop

Free running oscilloscope merupakan jenis CRO generasi awal yang sederhana, secara blok diagram prinsip kerjanya dijelaskan berkut ini. Pada kanal (Channel) vertikal terdapat penguat sinyal yang fungsinya mengendalikan pelat defleksi vertikal. Penguat vertikal mempunyai penguatan yang tinggi sehingga keluaran berupa sinyal yang kuat ini harus dilewatkan attenuator. Penguat horisontal dihubungkan ke suatu sinyal time base internal dan dikontrol oleh pengontrol penguatan horisontal dan mengontrol dua frekuensi sapuan : pemilih sapuan dan sapuan **vernier.**

Generator time base menghasilkan bentuk gelombang gigi gergaji yang berguna untuk mendefleksikan berkas dalam arah horisontal. Tegangan antara pelat defleksi horisontal CRT disusun supaya titik berkas elektron pada posisi sisi kiri dari layar pada saat tegangan gigi gergaji nol. Berkas elektron akan ditarik ke kanan sebanding dengan tegangan ramp yang diberikan. Jika pengaturan memberikan tegangan ramp mencapai maksimum berkas akan berada diujung sebelah kanan layar. Untuk satu ramp lengkap tegangan gigi gergaji, bentuk gelombang gigi gerjaji akan jatuh secara cepat kembali ke nol, berkas akan kembali diujung kiri layar; pada kasus ini titik pada layar mencapai posisi ujung dan secara cepat dikembalikan ke posisi awal, Akibat aksi ini garis

retrace (flyback) digambarkan pada layar. Masalah ini diselesaikan dengan pemberian pulsa blanking pada saat retrace memadamkan berkas selama waktu flyback. Ini akan mengurangi garis retrace pada layar.



Gambar 7-18. Blok diagram CRO free running

Osiloskop free running merupakan instrumen harga murah, time base generator harus disinkronisasikan dengan sinyal pada penguat vertikal agar peragaan pada layar CRT stabil. Dengan kata lain bentuk gelombang bergerak melintasi layar dan tetap tak stabil. Sinkronisasi diperlukan untuk menyamakan waktu lintasan sapuan sinyal time base dengan jumlah perioda gelombang vertikal. Jadi bentuk gelombang vertikal dapat terkunci pada layar CRT jika frekuensi sinyal masukan vertikal merupakan kelipatan dari frekuensi sapuan (fv = n fs).

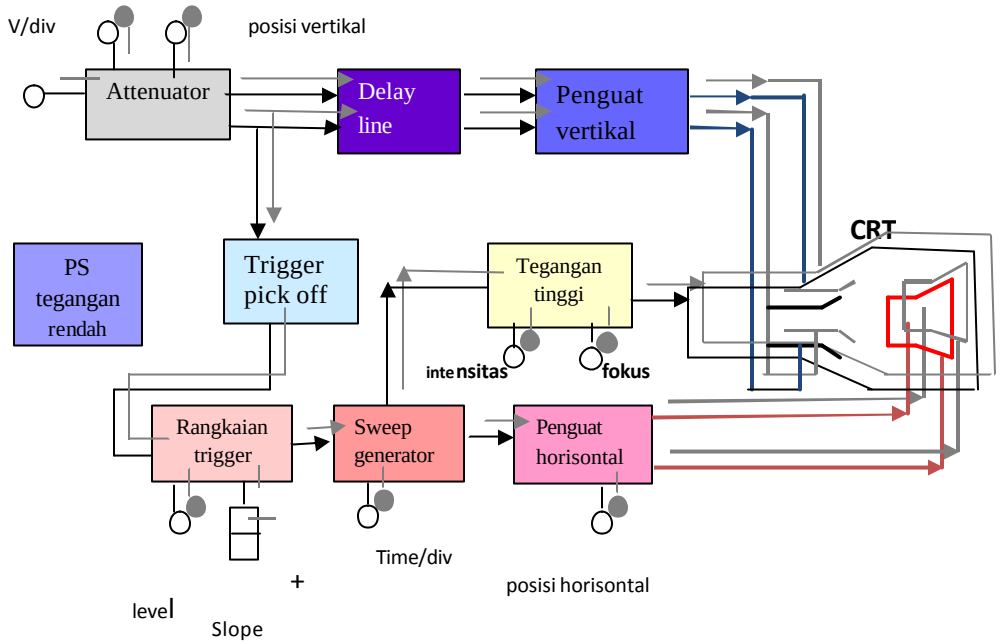
7.3.2.2. Osiloskop Sapuan Terpicu (Triggered – Sweep Osciloscope)

Osiloskop free running harga murah mempunyai keterbatasan pemakaian. Misalnya rise time pulsa tidak dapat diukur dengan free running osiloskop, namun dapat diukur dengan menggunakan triggered-sweep osciloscpe. Triggered-sweep osciloskop dipandang lebih serbaguna dan merupakan standar industry. Dalam triggered-sweep mode pembangkit gigi gergaji tidak membangkitkan tegangan ramp kecuali dikerjakan dengan trigger pulsa. Triggered sweep memungkinkan peragaan sinyal vertikal pada CRT dalam durasi yang sangat pendek, pada

bidang layar yang cukup besar, sederhana karena sapuan dimulai dengan pulsa trigger yang diambil dari bentuk gelmbang yang diamati.

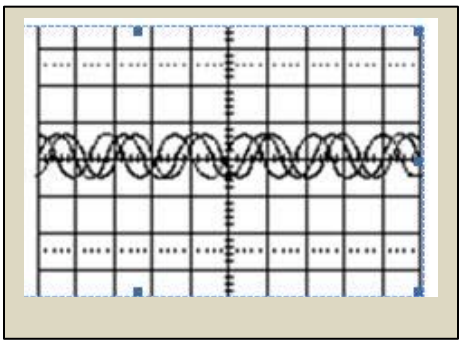
Secara blok diagram dari dasar triggered-sweep oscilloscope digambarkan di bawah ini, meliputi sumber tegangan, CRT, jalur tunda, sistem penguat vertikal, trigger pick-off amplifier, rangkaian trigger, generator sapuan, penguat horisontal dan rangkaian sumbu Z. Pada saat sinyal diberikan pada masukan vertikal, segera diteruskan ke preamplifier (A) diubah dalam sinyal push-pull. Sinyal diteruskan ke vertikal output amplifier (C) melalui rangkaian penunda (B). Sinyal dari vertikal output amplifier digunakan untk mengendalikan berkas elektron CRT secara vertikal, menyebabkan titik pada layar bergerak secara vertikal. Sebuah sample sinyal vertikal diambil dari vertikal preamplifier sebelum delay line diberikan ke penguat trigger pick-off (D) diteruskan ke rangkaian trigger (E). Sinyal ini akan digunakan dengan sistem time base (E.F.G). Sinyal trigger digunakan untuk memaksa waktu yang berhubungan antara sinyal vertikal dan time base. Sinyal trigger pick-off dibentuk menjadi sinyal trigger oleh rangkaian trigger (E). Trigger ini memicu sweep generator menghasilkan sinyal ramp (F), kemudian diperkuat dan diubah ke dalam bentuk sinal push pull oleh penguat horisontal (G). dihubungkan dengan pelat defleksi horisontal CRT dan menyebabkan penjejakan secara horisontal pada layar mengikuti kenaikan tegangan ramp. Keluaran sweep generator (F) menggerakkan berkas selama waktu naik dan kembali keposisi awal selama off.

Attenuator dan sistem penguat vertikal memungkinkan diperagakan pada layar pengukuran tegangan dari range beberapa mV sampai beberapa ratus volt Volt/div, pemilihan control factor pembelok vertikal dan pengkalibrasi sinyal. Time /div dan control vernier memilih kecepatan sapuan dan masukan eksternal harisontal. Kontrol Slope menentukan apakah sapuan ditrigger pada slope + atau – dari sinyal trigger. Level control memilih sautu titik dimana trigger sapuan diberikan. Kontrol intensitas dan focus memungkin peragaan focus dengan tingkat kecerahan yang tepat.

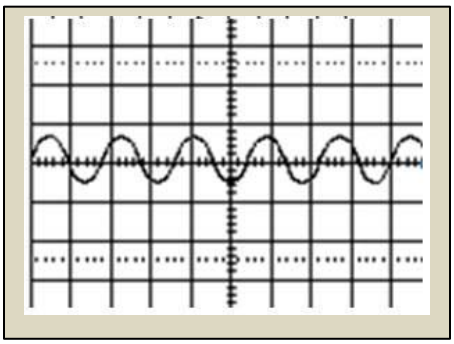


Gambar 7-19. Blok diagram osiloskop terpicu

Perbedaan peragaan sinyal hasil pengukuran antara osloskop free running dan triggered-sweep osciloskop seperti di bawah ini.



Gambar 7-20. Peraga osiloskop free running



Gambar 7-21. Peraga osiloskop terpicu**(www.interq or jp/japan/se-inoue/e-oscilo0.htm)**

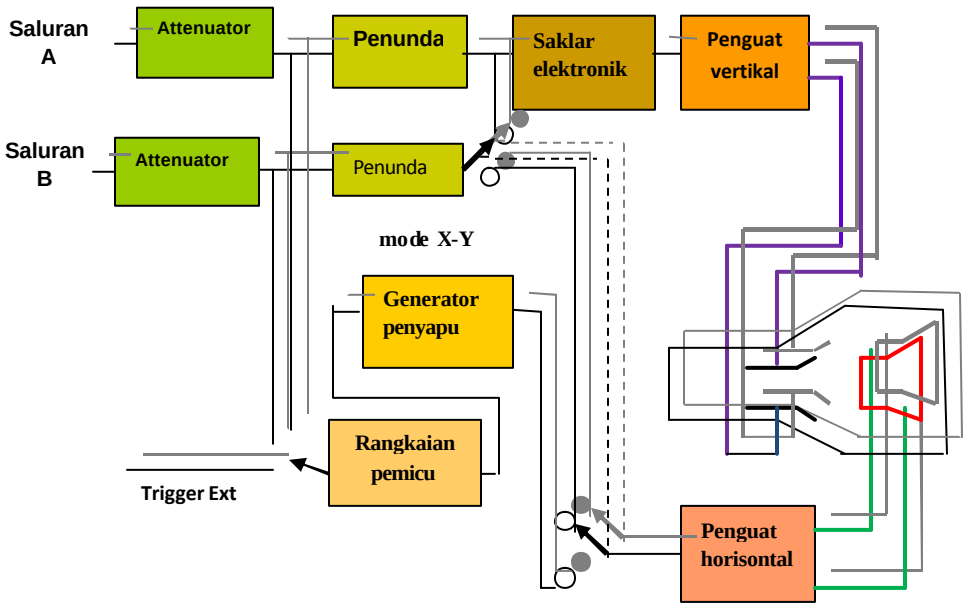
7.3.2.3. CRO Dua Kanal

7.3.2.3.1. CRO Jejak Rangkap (Dual Trace CRO)

Pemakaian osloskop sekarang ini hampir semuanya memiliki peraga yang mampu membandingkan waktu dan amplitudo antara dua bentuk gelombang. Untuk mencapai dual trace pada layar dapat menggunakan satu dari dua teknik : (1) berkas tunggal ditujukan dua sinyal kanal dengan alat elekctronic switching (dual

trace). (2). Dua berkas diberikan ke satu peraga setiap sinyal kanal (dual beam). Karena konstruksi CRT dual beam dan split-beam mahal, biasanya digunakan teknik dual trace.

Dengan dual trace osiloskop mempunyai dua rangkaian masukan vertikal yang diberi tanda A dan B. Saluran A dan B mempunyai pra penguat dan saluran tunda yang identik. Keluaran pra penguat A dan B diumpankan ke sebuah saklar elektronik yang secara bergantian menghubungkan masukan penguat vertikal akhir dengan keluaran pra penguat. Saklar elektronik juga berisi rangkaian untuk memilih variasi mmodus peragaan, Penguat vertikal akhir menyediakan tegangan pelat defleksi, berturut-turut menghubungkan ke dua kanal input dengan saklar elektronik. Saklar elektronik dioperasikan dengan menggunakan salah satu multivibrator free-running atau dengan pulsa yang berasal dari rangkaian time base, berturut-turut dalam chopped mode atau alternate mode. Bila saklar modus berada pada posisi alternate (bergantian), saklar elektronik secara bergantian menghubungkan penguat vertikal akhir ke saluran A dan saluran B. Penyaklaran ini terjadi pada permulaan tiap-tiap penyapuan yang baru. Kecepatan pemindahan saklar elektronik diselaraskan dengan kecepatan penyapuan, sehingga bintik CRT mengikuti jejak sinyal saluran A pada satu penyapuan dan sinyal saluran B pada penyapuan berikutnya.



Gambar 7-22. Blok diagram CRO jejak rangkap

Karena tiap penguat vertikal mempunyai rangkaian pelemahan masukan yang telah terkalibrasi dan sebuah pengontrol posisi vertikal, amplitudo sinyal masukan dapat diatur secara tersendiri sehingga kedua bayangan ditempatkan secara terpisah pada layar. Alternate mode biasanya digunakan untuk melihat sinyal frekuensi tinggi, kecepatan sweep lebih cepat dari pada 0,1 ms/div sehingga dapat diperoleh peragaan sinyal yang simultan dan stabil.

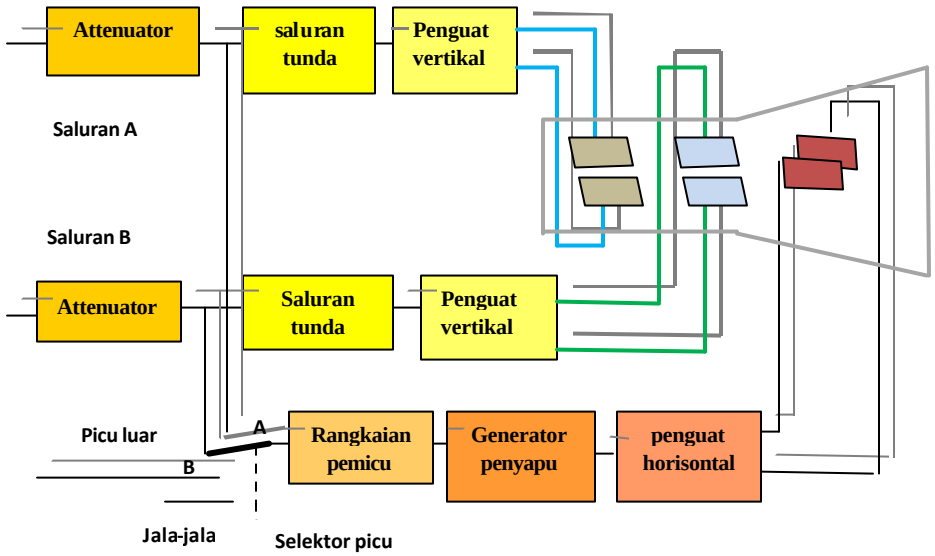
Dalam mode chopped (tercincang), saklar elektronik berkerja penuh pada kecepatan 100 sampai 500 kHz, seluruhnya tidak bergantung pada frekuensi generator penyapu. Dalam modus ini penyaklaran secara berturut-turut menghubungkan segmen-segmen kecil gelombang A dan B ke penguat vertikal akhir. Pada laju pencincangan yang sangat cepat misal 500 kHz, segmen 1μs dari setiap bentuk elombang diumpankan ke CRT untuk peragaan. Jika laju pencincangan jauh lebih cepat dari laju penyapuan horisontal, segmen-segmen terpisah yang kecil diumpankan ke penguat vertikal akhir bersama-sama akan menyusun kembali bentuk gelombang A dan B yang asli pada layar CRT, tanpa mengakibatkan gangguan yang nyata pada kedua bayangan. Jika kecepatan penyaklaran hampir sama dengan kecepatan pencincangan segmen-segmen kecil dari gelombang yang tercincang akan kelihatan sebagai bayangan-bayangan terpisah dan kesinambungan peragaan bayangan hilang. Dalam hal ini akan lebih baik menggunakan modus alternate.

7.3.2.3.2. Osiloskop Berkas Rangkap (Dual Beam CRO)

CRO jenis berkas rangkap menerima dua sinyal masukan vertikal dan memperagakannya sebagai dua bayangan terpisah pada layar CRT. Osiloskop berkas rangkap menggunakan CRT khusus yang menghasilkan dua berkas elektron yang betul-betul terpisah yang secara bebas dapat disimpangkan kea rah vertikal. Dalam beberapa CRT berkas rangkap keluaran senapan elektron tunggal dipisahkan secara mekanis menjadi dua berkas terpisah yang disebut teknik pemisahan berkas. Sedangkan CRT jenis lain berisi dua senapan elektron terpisah, masing-masing menghasilkan berkas sendiri. CRT berkas rangkap mempunyai dua fasang pelat defleksi vertikal, satu fasang untuk tiap saluran dan satu fasang pelat deflesi horisontal.

Secara disederhanakan CRO berkas rangkap secara blok diagram digambarkan di bawah ini. CRO berkas rangkap mempunyai dua saluran vertikal yang identik yang ditandai dengan A dan B. Tiap saluran terdiri dari pra penguat dan pelemah masukan, saluran tunda, penguat vertikal akhir dan pelat-pelat vertkal CRT. Generator basis waktu menggerakkan fasangan

tunggal pelat-pelat horisontal menyapu kedua berkas sepanjang layar pada laju kecepatanyang sama. Geneator penyapu dapat dipicu secara internal dari salah satu saluran dari suatu sinyal pemicu yang dihubungkan dari luar, atau dari tegangan jala-jala.



Gambar 7-23. Diagram blok osiloskop berkas rangkap yang disederhanakan

7.3.2.4. CRO Penyimpanan Analog (Storage Osciloscope)

Keistimewaan ekstra disediakan pada beberapa scope analog penyimpan. Keistimewaan ini memungkinkan pola penjejakan normal rusak dalam hitungan detik untuk tetap tinggal pada layar. Dalam rangkaian listrik kemudian dapat dengan sengaja jejak pada layar diaktifkan disimpan dan dihapus.

Penyimpan disempurnakan dengan menggunakan prinsip emisi sekunder. Bila berkas titik elektron menulis dilewatkan pada permukaan pospor, momen tidak hanya menyebabkan pospor beriluminasi, namun energi kinetik berkas elektron membentur elektron lain sehingga bebas meninggalkan permukaan pospor. Ini meninggalkan muatan positip. Osiloskop penyimpan mempunyai satu atau lebih elektron gun sekunder yang dinamakan *flood gun* memberikan keadaan banjir elektron bernergi rendah berjalan menuju layar pospor. Elektron-elektron dari senapan banjir sangat lebih kuat menuju area layar pospor dimana senapan menulis telah meninggalkan muatan positip, dengan cara ini elektron-elektron dari senapan banjir mengeluminasi kembali pospor dengan memberikan muatan positip pada layar. Jika energi elektron dari senapan banjir tepat seimbang, setiap elektron

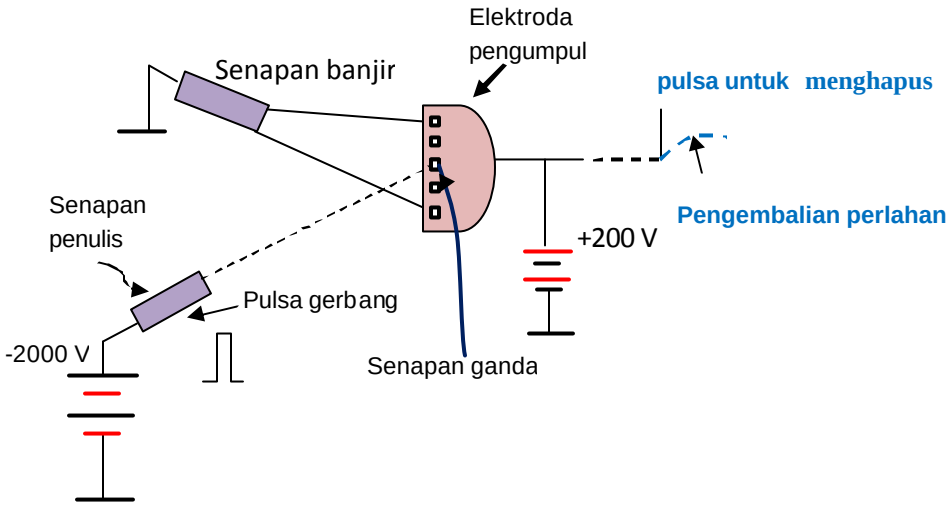
senapan banjir merobohkan satu elektron sekunder pospor, sehingga mempertahankan muatan positip daerah yang diiluminasi. Dengan cara demikian gambar asli yang telah ditulis dengan senapan tulis dapat tetap tinggal dalam waktu yang lama.

Kelebihan CRO penyimpanan adalah mampu merekam hasil pengukuran sinyal, dan tetap diperagakan meskipun sinyal masukan telah dihilangkan. Ini sangat membantu untuk pengamatan suatu peristiwa yang terjadi sekali saja akan lenyap dari layar. CRT penyimpan dapat menyimpan peragaan jauh lebih lama, sampai beberapa jam setelah bayangan terbentuk pada pospor. Ciri ingatan atau penyimapanan bermanfaat sewaktu memperagakan bentuk gelombang sinyal yang frekuensinya sangat rendah. Frekuensi sangat rendah bila diukur dengan CRO biasanya bagian awal peragaan akan menghilang sebelum bagian akhir terbentuk pada layar. CRT penyimpan dapat digolongkan sebagai tabung dengan dua kondisi stabil dan tabung setengah nada (half tone). Tabung dua kondisi stabil akan menyimpan satu peristiwa atau tidak menyimpan, hanya menghasilkan satu level keterangan bayangan. Tabung dengan dua kondisi stabil dan setengah nada keduanya mengunakan fenomena emisi elektron sekunder guna membentuk dan menyimpan muatan elektrostatik pada permukaan satu sasaran yang terisolasi. Pembahasan berikut berlaku untuk kedua jenis tabung tersebut.

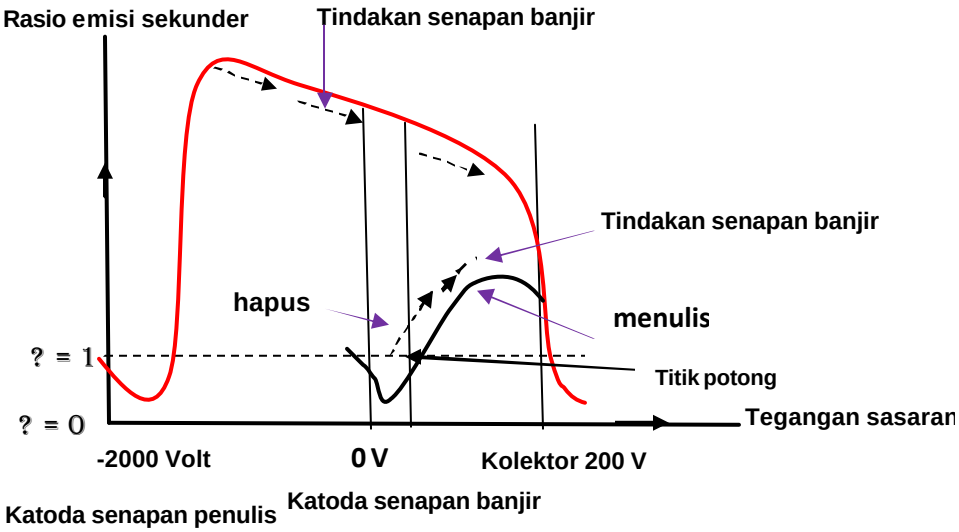
Bila sebuah sasaran ditembak oleh satu aliran elektron primer, satu pengalihan energy yang memisahkan elektron lain dari permukaan sasaran akan terjadi dalam satu proses yang disebut emisi sekunder. Jumlah elektron sekunder yang dipanaskan dari permukaan sasaran bergantung pada kecepatan elektron primer, intensitas berkas elektron, susunan kimia dari bahan sasaran dan kondisi permukaannya. Karakteristik ini dinyatakan dalam perbandingan emisi sekunder, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara arus emisi sekunder terhadap arus berkas primer yaitu :

$$? = Is/Ip$$

Prinsip kerja tabung penyimpan dengan kondisi dua stabil yang elementer digambarkan gambar 7-24 di bawah ini. Jika tegangan sasaran tinggi, sasaran ditulis (direkam), jika tegangan sasaran rendah sasaran terhapus. Dengan demikian tabung mempunyai suatu penunjukan elektris dan kondisi penyimpanannya tidak dapat dilihat.



Gambar 7-24 Tabung penyimpan dengan sasaran ganda dan dua senapan elektron



Gambar 7-25 CRT penyimpan sasaran ganda dan dua senapan elektron

Pada gambar 7-25 menunjukkan prinsip sebuah tabung penyimpan dengan dua kondis stabil yang mampu menuliskan, menyimpan dan menghapus sebuah bayangan. Tabung penyimpan ini berbeda dengan tabung penyimpan dengan sasaran

mengambang, mempunyai dua aspek perbedaan yaitu : (1) memiliki permukaan sasaran ganda dan memiliki senanpan berkas elektron kedua. Senapan berkas elektron kedua disebut senapan banir (flood gun), fungsinya memancarkan berkas elektron primer kecepatan rendah membanjiri seluruh permukaan sasaran. Ciri yang menonjol dari senapan banjir adalah membanjiri sasaran sepanjang waktu dan tidak hanya sebentar seperti halnya yang dilakukan senapan penulis. Titik stabil rendah adalah beberapa volt negative terhadap katoda senapan banjir, dan titik stabil atas adalah + 200V, yaitu tegangankolektor. Sedangkan tegangan katoda senapan penulis -2000V, dan kurva emisi sekundernya ditindihkan di atas kurva senapan banjir. Gabungan efek senapan penulis dan senapan banir merupakan penjumlahan efek masng-masing berkas berkas elektron itu sendiri.
Bila senapan penulis dibuka, berkas elektron primernya mencapai sasaran pada potensial 2000V, yang menyebabkan emisi-emisi ekunder sasaran tinggi. Dengan demikian tegangan sasaran meninggalkan titik stabil rendah dan mulai bertambah. Akan tetapi senapan berkas elektron banjir berusaha mempertahankan sasaran pada kondisi stabilnya dan melawan pertambahan tegangan sasaram. Jika senapan penulis dialihkan ke posisi bekerja cukup lama guna membawa sasaran melewati titik potong, berkas elektron senapan banjir akan membantu senapan berkas elektron penulis dan membawa sasaran sepenuhnya ke titik stabil atas, sehingga sasaran dituliskan.

Meskipun jika hubungan ke senapan penulis diputuskan, sasaran akan dipertahankan oleh berkas elektron senapan banjir dalam kondisi stabil atas, dengan demikian menyimpan informasi yang disampaikan oleh senapan penlis. Bila senapan penulis tidak cukup lama bekerja membawa sasaran melewati titik poton, berkas elektron senapan banjir akan memindahkan sasaran kembali ke kondisi stabil bawa dan tidak terjadi penyimpanan.

Menghapus sasaran berarti hanya menyimpan tegangan saran kembali ke tingkat stabil rendah. Ini dilakukan dengan mendenyutkan kolektor ke negatip sehingga secara seketika kolektor menolak elektron emisi sekunder dan memantulkan kembali ke sasaran. Ini memperkecil arus kolektor Is, dan perbandingan emisi sekunder turun di bawah satu. Selanjutnya sasaran mengumpulkan elektron primer dari senapan banjir (pada saat ini senapan penulis idak bekerja) dan bermuatan negatip. Tegangan sasaran berkurang samapai mencapai titik stabil rendah akibatnya pengemisian terhenti dan sasaran dalam kondisi terhapus. Stelah penghapusan kolektor dikembalikan ke tegangan positip semula (+200V) dengan demikian pulsa

penghapus dikembalikan ke nol. Seperti ditunjukan pada gambar 7-24 ini terjadi secara perlahan-lahan, sehingga sasaran tidak dikemudikan secara idak sengaja melalui titik potong dan kembali menjadi tertulis (terekam).

Permukaan sasaran tabung penyimpan pada gambar 7-24 terdiri dari sejumlah sasaran logam terpisah yang secara elektris terpisah satu sama lain dan diberi angka 1 sampai 5. Senapan banjir dikonstruksi sederhana tanpa pelat-pelat defleksi, dan memancarkan elektron berkecepatan rendah, menutup semua sasaran terpisah. Bila senapan penulis ditembakkan, sebuah berkas elektron terpusat berkecepatan tinggi diarahkan sasaran kecil (dalam hal ini nomor 3). Kemudian sasaran yang satu ini bermuatan positip dan dituliskan ke titik stabil atas. Bila senapan penulis dimatikan lagi, elektron banjir mempertahankan sasaran nomor 1 pada titik stabil atas. Semua sasaran lain dipertahanan pada titik stabil bawah.

Langkah terakhir dalam perkembangan tabung penyimpan dua kondisi stabil dengan tembus pandang adalah penggantian masing-masing sasaran logam dengan sebuah pelat dielektrik tunggal. Pelat penyimpan dari bahan dielektrik terdiri dari lapisan partikel-partikel fosfor yang terhambur setiap bagian dari luasan permukaan mampu ditulis atau dipertahankan positip atau dihapus mempertahankan negatip tanpa mempengaruhi permukaan pelat di sebelahnya. Pelat dielektrik ini diendapkan pada sebuah permukaan pelat gelas yang dilapisi bahan konduktif. Lapisan konduktif disebut punggung pelat sasaran (storage target back plate), berfungsi mengumpulkan berkas elektron emisi sekunder. Di samping senapan penulis dan perlengkapan pelat defleksi CRT penyimpan ini mempunyai dua senapan banjir dan sejumlah elektroda pengumpul yang membentuk sebuah lensa berkas elektron guna mendistribusikan berkas elektron banjir secara merata pada seluruh luasan permukaan sasaran penyimpan. Setelah senapan penulis menuliskan bayangan bermuatan pada sasaran penyimpan, senapan banir menyimpan bayangan. Bagian sasaran yang dituliskan telah ditembaki oleh berkas elektron banjir yang mengalihkan energy ke lapisan fosfor dalam bentuk cahaya terlihat.

Pola cahaya ini dapat dilihat melalui permukaan pelat gelas. Karena sasaran permukaan penyimpan dapat positip atau negatip, maka terangnya keluaran cahaya yang dihasilkan oleh berkas elektron banjir biasanya memiliki kecerahan (brightness) penuh ataupun minimal. Tidak terdapat skala kabur diantara kedua batas.

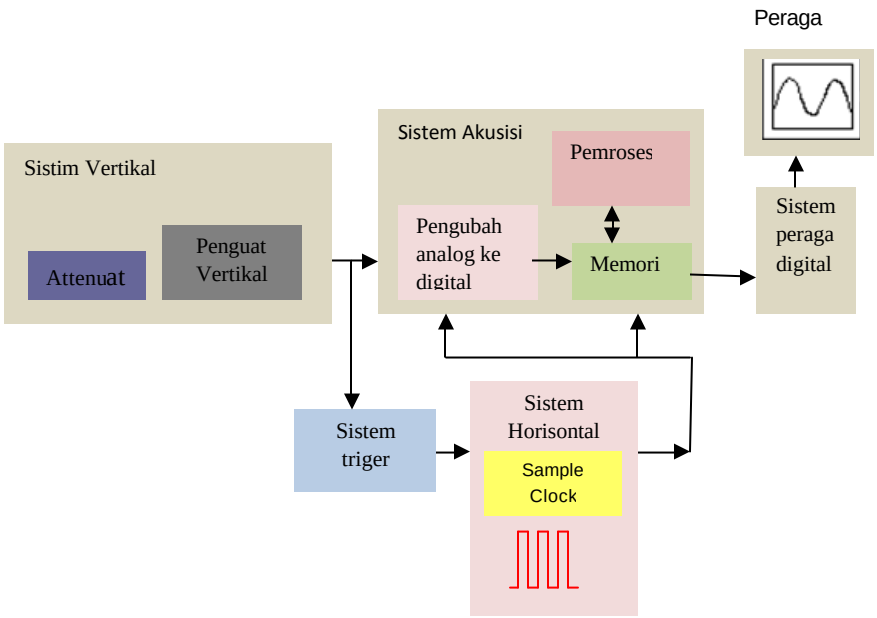
7.4. Osiloskop Digital

7.4.1. Prinsip Kerja CRO Digital

Pada CRO digital menyediakan informasi sinyal secara digital disamping peragaan CRT sebagaimana CRO analog. Pada dasarnya CRO digital terdiri dari CRO laboratorium konvensional berkecepatan tinggi ditambah dengan rangkaian pencacah elektronik yang keduanya berada dalam satu kotak kemasan. Rangkaian kedua unit dihubungkan dengan memakai sebuah pengontrol peragaan logic, memungkinkan pengukuran pada kecepatan dan ketelitian tinggi. CRO penunjuk angka pembacaan,. kenaikan waktu (rise time), amplitudo dan beda waktu, bergantung pada posisi alat control seperti TIME/DIV, AMPLTUDE/DIV dan PROGRAM dengan hasil relatip lebih akurat.

Pada saat probe osiloskop digital diberi masukan, pengaturan amplitudo sinyal pada sistem vertikal seperti osiloskop analog. Selanjutnya sinyal analog diubah ke dalam bentuk digital dengan rangkaian analog-to-digital converter (ADC). Dalam sistem akuisi sinyal sampel pada titik waktu diskrit, diubah dalam harga digital disebut *sample point*. Sampel clock sistem digital menentukan seberapa sering ADC mengambil sampel. Kecepatan clock “ticks” disebut sample rate dan diukur dalam banyak sampel yang diambil dalam satuan detik (jumlah sample/detik).

Hasil dari ADC disimpan dalam memori sebagai titik-titik bentuk gelombang. Mungkin lebih dari satu titik sampel dibuat satu titik bentuk gelombang. Titik-titik bentuk gelombang secara bersama-sama membentuk rekaman bentuk gelombang. Jumlah titik bentuk gelombang yang digunakan untuk membentuk rekaman disebut *record length*. Sistem trigger menentukan kapan perekaman sinyal dimulai dan diakhiri. Peragaan menerima rekaman titik-titik bentuk gelombang setelah disimpan dalam memori. Kemampuan osiloskop tegantung pada pemroses pengambilan titik. Pada dasarnya osiloskop digital serupa dengan osiloskop analog, pada saat pengukuran memerlukan pengaturan vertikal, horisontal dan trigger.



Gambar 7-26. Blok diagram osiloskop digital

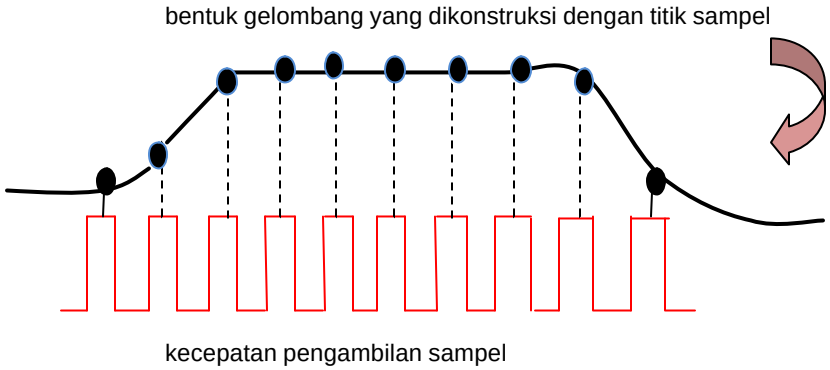
7.4.2. Metoda Pengambilan Sampel

Metoda pengambilan sampel menjelaskan bagaimana osiloskop digital mengumpulkan titik-titik sampel. Untuk perubahan sinyal lambat, osiloskop digital dengan mudah mengumpulkan lebih dari cukup titik sampling untuk mengkonstruksi gambar secara akurat. Oleh karena itu untuk sinyal yang lebih cepat (seberapa cepat tergantung pada kecepatan sampling osiloskop) osiloskop tidak dapat mengumpulkan cukup sampel . Osiloskop digital mampu melakukan dua hal yaitu :

- mengumpulkan beberapa titik sampel dari sinyal dalam jalan tunggal (*real-time* sampling mode) dan kemudian menggunakan interpolasi. Interpolasi merupakan teknik pemrosesan untuk mengestimasi apakah bentuk gelombang pada beberapa titik nampak sama seperti aslinya.
- membangun gambar bentuk gelombang sepanjang waktu pengulangan sinyal (*equivalent-time* sampling mode).

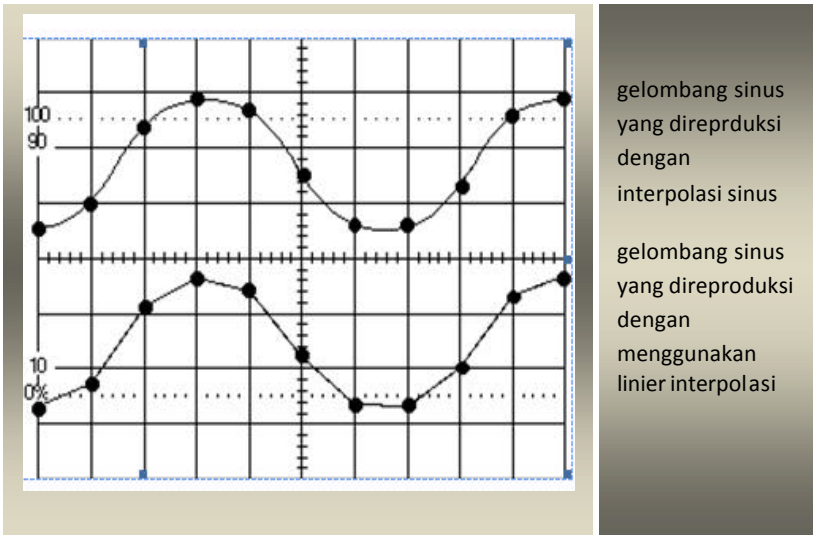
7.4.3. Pengambilan Sampel *Real-Time* dengan Interpolasi

Osiloskop digital menggunakan pengambilan sampel real-time seperti metoda sampling standar. Dalam pengambilan sampel real-time, osiloskop mengumpulkan sampel sebanyak yang dapat menggambarkan sinyal sebenarnya. Untuk pengukuran sinyal tansien harus menggunakan real time sampling.



Gambar 7-27. Pengambilan sampel *real-time*

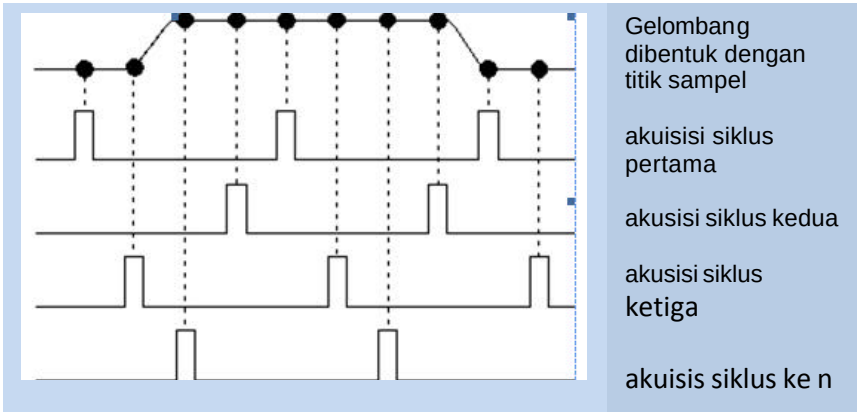
Osiloskop digital menggunakan interpolasi dalam memperagakan sinyal secepat yang osiloskop dapat hanya dengan mengumpulkan beberapa titik sampel. Inperpolasi adalah menghubungkan titik. Interpolasi linier sederhana menghubungkan titik sampel dengan garis lurus. Interpolasi sinus menghubungkan titik sampel dengan titik kurva (gambar 7-28) . Dengan interpolasi sinus , titik-titik dihitung untuk mengisi waktu antar sampel riil. Proses ini meskipun menggunakan sinyal yang disampel hanya beberapa kali dalam satu siklus dapat diperagakan secara akurat.



Gambar 7-28. Interpolasi sinus dan linier

7.4.4. Ekuivalensi Waktu Pengambilan Sampel

Beberapa osloskop digital dapat menggunakan ekuivalen waktu pengambilan sampel untuk menangkap pengulangan sinyal yang sangat cepat. Ekuivalensi waktu pengambilan sampel mengkonstruksi gambar pengulangan sinyal dengan menangkap sedikit bit informasi dari setiap sinyal (gambar 7-30) . Bentuk gelombang secara perlahan dibangun seperti untai cahaya yang berjalan satu persatu. Dengan mengurutkan sampel titik-titk muncul dari kiri ke kanan secara berurutan, sedangkan pada random sampling titik-titik muncul secara acak sepanjang bentuk gelombang



Gambar 7-29. Akusisi pembentukan gelombang

7.4.5. Osiloskop Penyimpan Digital

Osiloskop penyimpan digital atau disingkat DSO (Digital Storage Osciloscpe), sekarang ini merupakan jenis yang lebih disukai untuk aplikasi kebanyakan industri meskipun CRO analog sederhana masih banyak digunakan oleh para hobist. Osiloskop penyimpan digital menggantikan penyimpan analog yang tidak stabil dengan memori digital, yang dapat menyimpan data selama yang dikehendaki tanpa mengalami degradasi. Ini memungkinkan untuk pemrosesan sinyal yang kompleks dengan rangkaian pemroses digital kecepatan tinggi.

Gambar 7-30. Osiloskop penyimpan digital

Masukan vertikal, sebagai pengganti pengendali penguat vertikal adalah digitalisasi dengan rangkaian pengubah analog menjadi digital (*analog digital converter*) hasilnya sebagai data yang disimpan dalam memori mikroprosesor. Data selanjutnya diproses dan dikirim untuk diperagakan, awalnya osiloskop penyimpan digital menggunakan peraga tabung sinar katoda, namun sekarang lebih disukai dengan menggunakan LCD layar datar. Osiloskop penyimpan digital dengan peraga LCD warna sudah umum digunakan. Data dapat diatur dikirim melalui pemrosesan LAN atau WAN atau untuk pengarsipan. Layar gambar dapat langsung direkam pada kertas dengan alat berupa printer atau plotter , tanpa memerlukan kamera osiloskop. Osiloskop memiliki perangkat lunak penganalisa sinyal sangat bermanfaat untuk penerapan ranah waktu misal mengukur *rise time*, lebar pulsa, amplitudo, spektrum frekuensi, histogram, statistik, pemetaan persistensi dan sejumlah parameter yang berguna untuk seorang engineer dalam bidang spesialisasinya seperti telekomunikasi. analisa disk drive dan elektronika daya.

Osiloskop digital secara prinsip dibatasi oleh performansi rangkaian masukan analog dan frekuensi pengambilan sampel. Pada umumnya kecepatan frekuensi pengambilan sampel sekurang-kurangnya dua kali komponen frekuensi tertinggi dari sinyal yang diamati. Osiloskop dapat memvariasi timebase dengan waktu yang teliti. Misal untk membuat gambar sinyal yang diamati secara berulang. Memerlukan salah satu clock atau memberikan pola yang berulang.

Bila diperbandngkan antara osiloskop penyimpan analog dengan osiloskop penyimpan digital, osiloskop penyimpan digital memiliki beberapa kelebihan antara lain.

- Peraga lebih jelas dan besar dengan warna pembeda untuk multi penjejakan.
- Ekuivalen pengambilan sampel dan pengamatan menunjukkan resolusi lebih tinggi di bawah µV.
- Deteksi puncak.
- Pre-trigger
- Mudah dan mampu menyimpan beberapa penjejakan memungkinkan pada awal kerja tanpa trigger.
    - Ini membutuhkan reaksi peraga cepat (beberapa osiloskop memiliki penundaan 1 detik).
    - Knob harus besar dan perpindahan secara halus.
- Juga dapat digunakan untuk penjejakan lambat seperti variasi temperatur sepanjang hari, dapat direkam.
- Memori osiloskop dapat disusun tidak hanya sebagai satu dimensi namun juga sebagai susunan dua dimensi untuk mensimulasikan pospor pada layar. Dengan teknik digital memungkinkan analisis kuantitatip .

- Memungkinkan untuk pengamatan otomasi.

Kelemahan osiloskop penyimpan digital adalah kecepatan penyegaran layar terbatas. Pada osiloskop analog, pemakai dapat mengindra berdasarkan intuisi kecepatan trigger dengan melihat pada keadaan penjejakan CRT. Untuk osiloskop digital layar terkunci secara pasti sama untuk kecepatan sinyal kebanyakan yang mana kecepatan penyegaran layar dilampaui. Satu hal lagi, seringkali titik terlalu terang *glitches* atau penomena lain yang jarang didapat pada layar hitam putih dari osiloskop digital standar, persistansi dari pospor CRTpada osiloskop analog rendah membuat glitch dapat dilihat jika diberikan beberapa trigger berurutan. Keduanya sulit diselesaikan sekarang ini dengan pospor osiloskop digital, data disimpan pada kecepatan penyegaran tinggi dan dipergakan dengan intensitas yang bervariasi untuk mensimulasikan persistensi penjejakan dari CRT osiloskop.

7.5. Spesifikasi Osiloskop

Untuk melihat seberapa bagus kualitas osiloskop dapat dilihat dari nilai spesifikasi instrument yang bersangkutan. Dalam pembahasan ini diambil spesifikasi dari Osciloscope Hewlett Packard (HP) type 1740 A. Dipilih Osiloskop HP 1740 karena jenis dua kanal yang dapat mewakili osiloskop analog.

7.5.1. Spesifikasi Umum

Jenis osiloskop dua kanal sistem defleksi vertikal memiliki 12 faktor defleksi terkalibrasi dari 5 mV/div sampai 20V/div. Impedansi masukan dapat dipilih 50? atau 1 M? untuk memenuhi variasi pengukuran yang diperlukan. Sistem defleksi horisontal memiliki kecepatan sapuan terkalibrasi dari 2s/div sampai 0,05 µs/div, kecepatan penundaan sapuan dari 20 ms/div sampai 0,05µs/div. Pengali 10 untuk memperluas semua sapuan dengan faktor 10 dan sapuan tercepat 5 ns/div. Dalam mode alternate ataupun Chop control trigger-view dimungkinkan memperagakan tiga sinyal yaitu kanal A, kanal B dan sinyal trigger.

7.5.2. Mode Peraga Vertikal

Kanal A dan kanal B diperagakan bergantian dengan sapuan berurutan (ALT). Kanal A dan kanal B diperagakan dengan pensaklaran antar kanal pada kecepatan 250 kHz, selama pensaklaran (Chop) berkas dipadamkan, kanal A ditambahkan kanal B (penambahan aljabar) dan trigger view.

Lebar band : batas atas mendekati 20 MHz.
Kopel DC : dc sampai 100 MHz untuk kedua mode Ri 50? dan 1M?.
Kopel AC : mendekati 10Hz sampai 100 MHz dengan probe pembagi 10:1
Rise time : = 3ns diukur dari 10% sampai 90% .
Faktor defleksi :
Range : 5mV/div sampai 20V/div (12 posisi terkalibrasi).
Vernier : bervariasi

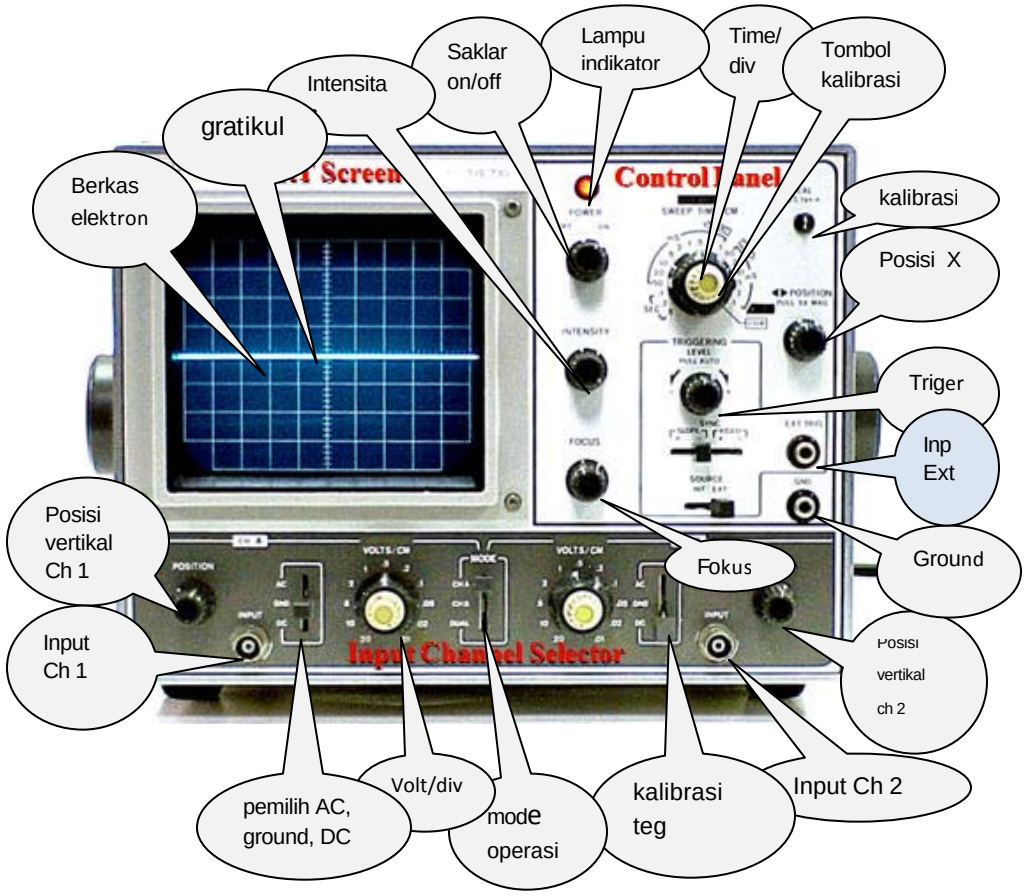
7.5.3. **Perhatian Keamanan**

Untuk pencagahan kerusakan diperhatikan selama pengoperasian, perawatan dan perbaikan peralatan. Untuk meminimumkan kejutan casis instrument atau cabinet harus dihubungkan ke ground secara listrik. Instrumen menggunakan kabel AC tiga konduktor hijau untuk dihubungkan dengan ground listrik.

7.6. Pengukuran Dengan Osiloskop

7.6.1. Pengenalan Panel Depan dan Fungsi

1. Pengenalan Fungsi Panel Depan dijelaskan searah jarum jam dimulai dari saklar daya.
2. Saklar on / off untuk mengaktifkan CRO putar tombol searah jam.
3. CRO aktif ditandai dengan lampu menyala.
4. Time/ div untuk mengatur lebar sinyal agar mudah dibaca.
5. Tombol time kalibrasi digunakan saat mengkalibrasi waktu, bila kalibrasi telah dilakukan posisi ini tidak boleh diubah-ubah.
6. Terminal kalibrasi tempat dihubungkan probe pada saat kalibrasi.
   Posisi X digunakan untuk menggeser tampilan sinyal dalam peraga kea rah horizontal.
7. Triger digunakan untuk mengatur besarnya picu sedangkan picu negatip atau positip diatur dengan tombol kecil dibawahnya kanan positip kiri negatip.
8. Input ext, adalah tempat memasukkan sinyal dari luar yang dapat difungsikan sebagai time base.
9. Ground tempat disambungkan dengan ground rangkaian yang diukur.
10. Fokus untuk mengatur focus tampilan sinyal pada layar.
11. Posisi Y digunakan untuk mengatur posisi tampilan sinyal yang diukur pada kanal 2 arah vertikal.
12. Input kanal 2 merupakan terminal masukan untuk pengukuran sinyal.



Gambar 7-31. Fungsi tombol panel depan CRO

13. Kalibrasi tegangangan perlu diatur pada saat kalibrasi agar tepat pada harga seharusnya. Bila tegangan ini telah tercapai tombol tidak boleh diubah-ubah, karena dapat mempengaruhi ketelitian pengukuran.
14. Mode operasi atau pemilih kanal, digunakan untuk memilih mode operasi hanya menampilkan kanal 1, kanal 2 atau keduanya.
15. Volt/div digunakan untuk mengatur besarnya tampilan amplitudo untuk mempermudah pembacaan dan ketelitian hasil pengukuran. Pengaturan yang baik adalah pengaturan yang menghasilkan tampilan amplitudo terbesar tanpa terpotong.
16. Pemilih AC, DC , ground diatur sesuai dengan besaran yang diukur, untuk pengukuran tegangan batere digunakan DC, pengukuran frekuensi pada posisi AC dan menepatkan posisi berkas pada posisi ground.
17. Terminal masukan kanal 1 sama fungsinya dengan terminal masukan kanal 2,

tempat dihubungkannya sinyal yang akan diukur.

18. Posisi Y kanal 1 untuk mengatur tampilan sinyal pada layar kea rah vertikal dari masukan kanal 1.
19. Berkas elektron menunjukkan bentuk sinyal yang diukur, bila garis terlalu tebal dapat di tipiskan dengan mengatur focus, dan bila terlalu terang dapat diatur intensitasnya.
20. Gratikul adalah skala pembacaan sinyal. Sinyal dibaca perkolom gratikual dikalikan posisi divisi. Misal mengukur tegangan amplitudo tingginya 3 skala gratikul akan terbaca 6 volt jika posisi Volt/div pada 2V.

7.6.2. PengukuranTegangan DC

7.6.2.1. Alat dan bahan yang diperlukan

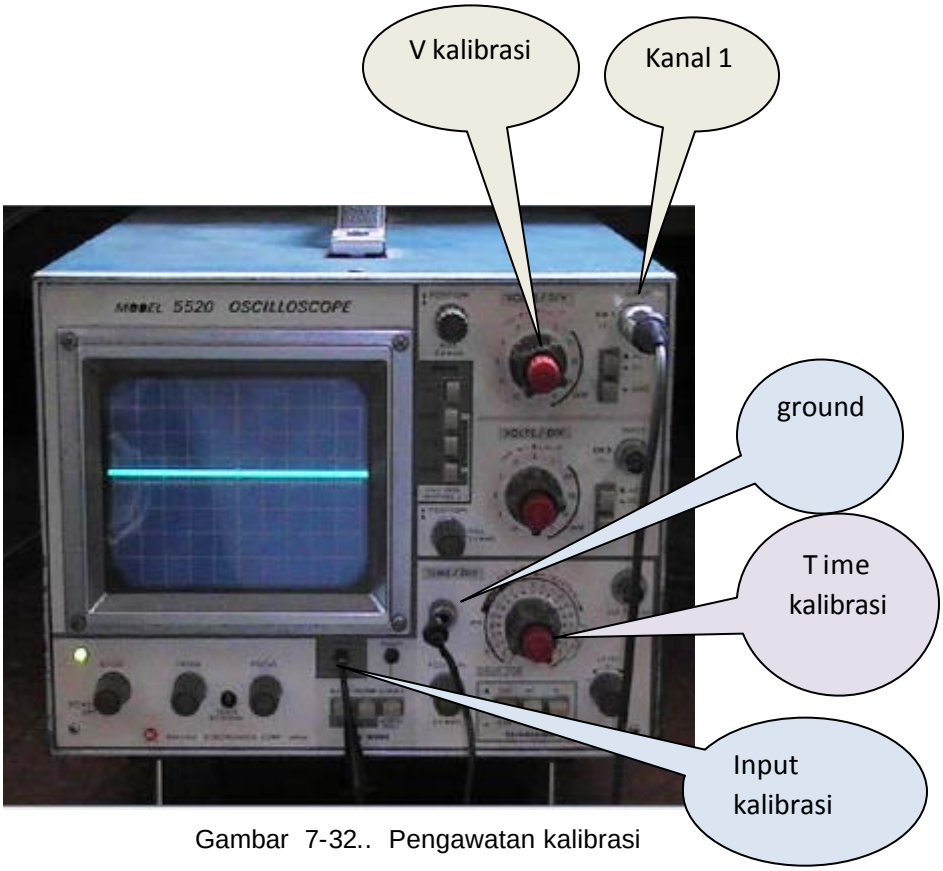
1. CRO 1 buah
2. Probe CRO 1 buah
3. Batere 6 Volt 1 buah
4. Kabel secukupnya

7.6.2.2. Kalibrasi CRO

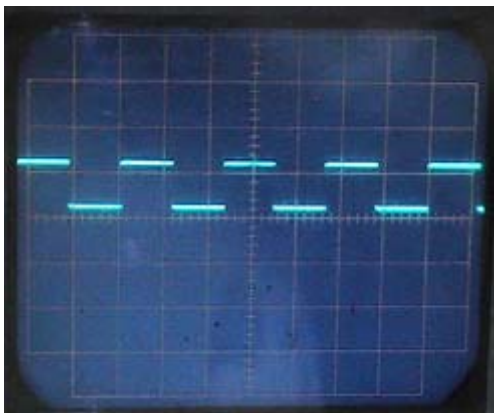
Sebelum pengukuran tegangan DC, dilakukan kalibrasi dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Sebelum pengukuran dilakukan, terlebih dahulu osiloskop dikalibrasi dengan cara berikut. Menghubungkan probe osiloskop pada terminal kalibrasi dan ground. Model osiloskop yang berbeda ditunjukkan pada gambar 7-32.

2. Kemudian time/div dan Volt/div di atur untuk memperoleh besar tegangan dan frekuensi kalibrasi. Osiloskop yang digunakan mempunyai nilai kalibrasi 1 Volt dengan frekuensi 1 kHz. Mengatur Volt/div pada 1 Volt/div, time div diatur pada 1 ms dihasilkan peragaan seperti gambar berikut. Bila penunjukkan tidak satu skala gratikul penuh atur tombol kalibrasi pada Volt/div hingga penunjukkan satu skala penuh. Demikian juga untuk waktu bila lebar tidak satu skala gratikul penuh atur tombol kalibrasi time/div agar tepat satu skala gratikul penuh. Setelah itu tombol kalibrasi jangan diubah-ubah.

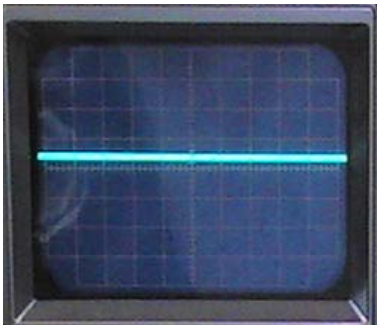


Gambar 7-32.. Pengawatan kalibrasi



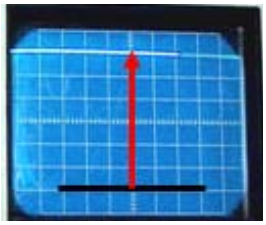
Gambar 7-33. Bentuk gelombang kalibrasi

3. Saklar pemilih posisi AC, DC ground diposisikan pada gound, berkas diamati dan ditepatkan berimpit dengan sumbu X.



Gambar 7-34. Berkas elektron senter tengah

4. Probe dihubungkan dengan kutub batere positip ground kutub betere negatip, saklar pemilih posisi dipindahkan ke DC sehingga berkas akan berpindah pada posisi keatas. Besarnya lompatan dihitung denan satuan kolom sehingga harga penunjukan adalah = jumlah kolom loncatan X posisi Volt/div. Bila Volt/div posisi 1 maka harga penunjukan adalah = 6 kolom div x 1Volt/div = 6 Volt DC.



Gambar 7-35. Loncatan pengukuran tegangan DC

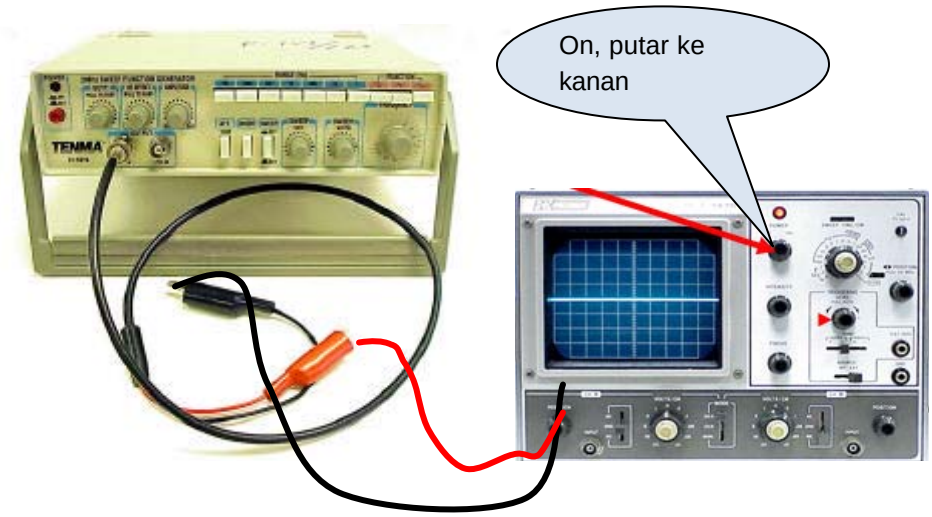
7.6.3. Pengukuran Tegangan AC

7.6.3.1. Peralatan yang diperlukan

1. CRO 1 buah
2. Probe 1 buah
3. Audio Frekuensi Genarator 1 buah
4. Kable penghubung secukupnya.

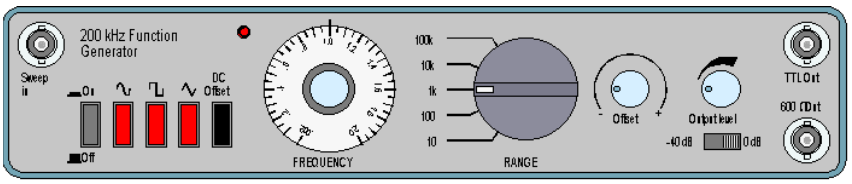
7.6.3.2. Prosedur Pengukuran

1. Pemilih diposisikan pada AC, bila hanya digunakan satu kanal tetapkan ada kanal 1 atau kanal 2.
2. Sumber tegangan AC dapat digunakan sinyal generator , dihubungkan dengan masukan CRO pengawatan ditunjukkan gambar 7-36.

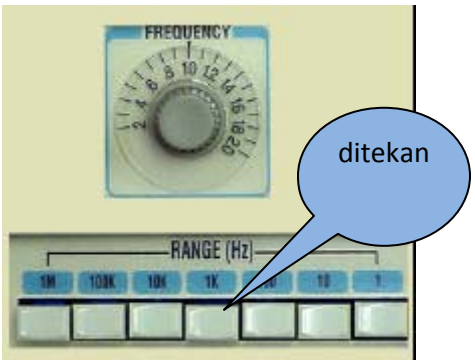


Gambar 7-36. Pengawatan pengukuran dengan function generator

3. Frekuensi sinyal generator di atur pada frekuensi 1 kHz dengan mengatur piringan pada angka sepuluh dan menekan tombol pengali 100 ditunjukkan pada gambar di bawah.



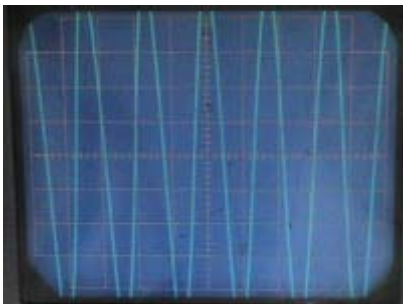
Gambar 7-37. Pengaturan function generator panel depan



Gambar 7-38. Pengaturan frekuensi sinyal

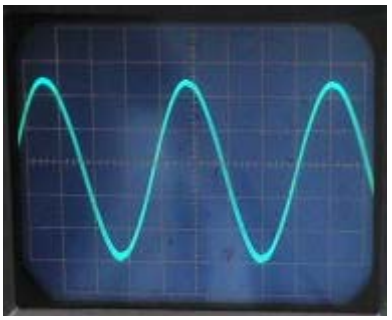
4. Tombol power (tombol merah) di tekan untuk mengaktifkan sinyal generator.

Diamati bentuk gelombang pada layar dan baca harga amplitudonya.



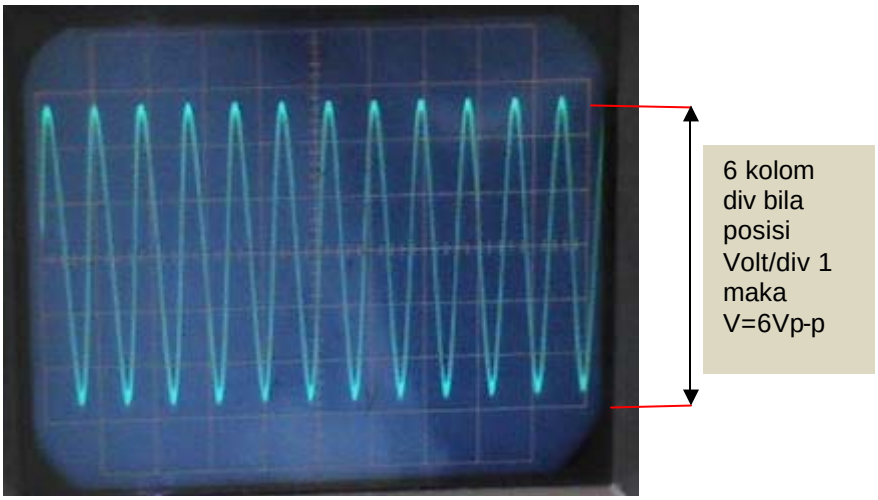
Gambar 7-39. Bentuk gelombang V/div kurang besar

Amplitudo terlalu besar tidak terbaca penuh, volt/div dinaikkan pada harga yang lebih besar atau putar tombol berlawanan arah jarum jam.



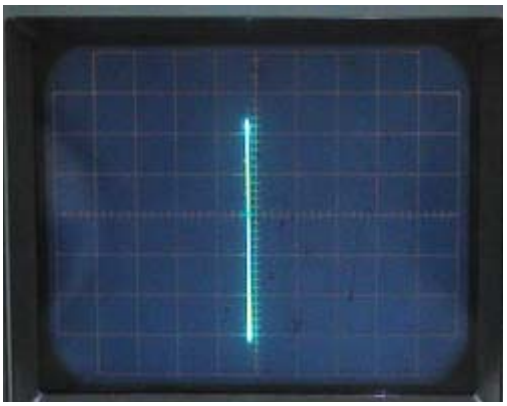
Gambar 7-40. Bentuk gelombang intensitas terlalu besar

Gambar terlalu terang, intensitas diatur sehingga diperoleh gambar yan mudah dibaca, dan intensitas baik seperti gambar berikut.



Gambar 7-41. Bentuk gelombang sinus

3. Cara lain dengan menempatkan time/div pada XY diperoleh peragaan sinyal garis lurus sehingga pembacaan kolom lebin teliti. Saklar time/div diatur putar ke kanan searah jarum jam. Untuk peragaan seperti ini intensitas jangan terlalu terang dan jangan berlama-lama.



Gambar 7-42. Bentuk gelombang mode XY

7.6.4. Pengukuran Frekuensi

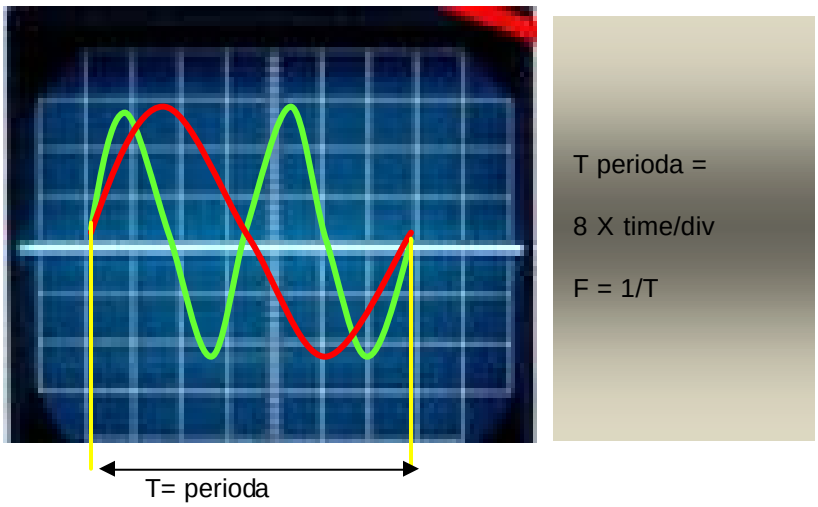
7.6.4.1. Peralatan yang dibutuhkan

1. CRO 1 buah
2. Audio Function Generator 2 buah
3. Probe 2 buah
4. Kabel penghubung secukupnya

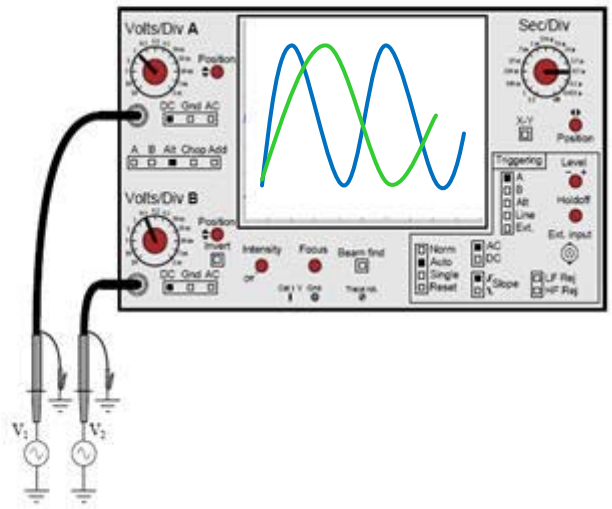
7.6.4.2. Pengukuran Frekuensi Langsung

Pengukuran frekuensi langsung dengan langkah-langkah seperti berikut :

1. Melakukan kalibrasi CRO dengan prosedur seperti dalam pengukuran tegangan DC diatas.
2. Probe dihubungkan dengan keluaran sinyal generator.
3. Frekuensi di atur pada harga yang diinginkan berdasarkan keperluan, sebagai acuan baca penunjukan pada skala sinyal generator.
4. Atur Volt divisi untuk mendapatkan simpangan amplitudo maksimum tidak cacat (terpotong).
5. Time/div diatur untuk mendapatkan lebar sinyal maksimum tidak cacat (terpotong).
6. Lebar sinyal diukur dari sinyal mulai naik sampai kembali naik untuk siklus berikutnya.



Gambar 7-43. Pengukuran frekuensi langsung

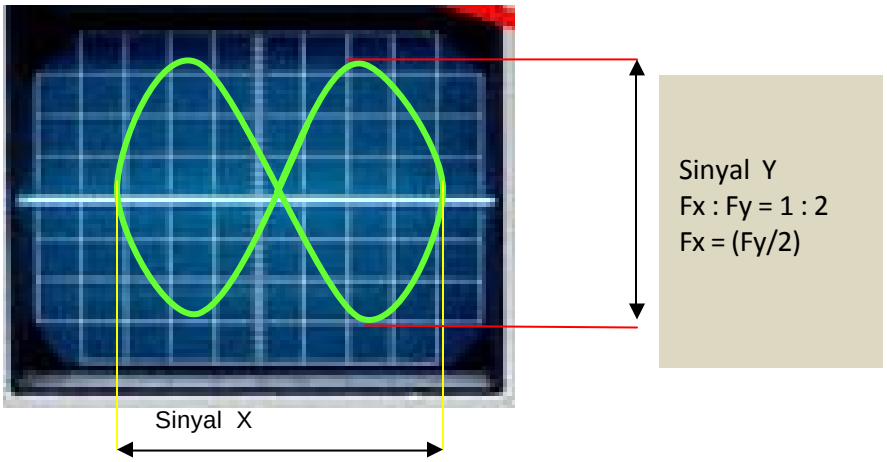


Gambar 7-44. Pengawatan pengukuran frekuensi langsung

7.6.4.3. **Pengukuran Frekuensi Model Lissayous**

Pada pengukuran jenis ini diperlukan osiloskop dua kanal dan sinyal yang telah diketahui frekuensinya, pengukuran dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini.

1. Sinyal yang telah diketahui dihubungkan pada kanal yang kita tandai sebagai acuan misalnya pada X.
2. Sinyal yang akan diukur dihubungkan pada kanal yang lain.
3. Amplitudo diatur untuk mendapatkan amplitudo yang sama besarnya bila penyamaan tidak dapat dicapai dengan pengaturan Volt/div, tombol kalibrasi diatur untuk mencapai kesamaan amplitudo. Kesamaan ini penting supaya diperoleh bentuk lissayous sempurna.
4. Misalnya sebelum di lissayouskan kedua sinyal mempunyai amplitudo sama frekuensi berbeda seperti gambar di atas. Time/div diatur dipindahkan pada posisi lissayous. Jika sinyal warna hijau adalah masukan X dan merah Y pada layar akan menunjukkan perbandingan seperti gambar berikut.



Gambar 7-45. Pengukuran frekuensi model Lissayous

7.6.5. Pengukuran Fasa

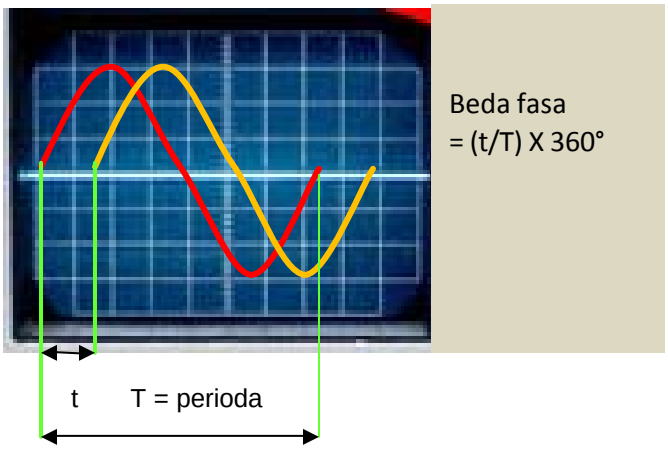
7.6.5.1. Alat dan bahan yang diperlukan

1. CRO 1 buah
2. Rangkaian penggeser phasa 1 buah
3. Probe 2 buah
4. Kabel penghubung secukupnya

7.6.5.2. Prosedur Pengukuran Beda Phasa

Pengukuran fasa dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara langsung dan model lissayous.

1. Pengukuran secara langsung, kedua sinyal dihubungkan pada masukan kanal 1 dan kanal 2.



Gambar 7-46. Pengukuran beda fasa langsung

2. Pengukuran beda fasa dengan mode lissayous kedua sinyal dihubungkan pada kedua terminal masukan CRO. Kemudian time divisi diatur pada posisi XY. Penampilan peraga berdasarkan perbandingan dan perbedaan fasa ditunjukkan pada table berikut.

Gambar 7-47. Perbandingan frekuensi 1: 3 beda fasa 90°

Perbandingan XY						
1:1	0°	45°	90°	135°	220°	360°
1:2	0°	22 30’	45°	90°	135°	180°
1:3	0°	15°	30°	60°	90°	120°
1:4	0°	11 15’	22 30’	45°	67 30’	90°

Gambar 7-48. Beda fasa dan beda frekuensi model lissayous

7.7.1. MSO Sumbu XYZ Aplikasi Pada Pengujian Otomotif

7.7.2. Mixed Signal Oscilloscope

Sebuah osiloskop sinyal dicampur (**mixed signal oscilloscope** / MSO) memiliki dua jenis masukan, jumlah kecil (pada umumnya dua atau empat) kanal analog. Pengukuran diperoleh dengan basis pewaktuan tungal, dapat dilhat pada peraga tunggal dan banyak kombinasi sinyal yang dapat digunakan untuk memicu osiloskop.

Gambar 7-49. Mixed storage oscilocope (MSO)

MSO mengkombinasi semua kemampuan pengukuran model Digital Storage osciloscope (DSO) dengan beberapa kemampuan pengukuran penganalisa logika (logic Analyzer). Pada umumnya MSO menindak lanjuti kekurangan kemampuan pengukuran digital dan mempunyai sejumlah besar kanal akuisisi digital dari penganalisa logika penuh namun penggunaannya tidak sekomplek penganalisa logika. Pengukuran sinyal campuran pada umumnya meliputi karakterisasi dan pencarian gangguan, sistem menggunakan rangkain campuran analog, digital dan sistem meliputi pengubah analog ke digital (ADC), pengubah digial ke analog (DAC) dan sistem pengendali. Arsitektur MSO merupakan perpaduan antara DSO (Digital Storage Osciloscope) atau lebih tepatnya DPO (Digital Phospor Osciloscope) dengan panganalisa logika (Logic Analyzer).

7.7.3. Osiloskop Digital Pospor (Digital Phospor Osciloscope / DPO)

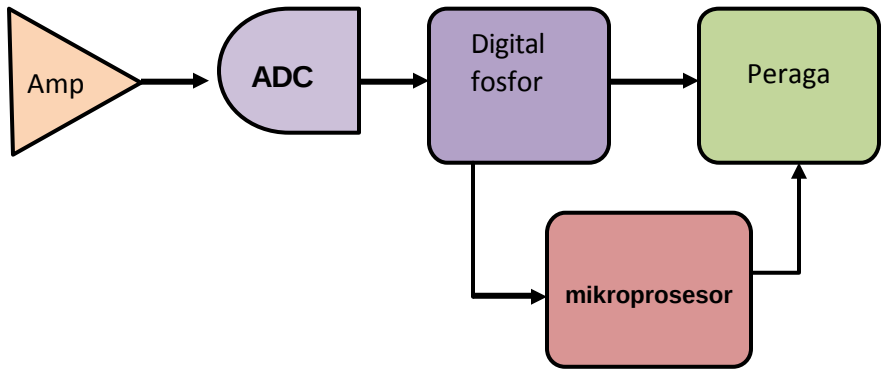
Osiloskop digital pospor (DPO) menawarkan pendekatan osiloskop arsitektur baru, Arsitektu ini memungkinkan DPO mengantarkan akuisisi unik dan kemampuan rekonstruksi sinyal secara akurat.

Sementara DPO menggunakan arsitektur pemrosesan serial untuk pengambilan, peragaan dan

analisa sinyal, DPO menggunakan arsitektur pemrosesan parallel mempunyai dedikasi unik perangkat keras ASIC untuk memperoleh gambar bentuk gelombang, mengantarkan kecepatan pengambilan bentuk gelombang tinggi yang menghasilkan visualisasi sinyal pada tingkat yang lebih tinggi. Performansi ini menambah kemungkinan dari kesaksian kejadian transien yang terdapat pada sistem digital, seperti pulsa kerdil, glitch dan kesalahan transisi. Deskripsi dari arsitektur pemrosesan parallel dijelaskan berikut ini.

7.7.4. Arsitektur Pemrosesan Paralel

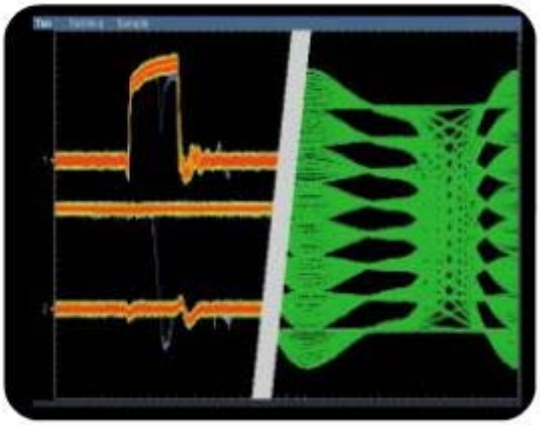
Tingkat input pertama DPO serupa dengan osiloskop analog sebuah penguat vertikal dan tingkat kedua serupa DSO sebuah ADC. Namun DPO secara signifikan berbeda dari konversi analog ke digital yang dahulu. Kebanyakan osiloskop analog DSO atau DPO selalu ada terdapat sebuah *holdoff* selama waktu proses pengambilan data, pemasangan sistem lagi dan menunggu untuk kejadian pemicuan berikutnya. Selama waktu ini, osiloskop tidak melihat semua aktivitas sinyal. Kemungkinan melihat perubahan atau pengulangan kejadian lambat mengurangi penambahan waktu *holdoff*.



Gambar 7-50. Arsitektur pemrosesan paralel dari osiloskop digital pospor

Dapat dinotasikan bahwa kemungkinan untuk menentukan besarnya kemungkinan dari pengambilan dengan melhat pada kecepatan update peraga. Jika semata-mata mempercayakan pada kecepatan update, ini mudah untuk membuat kesalahan dari kepercayaan pengambilan osiloskop pada semua informasi tentang bentuk gelombang pada saat nyata atau tidak. Osiloskop penyimpan digital memproses bentuk gelombang yang diambil secara serial. Kecepatan mikroprosesor merupakan penentu dalam proses ini karena ini membatasi kecepatan

pengambilan bentuk gelombang. Rasterisasi DPO bentuk gelombang didigitkan diteruskan ke data base pospor digital. Setiap 1/30 detik atau sekitar kecepatan mata menerima sebuah snapshot dari gambar sinyal yang disimpan dalam data base, kemudian disalurkan secara langsung ke sistem peraga. Rasterisasi data bentuk gelombang dan secara langsung disalin ke memori peraga, dari data base dipindahkan ke pemrosesan data tidak dapat dipisahkan dalam arsitektur yang lain. Detail sinyal, terjadi timbul tenggelam dan karakteristik dinamis dari sinyal yang diambil dalam waktu riil. DPOs mikroprosesor bekerja secara parallel dengan sistem akuisisi terpadu untuk memperagakan managemen, pengukuran otomasi dan pengendali instrument sehingga tidak mempengaruhi kecepatan akuisisi osiloskop.



Gambar 7-51. Peragaan sinyal DPO

Bila data base pospor digital diumpankan ke peraga osiloskop, mengungkapkan bentuk gelombang pada peraga diintensifkan, sebanding dengan proporsi frekeunsi sinyal pada setipa titik kejadian, sangat menyerupai penilaian karakteristik intensitas dari osiloskop analog. DPO juga memungkinkan memperagakan informasi variasi frekeunsi kejadian pada peraga seperti kekontrasan warna, tidak seperti pada psiloskop analog. Dengan DPO mudah untuk melihat perbedaan antara bentuk gelombang yang terjadi pada hampir setiap picu.

Osiloskop digital pospor (DPO) merupakan teknik antara teknologi osiloskop analog dan digital. Terdapat persamaan pengamatan pada frekuensi tinggi dan rendah, pengulangan bentuk gelombang, transien dan variasi sinyal dalam waktu riil. DPO hanya memberikan sumbu intensitas (Z) dalam waktu rill yang tidak ada pada DSO konvensional.

DPO ideal yang memerlukan perancangan terbaik dan piranti pelacak gannguan untuk cakupan aplikasi yang luas (contoh gambar pengulangan digital dan aplikasi pewaktuan.

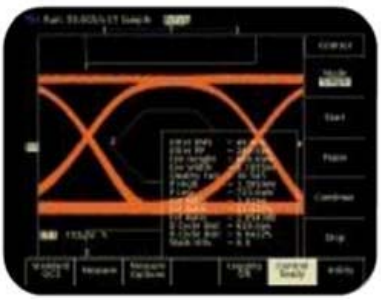
Kemampuan pengukuran osiloskop ditingkatkan sehingga memungkinkan bagi anda untuk :

- Membuat, mengedit dan berbagi dokumen dilakukan osiloskop, sementara osiloskop tetap bekerja dengan intrumen dalam lingkungan tertentu.

19). DPO yang pantas dicontoh untuk pengujian topeng komunikasi, digital debyg dari sinyal intermittent, perancangan

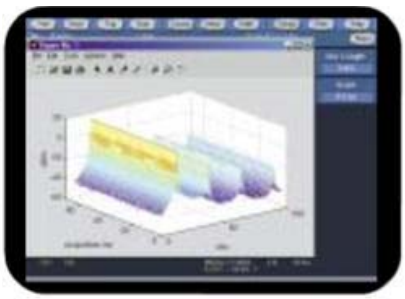
- Akses jaringan mencetak dan berbagi file sumber daya
- Mengakses window komputer
- Melakukan analisis dan dekomentasi perangkat lunak
- Menghubungkan ke jaringan
- Mengakses internet
- Mengirim dan menerima e-mail

Gambar 7-52. Paket pilihan software



Gambar 7-53 aplikasi modul

Gambar 7-54. Modul video



Gambar 7-55 Pengembangan analisis

Peningkatan Kemampuan Sebuah osiloskp dapat ditingkatkan sehingga mampu mengakomodasi kebutuhan perubahan. Beberapa osiloskop memungkinkan pemakai untuk :

1. Menambah memori kanal untuk menganalisa panjang rekaman yang leih panjang
2. Menambah kemampuan pengukuran untuk aplikasi khusus
3. Menambah daya osiloskop untuk memenuhi cakupan probe dan modul
4. Bekerja dengan penganalisa pihak ketiga dan produktivitas perangkat lunak kompatibel window.
5. Menabah asesoris seperti tempat baterai dan rak.
6. Aplikasi modul dan perangkat lunak memungkinkan untuk menstransformasi osiloskop ke dalam perangkat analisa tertentu dengan kemampuan tinggi untuk melakukan fungsi seperti analisa jitter dan pewaktuan, sistem verifikasi memori mikroprosesor, pengujian komunikasi standar, pengukuran pengendali piringan, pengukran video, pengukuran daya dan sebagainya .

Gambar 7-56. Tombol pengendali posisi tradisional

Gambar 7-57 peraga sensitip tekanan

Gambar 7-58 Menggunakan penge ndali grafik

Gambar 7-59. Osiloskop portable

7.7.5. Mudah Penggunaan

Osiloskop mudah dipelajari dan mudah untuk membantu bekerja pada frekuensi dan produktivitas puncak. Sama halnya tidak ada satupun pengendali mobil khas, tidak ada satupun pemakai

osilsokop yang khas. Kedua pemakai instrument tradisional dan yang mengalami perkembangan dalam area window / internet. Kunci untuk mencapai pemakai kelompok besar demikian adalah fleksibilitas gaya pengoperasian. Kebanyakan osiloskop menawarkan keseimbangan pencapaian dan kesederhanaan dengan member pemakai banayk cara untuk mengoperasikan instrument. Tampilan panel depan disajikan untuk pelayanan pengendalian vertikal, horisontal dan picu. Penggunaan banyak antara muka icon grafik membantu memahami dan dengan tak sengaja menggunakan kemampuan yang lebih tinggi. Peraga sensitip sentuhan menyelesaikan isu kekacauan dalam kendaraan dan sementara memberi akses yang jelas bersih pada tombol layar. Memberi garis bantu yang dapat digunakan sebagai acuan. Kendali intuitif memungkinkan para pemakai osiloskop merasa nyaman mengendalikan osiloskop seperti mengendalikan mobil, sementara memberi waktu penuh pada pengguna untuk mengakses osiloskop. Kebanyakan osilskop portable membuat osiloskop efisien dalam banyak perbedaan lingkungan kerja di dalam laboratorium ataupun di lapangan

7.7.6. Probe

7.7.6.1. Probe pasip

Untuk pengukuran sinyal dan besar tegangan, probe pasip memberikan kemudahan dalam pemakaian dan kemampuan cakupan pengukuran. Fasangan probe tegangan pasip dengan arus probe akan memberi solusi ideal pengukuran daya.

Probe attenuator pengurangan 10X (baca sepulu kali) membebani rangkaian dalam perbandingan sampai 1X probe dan merupakan suatu tujuan umum probe pasip. Pembebanan rangkaian menjadi lebih ditujukan pada frekuensi yang lebih tinggi dan atau sumber sinyal impedansi yang lebih tinggi, sehingga meyakinkan untuk menganalisa interaksi pembebanan sinyal / probe sebelum pemilihan probe. Probe attenuator 10K meningkatkan keteliatian pengukuran, namun juga mengurangi amplitudo sinyal pada masukan osiloskop dengan factor 10.

Probe pasip memberikan solusi sempurna terhadap tujuan pengamatan pada umumnya. Namun, probe pasip tidak dapat mengukur secara akurat sinyal yang memiliki waktu naik ekstrim cepat dan mungkin terlalu sering membebani sensitivitas rangkaian. Bila kecepatan sinyal clock bertambah dan tuntutan kecepatan lebih tinggi dari pada kecepatan probe sedikit akan berpengaruh terhadap hasil pengukuran. Probe aktif dan diferensial memberikan penyelesaian ideal untuk pengukuran sinyal kecepatan tinggi atau diferensial.

Gambar 7-60. Probe pasip tipikal beserta asesorisnya

Karena ini mengecilkan sinyal, probe attenuator 10X membuatnya sulit melihat sinyal kurang dari 10mV puncak ke puncak. Penggunaan probe atenuator 10X sebagaiana tujuan penggunaan probe pda umumnya, namun dengan probe 1X dapat diakses dengan kecepatan rendah, sinyal amplitudo rendah. Beberapa probe memiliki saklar atenuasi antara 1X dan 10X jika probe mempunyai pilihan seperti ini yakinkan pengaturan penggunaan pengukuran benar.

7.7.6.2. Probe aktif dan Probe Differensial

Penambahan kecepatan sinyal dan tegangan lebih rendah membuat hasil pengukuran yang akurat sulit dicapai. Ketepatan sinyal dan pembebanan piranti merupakan isu kritis. Solusi pengukuran lengkap pada kecepatan tinggi, solusi pengamatan ketepatan tinggi untuk menyesuaikan performansi osiloskop (gambar 7-62).

Gambar 7-61. probe performansi tinggi

Probe aktif dan diferensial menggunakan rangkaian terpadu khusus untuk mengadakan sinyal selama akses dan transmisi ke osiloskop, memastikan integritas sinyal. Untuk pengukuran sinyal dengan waktu naik tinggi, probe aktif kecepatan tinggi atau probe diferensial yang akan memberikan hasil yang lebih akurat.

Gambar 7-62. Probe sinyal terintegrarasi

Gambar 7-63. Probe reliable khusus pin IC

7.8. Pengoperasian Osiloskop

7.8.1. Pengesetan

Pada bagian ini menguraikan bagaiaman melakukan pengesetan dan mulai menggunakan osiloskop khusus, bagaimana melakukan ground osiloskop mengatur pengendalian dalam posisi standard an menggnati probe.

Penabumian merupakan langkah penting bila pengaturan untuk membuat pengukuran atau rangkaian bekerja. Sifat penbumian dari osiloskop melindungi pemakai dari tegangan kejut dan penabumian sendiri melindungi rangkaian dari kerusakan.

7.8.2. Menggroundkan osiloskop

Menggroundkan osiloskop artinya menghubungkan secara listrik terhadap titik acuan netral, seperti ground bumi. Ground osiloskop dilakukan dengan mengisi tiga kabel power ke dalam saluran ground ke ground bumi.

Menghubung osiloskop dengan ground diperlukan untuk keamanan jika menyentuh tegangan tinggi kasus osiloskop tidak diground banyak kasus meliputi tombol yang muncul diisolasi ini dapat memberi resiko kejut. Bagaimanapun dengan menghubungkan osiloskop ke ground secara tepat, arus berjalan melalui alur ground ke ground bumi lebih baik dari pada tubuh ke groun bumi.

Ground juga diperlukan untuk pengukuran yang teliti dengan osiloskop. Osiloskop membutuhkan berbagi ground yang sama dengan banyak rangkaian yang diuji.

Banyak osiloskop tidak membutuhkan pemisah hubungan ke bumi ground. Osiloskop mempunyai dengan menjaga kemungkinan resiko kejut dari pengguna.

7.8.3. Ground Diri Pengguna

Jka bekerja dengan rangkaian terpadu (IC), juga diperlukan untuk mengubungkan tubuh dengan ground. Rangkaian terpadu mempunyai alur konduksi tipis yang dapat dirusak oleh listrik statis yang dibangun pada tubuh. Pemakai dapat menyelamatkan IC mahal secara sederhana dengan alas karpet dan kemudian menyentuh kaki IC. Masalah ini diselesaikan pakaian dengan tali pengikat ground ditunjukkan dalam gambar 6.4. Tali pengikat secara aman mengirim perubahan statis pada tubuh ke ground bumi.

7.8.4. Pengaturan Pengendali

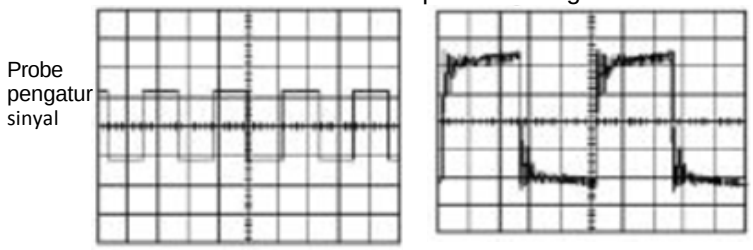
Bagian depan osiloskop biasanya terbagi dalam 3 bagian utama yang ditandai vertikal, horisontal dan picu. Osiloskop mungkin mempunyai bagian-bagian lain tergantung pada mmodel dan jenis analog atau digital. Kebanyakan osiloskop memiliki sekurang-kurangnya dua kanal masukan dan setiap kanal dapat memperagakan bentuk gelombang pada layar. Osiloskop multi kanal sangat berguna untuk membandingkan bentuk gelombang. Beberapa osiloskop mempunyai tombol AUTOSET dan atau DEFAULT yang dapat mengatur untuk mengendalikan langkah menampung sinyal. Jika osilskop tidak memiliki kemampuan ini, perlu dibantu mengatur pengendalian posisi standar sebelum pengukuran dilakukan. Pada umumnya instruksi pengaturan osiloskop posisi standar adalah sebagai berikut :

- Atur osiloskop untuk mempergakan kanal 1
- Atur skala vertikal volt/div dan posisi ditengah cakupan posisi
- Offkan variable volt/div
- Offkan pengaturan besaran
- Atur penghubung masukan kanal 1 pada DC
- Atur mode picu pada auto
- Atur sumber picu ke kanal 1
- Atur picu holdoff ke minimum atau off
- Atur pengendali intensitas ke level minimal jika disediakan
- Atur pengendali focus untuk mencapai ketajaman peraga
- Atur posisi horisontal time/div, posisi berada ditengah-tengah cakupan posisi.

7.8.5. Penggunaan Probe

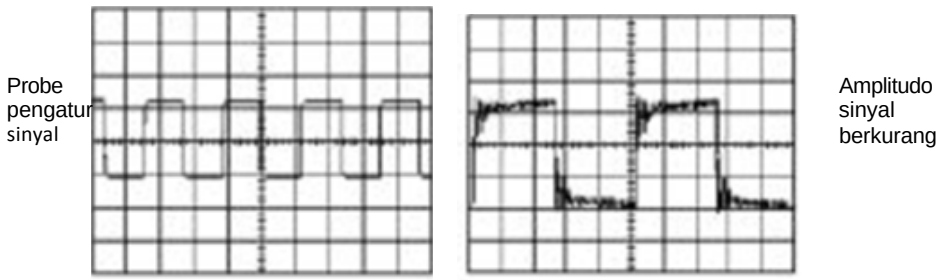
Sebuah probe berfungsi sebagai komponen kritis dalam sistem pengukuran, memastikan integritas sinyal dan memungkinkan pengguna untuk mengakses semua daya dan performansi dalam osiloskop. Jika probe sangat sesuai dengan osiloskop, dapat dipastikan mengakses semua daya dan performansi osiloskop dan akan memastikan integritas sinyal terukur.

Probe dikompensasi dengan benar



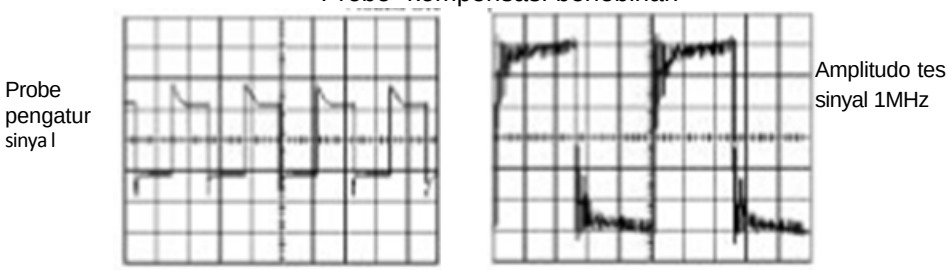
Gambar 7-64. Hasil dengan probe dikompensasi

Probe tidak dikompensasi



Gambar 7- 65 Hasil dengan probe dikompensasi

Probe kompensasi berlebihan

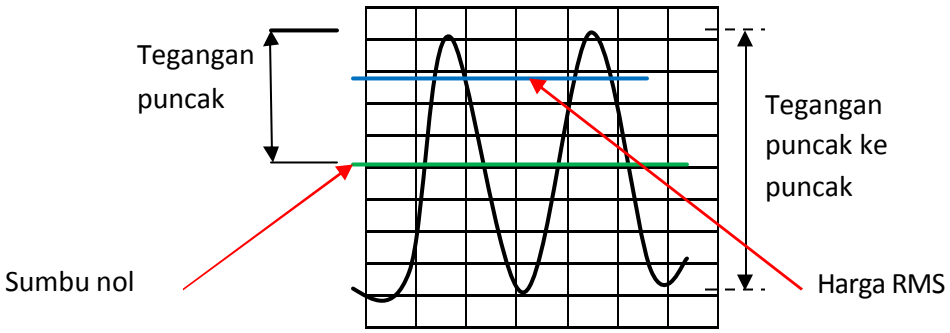


Gambar 7-66. Probe kompenasi berlebihan

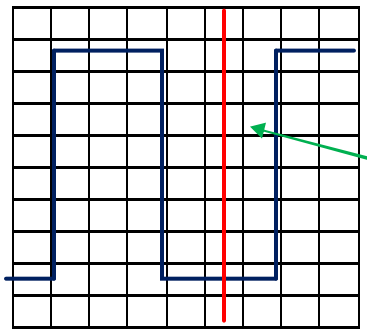
Kebanyakan osiloskop mempunyai acuan sinyal gelombang kotak disediakan pada terminal depan digunakan untuk menggantikan kerugian probe. Instruksi untuk mengganti kerugian probe pada umumnya sebagai berikut :

- Tempatkan probe pada kanal vertikal
- Hubungkan probe ke probe kompensasi misal acuan sinyal gelombang kotak
- Ground probe dihubungkan dengan ground osiloskop
- Perhatikan sinyal acuan gelombang kotak
- Buat pengaturan probe yang tepat sehingga ujung

gelombang kotak berbentuk siku.

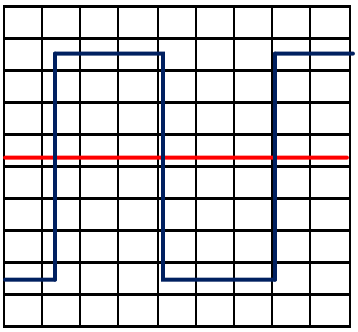


Gambar 7-67. Tegangan puncak ke puncak



gratikul

Pengukuran senter gratikul horisontal dan vertikal



Gambar 7-68. Pengukuran amplitudo senter gratikul waktu

Gambar 7-69. Pengukuran tegangan

Pada saat mengkompensasi, selalu sertakan beberapa asesoris yang perlu dan hubungkan probe ke kanal vertikal yang akan digunakan. Ini akan memastikan bahwa osiloskop memiliki kekayaan listrik sebagaimana yang terukur.

Teknik Pengukuran Dengan Osiloskop.

Ada dasar pengukuran dengan osiloskop adalah tegangan dan waktu. Oleh karena itu untuk pengukuran yang lain pada dasarnya adalah satu dari dua teknik dasar tersebut. Dalam pengukuran ini merupakan penggabuangan teknik instrument analog dan juga dapat digunakan untuk menginterpretasikan peragaan DSO dan DPO.

Kebanyakan osiloskop digital meliputi perangkat pengukuran yang diotomatiskan. Pemahaman bagaimana membuat pengukuran secara

manual akan membantu dalam memahami dan melakukan pengecekan pengukuran otomatis dari DSO dan DPO.

7.8.6. Pengukuran Tegangan

Tegangan merupakan bagian dari potensi elektrik yang diekspresikan dalam volt antara dua titik dalam rangkaian. Biasa salah satu titiknya dalah ground (nol volt) namun tidak selalu. Tegangan dapat diukur dari puncak ke puncak yaitu titik maksimum dari sinyal ke titik minimum. Harus hati-hati dalam mengartikan tegangan tertentu.

Terutama osiloskop piranti pengukur tegangan. Pada saat mengukur tegangan kuantias yang lain dapat dihitung. Misal hukum ohm menyaakan bahwa tegangan antara dua tiik dalam rangkaian sama dengan arus kali resistansi. Dari dua kuantitas ini dapat dihitung :

Tegangan = arus X resistansi
Arus = (Tegangan / resistansi)
Resistansi = (tegangan / arus).

Rumusan lain hokum daya, daya sinyal DC sama dengan teganga kali atus. Perhitungan lebih komplek untuk sinyal AC, namun pengukuran tegangan merupakan langkah pertama untuk penghitungan besaran yang lain. Gambar 7-67 menunjukkan satu dari tegangan puncak (Vp) dan tegangan puncak ke puncak (Vp-p). Metode yang paling dasar dari pengukuran tegangan adalah menghitung jumlah dari luasan divisi bentuk gelombang pada skala vertikal osiloskop . Pengaturan sinyal meliputi pembuatanan layar secara vertikal untuk pengukuran tegangan terbaik (gambar 7-67). Semakin banyak area layar yang digunakan pembacaan layar semakin akurat . Beberapa osiloskop mempunyai satu garis kursor yang membuat pengukuran bentuk gelombang secara otomatis pada layar, Tanpa harus menghitung tanda gratikul. Kursor merupakan garis sederhana yang dapat berpindah melintasi layar. Dua garis kursor horisontal dapat bergerak naik dan turun untuk melukiskan amplitudo bentuk gelombang dari teganga yang diukur, dan dua garis vertikal bergerak ke kanan dank e kiri untuk pengukuran waktu. Pembacaan menunjukkan posisi tegangan atau waktu.

7.8.7. Pengukuran Waktu dan Frekuensi

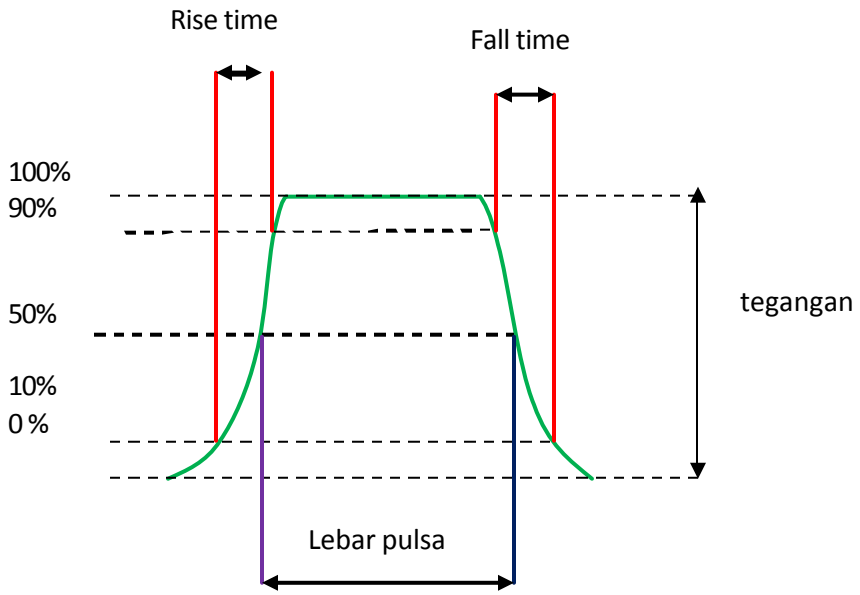
Pengukuran waktu dengan menggunakan skala horisontal dari osiloskop. Pengukuran waktu meliputi pengukuran perioda dan lebar pulsa. Frekuensi kebalikan dari perioda sehingga perioda dikeahui, frekuensi merupakan satu dibagi dengan perioda.

Sebagaimana pengukuran tegangan, pengukuran waktu lebih akurat bila diatur porsi sinyal yang diukur meliputi sebagian besar area dari layar seperti ditunjukkan gambar 7-67.

7.8.8. Pengukuran Lebar dan Waktu Naik Pulsa

Dalam banyak aplikasi, detail bentuk pulsa penting. Pulsa dapat menjadi distorsi dan menyebabkan rangkaian digital gagal fungsi dan pewaktuan pulsa dalam rentetan pulsa seringkali signifikan.

Pengukuran pulsa standar berupa lebar pulsa dan waktu naik pulsa. Waktu naik berupa sebagian pulsa pada saat beranjak dari tegangan rendah ke tinggi. Waktu naik diukur dari 10% sampai 90% dari tegangan pulsa penuh.
Ini mengurangi sudut transisi ketidakteraturan pulsa. Lebar pulsa merupakan bagian dari waktu pulsa beranjak dari rendah ke tinggi dan kembali ke rendah lagi. Lebar pulsa diukur pada 50% dari tegangan penuh (gambar 7-70).



Gambar 7-70. Pengukuran rise time dan lebar pulsa

7.8.9. Pengukuran Pergeseran Fasa

Metode untuk pengukuran pergeseran fasa, perbedaan waktu antara dua sinyal periodik yang identik, menggunakan mode XY. Teknik pengukuran ini meliputi pemberian sinyal masukan pada sistem vertikal sebagaimana biasanya dan kemudian sinyal sinyal lain diberikan pada sistem horisontal yang dinamakan pengukuran XY karena kedua sumbu X dan Y melakukan penjejakan tegangan. Bentuk gelombang yang dihasilkan dari susunan ini dinamakan pola Lissayous (nama ahli Fisika Perancis Jules Antoine Lissayous). Dari bentuk pola Lissayous dapat dibaca perbedaan fasa antara dua sinyal dapat juga perbandingan frekuensi (gambar 7-48) menunjukkan pola untuk perbandingan frekuensi dan pergeseran fasa yang bervariasi.

BAB 8 FREKUENSI METER

Tujuan

Setelah mengikuti pembahasan tentang frekuensi meter, para pembaca diharapkan dapat :

1. Mendiskripsikan jenis-jenis frekuensi meter
2. Mampu menjelaskan prinsip kerja frekuensi meter
3. Mampu memahami cara penggunaan frekuensi meter.

Pokok Bahasan

Dalam frekuensi meter pembahasan meliputi :

1. Frekuensimeter analog jenis-jenis dan prinsip kerjanya
2. Frekuensimeter digital cara kerja, metoda pengukuran, jenis – jenis kesalahan dan cara penggunaannya.

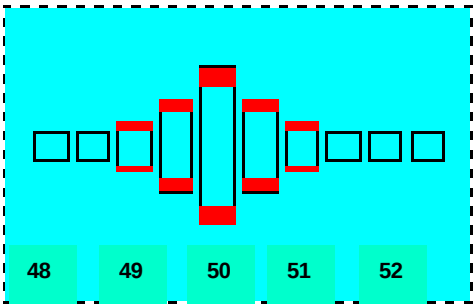
8.1. Frekuensi Meter Analog

Frekuensi meter adalah meter yang digunakan untuk mengukur banyaknya pengulangan gerakan periodik perdetik. Gerakan periodik seperti detak jantung, ayunan bandul jam.

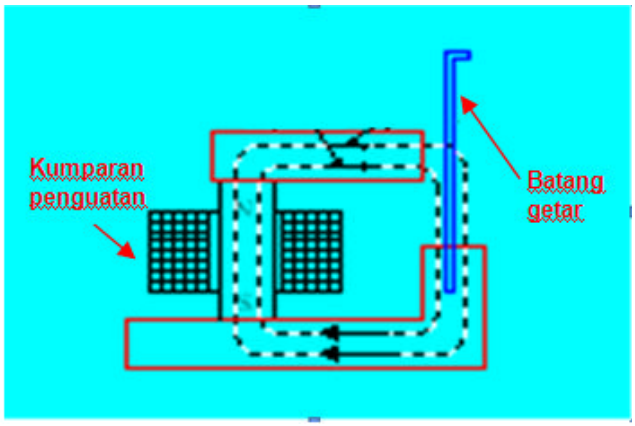
Ada dua jenis frekuensi meter analog dan digital. Frekuensi meter analog merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur besaran frekuensi dan yang berkaitan dengan frekuensi. Terdapat beberapa jenis frekuensimeter analog diantaranya jenis batang atau lidah getar, alat ukur ratio dan besi putar. Dalam mengukur frekuensi atau waktu perioda secara elektronik dapat dilakukan dengan beberapa cara.

8.1.1. Alat ukur frekuensi jenis batang atau lidah bergetar

Alat ukur frekuensi lidah getar prinsip kerjanya berdasarkan resonansi mekanis. Jika sederetan kepingan baja yang tipis membentuk lidah-lidah getar, masing-masing mempunyai frekuensi getar yang berbeda. Lidah-lidah getar dipasang bersama-sama pada sebuah alas fleksibel yang terpasang pada sebuah jangkar elektromagnit. Kumparan elektromagnet diberi energi listrik dari jala-jala arus bolak-balik yang frekuensinya akan ditentukan, maka salah satu dari lidah-lidah getar akan beresonansi dan memberikan defleksi yang besar bila frekuensi getarnya sama dengan frekuensi medan magnet bolak-balik tersebut.



Gambar 8 -1 Kerja frekuensi meter jenis batang getar



Gambar 8 -2 Prinsip frekuensi meter jenis batang getar

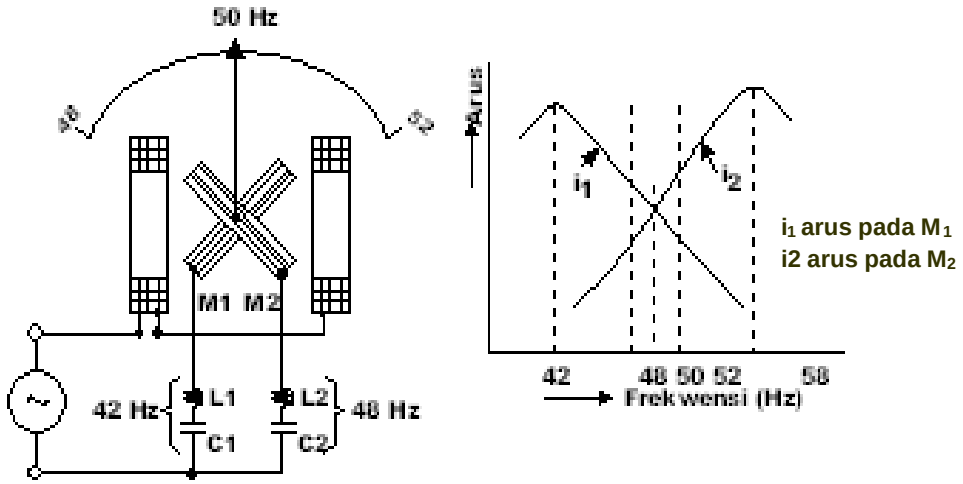
Batang yang frekuensi dasarnya sama dengan frekuensi elektromagnet diberi energi, akan membentuk suatu getaran. Getaran batang ini dapat dilihat pada panel alat ukur berupa getaran batang ditunjukkan melalui jendela. Apabila frekuensi yang diukur berada diantara frekuensi dua batang yang berdekatan, maka kedua batang akan bergetar dan frekuensi jala-jala paling dekat pada batang yang bergetar paling tinggi. Frekuensi langsung terbaca dengan melihat skala pada bagian yang paling banyak bergetar (misal 50 Hz).

Pada lidah getar gaya bekerja berbanding lurus dengan kuadrat fluksi magnet tetap ¢ yang disebabkan oleh magnet permanen dan fluksi arus bolak-balik $¢_m \sin \omega t$ (pada gambar 8-2). Alat ukur ini mempunyai keuntungan karena konstruksi sederhana dan sangat kokoh, tidak dipengaruhi oleh tegangan atau bentuk gelombang, penunjukannya secara bertangga dalam 0,5 atau 1 Hz. Untuk mempertahankan kalibrasi, syaratnya getaran batang-batang dipertahankan dalam batas-batas yang wajar. Kerugian alat ini penunjukan tidak cepat mengikuti perubahan-perubahan frekuensi. Sehingga alat ukur jenis ini hanya dipergunakan untuk frekuensi-frekuensi komersiil.

Gambar 8 – 3 . Bentuk frekuensi meter batang getar

8.1.2. Alat pengukur frekuensi dari type alat ukur rasio

Dalam alat ukur frekuensi ini, kumparan-kumparan medan sebagian membentuk dua rangkaian resonansi terpisah. Kumparam medan 1 seri dengan induktor L_1 dan kapasitor C_1, dan membentuk sebuah rangkaian resonan yang diset ke suatu frekuensi sedikit di bawah skala terendah dari instrumen. Kumparan medan 2 adalah seri dengan induktor L_2 dan kapasitor C_2, dan membentuk sebuah rangkaian resonan yang diatur pada frekuensi sedikit lebih tinggi dari skala tertinggi instrumen.

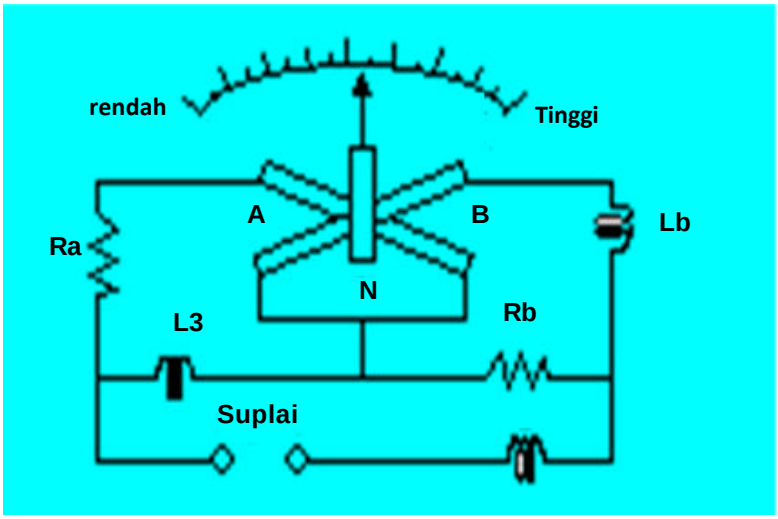


Gambar 8 - 4 Prinsip frekuensi meter jenis meter pembagi

Konstanta-konstanta rangkaian dipilih sedemikian rupa sehingga menyebabkan arus-arus tersebut mempunyai resonansi masing-masing 42 Hz dan 58 Hz seperti pada gambar 8-4. Rasio dari I_1 dan I_2 akan berubah secara monoton dengan frekuensi-frekuensi di atas dan di bawah 50 Hz.pada pertengahan skala. Kedua kumparan medan disusun seperti pada gambar 8-3 dan dikembalikan ke jala-jala melalui gulungan kumparan yang dapat berputar. Torsi yang berputar sebanding dengan arus yang melalui kumparan putar, arus ini terdiri dari penjumlahan kedua arus kumparan medan. Karena torsi yang dihasilkan oleh kedua arus terhadap kumparan putar berlawanan dan torsi tersebut merupakan fungsi dari frekuensi tegangan yang dimasukkan. Setiap frekuensi yang dimasukkan dalam batas ukur instrumen, membangkitkan torsi yang menyebabkan jarum berada pada posisi yang hasil pengukuran. Torsi pemulih dilengkapi dengan sebuah daun besi kecil yang dipasang pada kumparan yang berputar. Alat ukur ini biasanya terbatas pada frekuensi jala-jala.

8.1.3. Alat ukur frekuensi besi putar

Prinsip kerja alat ukur ini tergantung pada perubahan arus yang dialirkan pada dua rangkaian paralel, satu induktif dan yang lain non induktif. Bila terjadi perubahan frekuensi dua kumparan A dan B yang terpasang permanen sumbu-sumbu magnetnya akan saling tegak lurus satu sama lain. Bagian pusat dipasangkan sebuah jarum panjang dari besi lunak ringan dan lurus sepanjang resultante medan magnet dari dua kumparan. Alat ukur ini tidak menggunakan peralatan pengontrol (ditunjukkan pada gambar 8–5).



Gambar 8 – 5 Prinsip Alat Ukur frekuensi besi putar

Gambar 8 – 6 Bentuk frekuensi meter analog

Rangkaian tersusun dari elemen-elemen seperti halnya jembatan Wheatstone sebagai penyeimbang pada frekuensi sumber. Kumparan

A mempunyai tahanan seri R_A dan paralel dengan induktansi L_A; kumparan B seri dengan R_B dan paralel dengan induktansi L_B. Induktansi L berfungsi untuk membantu menekan harmonis-harmonis tinggi pada bentuk gelombang arus, sehingga memperkecil kesalahan penunjukan alat ukur.

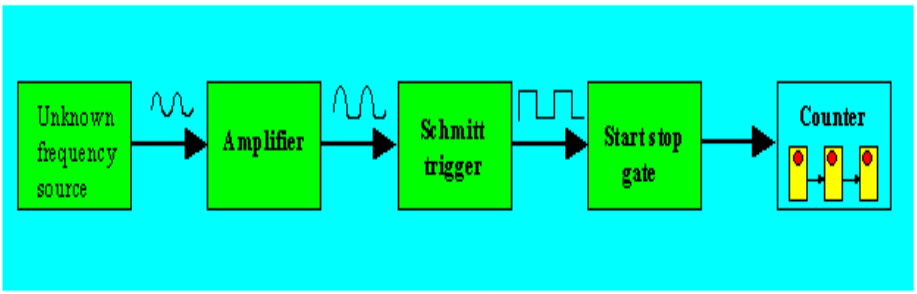
Alat ukur saat dihubungkan dengan sumber tegangan, arus akan mengalir melalui kumparan A dan B dan menghasilkan kopel yang berlawanan. Jika frekuensi sumber yang diukur tinggi, maka arus yang mengalir pada kumparan A akan lebih besar dibanding dengan arus yang mengalir pada kumparan B, dikarenakan adanya penambahan reaktansi dari induktansi L_B. Akibatnya medan magnet kumparan A lebih kuat dibanding medan magnet kumparan B, sehingga jarum bergerak mendekati sumbu medan magnet pada kumparan A. Jika frekuensi sumber yang diukur rendah, maka kumparan B mengalirkan arus lebih besar dari kumparan A dan jarum akan bergerak mendekati sumbu medan magnet pada kumparan B. Alat ukur ini dapat dirancang pada batas ukur frekuensi yang lebar maupun sempit tergantung pada parameter-parameter yang ada pada rangkaian.

8.2. Frekuensi Meter Digital

8.2.1. Prinsip kerja

Sinyal yang akan diukur frekuensinya diubah menjadi barisan pulsa, satu pulsa untuk setiap siklus sinyal. Kemudian jumlah pulsa yang terdapat pada interval waktu tertenu dihitung dengan counter elektronik. Karena pulsa ini dari siklus sinyal yang tidak diketahui, jumlah pulsa pada counter merupakan frekuensi sinyal yang diukur. Karena counter elektronik ini sangat cepat, maka sinyal dari frekuensi tinggi dapat diketahui.

Blok diagram rangkaian dasar meter frekuensi digital diperlihatkan pada gambar 8-7. sinyal frekuensi tidak diketahui dimasukkan pada schmitt trigger.



Gambar 8 – 7 Rangkaian dasar frekuensi meter digital.

Sinyal diperkuat sebelum masuk Schmitt Trigger. Dalam Schmitt Trigger sinyal diubah menjadi gelombang kotak (kotak) dengan waktu naik dan turun yang sangat cepat, kemudian dideferensier dan dipotong (clipped). Keluaran dari Schmitt Trigger berupa barisan

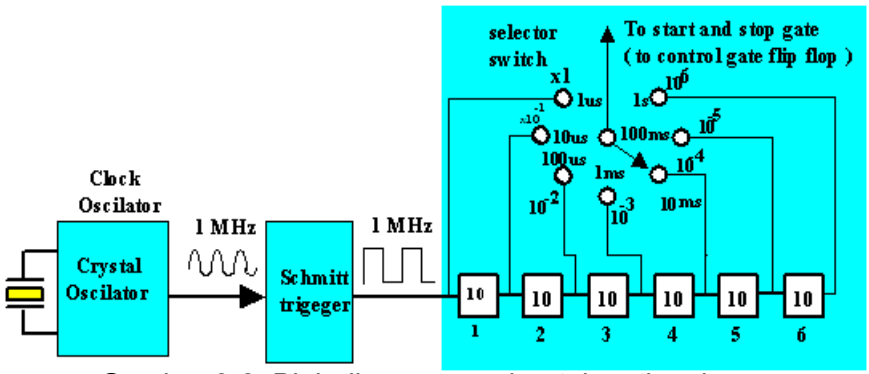
pulsa, satu pulsa untuk setiap siklus sinyal. Pulsa keluaran Schmitt Trigger masuk ke gerbang start-stop. Bila gerbang terbuka (start), pulsa input melalui gerbang ini dan mulai dihitung oleh counter elektronik. Bila pintu tertutup (stop), pulsa input pada counter berhenti dan counter berhenti menghitung.
Counter memperagakan (display) jumlah pulsa yang telah masuk melaluinya antara interval waktu .

start dan stop. Bila interval waktu ini diketahui, kecepatan dan frekuensi pulsa sinyal input dapat diketahui. Misalnya f adalah frekuensi dari sinyal input, N jumlah pulsa yang ditunjukkan counter dan t adalah interval waktu antara start dan stop dari gerbang. Maka frekuensi dari sinyal yang tidak diketahui dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini

$$F = \frac{N}{t}.$$

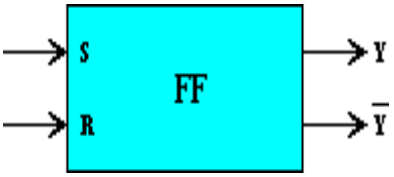
Untuk mengetahui frekuensi sinyal input, interval waktu gerbang antara start dan stop harus diketahui dengan teliti. Interval waktu perlu diketahui sebagai time base rangkaian secara blok diagram ditunjukkan pada gambar 8 – 8. Time base terdiri dari osilator kristal dengan frekuensi tetap, schmit trigger, dan pembagi frekuens. Osilator diketahui sebagai osilator clock harus sangat teliti, supaya ketepatannya baik, kristal ini dimasukkan ke dalam oven bertemperatur konstan.
Output dari osilator frekuensi konstan masuk ke Schmitt Trigger

fungsinya mengubah gelombang non kotak menjadi gelombang kotak atau pulsa dengan kecepatan yang sama dengan frekuensi osilator clock. Barisan pulsa kemudian masuk melalui rangkaian pembagi frekuensi persepuluhan yang dihubungkan secara cascade. Setiap pembagi persepuluhan terdiri dari penghitung sepuluhan dan pembagi frekuensi dengan 10. hubungan dibuat dari output setiap pembagi persepuluhan secara serie, dan dilengkapi dengan switch selektor untuk pemilihan time base yang tepat.



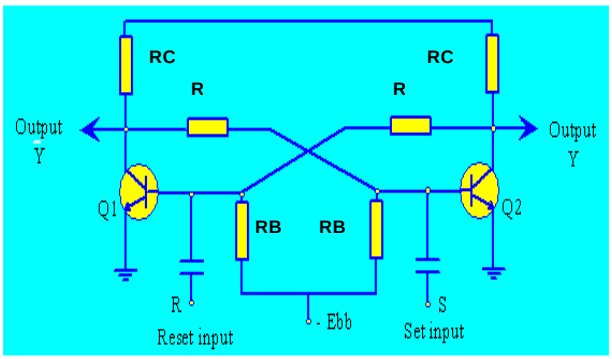
Gambar 8-8. Blok diagram pembentukan time base

Pada blok diagram gambar 8-8. frekuensi osilator clock adalah 1 MHz atau 10^6 Hz. Jadi output Schmitt Trigger 10^6 pulsa per detik. Pada setiap 1x dari switch ada 10^6 pulsa per detik, dan interval waktu antara dua pulsa yang berturutan 10^{-6} detik atau 1µdetik. Pada tiap 10^{-1}x, pulsa telah melalui satu pembagi persepuluhan, dan berkurang dengan faktor 10, dan sekarang ada 10^5 pulsa perdetik. Jadi interval waktu diantaranya adalah 10 µdetik. Dengan cara yang sama, ada 10^4 pulsa per detik pada tap 10^{-2} x dan interval waktunya 100 µdetik; 10^3 pulsa per detik pada tap 10^{-3}x dan interval waktu 1 mdetik; 10^2 pulsa per detik pada tap 10^{-4}x dan interval waktu 10 mdetik; 10 pulsa perdetik pada tap 10^{-5} dan interval waktu 100 mdetik; satu pulsa per detik pada tap 10^{-6}x dan interval waktunya 1 detik. Interval waktu antara pulsa-pulsa ini adalah time base dan dapat dipilih dengan switch selektor (switch pemilih).
Pernyataan simbolik dari rangkaian flip-flop (FF) digambarkan pada gambar 8 - 9.



Gambar 8 - 9 Pernyataan simbolik dari rangkaian flip-flop.

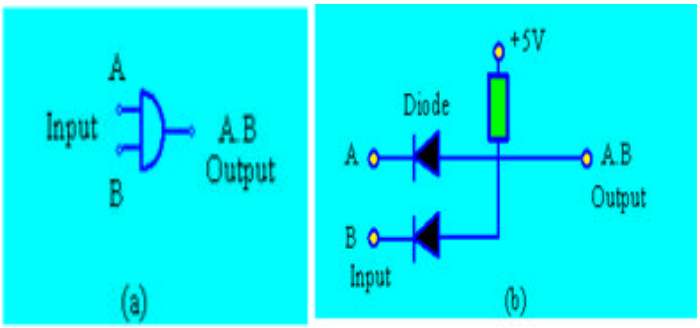
Flip-flop berfungsi sebagai gerbang start dan stop, dan rangkaian flip-flop diperlihatkan pada gambar 8-10. ini adalah rangkaian multivibrator bistable dan mempunyai dua keadaan seimbang.



Gambar 8 – 10 Rangkaian flip-flop (multivibrator bistable)

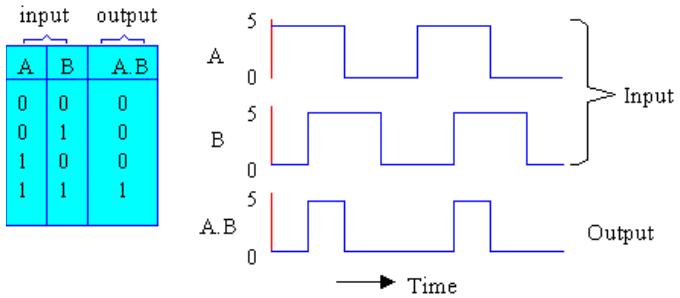
Keadaan 0 (state 0)	Bila output $\bar{Y}$ pada tegangan positif dan output Y pada tegangan 0
Keadaan 1 (state 1)	Bila output $\bar{Y}$ pada tegangan nol dan output Y pada tegangan positip

Tegangan negatif diberikan pada set terminal S, merubah flip-flop ke keadaan 1. bila sekarang pulsa negatip diberikan pada terminal reset R, flip-flop berubah menjadi keadaan 0. perlu dicatat dalam hal pulsa positif digunakan untuk merubah flip-flop dari satu keadaan ke yang lain, suatu inverter harus digunakan pada terminal input untuk merubah pulsa trigger positif menjadi pulsa negatif. Pada langkah ini akan diketahui cara kerja gerbang AND, karena ini digunakan pada rangkaian instrumen digital.



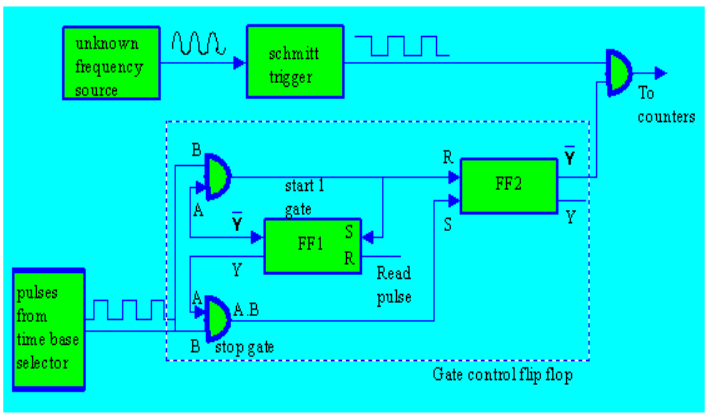
Gambar 8 - 11 Rangkaian AND

Gerbang AND lambang gerbang AND diperlihatkan pada gambar 8-11. Input A dan B sedang outputnya A.B, dibaca sebagai “A dan B”. Bila input dalam bentuk pulsa tegangan positif, input A dan B “Reverse Bias” semua dioda (pada gambar 8-11), dan tidak ada arus melalui tahanan sehingga outputnya positif. Bila salah satu input 0, ada arus melalui dioda karena mendapat bias maju dan output 0. bila dua input tersebut berubah terhadap waktu, respon rangkaian AND diperlihatkan pada gambar 8 - 12. Tabel kebenaran untuk rangkaian ini diberikan pada gambar 8 - 12, 0 menyatakan tidak ada input atau output, dan 1 menyatakan ada input dan output.



Gambar 8-12. Tabel Kebenaran dari suatu gerbang AND

Secara singkat gerbang AND mempunyai dua input dinyatakan dengan simbol A dan B. Bila tegangan positif diberikan pada salah satu terminal input, gerbang terbuka dan tetap terbuka selama tegangan positif tetap pada input tersebut. Dengan gerbang terbuka pulsa, positif yang diberikan pada inpit lainnya dapat muncul sebagai pulsa positif pada output (pada gambar 8 -12). Sebaliknya bila gerbang ditutup, pulsa tidak dapat melaluinya. Rangkaian lengkap untuk pengukuran frekuensi diperlihatkan pada gambar 8 - 13.



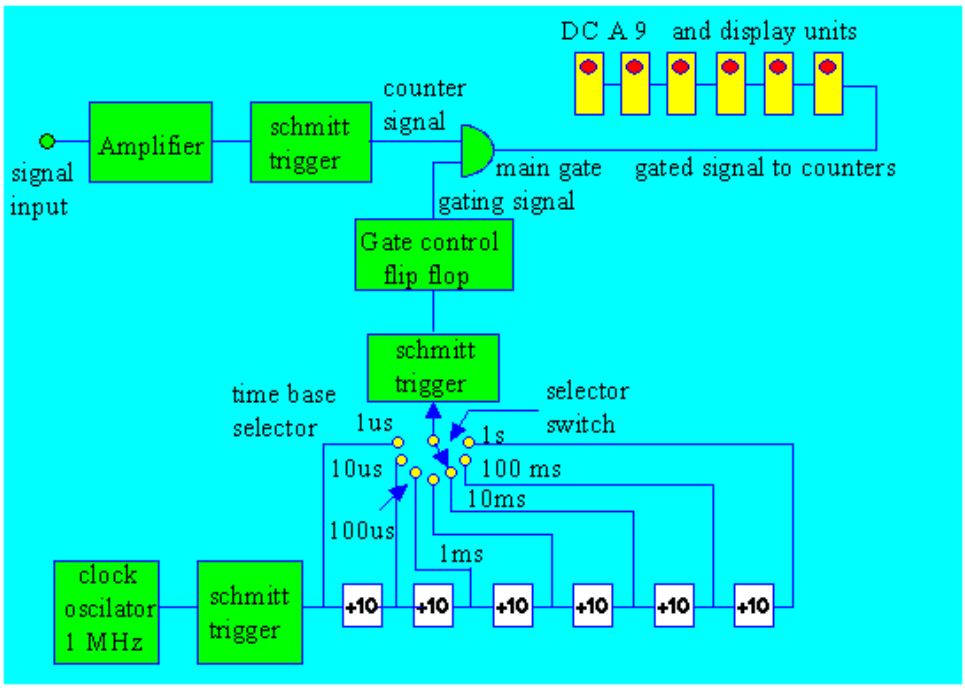
Gambar 8 – 13 Rangkaian untuk mengukur frekuensi.

Pulsa positif dari sumber frekuensi yang tidak diketahui sebagai sinyal yang dihitung masuk pada input A gerbang utama dan pulsa positif selektor time base masuk pada input B ke “gerbang start”. Mula-mula flip-flop FF, pada keadaan 1. Tegangan pada output Y dimasukkan pada input A salah satu terminal masukan dari “gerbang stop” berfungsi membuka gerbang. Tegangan 0 dari output Y flip-flop FF_1 yang masuk ke input A dari “start gerbang” menutup gerbang ini.
Bila “gerbang stop” terbuka, pulsa positif dari time base dapat lewat pada set input terminal S dari flip-flop FF_2 dan menjadikannya tetap pada Keadaan 1. tegangan 0 dari output $\bar{Y}$ masuk pada terminal B dari gerbang utama. Karena itu tidak ada pulsa dari sumber frekuensi yang tidak diketahui, dapat lewat melalui gerbang utama. Supaya mulai bekerja, pulsa positif disebut pulsa pembaca (“Read Pulse”) diberikan pada terminal reset R dari FF_1, ini menyebabkan FF_1 berubah keadaan dari 1 ke 0. Sekarang output $\bar{Y}$ tegangan positif dan output Y nol. Sebagai hasilnya, “gerbang stop” menutup dan “gerbang start” terbuka. Pulsa pembaca yang sama diberikan pada dekade counter menyebabkannya menjadi nol dan penghitungan mulai bekerja.
Bila pulsa lain dari time base masuk, ini dapat lewat gerbang start ke terminal, reset FF_2

merubah dari keadaan 1 ke keadaan 0. Tegangan positif yang dihasilkan dari input Y (disebut sinyal gating) dimasukkan pada input B dari gerbang utama, membuka gerbang tersebut. Sekarang pulsa dari sumber frekuensi yang tidak diketahui dapat lewat dan dicatat pada counter. Pulsa yang sama lewat gerbang start masuk pada set input S dari FF_1 merubahnya dari keadaan 0 ke 1. Ini menyebabkan gerbang start tertutup dan gerbang stop.terbuka. Tetapi karena gerbang utama tetap terbuka, pulsa dari sumber frekuensi yang tidak diketahui tetap lewat menuju counter.
Pulsa selanjutnya dari time base selektor lewat melalui "gerbang stop" yang terbuka ke terminal input set S dari FF_2, merubah kembali ke keadaan 1. Input dari terminal $\bar{Y}$ menjadi nol, dan karenanya gerbang utama menutup penghitungan berhenti.
Jadi counter menghitung jumlah pulsa yang lewat gerbang utama pada interval waktu antara dua pulsa yang berturutan dari selektor time base. Sebagai contoh, time base dipilih 1 detik, jumlah pulsa yang ditunjukkan counter merupakan frekuensi sumber yang tidak diketahui dalam satuan Hz. Peralatan terdiri dari dua gerbang AND dan dua flip-flop, disebut gerbang control flip-flop.

8.2.2. Rangkaian Frekuensi Meter Digital yang Disedehanakan

Rangkaian frekuensi meter digital sederhana diperlihatkan pada gambar 8 – 14.



Gambar 8 - 14 Rangkaian digital frekuensi meter.

Ada dua sinyal yang harus diikuti :

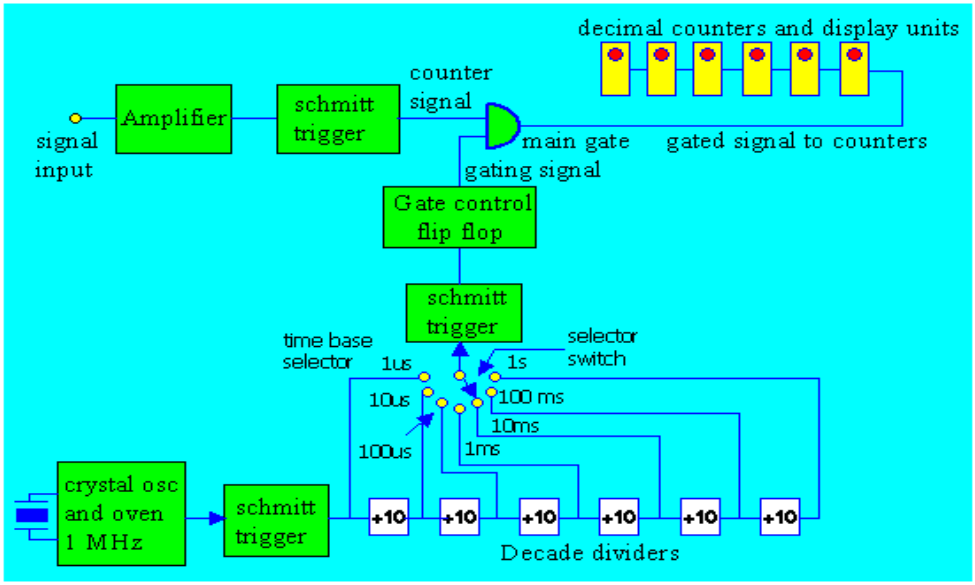
Sinyal input atau sinyal yang dihitung frekuensi melalui pengukuran.	Sinyal gating ini memberikan selang waktu dimana counter (yang terdiri dari susunan dekade counter) akan menghitung semua pulsa yang masuk.

Sinyal input diperkuat dan masuk ke Schmitt Trigger, dimana sinyal dirubah menjadi barisan pulsa.
Time base dibentuk oleh Schmitt Trigger menjadi pulsa-pulsa terpisah 1μ detik. Pulsa ini masuk ke rangkaian dekade 6 (DDA'S). Switch selektor mengeluarkan interval waktu yang diperoleh dari 1μ detik sampai 1 detik. Input dari time base berasal dari osilator clock dan schmitt trigger.
Pulsa output pertama dari switch time base selektor lewat melalui schmitt trigger ke gerbang control flip-flop. Gerbang control flip-flop dalam keadaan dimana sinyal yang memenuhi dapat masuk ke gerbang utama adalah AND gerbang, pulsa sinyal input dibiarkan masuk ke DCAs, dimana mereka akan dihitung semua dan didisplay. Proses ini berlanjut sampai pulsa kedua sampai pada control flip-flop dari DDAs (dekade deviding assembles) atau rangkaian pembagi dekade. Kontrol gerbang berganti keadaan dan mengeluarkan sinyal dari gerbang utama dan tidak ada lagi pulsa yang diizinkan masuk ke rangkaian penghitung, karena gerbang utama sudah tutup. Jadi jumlah pulsa yang lewat selama selang waktu tertentu dihitung dan didisplay pada DCAS. Frekuensi dapat dibaca langsung dalam hal time base selektor menggerakkan titik desimal pada display.

8.3. Metode Pengukuran

8.3.1. Pengukuran Frekuensi Dengan *Counter*

Frekuensi dapat diukur dengan menghitung jumlah siklus dari sinyal yang tidak diketahui selama interval waktu yang dikontrol. Gambar 8 - 15 memperlihatkan diagram untuk counter yang bekerja sebagai pengukur frekuensi.
Ada dua sinyal yang perlu diikuti sinyal input dan sinyal gating. Kedua sinyal masuk ke gerbang utama, yang biasanya merupakan gerbang AND 2 input. Input sinyal yang akan diukur frekuensinya, pertama kali masuk ke suatu amplifier dan kemudian ke rangkaian schmitt trigger. Di sini sinyal dirubah menjadi gelombang kotak yang amplitudonya tidak tergantung dari amplitudo gelombang input. Gelombang kotak ini dideferensier, sehingga sinyal yang datang pada sepanjang gerbang utama terdiri dari barisan pulsa tajam yang terpisah oleh periode sinyal input yang sebenarnya.



Gambar 8-15 Blok diagram dari counter electronik yang bekerja sebagai pengukur frekuensi

Gating sinyal di dapat dari osilator kristal. Pada diagram blok gambar 8-15. osilator atau frekuensi time base adalah 1 MHz. Output dari time base dibentuk oleh rangkaian schmitt trigger, sehingga menjadi pulsa-pulsa yang terpisah 1µ detik, masuk ke rangkaian pembagi persepuluhan (dekade devider). Dalam contoh diperlihatkan 6 DDAs digunakan yang outputnya dihubungkan dengan time base selektor. Switch pada panel depan memungkinkan untuk dipilihnya interval waktu 1µ detik. Output dari time base selektor lewat melalui schmitt trigger dan masuk ke gerbang control flip-flop. Gerbang kontrol kemudian berada pada keadaan lain yang akan menolak sinyal yang memenuhi dari gerbang utama. Gerbang utama ini tertutup dan tidak ada lagi pulsa yang masuk ke DCAs. Display DCAs sekarang menunjukkan jumlah pulsa yang diterima selama interval waktu yang diberikan oleh time base.

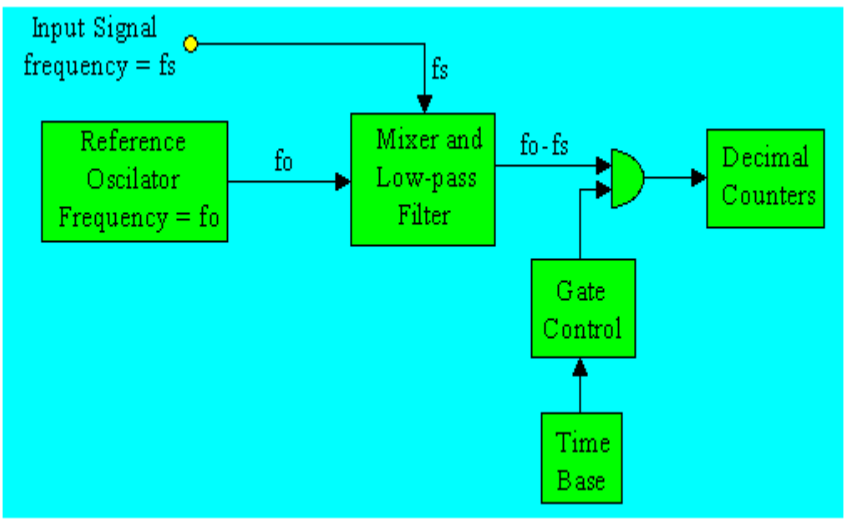
Karena frekuensi dapat didefinisikan dengan jumlah kemunculan fenomena tertentu pada selang waktu yang didefinisikan counter akan mendisplay frekuensi sinyal. Biasanya switch selector time base menggerakkan titik desimal display, sehingga frekuensi dapat dibaca langsung dalam Hertz, kilohertz atau megahertz.

8.3.2. Pengukuran Frekuensi System Heterodyne

Kemampuan pengukuran dari counter elektronik pada mode kerja “frekuensi” dapat diperluas dengan menggunakan “heterodyne converter”. Ini diperlihatkan pada blok diagram gambar 8-16. Sinyal input dimasukkan pada heterodyne converter, yang terdiri dari osilator

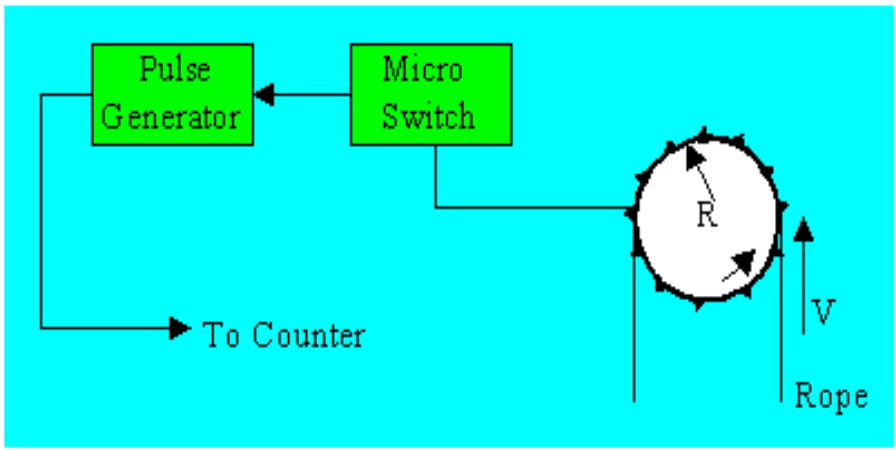
reference dan mixer stage dengan filter low-pass. Frekuensi sinyal input f_s dan frekuensi osilator reference, f_0, dimasukkan pada mixerstage yang akan menghasilkan jumlah dan selisih dua frekuensi tersebut. Tetapi filter filter low-pass, hanya melaukan selisih frekuensinya pada rangkaian gerbang dari counter. Counter kemudian menghitung frekuensi (fo-fs) atau (fs-f0), tergantung pada apakah frekuensi sinyal input di atas atau di bawah frekuensi osilator reference. Kebutuhan untuk mengetahui apakah penjumlahan atau pengurangan terhadap frekuensi reference yang akan dibaca counter, supaya memperoleh frekuensi sinyal yang tidak diketahui, kadang-kadang mempersulit pekerjaan, tetapi metode ini memperluas daerah penggunaan counter dengan efektif. Suatu counter dengan time base frekuensi 1 MHz biasanya mempunyai daerah frekuensi input sekitar 5 MHz. Pengguna frekuensi converter memperluas daerah ini sampai 500 MHz atau lebih tinggi.

Beberapa counter yang lebih sophisticated mempunyai perlengkapan untuk unit plugon yang mudah dapat dihubungkan frekuensi converter dengan memasukkan sambungan yang tepat pada frame counter. Dekade Divider Assemblies (DDAs) pada rangkaian osilator counter menghitung frekuensi time base dari 1 MHz turun sampai 1 Hz, melengkapi perioda 1 detik. Keuntungan dari time base 1 detik, adalah bahwa pembacaan frekuensi input dalam siklus perdetik, suatu gambaran yang telah umum. Bila time base lainnya dipilih dengan mengatur control “time base” pada panel depan, titik desimal pada display akan terletak pada posisi tertentu, sehingga pembacaan kembali dalam siklus perdetik.



Gambar 8 – 16. Konversi frekuensi Heterodyne

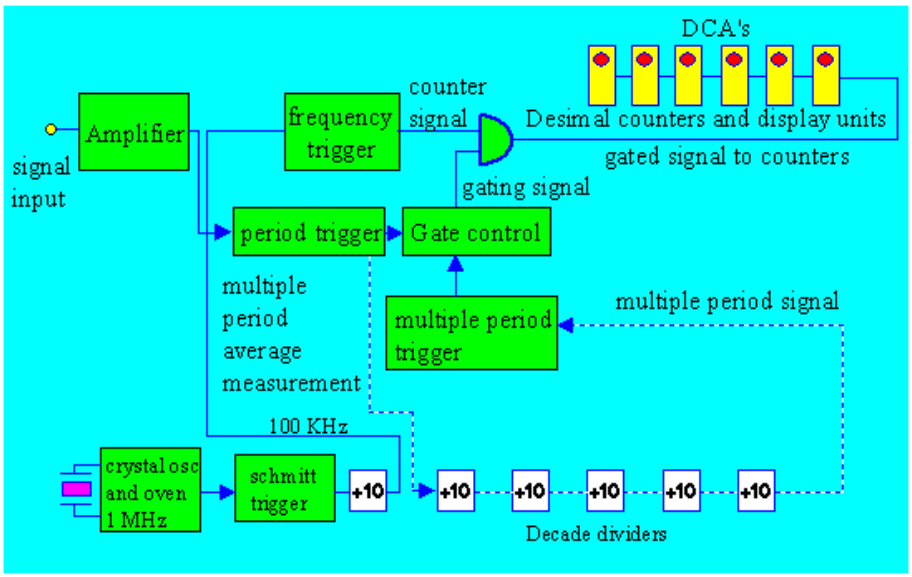
Tidak perlu menggunakan time base 1 detik, pada kenyataannya banyak penggunaan yang membutuhkan time base yang berbeda. Sebagai contoh, bila roda drum putaran pada gambar 8–23 mempunyai keliling 100 cm, kecepatan tali (v) dalam cm/detik adalah 100 kali kecepatan sudut roda drum ® dalam putaran perdetik; jadi V = 100 R, kecepatan tali dapat dibaca langsung dalam cm/detik, bila counter menghitung 100 pulsa perputaran untuk waktu 1 detik. Bila kecepatan tali diinginkan dalam cm/menit counter dapat diatur untuk menghitung 100 pulsa perputaran untuk 60 detik dengan menggunakan 10 cam pada roda drum.



Gambar 8 – 17. Gambar putaran drum menghasilkan 10 pulsa perputaran untuk digunakan dengan counter.

8.3.3. Pengukuran Perioda Dengan *Counter* Perioda Tunggal

Pada beberapa penggunaan lebih diinginkan pengukuran perioda sinyal dari pada frekuensinya. Ini dapat dilakukan dengan merubah susunan blok diagram dari rangkaian pengukur frekuensi, sehingga sinyal yang dihitung dan sinyal gating bertukar tempat. Pada gambar 8-18. diperlihatkan, blok diagram counter dalam mode penguran “perioda”. Sinyal gating dibentuk dari input yang tidak diketahui, sekarang mengatur, membuka dan menutup gerbang utama. Pulsa yang terpisah secara tetap dari osilator kristal dihitung untuk satu perioda frekuensi sinyal yang tidak diketahui. Sebagai contoh terlihat pada gambar 8-18. time base di atur pada 10 µdetik (time base frekuensi 100 khz), dan jumlah pulsa 100 kHz yang muncul selama perioda sinyal, yang tidak diketahui dihitung dan didisplay pada DCAs.



Gambar 8 – 18. Diagram blok dari counter pada mode kerja "periode tunggal" dan "periode ganda rata-rata"

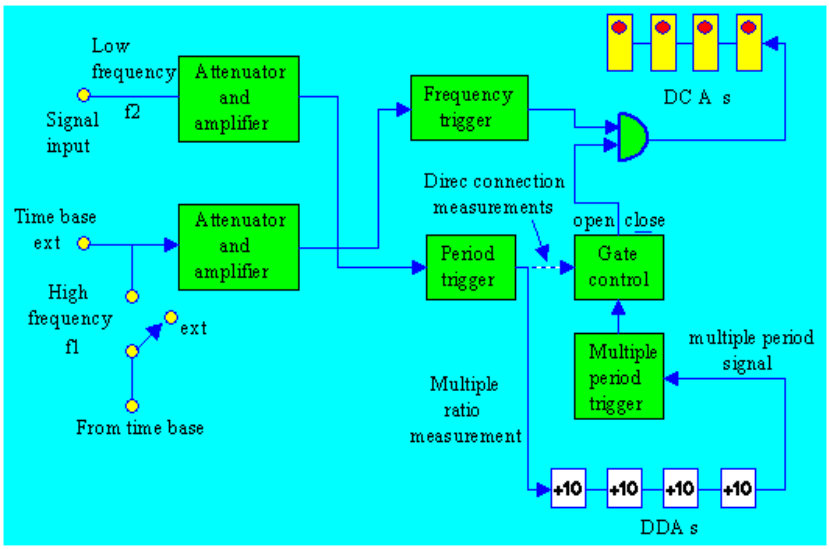
Ketelitian dari pengukuran perioda dapat dinaikkan dengan menggunakan mode kerja "perioda ganda rata-rata". Pengukuran tipe ini sama dengan pengukuran perioda tunggal, yaitu sinyal gating dibentuk dari sinyal input yang tidak diketahui dari sinyal yang dihitung dari time base osilator. Perbedaan dasar ialah bahwa gerbang utama diteruskan terbuka untuk lebih lama dari suatu periode sinyal yang tidak diketahui. Ini dipenuhi dengan melewatkan sinyal yang tidak diketahui melalui satu atau lebih DDAs, sehingga periode ini diperlebar dengan faktor 10,100 atau lebih.

Gambar 8-18. memperlihatkan mode periode ganda rata-rata, sebagai modifikasi pengukuran periode tunggal dengan memotong jalur dari blok diagram. Frekuensi kristal 1 MHz dibagi oleh 1 DDA menjadi frekuensi 100 khz (periode 10 μdetik). Pulsa clock ini dibentuk oleh frekuensi trigger dan dimasukkan pada gerbang utama untuk dihitung. Sinyal input yang periodenya akan diukur diperkuat, dibentuk dengan trigger perioda, dan masuk ke 5 DDAs secara cascade, menghitung frekuensi input yang dibagi dengan faktor 10^5. Sinyal yang terbagi ini kemudian dibentuk dengan "multiple-period trigger" (rangkaian schmitt trigger lainnya) dan masuk pada "gerbang control flip-flop". Gerbang control ini memberikan "pulsa stop" dan pulsa yang memenuhi untuk gerbang utama. Pada umumnya, gerbang utama selalu terbuka dengan membersarnya interval waktu, pada kenyataannya

kenaikan interval waktu ini 10^5. dalam hal DCAs menghitung jumlah dari interval 10 µdetik yang terjadi selama 100.000 x perioda input. Pembacaan logik direncanakan supaya titik desimal display berada pada tempat yang tepat.

8.3.4.Pengukuran Perbandingan atau Perbandingan Ganda

Pengukuran perbandingan adalah efek dari pengukuran periode dengan frekuensi dari dua sinyal yang lebih rendah berfungsi sebagai "gating sinyal" dan frekuensi sinyal yang lebih tinggi sebagai sinyal yang dihitung (counted sinyal). Dengan perkataan lain, frekuensi sinyal yang lebih rendah mengambil alih time base. Pada blok diagram gambar 8-19. menunjukkan hal ini. Jumlah siklus sinyal frekuensi tinggi f_1 yang terjadi selama perioda sinyal frekuensi rendah f_2 dihitung dan didisplay pada DCAs. Pengukuran perbandingan ganda memperluas perioda sinyal frekuensi rendah dengan suatu faktor misalnya 10.000 dan sebagainya. Perlu dicatat bahwa "selektor time base" pada posisi "external" dan f_1 mengambil alih fungsi "osilator internal".

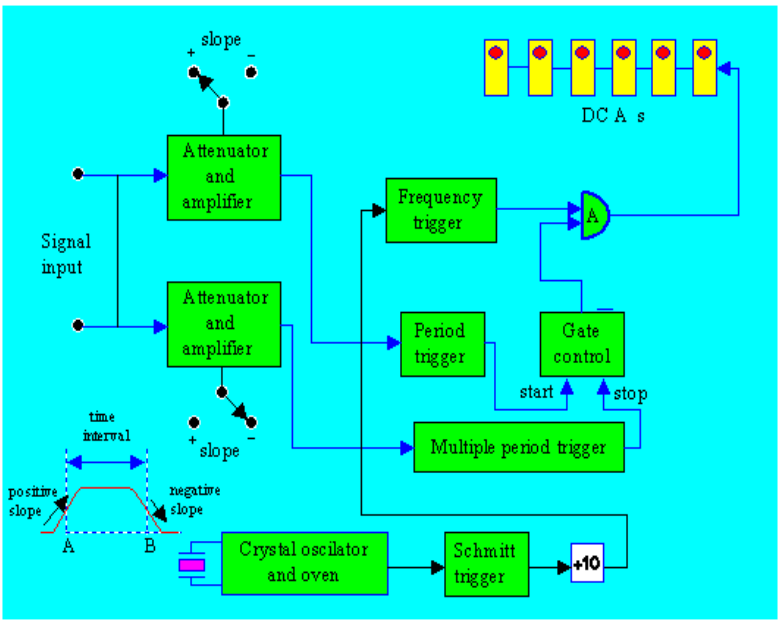


Gambar 8-19. Blok diagram counter yang bekerja sebagai "perbandingan" dan "perbandingan ganda".

8.3.5. Pengukuran Interval Waktu Dengan Counter

Pengukuran interval waktu dapat dilakukan dengan blok dasar seperti pada pengukuran "perbandingan". Pengukuran ini berguna untuk mencari lebar pulsa dari suatu bentuk gelombang. Blok diagram untuk pengukuran ini diberikan pada gambar 8-20. Bentuk ini memperlihatkan dua input terminal A dan B diparalel dan satu kanal memberikan pulsa yang memenuhi untuk gerbang utama dan pada kanal yang lain

pulsa yang tidak memenuhi. Gerbang utama terbuka pada titik "leading edge" dari gelombang sinyal input dan tertutup pada titik "Trailing edge" dari gelombang yang sama. Ini dinyatakan sebagai "slope selection" seperti yang diberikan pada blok diagram. "Trigger level" control memilih suatu titik dari gelombang sinyal datang, kapan pengukuran dimulai dan kapan berhenti.



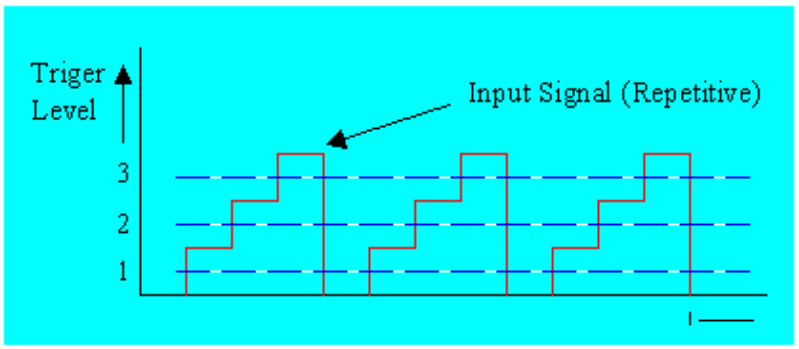
Gambar 8-20. Blok diagram counter sebagai pengukur "interval waktu"

8.3.6. Pengukuran Interval Waktu

Pada pengukuran interval waktu, gerbang sinyal dibuka dan ditutup oleh sinyal input, melewatkan frekuensi time base untuk dihitung. Pada diagram blok gambar 8-20. trigger perioda melengkapi pulsa pembuka untuk gerbang utama, sedangkan multiple period trigger mensupply pulsa penutup untuk gerbang utama. Semua pulsa dibentuk dari gelombang input yang sama, tetapi satu schmitt trigger bereaksi pada "positif going sinyal" dan schmitt trigger lainnya bereaksi pada "negatif going sinyal". Suatu "trigger level" mengatur pemilihan titik pada gelombang yang datang, baik positif atau negatif, dimana rangkaian ditrigger. Pengaturan ini dapat memperkecil noise dan mengurangi pengaruh adanya harmonik pada pengukuran. Kerja dari pengaturan trigger level diperlihatkan pada gambar 8 - 21.

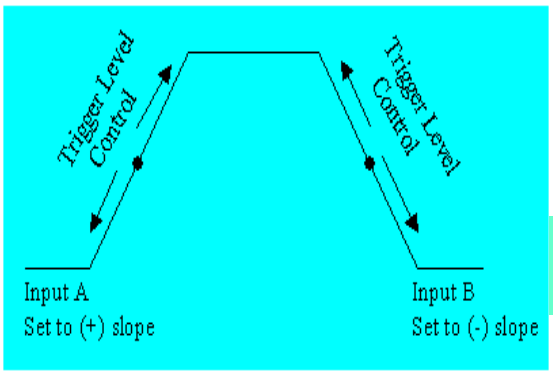
Satu penggunaan dari pengukuran waktu interval memerlukan kejelasan lebar pulsa dan rise time dari gelombang yang tidak ada diketahui, dengan menggunakan bagian "slope-selection" dari instrumen (lihat gambar 8 - 21). Gerbang sinyal dibuka pada suatu titik pada "leading edge" dari input

sinyal oleh trigger level control dari amplifier A. Gerbang tertutup pada suatu titik pada “trailing edge dari sinyal input oleh trigger level control dari amplifier B. Lebar pulsa dicatat oleh pencatat digital dan tergantung pada setting dari “time base selektor”.



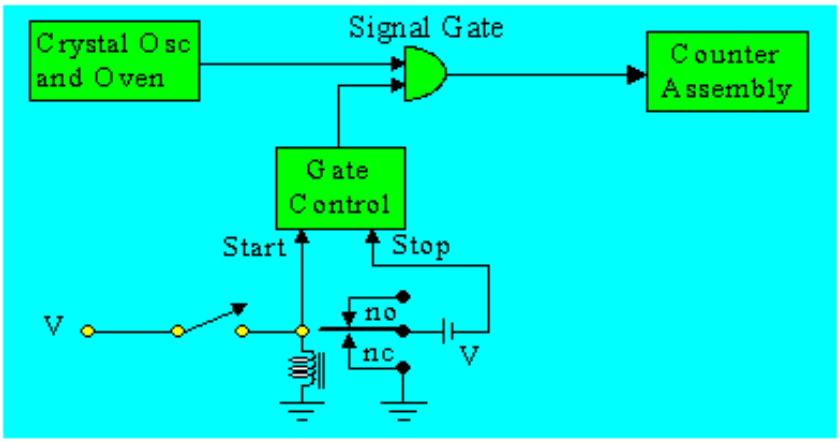
Gambar 8 – 21. Trigger level control

Bila time base selektor di set pada 1μ detik (frekuensi 1 MHz) counter membaca interval waktu langsung dalam 1μ detik.



Gambar 8 – 22.
Slope triggering

Penggunaan lainnya diperlihatkan pada gambar 8 - 23. Disini suatu electronic counter digunakan untuk mengukur waktu delay dari suatu relay. Fungsi relay untuk mengatur pembukaan atau penutupan gerbang sinyal dan jumlah siklus time base generator dihitung oleh DCAs.



Gambar 8 – 23. Pengukuran waktu delay suatu relay

Waktu respon yang berbeda-beda diukur seperti berikut :

Waktu delay : Gerbang dibuka dengan adanya tegangan coil. Gerbang ditutup oleh kontak yang normal tertutup (normally clossed contacts), bila mereka terbuka.

Waktu transfer : Gerbang dibuka oleh kontak normal tertutup, saat mereka terbuka. Gerbang ditutup oleh kontak normal terbuka, saat mereka tertutup.

Waktu pick-up : Gerbang dibuka oleh penggunaan tegangan coil. Gerbang ditutup oleh kontak normal terbuka, saat aktif tertutup.

Waktu drop-out : Gerbang dibuka oleh peniadaan tegangan coil. Gerbang ditutup oleh kontak normal terbuka, saat mereka kembali ke posisi terbuka normalnya pada pen-energian kembali coil tersebut.

8.3.7. Totalizer

Totalizer menghitung dan melengkapi pembacaan (read out) dari jumlah total pulsa yang diterima DCAs, dengan tidak menggunakan waktu gerbang khusus. Totalizer dapat digunakan untuk menghitung segala sesuatu, dari jumlah kotak yang datang pada jalur produksi sampai pulsa detektor partikel nuklir.

Scaler adalah totalizer dengan beberapa macam faktor skala yang dipasang sebelum “Read-out”. Scaler pada umumnya berguna untuk merubah unit. Sebagai contoh, bila kita memperoleh satu pulsa untuk setiap telur yang berguling ke bawah dan kita ingin mengetahui berapa lusin telur yang berguling, faktor skala 12 diberikan, sehingga setiap hitungan menyatakan 1 lusin telur.

Hal yang sama digunakan pada tachometer, dimana diketahui jumlah total putaran, faktor skala adalah jumlah pulsa dari generator tachometer perputaran. Pen-skalaan mudah dipenuhi dengan cara yang sama, diturunkan dari

time base, disebut dengan menggunakan pembagi binary (2), pembagi dekade (10), atau tipe lain dari feedback dividers.

Suatu penggunaan totalizer adalah "Preset Counter" (Penskalaan Khusus) yang tepat untuk pengaturan proses. Bila jumlah total pada read-out terbaca hal yang sama seperti pada jumlah "Preset" (yang diketahui dari switches), pulsa ditimbulkan dan unit ini berhentimenghitung sampai reset. Kontak penutup (contact closure) yang ditambahkan pada preset nomer dapat digunakan sebagai pengatur mesin. Sebagai contoh, misalkan kita menggulung lilitan kawat dan kita dapatkan pick off yang menghasilkan satu pulsa setiap lilitan. Bila diperlukan 50 lilitan, maka kontak penutup (contact closure) pada preset nomer dapat digunakan untuk mengatur mekanisme perlilitan, dan menghentikannya setelah putaran 50 lilitan yang diperlukan. Fungsi yang sama dapat sangat berguna pada program quality-control yang memerlukan sample dari setiap jumlah unit yang diberikan. Sebagai contoh, dengan menggunakan contact closure untuk menjalankan mekanisme pengeluaran, setiap 100 telur yang diambil dari kandang dan telah diperiksa. Fungsi ganda dapat diperoleh dengan menggunakan lebih dari satu preset number dan set of switches. Misalkan kita menginginkan men "tap" coli pada lilitan ke 10, 20 dan 25. Dengan menggunakan y preset number, kita dapat memerintahkan mesin untuk membuat "tap" bila dia mencapai 3 pertama dari lilitan preset number, dan berhenti pada yang keempat. Counter akan menutup kontak sementara, tetapi melanjutkan menghitung sampai mencapai jumlah keempat.

Contoh Aplikasi

Perioda gerbang 1 m detik; 10 m detik, 100 m detik, 1 detik dan 10 detik yang melengkapi digital counter-time-frequency meter mempunyai display 3 digit. Perioda gating 10m detik dipilih untuk mengukur frekuensi yang tidak diketahui dan diperoleh pembacaan 034. Berapakah harga frekuensi ? langkah-langkah apa yang diambil untuk (a) menguji kepercayaan hasilnya ? (b) memperoleh hasil yang lebih teliti ?

Penyelesaian

a. Frekuensi f : $\frac{N}{t} = \frac{034}{10x10^{-3}} = 3400Hz = 3{,}4KHz$

b. Untuk menguji hasil, kita harus menggunakan waktu gatingyang lebih rendah, misalnya 1 ms. Bila frekuensi antara 3000 dan 3499 Hz pembacaan akan : 3000 x 1 x 10^{-3} = 3,499 karena meter mempunyai display 3 digit, dapat memperlihatkan pembacaan 003 pada kedua kasus diatas.

c. Supaya diperoleh hasil yang lebih baik (resolusi yang lebih baik) kita harus menggunakan waktu gating yang lebih tinggi, misalnya 100m detik.

Misalkan frekuensi lebih mendekati 3420 Hz daripada 3400 Hz Pembacaan meter akan 3420 x 100 x 10^{-3} = 342.
Tidak ada kelebihannya bila waktu gating dinaikkan menjadi 1 detik atau 10 detik. Misalkan frekuensi 3424 Hz dan waktu gating ditetapkan 1 detik. Pembacaannya adalah 3424 x 1 = 3424. Tetapi karena meter hanya mempunyai 3 digit, meter akan menunjukkan suatu overflow. Hal yang sama untuk gating time (waktu gating) 10 detik.

Contoh Aplikasi

Suatu timer digital dengan read-out 8 digit ditetapkan untuk mendapatkan ketelitian 0.005 % dari pembacaan, ±1 dalam digit terakhir. Read-out dalam detik, m detik dan μ detik. Misalkan instrumen ini memenuhi spesifikasi, berapakah kesalahan maksimum bila pembacaan :

a. 05000000 μ detik
b. 00 000 500 detik ?
c. Berapakah ketelitian nominal maksimum dalam unit waktu dengan mana pembacaan b. dapat dilakukan dengan instrumen ini ?

Penyelesaian

a. Pembacaan 05 000 000 μ detik atau pembacaan = 5000 000 μ detik = 5 x 10^6 μ detik.

0.005% pembacaan = $\pm\frac{0.005}{100}$ x 5 x 10^6 = ±250 μ detik.

Digit pada LSD sekarang mempunyai harga 1μ detik. ∴ Kesalahan maks. ± 250 ± 1 = 251 μ detik.

b. Pembacaan 00 000 500 detik atau pembacaan 500 detik.

0,005% pembacaan = $\pm\frac{0.005}{100}$ x 500 = ± 0.025 detik.

Digit pada LSD sekarang mempunyai harga 1 detik.

∴ kesalahan maksimum = ± 0.025 ± 1,025 detik.

c. Ketelitian maksimum berarti kesalahan minimum. Kesalahan minimum diperoleh bila waktu dibaca pada read-out μ detik.
500 s = 500 x 10^6 μ detik = 500 000 000 μ detik.

Pembacaan ini memerlukan posisi 9 digit dan karena meter digunakan pada read out μ detik akan memperlihatkan adanya overflow, sebab meter hanya mempunyai display 8 digit. Karena itu pembacaan 500 detik tidak dapat dilakukan pada range μ detik.

Marilah dicoba readout m detik.
500 detik = 500 x 10^3m detik = 50.000 m detik.

$\therefore$ readout m detik akan mendisplay pembacaan : 00 500 000

0,005% pembacaan = $\pm \frac{0{,}005 x 500 x 10^3}{100}$ = ± 25 m detik.

LSD mempunyai harga 1 ms.

$\therefore$ Ketelitian maksimum yang mungkin, dengan mana pembacaan 500 detik dapat dilakukan oleh meter ini ialah ± 25 ± 1 = ± 26m detik.

8.4. Kesalahan pengukuran

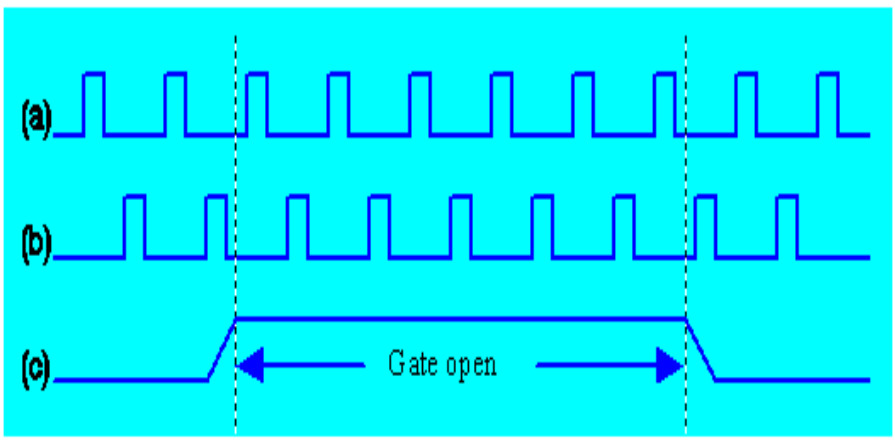
8.4.1. Kesalahan pada "gate"

Pengukuran frekuensi dan waktu dengan counter elektronik mempunyai beberapa ketidaktelitian, karena instrumen itu sendiri. Satu kesalahan instrumen yang paling umum adalah "gating error" yang terjadi pada pengukuran frekuensi dan perioda. Untuk pengukuran frekuensi, gerbang utama terbuka dan tertutup oleh pulsa output osilator. Ini menyebabkan sinyal input dapat lewat melalui gerbang dan dihitung oleh DCAs. Pulsa gating tidak sinkron dengan sinyal input; pada kenyataannya keduanya adalah sinyal yang sama sekali tidak berhubungan.

Pada gambar 8-24. interval gating diberikan oleh gelombang.

Gelombang (a) dan (b) menyatakan sinyal input yang mempunyai fasa berbeda dibandingkan dengan sinyal gating. Dengan jelas, pada satu hal akan terbaca 6 pulsa, dalam hal yang lain hanya 5 pulsa dapat lewat melalui gerbang. Sehingga terdapat ketidakpastian perhitungan ±1 dalam pengukuran ini.

Dalam mengukur frekuensi rendah, gating error dapat mempengaruhi pada kesalahan hasilnya. Ambilah sebagai contoh pada keadaan dimana frekuensi 10 Hz yang akan diukur dan interval gating time 1 detik (pemisalan yang beralasan).



Gambar 8-24. Gating error

Dekade counter akan menunjukkan 10 ±1, ketidaktelitian 10%. Oleh karena itu pada frekuensi rendah pengukuran periode lebih disukai dari pada pengukuran frekuensi. Garis pemisah antara pengukuran frekuensi dan pengukuran perioda dinyatakan sebagai berikut, misalkan :

f_c = frekuensi kristal (atau frekuensi clock) dari instrument.

f_x = frekuensi dari sinyal input yang tidak diketahui.

Pada pengukuran perioda, jumlah pulsa yang terhitung sama dengan

$$Np = \frac{fc}{fx}.$$

Pada pengukuran frekuensi dengan gerbang waktu 1 detik, jumlah pulsa yang terhitung

$$Nf = fx.$$

Frekuensi cross over, dimana $N_p = N_f$ adalah :

$$\frac{fc}{fo} = fo \text{ atau } fo = \sqrt{fc}$$

Sinyal pada frekuensi lebih rendah dari fo akan dapat diukur pada mode “period”; supaya meminimumkan pengaruh dari gating error ± 1. Pengurangan ketelitian pada fo disebabkan oleh gating error ± 1 adalah $\frac{100}{\sqrt{fc}}$ persen.

.

8.4.2. Kesalahan Time Base

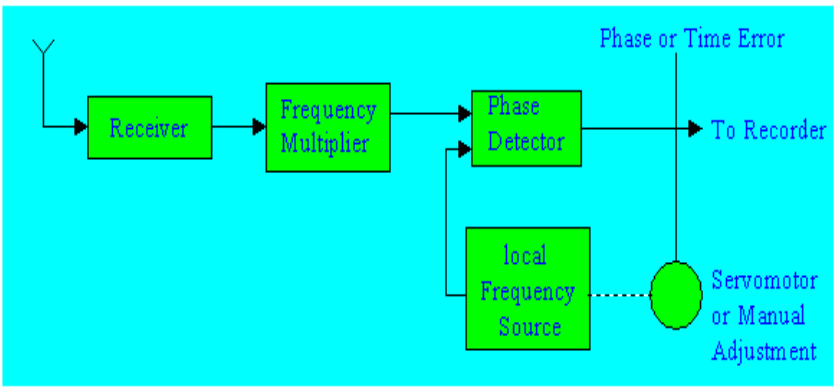
Ketidaktelitian pada time base juga menyebabkan kesalahan pengukuran. Pada pengukuran frekuensi, time base juga membuka dan menutup sinyal gerbang, dan ini melengkapi pulsa yang dihitung. Kesalahan time base terdiri dari kesalahan kalibrasi osilator, kesalahan stabilitas kristal jangka pendek dan jangka panjang.

Beberapa metoda untuk kalibrasi kristal sering digunakan. Satu dari teknik kalibrasi yang paling sederhana adalah men “zerobeat” osilator kristal dengan frekuensi standar yang ditransmisikan oleh stasion radio standard seperti

Metoda ini memberikan hasil yang dapat dipercaya, dengan tingkatan ketelitian 1 bagian untuk 10^6, yang dinyatakan 1 siklus pada frekuensi osilator kristal 1 MHz. Bila “zero beating” dilakukan secara visual (daripada untuk di dengar), sebagai contoh dengan menggunakan CRO, ketelitian kalibrasi pada umumnya dapat mencapai 1 bagian dalam 10^7.

Beberapa stasiun radio dengan frekuensi sangat rendah (VLF) meliputi daratan Amerika Utara dengan sinyal yang tepat pada range 16-20 kHz. Frekuensi pendengar yang rendah cocok untuk “Automatic Servo-Controlled Tuning” yang dapat di “Slaved” ke

salah satu sinyal dari stasion ini. Kesalahan antara osilator kristal lokal dengan sinyal yang datang dapat direkam pada “strip-chart recorder”. Diagram yang disederhanakan untuk prosedur ini diberikan pada gambar 8-25. Ketelitian kalibrasi dapat diperbaiki dengan menggunakan stasion VLF daripada stasion HF, karena jalan transmisi untuk frekuensi yang sangat rendah lebih singkat dari pada untuk transmisi frekuensi tinggi. Kesalahan stabilitas kristal jangka pendek disebabkan oleh variasi frekuensi sesaat karena transien tegangan, schock dan vibrasi, siklus pemanasan kristal, interferensi listrik dan sebagainya. Kesalahan ini dapat diminimumkan dengan mengambil pengukuran frekuensi selama selang waktu gerbang time yang panjang (10 detik sampai 100 detik) dan pengukuran perioda rata-rata ganda (multiple periode average measurement). Gambar untuk stabilitas jangka pendek pada kombinasi standar kristal-oven pada orde 1 atau 2 bagian per 10^7.

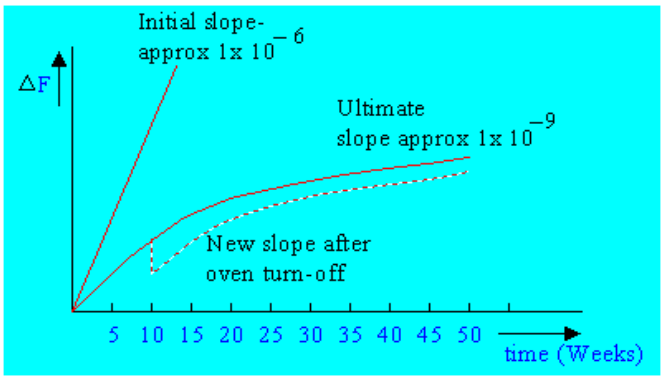


Gambar 8–25. Kalibrasi sumber frekuensi lokal.

Kesalahan stabilitas jangka panjang merupakan sumber ketidaktelitian pada pengukuran frekuensi atau waktu. Stabilitas jangka panjang adalah fungsi dari usia dan memperburuk kristal. Karena kristal pada temperatur bersiklus dan dijaga pada osilasi yang kontinu, tegangan selama perbuatan dibebaskan, dan partikel kecil yang tertangkap pada permukaan dialirkan untuk mengurangi ketebalannya. Pada umumnya, fenomena ini akan menyebabkan kenaikan frekuensi osilator.

Kurva perubahan frekuensi terhadap waktu diperlihatkan pada gambar 8–21. Ketepatan perubahan frekuensi kristal mula-mula pada orde 1 bagian per 10^6 per hari. Kecepatan ini akan menurun, bila kristal digunakan pada temepratur operasinya, secara normal kira-kira 50 s/d 60° C, dengan stabilitas puncak 1 bagian per 10^9. Bila instrumen yang mengandung kristal dibuka dari sumber daya untuk perioda waktu yang cukup untuk pendinginan, slope baru karena bertambahnya usia akan terjadi

bila instrumen digunakan kembali. Mungkin frekuensi osilasi yang sebenarnya sesudah pendinginan akan berubah beberapa siklus, dan frekuensi permulaannya tidak akan dicapai lagi, kecuali dilakukan kalibrasi.



Gambar 8 - 26. Perubahan frekuensi terhadap waktu untuk “oven-controlled crystal”

Untuk memperlihatkan efek stabilitas jangka panjang dengan ketelitian pengukuran yang absolut, misalkanlah osilator dikalibrasi 1 bagian dalam 10^9, dan dicapai stabilitas jangka (long-term stability) 1 bagian dalam 10^8 per hari. Misalkan lebih lanjut bahwa kalibrasi dilakukan 60 hari yang lalu. Ketelitian yang digaransikan saat ini adalah $1 \times 10^{-9} + 60 \times 10^{-8} = 6.01 \times 10^{-7}$, atau 6 bagian dalam 10^7. sehingga dapat dilihat bahwa ketelitian absolut maksimum dapat dicapai, bila kalibrasi yang tepat dilakukan pada waktu yang relatif pendek sebelum digunakan untuk pengukuran.

8.4.3. Kesalahan “Level trigger”.

Pada pengukuran interval waktu dan periode, sinyal gerbang dibuka dan ditutup oleh sinyal input. Ketelitian dengan mana gerbang dibuka atau ditutup adalah fungsi dari kesalahan “Trigger Level”. Pada penggunaan yang umum, sinyal input diperkuat dan dibentuk, dan kemudian dimasukkan ke rangkaian schmitt trigger yang mensuplay gerbang ini dengan pula pengatur. Biasanya sinyal input berisi sejumlah komponen yang tidak diharapkan atau noise, yang akan diperkuat bersama-sama dengan sinyal.

Waktu dimana terjadi terigger pada rangkaian schmitt adalah fungsi dari penguatan sinyal input dan dari perbandingan “sinyal to noise”. Pada umumnya kita dapat mengatakan bahwa kesalahan waktu trigger dikurangi dengan amplitudo sinyal yang besar dan rise time yang cepat.

Ketelitian maksimum diperoleh bila hal-hal seperti di bawah ini terjadi :

a. Pengaruh dari kesalahan “one-count gating error” (satu hitungan pada gerbang) diminimumkan dengan pengukuran frekuensi lebih besar dari vfc dan pengukurandi di bawah vfc, dimana fc adalah frekuensi clock dan counter.
b. Karena stabilitas jangka panjang mempunyai pengaruh yang akumulatif, ketelitian pengukuran sangat tergantung pada waktu sejak kalibrasi terakhir terhadap standard primer atau sekunder.
c. Ketelitian dari pengukuran waktu sangat dipengaruhi oleh slope dari sinyal datang yang mengatur sinyal gerbang. Amplitudo sinyal yang besar dan rise time yang cepat memberikan ketelitian yang maksimum.

LAMPIRAN. A

DAFTAR PUSTAKA

Agilent.2007. Agilent Automotive Electronics 10 Aplication Note on Design Debug and Function. Agilent Test. USA. © Agilent Technologies,Inc. www.agilent.com

Basic oscilloscope operationCreative Commons Attribution License, version 1.0. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses

Bernard Grob. 1984. *Basic Television And Video Sistem.* Singpore. Mc Graw Hill International Edition Singapore

Carson Kennedy.1999. *Introduction to GPS (Global Position System).* Leica Geosystem AG. Switzerland. www.leica-geosystems.com

Cooper, William D, 1999. Instrumentasi Elektronik dan Teknik Pengukuran. (Terjemahan Sahat Pakpahan). Jakarta : Penerbit Erlangga.(Buku asli diterbitkan tahun 1978)

Creative Commons 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA

David Matzke dkk. *USE OF THE OSCILLOSCOPE*. Science Learning Center. Data University Of Michigan-Dearbon.

Deboo and Burrous.1977. Integreted Circuit And Semiconductor Devices : theory and application. Tokyo Japan : Kogakusha.Ltd

Fluke. Principles testing methods and applications. http://www.newarkinone.thinkhost.com/brands/promos/ Earth_Ground_Resistance.pdf

Garmin.(2000). GPS *Guide for beginner*. Garmin Corporation. USA. www.garmin.com

Gekco. 2002. *A Video Tutorial*. Copyright Gekco. http://www.gekco.com/vidprmr.htm tanggal 1 Oktober

Hai Hung Chiang. (1984). Electrical And Electronic Instrumentation. A wiley Interscience New York. Publication Jhn Wiley And Son.

Healthline Network,Inc. 2007. Equipment Information. 2007 Healthline Networks, Inc. All rights reserved. http://www.healthline.com\CTscan\ Ctimaging equipment Information

http://www.diagnostic medical IS\Medical ultrasonography - Wikipedia,the free encyclopedia.mht

Jean-Marie Zogg.2002. *GPS Basics Introduction to the system Aplication overview.* Thalwil Switzerland. www.u-blox.com

Kamran Khan. (2007). XYZ of Oscilloscopes. Posted by bailarina on 29 May 2007. www.sribd.com

Knopp Intercorporated. http://www.knoppinc.com/phase_seq.htm

Leader Electronics. Instruction Manual LCR Bridge Model LCR-740. Leader electronics.Corp.

Le Magicien. 2000**. 3 PHASE - 3 Wires Sequence Indikator. Tersedia dalam** http://www.geocities.com/lemagicien_2000/elecpage/3phase/3phase.html diakses tanggal 19 Juni 2008

Magellan. Magellan Maestro ™ 4050 User Manual. San Dimas CA 91773. Magellan Navigation Inc.

Manual stargass : http://images.mycdmm.de/file/353bb62d149fcebb6f5537f0c8f152203b41f7c9

Muslimim ,M. 1984. Alat-alat Ukur Listrik dan Pengukuran Listrik. Bandung : CV.Armico.

Phase Squence Indoicator . ***tesco dua kawat*** . http://www.tesco-advent.com/tesco-phase-sequence.html

R.S. Panti Rapih. MRI (Magnetik Resonance Imaging) Instalasi Radiologi.R.S. Panti Rapih .

http://health.howstuffworks.com/mri1.htm

Soedjana, S., Nishino, O. 1976. Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.

Sanwa Electric. Instructional Manual YX-360 TRD Multitester. Sanwa Electric

Sri M. Shanmukha Chary. 2005. Intermediate Vocational Course, 2nd Year TV servicing Lab-II Manual. Andra Pradesh. Director of Intermediate Education Govt.

Stanford. Basic oscilloscope operationCreative Commons Attribution License,version 1.0. To view a copy of this license, visit http://creativecommons.org/licenses Creative Commons 559 Nathan Abbott Way, Stanford, California 94305, USA Instrument Co.Ltd.

Textronix. 2005. Fundamentals Of Real-Time Spectrum Analysis. USA. Textronics. Inc. www.tektronix.com

Wikipedia.2007. Global Positioning System. http://wikipedia.org/wiki/GPS

http://computer.howstuffworks.com/monitor1.htm

"http://en.wikipedia.org/wiki/CRO/Cathode_ray_tube"

www.tektronix.com/signal_generators 9

(www.interq or japan/se-inoue/e-oscilo0.htm)

http://www.doctronics.co.uk/scope.htm

http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/37W_18400/eng/37W_18400_0.pdf

http://productsearch.machinedesign.com/featuredproducts/Industrial_Computers_Embedded_Computer_Components/Data_Acquisition/Spektrum_Analyzers_Signal_Analyzers

http://www.aboutnuclear.org/view.cgi?fC=The_Atomhttp://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

http://www.medicalim

http://www.nmr-services.com /Process%20NMR

http://www.duncaninstr.com/images

http://www.humminbird.com/images/ PDF/737.pdf
http://www.eaglesonar.com/Downloads/Manuals/Files/IntelliMap640c_0143-881_121305.pdf tanggal 20 Desember 07

http://www2.tek.com/cmswpt/tidownload.lotr?ct=TI&cs=wpp&ci=3696&lc=EN&wt=480&wtwi=3696&wtla=EN&wtty=TI&wtsty=White+Paper&wtpt=DOWNLOAD&wtbu=Instrumens+Business&wtpl=Real+Time+Spektrum+Analyzers&wtlit=37W-19285-0&wtsize=27+KB&wtver=1.0&wtcat=tektronix&wtnbrp=0&wtmd=RSA2203A%2CRSA2208A%2CRSA3303A%2CRSA3308A%2CRSA3408A&wtti=EMI+Measurements+Using+Tektronix+Real-Time+Spektrum+Analyzers

http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

http://www.medicalim

http://www.nmr-services.com /Process%20NMR

http://www.tek.com/Measurement/App_Notes/37W_18400/eng/37W_18400_0.pdf

http://productsearch.machinedesign.com/featuredproducts/Industrial_Computers_Embedded_Computer_Components/Data_Acquisition/Spektrum_Analyzers_Signal_Analyzers

http://www2.tek.com/cmswpt/tidownload.lotr?ct=TI&cs=wpp&ci=3696&lc=EN&wt=480&wtwi=3696&wtla=EN&wtty=TI&wtsty=White+Paper&wtpt=DOWNLOAD&wtbu=Instrumens+Business&wtpl=Real+Time+Spektrum+Analyzers&wtlit=37W-19285-0&wtsize=27+KB&wtver=1.0&wtcat=tektronix&wtnbrp=0&wtmd=RSA2203A%2CRSA2208A%2CRSA3303A%2CRSA3308A%2CRSA3408A&wtti=EMI+Measurements+Using+Tektronix+Real-Time+Spektrum+Analyzers

http://images.mycdmm.de/file/353bb62d149fcebb6f5537f0c8f152203b41f7c9 Manual stargass

(www.wikimediafoundation.org/ Oktober 2007)

http://www.aboutniclear.org/view

http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

http://www.medicalim

http://www.nmr-services.com /Process%20NMR

http://www.healthline.com\CTscan\ Ctimaging equipment Information

http://health.howstuffworks.com/mri1.htm

http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26b.html CT ijo

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26c.html sumber CAT

http://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1

http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.html

http://en.wikilipedia.org/wiki/Functional_magnetik_resonance_imaging

http://en.wikipedia.org/wiki/Medical_imaging

http://www.aboutnuclear.org/view.cgi?fC=The_Atomhttp://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?PG=PET&bhcp=1http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_26d.htm

http://www.medicalim

http://www.nmr-services.com /Process%20NMR

http://www.healthline.com\CTscan\ Ctimaging equipment Information

http://health.howstuffworks.com/mri1.htm

http://www.DiagnostikMedicalIS/Medicalultrasonography-Wikipedia,the freeencyclopedia.mht.

http://www.humminbird.com/images/PDF/737.pdf

LAMPIRAN B

DAFTAR TABEL

No. Tabel	Nama Tabel	Halaman
Tabel 1-1	Besaran-besaran satuan dasar SI	3
Tabel 1-2	Beberapa contoh satuan yang diturunkan	4
Tabel 1-3	Perkalian desimal	5
Tabel 1-4	Satuan bukan SI yang dapat dipakai bersama dengan satuan	5
Tabel 1-5	Konversi Satuan Inggris ke SI	6
Tabel 1-6	Letak alat ukur waktu digunakan	9
Tabel 1-7	Beberapa Contoh Alat Ukur Penunjuk Listrik	13
Tabel 1-8	Tabel kebenaran decoder BCD	33
Tabel 1-9	Karakteristik beberapa fosfor yang lazim digunakan	39
Tabel 2-1	Kalibrasi Arus	50
Tabel 2-2	Harga R_x dan D	64
Tabel 2-3	Spesifikasi Umum Meter Elektronik Analog	72
Tabel 2-4	Probe Multimeter Pengukuran Tegangan Tinggi	72
Tabel 2-5	Range Pengukuran dan Akurasi	73
Tabel 2-6	Kalibrasi Voltmeter	84
Tabel 2-7	Kesalahan dan Koreksi Relatip	85
Tabel 2-8	Kalibrasi Arus	89
Tabel 2-9	Kesalahan dan Koreksi Relatip	90
Tabel 2-10	Spesifikasi Multimeter Digital	114
Tabel 3-1	Pembacaan nilai pengukuran	145
Tabel 3-2	Pengaturan saklar NORMAL pada +1,00	146
Tabel 3-3	Range multiplier	158
Tabel 4-1	Rating, Internal Impedance, and rated power loss	175
Tabel 4-2	Konstanta Pengali (Tegangan perkiraan 120/240V, arus perkiraan 1/5A	179
Tabel 4-3	Range Tegangan dan Arus	194
Tabel 5-1	Tahanan pentanahan	221
Tabel 5-2	Panduan Penetapan Penyelidikan	226
Tabel 5-3	Spesifikasi Field Meter Statik	239
Tabel 5-4	Data Teknik	243
Tabel 5-5	Spesifikasi Smart Field Meter	246
Tabel 6-1	Spesifikasi generator fungsi	250
Tabel 6-2	Crest faktor dan bentuk gelombang	272
Tabel 6-3	Konversi dBm	273
Tabel 9-1	Span dipilih, dihapus dan kecepatan sampel efektif	388
Tabel 9-2	Perbandingan pengaruh perubahan pengaturan span pada ranah frekuensi dan waktu	389
Tabel 9-3	Beberapa model penganalisa spectrum waktu riil	414
Tabel 9-4	Data Spesikasi	415
Tabel 9-5	Simbol-simbol keamanan	415
Tabel 9-6	Kebutuhan Alat Pelengkap	416
Tabel 10-1	Saklar pola gambar	456
Tabel 11-1	Spesifikasi	502

Tabel 11-2	Karakteristik Pengetesan Alat	503
Tabel 11-3	Cakupan Nilai Antara Kandungan Gas Aman	515
Tabel 12-1	Faktor-faktor kesalahan	538

LAMPIRAN C

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Nama gambar	Halaman
Gambar 1-1	Alat ukur standar galvanometer	2
Gambar 1-2	Alat ukur sekunder	3
Gambar 1-3	Posisi pembacaan meter	7
Gambar 1-4a	Pembacaan yang salah	7
Gambar 1-4b	Pembacaan yang benar	7
Gambar 1-5	Pengenolan meter tidak tepat	7
Gambar 1-6	Posisi pegas	8
Gambar 1-7	Kalibrasi sederhana ampermeter	10
Gambar 1-8	Kalibrasi sederhana voltmeter	11
Gambar 1-9	Hukum tangan kiri Fleming	14
Gambar 1-10	Prinsip kerja alat ukur	15
Gambar 1-11	Momen penyimpang	16
Gambar 1-12	Penentuan dari penunjukkan alat ukur kumparan putar	17
Gambar 1-13	Skala alat ukur kumparan putar	17
Gambar 1-14	Peredaman alat ukur kumparan putar	18
Gambar 1-15	Gerakan jarum penunjuk dari suatu alat ukur	19
Gambar 1-16	Prinsip kerja instrumen tipe tarikan	20
Gambar 1-17	Beberapa bagian instrumen tipe tarikan	21
Gambar 1-18	Besarnya momen gerak	21
Gambar 1-19	Beberapa bagian penampang jenis repulsion	23
Gambar 1-20	Dua buah lembaran besi yang berbentuk seperti lidah	23
Gambar 1-21	Prinsip alat ukur elektrodinamis	25
Gambar 1-22	Rangkaian ampermeter elektrodinamis	26
Gambar 1-23	Rangkaian voltmeter elektrodinanmis	26
Gambar 1-24	Skema voltmeter elektrostatis	27
Gambar 1-25	Rekombinasi elektron	29
Gambar 1-26	Polaritas dan simbol LED	29
Gambar 1-27	LED	30
Gambar 1-28	Rangkaian LED	30
Gambar 1-29	Skematik seven segmen	31
Gambar 1-30	Peraga seven segmen	31
Gambar 1-31	Rangkaian dekoder dan seven segmen	32
Gambar 1-32	Macam-macam peragaan seven segmen	32
Gambar 1-33	Konstruksi LCD	33
Gambar 1-34	Contoh peraga LCD pada multimeter	34
Gambar 1-35	Perkembangan LCD pada implementasi monitor TV	35
Gambar 1-36	Skema CRT	36
Gambar 1-37	Cutaway rendering of a color CRT	36
Gambar 1-38	Senapan elektron	37
Gambar 1-39	Tanda skala gratikul	40
Gambar 2-1	Basic meter unit	42
Gambar 2-2a	Ampermeter shunt	43
Gambar 2-2b	Ampermeter dengan basic meter unit	43
Gambar 2-3	Contoh soal ampermeter shunt	44

Gambar 2-4	Ampermeter dengan ring yang berbeda	45
Gambar 2-5	Ayrton shunt	46
Gambar 2-6	Rangkaian penyearah pada Ampermeter AC	47
Gambar 2-7	Contoh dasar ampermeter AC	48
Gambar 2-8	Hasil posisi pembacaan meter	49
Gambar 2-9	Kalibrasi arus	49
Gambar 2-10a	Rangkaian tanpa meter	50
Gambar 2-10b	Rangkaian dengan meter	51
Gambar 2-11	Rangkaian ekivalen thevenin	51
Gambar 2-12	Contoh soal thevenin	52
Gambar 2-13	Contoh soal	52
Gambar 2-14	Contoh soal	54
Gambar 2-15	Voltmeter DC sederhana	54
Gambar 2-16	Voltmeter dengan basic meter unit dan multiplier	55
Gambar 2-17	Contoh soal voltmeter	56
Gambar 2-18	Contoh Implementasi	57
Gambar 2-19a	Tegangan tanpa meter	60
Gambar 2-19b	Tegangan dengan meter	60
Gambar 2-20a	Rangkaian tanpa meter	60
Gambar 2-20b	Rangkaian dengan meter	60
Gambar 2-21	Rangkaian penyelesaian aplikasi 1	61
Gambar 2-22	Rangkaian penyelesaian aplikasi 2	62
Gambar 2-23	Dasar ohmmeter seri	63
Gambar 2-24	Pembuatan tanda/skala ohmmeter	65
Gambar 2-25	Skala logaritmis pada ohmmeter seri	65
Gambar 2-26	Aplikasi ohmmeter seri	66
Gambar 2-27	Dasar ohmmeter parallel	67
Gambar 2-28	Skala ohmmeter parallel	67
Gambar 2-29	Jenis-jenis multimeter elektronik di pasaran	68
Gambar 2-30	Mulmeter elektronik	69
Gambar 2-31	Rangkaian voltmeter DC elektronik	69
Gambar 2-32	penyearah	70
Gambar 2-33	Rangkaian ohmmeter elektronik	71
Gambar 2-34	Gambar saklar jarum nol	74
Gambar 2-35	Gambar pemilih fungsi	74
Gambar 2-36	Panel depan	75
Gambar 2-37	Fungsi jarum penunjuk	75
Gambar 2-38	Fungsi skala	75
Gambar 2-39	Fungsi zero adjust secrew	76
Gambar 2-40	Fungsi ohm adjust knob	76
Gambar 2-41	Fungsi selector switch	77
Gambar 2-42	Fungsi lubang kutub (VAO terminal)	77
Gambar 2-43	Fungsi lubang kutub + (common terminal)	78
Gambar 2-44	Knob pemilih range	78
Gambar 2-45	Rangkaian pengukur tegangan DC	79
Gambar 2-46	Penunjukan pengukuran tegangan DC	79
Gambar 2-47	Pengawatan pengukuran tegangan DC salah	80
Gambar 2-48	Knob pemilih range	80
Gambar 2-49	Rangkaian pengukuran tegangan AC jala-jala PLN	81

Gambar 2-50	Penunjukan pengukuran tegangan AC	81
Gambar 2-51	Rangkaian Kalibrasi Tegangan	83
Gambar 2-52	Rangkaian Pengukuran Arus DC	85
Gambar 2-53	Knob Pemilih Range	86
Gambar 2-54	Skala Penunjukkan Arus DC	86
Gambar 2-55	Knob Pemilih Range	87
Gambar 2-56	Rangkaian Pengukuran Arus DC yang Salah	87
Gambar 2-57	Rangkaian Kalibrasi Arus	88
Gambar 2-58	Cara Pemasangan Ohmmeter	91
Gambar 2-59	Posisi Pemindahan Range Ohmmeter	91
Gambar 2-60	Kalibrasi Ohmmeter	92
Gambar 2-61	Penempatan Resistor pada Pengukuran OHM	92
Gambar 2-62	Penunjukkan Hasil Pengukuran Ohm	93
Gambar 2-63	Rangkaian Pengukuran Resistansi	93
Gambar 2-64	Membuka Sekrup Pengunci	94
Gambar 2-65	Bagian Belakang Meter	94
Gambar 2-66	Posisi Skala dB Meter	95
Gambar 2-67	Pengenolan Sebelum Mengukur Hambatan	95
Gambar 2-68	Pengukuran Arus Bocor Transistor NPN	96
Gambar 2-69	Posisi Saklar Pembacaan I_{CEO}	96
Gambar 2-70	Rangkaian Pengetesan LED dengan Ohmmeter	97
Gambar 2-71	Pengukuran Arus I_F Dioda Bias Maju	97
Gambar 2-72	Pengukuran Arus I_R Dioda Bias Mundur	98
Gambar 2-73	Posisi Skala Pembacaan LV	98
Gambar 2-74	Gerakan Jarum Pengukuran Kapasitor	99
Gambar 2-75	Posisi Skala Kapasitor	99
Gambar 2-76	Pengenolan jarum Ohmmeter	100
Gambar 2-77	Pengetesan Dioda Bias Maju	101
Gambar 2-78	Pengetesan Dioda Bias Balik	101
Gambar 2-79	Knob Selektor Posisi Ohmmeter	102
Gambar 2-80	Gambar Kalibrasi Ohmmeter	102
Gambar 2-81	Pengetesan Transistor NPN Emitor Negatip Meter Nunjuk Nol	103
Gambar 2-82	Pengetesan Transistor NPN Kolektor Negatip Meter Nunjuk Nol	103
Gambar 2-83	Pengetesan Base Emitor Reverse	104
Gambar 2-84	Pengetesan Basis Kolektor Reverse	104
Gambar 2-85	SCR Anoda Gate dikopel Katoda Tegangan Negatip	105
Gambar 2-86	Gate Dilepaskan Posisi Jarum Tetap Nol	105
Gambar 2-87	Elektroda SCR FIR 3D	106
Gambar 2-88	Pelepasan Skrup Pengunci Sekring	106
Gambar 2-89a	Posisi Sekering dalam PCB	107
Gambar 2-89b	Sekering	107
Gambar 2-90	Pengetesan sekering	107
Gambar 2-91	Pengukuran Baterai	108
Gambar 2-92	Pengecekan Colok Meter	108
Gambar 2-93	Pengubah analog ke digital	110
Gambar 2-94	Bentuk gelombang pencacah pengubah analog ke digital	111

Gambar 2-95	Meter Digital	111
Gambar 2-96a	Sistem Pengukuran Tegangan	115
Gambar 2-96b	Bentuk Gelombang Tegangan	116
Gambar 2-97	Pengukuran Resistansi dengan Voltmeter Digital	117
Gambar 2-98	Sistem dan Bentuk Gelombang Pengukuran Frekuensi	118
Gambar 2-99	Sistem dan Bentuk Gelombang Pengukuran Perioda	119
Gambar 2-100	Sistem Pengukuran Interval Waktu	120
Gambar 2-101	Sistem dan Bentuk Gelombang pengukuran kapasitansi	121
Gambar 2-102	Macam-macam Meter Digital	122
Gambar 2-103	Multimeter Digital dengan Selektor dan Otomatis	124
Gambar 2-104	Macam-macam Multimeter Digital di Pasaran	125
Gambar 3-1	Jembatan Wheatstone	126
Gambar 3-2	Jembatan Kelvin	128
Gambar 3-3	Jembatan Ganda Kelvin	130
Gambar 3-4	Jembatan Pembanding Induktansi	132
Gambar 3-5	Jembatan Maxwell	133
Gambar 3-6	Jembatan Hay	135
Gambar 3-7	Jembatan Pembanding Kapasitansi	137
Gambar 3-8	Jembatan Schering	138
Gambar 3-9	Panel-panel LCR Meter	141
Gambar 3-10	Sisi Atas Case	142
Gambar 3-11	Panel Belakang LCR Meter	143
Gambar 3-12	Posisi Saklar Off	144
Gambar 3-13	Posisi Nol Meter	144
Gambar 3-14	Panel Depan LCR Meter	145
Gambar 3-15	Cara Mengukur Resistansi	146
Gambar 3-16	Posisi Selector	146
Gambar 3-17	Posisi DC R	147
Gambar 3-18	Posisi Normal	147
Gambar 3-19	Posisi On	147
Gambar 3-20	Range Multiplier	147
Gambar 3-21	Pengaturan Indikator Meter Nol	148
Gambar 3-22	Pembacaan Indikator RCL	148
Gambar 3-23	Selector pada Posisi C	149
Gambar 3-24	Saklar Source pada AC/RL	149
Gambar 3-25	Dial D Q pada 0	149
Gambar 3-26	Saklar D Q pada posisi x 1	150
Gambar 3-27	Saklar Normal +1,00 pada posisi Normal	150
Gambar 3-28	Saklar Power pada posisi On	150
Gambar 3-29	Kontrol Sensitivity	150
Gambar 3-30	Posisi Kapasitor yang diukur	151
Gambar 3-31	Mengatur Saklar Range Multiplier	151
Gambar 3-32	Mengatur Dial D Q	151
Gambar 3-33	Mengatur Knob RCL dan Dial D Q	152
Gambar 3-34	Mengatur Saklar D Q pada Posisi x 10	152
Gambar 3-35	Pembacaan Hasil Pengukuran	152
Gambar 3-36	Saklar Pemilih pada Posisi L	153

Gambar 3-37	Saklar Sumber Tegangan AC	153
Gambar 3-38	Saklar DQ x 1 – x 10 dipilih Posisi x1	154
Gambar 3-39	Saklar Normal pada Posisi Normal	154
Gambar 3-40	Saklar Range Pengali pada Posisi 1 mH	154
Gambar 3-41	Posisi Induktor yang Diukur	155
Gambar 3-42	Penunjukan Jarum	155
Gambar 3-43	Hubungan ke Sumber Tegangan Luar	157
Gambar 3-44	Pengukuran R dengan Sumber dari Luar	158
Gambar 3-45	Pengukuran C, L dengan Sumber dari Luar	158
Gambar 4-1	Pengukuran Daya dengan Memakai Voltmeter dan Ampermeter	160
Gambar 4-2	Pengukuran Daya Metoda Tiga Voltmeter dan Tiga Ampermeter	163
Gambar 4-3	Wattmeter Satu Fasa	165
Gambar 4-4	Metode ARON	167
Gambar 4-5	Diagram Fasor Tegangan Tiga Fasa Vac, Vcb, Vba dan Arus Tiga Fasa Iac, Icb, dan Iba	168
Gambar 4-6	Konstruksi Wattmeter Elektrodinamometer	169
Gambar 4-7	Diagram Vektor Wattmeter Jenis Elektrodinamometer	170
Gambar 4-8	Diagram Vektor Wattmeter Jenis Induksi	170
Gambar 4-9	Prinsip Wattmeter Jenis Thermokopel	171
Gambar 4-10	Rangkaian Wattmeter Jenis Elektrodinamometer	172
Gambar 4-11	Variasi Penyambungan Wattmeter	173
Gambar 4-12	Konstruksi Wattmeter Tipe Portable Single Phase	174
Gambar 4-13	Hubungan Internal Wattmeter Tipe Portable Single Phase	174
Gambar 4-14	Hubungan Kumparan Arus Seri terhadap Beban	176
Gambar 4-15	Pengukuran Daya Satu Fasa jika Arus Melebihi Nilai Perkiraan	176
Gambar 4-16	Pengukuran Daya Satu Fasa jika Tegangan Melebihi Nilai Perkiraan	177
Gambar 4-17	Pengukuran Daya Satu Fasa jika Arus dan Tegangan Melebihi Nilai Perkiraan	177
Gambar 4-18	Pengukuran Daya Tiga Fasa (Metode Dua Wattmeter)	178
Gambar 4-19	Pengukuran Daya Tiga Fasa jika Arus dan Tegangan Melebihi Nilai Perkiraan	178
Gambar 4-20	Rangkaian Wattmeter AC Satu Fasa	180
Gambar 4-21	Rangkaian Kumparan tegangan	181
Gambar 4-22	Konstruksi Wattjam Meter	184
Gambar 4-23	Mekanik Meter Induksi Elektromekanik	185
Gambar 4-24	Meter Induksi Elektromekanik, 100A 230/400 V Cakram Baling-baling Aluminium Horizontal Merupakan Pusat Meter	186
Gambar 4-25	Meter Listrik Solid State	187
Gambar 4-26	Rangkaian Alat Ukur Faktor Daya Satu Fasa	191
Gambar 4-27	Konstruksi Alat Ukur Faktor Daya	192
Gambar 4-28	Rangkaian Alat Ukur Faktor Daya Tiga Fasa	193

Gambar 4-29	Alat Ukur Faktor Daya Tipe Daun Terpolarisasi	193
Gambar 4-30	Konstruksi Faktor Daya (Cos Q meter)	194
Gambar 4-31	Segitiga Daya	196
Gambar 4-32	Daya Bersifat Induktif	196
Gambar 4-33	Daya Bersifat Kapasitif	196
Gambar 4-34	Pengukuran Faktor Daya Satu Fasa	199
Gambar 4-35	Pengukuran Faktor Daya Tiga Fasa	200
Gambar 4-36	Metode Menentukan Urutan Fasa dengan R dan C	200
Gambar 4-37	Fasor Diagram saat Urutan Fasa Benar	201
Gambar 4-38	Fasor Diagram saat Urutan Fasa Salah	201
Gambar 4-39	Metode Menentukan Urutan Fasa dengan Lampu	202
Gambar 4-40	Konstruksi Indikator Tes Urutan Fasa	202
Gambar 4-41	Prinsip Indikator Tes Urutan Fasa	203
Gambar 4-42	Contoh Indikator Tes Urutan Fasa yang Lain	205
Gambar 4-43	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan R dan C pada Urutan Benar	206
Gambar 4-44	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan R dan C pada Urutan Salah	207
Gambar 4-45	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan Lampu pada Urutan Benar	208
Gambar 4-46	Pengoperasian Indikator Urutan Fasa dengan Lampu pada Urutan Salah	209
Gambar 5-1	Penguji Tahanan Isolasi	211
Gambar 5-2	Penguji tahanan Isolasi Menggunakan Baterai	212
Gambar 5-3	Pengecekan Kondisi Baterai	213
Gambar 5-4	Baterai dalam Kondisi Baik	213
Gambar 5-5	Meter Siap Digunakan	214
Gambar 5-6	Pengukuran Tahanan isolasi	214
Gambar 5-7	Pengukuran Tahanan Isolasi antara Fasa dengan Nol N	214
Gambar 5-8	Pengukuran tahanan isolasi antara Fasa dengan Tanah G	215
Gambar 5-9	Pengukuran tahanan isolasi antara nol N dengan Tanah G	
Gambar 5-10	Pengukuran Tahanan Isolasi antara Instalasi dengan Tanah G	215
Gambar 5-11	Elektroda yang Mempunyai Pengaruh Lapisan	216
Gambar 5-12	Tanah yang korosif	217
Gambar 5-13	Sambaran petir	218
Gambar 5-14	Nilai Tahanan Pentanahan yang Ideal	218
Gambar 5-15	Hubungan antara Penghantar Tanah dan Elektroda Tanah	219
Gambar 5-16	Elektroda yang mempunyai pengaruh lapisan	221
Gambar 5-17	Elektroda Pentanahan	222
Gambar 5-18	Hubungan Beberapa Elektroda Pentanahan	222
Gambar 5-19	Jaringan Bertautan	222
Gambar 5-20	Pelat Tanah	222
Gambar 5-21	Cara Mengukur Tahanan Tanah	224

Gambar 5-22	Uji drop tegangan	225
Gambar 5-23	Uji Selektif	227
Gambar 5-24	Pengetesan alur arus metoda tanpa pancang	228
Gambar 5-25	Susunan Metoda tanpa Pancang	229
Gambar 5-26	Mengukur Tahanan Tanah dengan Dua Kutub	230
Gambar 5-27	MGB Mentanahkan Tanah	230
Gambar 5-28	Pengetesan kantor pusat tanpa pancang	231
Gambar 5-29	Pelaksanaan Pengujian Jatuh Tegangan pada Sistem Pentanahan Secara Keseluruhan	232
Gambar 5-30	Pengukuran Tahanan Tanah Masing-masing pada Sistem Pentanahan Menggunakan Pengujian Terpilih	232
Gambar 5-31	Susunan Khas Sistem Pentanahan pada Suatu Instalasi Menara Seluler	233
Gambar 5-32	Susunan Khas Sistem Pentanahan pada Gardu Induk	235
Gambar 5-33	Penggunaan Pengetesan tanpa Pancang pada Instalasi Switching Jarak Jauh	235
Gambar 5-34	Penggunaan Pengetesen Tahanan Tanah Terpilih pada Sistem Penangkal Petir	235
Gambar 5-35	Mekanik field meter	235
Gambar 5-36	Rangkaian Elektronik Field Meter Statik	236
Gambar 5-37	Hasil pengukuran tegangan	237
Gambar 5-38	Field Meter Statik	237
Gambar 5-39a	Rotating Shutters pada Permukaan Belakang Field Meter	238
Gambar 5-39b	Field Meter Digunakan Diluar Ruangan	238
Gambar 5-40	Ukuran field meter statik	239
Gambar 5-41	Letrak Pin Field Meter Statik	240
Gambar 5-42	Aluminium-Clamp dengan Ulir	240
Gambar 5-43	Instrumen Field Meter Digital	241
Gambar 5-44	Display Field Meter Digital	242
Gambar 5-45	Smart field meter	244
Gambar 5-46	Aplikasi smart field meter	245
Gambar 5-47	Frekuensi respon	245
Gambar 6-1	Contoh Generator Fungsi	247
Gambar 6-2	Blok Diagram Generator Fungsi	249
Gambar 6-3	Gambar Troubel Shooting Menggunakan Teknik Signal Tracing	251
Gambar 6-4	Penggunaan Generator Fungsi Sebagai Kombinasi Bias dan Sumber Sinyal	252
Gambar 6-5	Karakteristik Amplifier pada Overload	253
Gambar 6-6	Setting Peralatan dan Pengukuran Respon Frekuensi	255
Gambar 6-7	Peragaan Respon Frekuensi Audio Amplifier	255
Gambar 6-8	Pengaruh Variasi Tone Kontrol	256
Gambar 6-9a	Pengetesan Sistem Speaker	257
Gambar 6-9b	Karakteristik Pengetesan Sistem Speaker dan Rangkaian Impedansi	257
Gambar 6-10	Pengoperasian Generator RF	259

Gambar 6-11	Rangkaian Direct Digital Synthesis	260
Gambar 6-12	Presentasi Gelombang Sinus dalam Memori Gelombang	261
Gambar 6-13	Phase Accumulator Circuitry	262
Gambar 6-14	Bentuk gelombang arbitrary dengan diskontinyuitas	264
Gambar 6-15	Spektrum bentuk gelombang di atas pada 100 kHz	264
Gambar 6-16	Rangkaian pembangkit bentuk gelombang kotak	265
Gambar 6 -17	Rangkaian pembangkit bentuk gelombang pulsa	266
Gambar 6-18	Parameter bentuk gelombang pulsa	266
Gambar 6-19	Rangkaian kendali amplitudo output	269
Gambar 6-20	Impedansi keluaran generator fungsi	269
Gambar 6-21	Pengaruh rangkaian tertutup ground	271
Gambar 6-22	Nilai tegangan yang penting pada gelombang sinus	272
Gambar 6-23	Modulasi amplitudo	274
Gambar 6-24	Modulasi frekuensi	275
Gambar 6-25	Frequensi shift keying	275
Gambar 6-26	Fekuensi sapuan	276
Gambar 6-27	Sweep with marker at DUT resonance	277
Gambar 6-28	Bentuk gelombang keluaran syn dan tiga siklus bentuk gelombang burst	278
Gambar 6-29	Konfigurasi dua instrumen	278
Gambar 6-30	Pengukuran lebar band dari filter bandpass dan penguat IF	280
Gambar 6-31	Bentuk gelombang keluaran generator fungsi	281
Gambar 6-32	Pelacakan Penganalisa spektrum	281
Gambar 6-33	Alignment penerima AM	283
Gambar 6-34	Alignment dari penerima IF komunikasi FM dan diskriminator	284
Gambar 7-1	Pengambilan Data dengan CRO	288
Gambar 7-2	Peraga Bentuk Gelombang Komponen X, Y, Z	289
Gambar 7-3	Bentuk Gelombang pada Umumnya	290
Gambar 7-4	Sumber-sumber Bentuk Gelombang pada Umumnya	290
Gambar 7-5	Gelombang Sinus	291
Gambar 7-6	Bentuk Gelombang Kotak dan Segiempat	291
Gambar 7-7	Bentuk Gelombang Gigi Gergaji dan Segitiga	291
Gambar 7-8	Step, Pulsa dan Rentetan Pulsa	292
Gambar 7-9	Bentuk Gelombang Komplek Video Komposit	293
Gambar 7-10	Frekuensi dan Perioda Gelombang Sinus	293
Gambar 7-11	Amplitudo dan Derajat Gelombang Sinus	294
Gambar 7-12	Pergeseran Pasa	295
Gambar 7-13	Operasi Dasar CRO	296
Gambar 7-14	Hubungan Basis Waktu Masukan dan Tampilan	298
Gambar 7-15	Struktur Tabung Gambar	298
Gambar 7-16	Sistem Pembelokan Berkas Elektron	299
Gambar 7-17	Blok Diagram CRO Analog	301
Gambar 7-18	Blok Diagram CRO Free Running	303

Gambar 7-19	Blok Diagram Osiloskop Terpicu	305
Gambar 7-20	Peraga Osiloskop Free Running	055
Gambar 7-21	Peraga Osiloskop Terpicu	305
Gambar 7-22	Blok Diagram CRO Jejak Rangkap	306
Gambar 7-23	Diagram Blok Osiloskop Berkas Rangkap yang Disederhanakan	308
Gambar 7-24	Tabung Penyimpan dengan Sasaran Ganda dan Senapan Elektron	310
Gambar 7-25	CRT Menyimpan dengan Sasaran Ganda dan Dua Senapan Elektron	310
Gambar 7-26	Blok Diagram Osiloskop Digital	314
Gambar 7-27	Pengambilan Sampel Real Time	315
Gambar 7-28	Interpolasi Sinus dan Linier	315
Gambar 7-29	Akusisi Pembentukan Gelombang	316
Gambar 7-30	CRO Function Generator	316
Gambar 7-31	Fungsi Tombol Panel Depan CRO	320
Gambar 7-32	Pengawatan Kalibrasi	322
Gambar 7-33	Bentuk Gelombang Kalibrasi	322
Gambar 7-34	Berkas Elektron Senter Tengah	323
Gambar 7-35	Loncatan Pengukuran Tegangan DC	323
Gambar 7-36	Pengawatan Pengukuran dengan Function Generator	324
Gambar 7-37	Pengaturan Function Generator Panel Depan	324
Gambar 7-38	Pengaturan Frekuensi Sinyal	324
Gambar 7-39	Bentuk Gelombang V/div Kurang Besar	325
Gambar 7-40	Bentuk Gelombang Intensitas terlalu Besar	325
Gambar 7-41	Bentuk Gelombang Sinus	326
Gambar 7-42	Bentuk Gelombang Mode XY	326
Gambar 7-43	Pengukuran Frekuensi Langsung	327
Gambar 7-44	Pengawatan Pengukuran Frekuensi Langsung	328
Gambar 7-45	Pengukuran Frekuensi Model Lissayous	329
Gambar 7-46	Pengukuran Beda Pasa Langsung	329
Gambar 7-47	Perbandingan Frekuensi 1 : 3 Beda Pasa 90°	330
Gambar 7-48	Beda Pasa dan Beda Frekuensi Model Lissayous	330
Gambar 7-49	Mixed Storage Osciloscope (MSO)	331
Gambar 7-50	Arsitektur Pemrosesan Parallel dari Osiloskop Digital Pospor	332
Gambar 7-51	Peragaan Sinyal DP O	333
Gambar 7-52	Paket Pilihan Software	334
Gambar 7-53	Aplikasi Modul	334
Gambar 7-54	Modul Video	334
Gambar 7-55	Pengembangan Analisis	334
Gambar 7-56	Tombol Pengendali Tradisional	335
Gambar 7-57	Peraga Sensitif Tekanan	335
Gambar 7-58	Menggunakan Pengendali Grafik	335
Gambar 7-59	Osiloskop Portable	335
Gambar 7-60	Probe Pasip Tipikal beserta Asesorisnya	337
Gambar 7-61	Probe Performansi Tinggi	337
Gambar 7-62	Probe Sinyal Terintegrasi	338

Gambar 7-63	Probe Reliabel Khusus Pin IC	338
Gambar 7-64	Hasil dengan Probe Dikompensasi dengan benar	340
Gambar 7-65	Hasil dengan Probe Tidak Dikompensasi	340
Gambar 7-66	Hasil dengan Probe Dikompensasi dengan kompensasi berlebihan	340
Gambar 7-67	Tegangan Puncak ke Puncak	341
Gambar 7-68	Pengukuran Tegangan Senter Horizontal	341
Gambar 7-69	Pengukuran Tegangan Senter Vertikal	341
Gambar 7-70	Pengukuran rise time dan lebar pulsa	343
Gambar 8-1	Kerja frekuensi meter jenis batang getar	345
Gambar 8-2	Prinsip frekuensi meter jenis batang getar	346
Gambar 8-3	Bentuk frekuensi meter batang getar	346
Gambar 8-4	Prinsip frekuensi meter jenis meter pembagi	347
Gambar 8-5	Prinsip alat ukur frekuensi besi putar	348
Gambar 8-6	Bentuk frekuensi meter analog	348
Gambar 8-7	Rangkaian dasar meter frekuensi digital	349
Gambar 8-8	Blok Diagram Pembentukan Time Base	350
Gambar 8-9	Pernyataan simbolik dari rangkaian flip-flop	351
Gambar 8-10	Rangkaian flip-flop (multivibrator bistable)	351
Gambar 8-11	Rangkaian AND	351
Gambar 8-12	Tabel kebenaran dari suatu rangkaian AND	352
Gambar 8-13	Rangkaian untuk mengukur frekuensi	352
Gambar 8-14	Rangkaian digital frekuensi meter	353
Gambar 8-15	Blok diagram dari counter elektronik yang bekerja sebagai pengukur frekuensi	355
Gambar 8-16	Konversi Frekuensi Hiterodin	356
Gambar 8-17	Gambar putaran drum menghasilkan 10 pulsa perputaran untuk digunakan dengan counter	357
Gambar 8-18	Diagram blok counter pada mode kerja perioda tungal dan perioda ganda rata-rata	358
Gambar 8-19	Blok diagram counter yang bekerja sebagai perbandingan dan perbandingan ganda	359
Gambar 8-20	Blok diagram counter sebagai pengukur interval waktu	360
Gambar 8-21	Trigger level control	361
Gambar 8-22	Slope triggering	361
Gambar 8-23	Pengukuran waktu delay suatu relay	362
Gambar 8-24	Gating error	365
Gambar 8-25	Kalibrasi sumber frekuensi lokal	367
Gambar 8-26	Perubahan frekuensi vs waktu untuk ”oven controlled crystal”	368
Gambar 9-1	Langkah sapuan penganalisa spektrum pada serangkaian unsur frekuensi seringkali terjadi kesalahan transien diluar arus sapuan jalur yang digaris kuning	372
Gambar 9-2	Arsitektur tipikal penganalisa spektrum sapuan	374
Gambar 9-3	Blok diagram VSA sederhana	375
Gambar 9-4	Arsitektur tipikal penganalisa spektrum waktu riil	376
Gambar 9-5	Sampel, bingkai dan blok hirarki memori dari	377

	RSA	
Gambar 9-6	Penganalisa spektrum waktu riil blok akuisisi dan pemrosesan	378
Gambar 9-7	Penggunaan topeng frekuensi pada pemicuan ranah frekuensi waktu riil	379
Gambar 9-8	Topeng frekuensi pada level burst rendah	380
Gambar 9-9	Penggunaan topeng frekuensi untuk memicu sinyal berada pada sinyal besar sinyal tertentu dalam lingkungan spectrum kacau	380
Gambar 9-10	Peraga spektogram	381
Gambar 9-11	Pandangan waktu dikorelasikan, peraga daya terhadap frekuensi (kiri) dan spektogram (kanan)	381
Gambar 9-12	Ilustrasi dari beberapa waktu dikorelasikan disediakan untuk pengukuran pada RTSA	382
Gambar 9-13	Pandangan multi ranah menunjukan daya terhadap waktu, daya terhadap frekuensi dan demodulasi FM	383
Gambar 9-14	Pandangan multi ranah menunjukan spektogram daya terhadap frekuensi, daya terhadap waktu	383
Gambar 9-15	Blok diagram pemrosesan sinyal digital pada penganalisa spektrum waktu riil	385
Gambar 9-16	Diagram pengubah digital turun	386
Gambar 9-17	Informasi passband dipertahankan dalam I dan Q terjadi pada setengah kecepatan sampel	387
Gambar 9-18	Contoh lebar band pengambilan lebar	388
Gambar 9-19	Contoh lebar band pengambilan sempit	388
Gambar 9-20	Pemicuan waktu riil	390
Gambar 9-21	Pemicuan sistem akuisisi digital	391
Gambar 9-22	Proses pemicuan penganalisa spektrum waktu riil	393
Gambar 9-23	Definisi topeng frekuensi	395
Gambar 9-24	Spectrogram menunjukkan sinyal transien diatur pada pembawa. Kursor diatur pada titik picu sehingga data sebelum picu ditampilkan, diatas garis kursor dan data setelah picu diperagakan dibawah garis kursor. Garis sempit putih pada sisi kiri daerah biru dinotasikan data setelah picu.	395
Gambar 9-25	Satu bingkai spektogram yang menunjukkan kejadian picu dimana sinyal transien terjadi disekitar topeng frekuensi	398
Gambar 9-26	Tiga bingkai sampel Sinyal Ranah Waktu	398
Gambar 9-27	Diskontinuitas yang disebabkan oleh ekstensi periodic dari sampel dan bingkai tunggal	398
Gambar 9-28	Profil jendela Blackman-Harris 4B (BH4B)	399
Gambar 9-29	Sinyal akuisisi, pemrosesan dan peraga menggunakan bingkai overlap	400
Gambar 9-30	Vektor besaran dan Pasa	401
Gambar 9-31	Typical Sistem Telekomunikasi digital	402
Gambar 9-32	Blok diagram analisa modulasi RSA	403

Gambar 9-33	Spektogram frekuensi sinyal hopping mode SA waktu riil	405
Gambar 9-34	Beberapa blok yang diperoleh dengan menggunakan picu frekuensi untuk mengukur topeng pengulangan frekuensi transien pensaklaran	405
Gambar 9-35	Mode SA standar menunjukkan pengukuran frekuensi diatas 1GHZ menggunakan span maxhold	406
Gambar 9-36	Perbandingan spektogram frekuensi terhadap waktu	406
Gambar 9-37	Spektogram pengesetan frekuensi di atas 5 MHz of dan waktu 35 ms	408
Gambar 9-38	Frekuensi terhadap waktu pengesetan di atas 5 MHz of dan waktu 25 ms	408
Gambar 9-39	Pengesetan frekuensi di atas 50 Hz dari frekuensi dan waktu 1 ms yang diperbesar	408
Gambar 9-40	Peraga daya terhadap waktu	409
Gambar 9-41	Pengukuran CCDF	409
Gambar 9-42	Pengukuranpengaturan transien I/Q terhadap waktu untuk data	410
Gambar 9-43	Analisa demodulasi AM sinyal pulsa dengan menggunakan pengunci pergeseran amplitudo	410
Gambar 9-44	Analisa demodulasi FM sinyal yang dimodulasi dengan sinus	410
Gambar 9-45	Analisa demodulasi PM pasa tak stabil melebihi panjang burst.	410
Gambar 9-46	Analisa EVM dari waktu ke waktu sinyal 16 QAM mengungkapkan distorsi amplitudo	411
Gambar 9-47	Peraga konstelasi menunjukkan pasa	411
Gambar 9-48	Peraga diagram mata menunjukkan kesalahan besaran rendah dalam sinyal PDC	412
Gambar 9-49	Analisa modulasi W-CDMA handset dibuka loop penendali daya. Peragaan konstelasi (rendah kanan) menunjukkan kesalahan berkaitan dengan glitch besaryang terjad selama level transisi yang dapat dilihat dalam hubungan daya terhadap waktu (atas kiri)	412
Gambar 9-50	Spektogram, konstelasi, EVM dan kesalahan pasa terhadap waktu dari frekuensi hopping sinyal	412
Gambar 9-51	Ilustrasi peraga codogram	413
Gambar 9-52	Pengukuran kodogram dari mode W-CDMA diringkas kesalahan pasa terhadap waktu dari frekuensi hopping sinyal	413
Gambar 9-53	Macam-macam model penganalisa spectrum di pasaran	414
Gambar 9-54	Penempatan Marker pada sinyal 10 MHz	417
Gambar 9-55	Penggunaan Marker Fungsi Delta	418

Gambar 9-56	Pengaturan Pencapaian Dua Sinyal	419
Gambar 9-57	Sinyal Amplitudo Sama Belum Terpecahkan	420
Gambar 9-58	Resolusi Sinyal Amplitudo Sama Sebelum Lebar band Video Dikurangi	420
Gambar 9-59	Pencacah Menggunakan Penanda	422
Gambar 9-60	Pengukuran Sinyal Terhadap Noise	423
Gambar 9-61	Sinyal AM	425
Gambar 9-62	Pengukuran Modulasi Dalam Span Nol	425
Gambar 9-63	Pengukuran Modulasi Dalam Span Nol	426
Gambar 9-64	Pengukuran Modulasi Dalam Span Nol	426
Gambar 9-65	Pengukuran Parameter Waktu	426
Gambar 9-66	Sinyal AM Demodulasi Kontinyu	427
Gambar 9-67	Menetapkan titik Offset	429
Gambar 9-68	Menentukan Offset	429
Gambar 9-69	Demodulasi Sinyal Broadcast	430
Gambar 10-1	Penjejakan bingkai gambar	432
Gambar 10-2	Pola standar EIA	435
Gambar 10-3	Tanda panah pengetesan bingkai	436
Gambar 10-4	Pengujian pemusatan dan sumbu horisontal	437
Gambar 10-5	Pengetesan linieritas vertikal horisontal	438
Gambar 10-6	Pengetesan aspek perbandingan dan kontras	439
Gambar 10-7	Pengetesan interfacing	440
Gambar 10-8	Pengetesan resolusi horisontal	441
Gambar 10-9	Pengetesan ringing	443
Gambar 10-10	Chart bola pengecekan linieritas	445
Gambar 10-11	Pola bola untuk pengetesan linieritas kamera	446
Gambar 10-12	Sinyal batang warna standar	447
Gambar 10-13	Pola putih, I dan Q	447
Gambar 10-14	Bentuk gelombang tangga	448
Gambar 10-15	Level sinkronisasi	449
Gambar 10-16	Pengetesan bidang putih penuh	449
Gambar 10-17	Pengetesan bidang warna putih 75%	450
Gambar 10-18	Pola jendela pengecekan frekuensi rendah	451
Gambar 10-19	Pengetesan puritas	451
Gambar 10-20	Pengetesan linieritas sistem	452
Gambar 10-21	Pengetesan ramp termodulasi	453
Gambar 10-22	Pengaturan konvergensi	454
Gambar 10-23	Pengetesan area gambar aman	454
Gambar 10-24	Blok diagram pembangkit pola	457
Gambar 10-25	Tombol panel depan pembagkit pola	458
Gambar 10-26	Pengawatan penggunan pola non video komposit	460
Gambar 10-27	Pengawatan pengujian lebar penalaan tuner	461
Gambar 10-28	Pattern generator dengan TV pengetesan fungsi	464
Gambar 10-29	Model-model pembagkit pola di pasaran	465
Gambar 10-30	Blok Diagram Penerima Televisi BW	466
Gambar 10-31	Pola pengetesan sinyal video	467
Gambar 11-1	Bagan Serial Buses Mesin Tester	468
Gambar 11-2	Mesin tester	469
Gambar 11-3	Mixer Signal Osciloscope (MSO)	470

Gambar 11-4	Pengambilan Gambar Ganda SPI dan CAN dengan Menggunakan MSO	471
Gambar 11-5	Kesalahan acak yang teramati dalam dekode CAN pada bingkai data 1D:07F HEX	473
Gambar 11-6	Pemicuan pada CAN bingkai error mengisolasi perbedaan akuisisi CAN pada bingkai transmisi pengulangan bentuk gelombang glitch	475
Gambar 11-7	Perbesaran bentuk gelombang glitch pada CAN	476
Gambar 11-8	Lebar pulsa pemicu pengulangan sumber acak dan glitch	477
Gambar 11-9	Masukan dan keluaran ECU	478
Gambar 11-10	Rak PC Mountable	480
Gambar 11-11	Serial communications	481
Gambar 11-12	Modul variasi protocol serial	482
Gambar 11-13	Rangkaian Card breadboard	483
Gambar 11-14	Saklar beban tipikal	484
Gambar 11-15	Pengawatan *"m" instruments x 4 2-wire busses x "n" DUT pins "m" instruments x 4 2-wire busses x "n" DUT pins*	485
Gambar 11-16	Perancangan system fungsi tes elektronik otomotif	486
Gambar 11-17	Bentuk gelombang sapuan untuk keempat sensor roda	487
Gambar 11-18	Respon ABS/TC ECM terhadap masukan VRS	488
Gambar 11-19	Pengarah solenoid sisi bawah	488
Gambar 11-20	Profil tegangan deaktivasi solenoid	489
Gambar 11-21	Penerapan pulsa pengetesan untuk menetukan system integritas	490
Gambar 11-22	Profil arus solenoid	491
Gambar 11-23	Modul bodi kontrol	492
Gambar 11-24	Pemancar	492
Gambar 11-25	Aliran fungsi aksi immobilizer	494
Gambar 11-26	Immobilizer	495
Gambar 11-27	Pohon keputusan yang digunakan respon ECM	496
Gambar 11-28	Aliran aksi fungsionalitas TPMS	497
Gambar 11-29	Deviasi frekuensi ESA4402B	498
Gambar 11-30	Data bit pada ESA4402B	499
Gambar 11-31	Pengaturan kalibrasi pada umumnya	500
Gambar 11-32	Mesin Tester	501
Gambar 11-33	Piranti Scan	504
Gambar 11-34	Macam-macam peralatan diagnosa mesin	505
Gambar 11-35	Pemasangan alat uji	505
Gambar 11-36	Tombol 24-56 penganalisa gas	507
Gambar 11-37	Halaman manajer aplikasi	507
Gambar 11-38	Halaman pilihan bahasa	507
Gambar 11-39	Halaman fole manajer	508
Gambar 11-40	Halaman inisialisasi	509
Gambar 11-41	Pilihan icon	510
Gambar 11-42	Tampilan hasil tes standar	511
Gambar 11-43	Halaman tes standar	512

Gambar 11-44	Pilihan bahan bakar	513
Gambar 11-45	Peraga jumlah kendaraan yang diuji	513
Gambar 11-46	Kurva kandungan gas	514
Gambar 11-47	Hitogram gas kendaraan	515
Gambar 11-48	Gambar posisi sensor oksigen	516
Gambar 11-49	Precleaner transparan eksternal	517
Gambar 12-1	Macam-macam Tampilan GPS	519
Gambar 12-2	Peralatan system posisi global	520
Gambar 12-3	Fungsi dasar GPS	521
Gambar 12-4	Segmen ruang	521
Gambar 12-5	Posisi satelit	522
Gambar 12-6	Menunjukan cakupan efektif	522
Gambar 12-7	Posisi 28 satelit pada jam 12 UTC pada tanggal 14 April 2001	523
Gambar 12-8	Konstruksi satelit	523
Gambar 12-9	Blok diagram system posisi global	524
Gambar 12-10	Pseudo Random Noise	526
Gambar 12-11	Posisi Lokasi Segmen Kontrol	527
Gambar 12-12	Bidang implemenasi GPS	527
Gambar 12-13	Sinyal system posisi global	528
Gambar 12-14	Pendeteksian kapal	528
Gambar 12-15	Pendeteksian posisi oran ditengah lautan	529
Gambar 12-16	Pemanfaatan GPS untuk pengukuran tanah	529
Gambar 12-17	GPS portable sederhana	530
Gambar 12-18	Penentuan posisi dengan 3 satelit	530
Gambar 12-19	Penentuan posisi dengan 4 satelit	531
Gambar 12-20	Hubungan pulsa satelit dengan penerima	531
Gambar 12-21	Penentuan posisi dengan 4 satelit	532
Gambar 12-22	Gambar perhitungan ?t	532
Gambar 12-23	Rambatan gelombang dari lapisan ionosper	534
Gambar 12-24	GPS dengan fekuensi ganda	535
Gambar 12-25	Antena cincin	536
Gambar 12-26	Terjadinya multipath	536
Gambar 12-27	Pengukuran DOP	536
Gambar 12-28	Satelit geometri PDOP	537
Gambar 12-29	Pengaruh Gugusan bintang pada nilai PDOP	538
Gambar 12-30	Koreksi perbedaan posisi	539
Gambar 12-31	Hubungan stasiun acuan dalam pengukuran	540
Gambar 12-32	Pengukuran nilai koreksi cakupan luas	540
Gambar 12-33	Pengkuran nilai koreksi cakupan semu	541
Gambar 12-34	GPS Maestro 4050 Berbagai Sudut Pandang	542
Gambar 12-35	Pemasangan GPS	543
Gambar 12-36	Pemasangan Piringan Perekat	544
Gambar 12-37	Pemasangan Baterai	544
Gambar 12-38	Pengaturan Volume	545
Gambar 12-39	Pengaturan Tingkat Kecerahan Gambar	545
Gambar 12-40	Menu Halaman 1	546
Gambar 12-41	Menu Halaman 2	547
Gambar 12-42	Keypad	548
Gambar 12-43	Layar Peta Mode Normal	549

Gambar 12-44	Layar Peta Mode Perjalanan	550
Gambar 12-45	Layar Peta Menunjukan Perjalanan	551
Gambar 12-46a	Daftar Katagori	551
Gambar 12-46b	Daftar Sub Katagori Belanja	551
Gambar 12-47	Perbelanjaan Terdekat dengan Posisi Saat itu	552
Gambar 12-48	Masukan Nama Perjalanan	552
Gambar 12-49	Tampilan Add	552
Gambar 12-50	Tampilan Save	553
Gambar 12-52	Pengaturan Tujuan	553
Gambar 12-53	Ketuk Sears Buka Menu	553
Gambar 13-1	Hasil scan otak MRI	555
Gambar 13-2	Mesin MRI	556
Gambar 13-3	MRI panjang terbuka tipikal	557
Gambar 13-4	Scaner MRI sebanding antara panjang dan pendeknya	557
Gambar 13-5	Scaner MRI berdiri	557
Gambar 13-6	Scaner MRI terbuka	557
Gambar 13-7	Blok diagram rangkaian MRI	558
Gambar 13-8	Ruang pengendali pengoperasian MRI	559
Gambar 13-9	Scan MRI tangan patah	560
Gambar 13-10	Tampak dalam gambar dongkrak kasur jerami terisi dihisap ke dalam sistem MRI	561
Gambar 13-11	Poto perbandingan gambar otak kiri laki-laki atelitik muda (25^{t} th), tengah (86 th) dan umur (76 th) mempunyai penyakit Alzheimer's semua digambar dalam tingkat yang sama	562
Gambar 13-12	menunjukkan pertumbuhan tumor dalam otak wanita dilihat dari irisan lateral.	563
Gambar 13-13	Organ dalam digambar dengan MRI	564
Gambar 13-14	Perbandingan CAT scan, dan MRI cenderung lebih detail dan kontras	565
Gambar 13-15	Scan MRI menunjukkan tubuh bagian atas dilihat dari samping sehingga tulang tulang belakang kelihatan jelas	565
Gambar 13-16	Irisan Axial, coronal dan sagitall	567
Gambar 13-17	MRI gambar kepala irisan tunggal	569
Gambar 13-18	Urutan temporal scan FMRI (irisan tunggal)	569
Gambar 13-19	aktivasi otak 3D	569
Gambar 13-20	Posisi CT scan	570
Gambar 13-21	Scan irisan otak	570
Gambar 13-22	Scan dada	571
Gambar 13-23	Gambar tabung dasar CT scan	572
Gambar 13-24	Emisi cahaya atom	572
Gambar 13-25	Hasil CT scan otak	573
Gambar 13-26	Mesin sinar x	573
Gambar 13-27	Pancaran poton	574
Gambar 13-28	Hasil CAT jantung dan torax	575
Gambar 13-29	Ide dasar penyinaran sinar x	576
Gambar 13-30	Prinsip dasar penyinaran sinar x pada CAT dan hasil	576

Gambar 13-31	CT scan multi irisan	578
Gambar 13-32	Tabung dasar mesin CT scan	579
Gambar 13-33	Ruang kontrol dan pelaksanaan scanning	579
Gambar 13-34	Jaringan sistem manajemen gambar	580
Gambar 13-35	Hasil CT scan otak	582
Gambar 13-36	ultrasonik pertumbuhan janin (umur 12 minggu) dalam kandungan ibu. Pandngan samping bayi ditunjukkan (kanan ke kiri) kepala, leher, badan dan kaki	583
Gambar 13-37	bayi dalam kandungan dilihat dengan sonogram	584
Gambar 13-38	perkembangan bayi 29 minggu ultrasonik 3D	594
Gambar 13-39	Pengujian Ultasonik Selama kehamilan	585
Gambar 13-40	Sonograph menunjukkan gambar kepala janin dalam kandungan	585
Gambar 13-41	Medical sonographic scanner	587
Gambar 13-42	Sensor suara	588
Gambar 13-43	Spektrum Doppler Arteri	590
Gambar 13-44	Spektrum warna Arteri yang sama	590
Gambar 13-45	Ultrasonik Doppler untuk mengukur aliran darah melalui jantung. Arah aliran darah ditunjukkan pada layar dengan warna yangberbeda	590
Gambar 13-46	Bagian-bagian mesin ultrasonik	592
Gambar 13-47	Perkembangan janin dalam kandungan	594
Gambar 13-48	Peralatan Positron Emisi Tomography (PET)	599
Gambar 13-49	Gambar skeletal anomali	600
Gambar 13-50	Warna hijau kelenjar ludah, warna merah gonfok adenomas	600
Gambar 13-51	Mesin PET	601
Gambar 13-52	Gambar Scanner PET lengkap	601
Gambar 13-53	Hasil Scan kepala dengan SPECT	602
Gambar 13-54	Refleksi sinar pada proses penggambaran	603
Gambar 13-55	Gambar otak normal yang digambarkan dalam 3 posisi yang berbeda	603
Gambar 13-56	Pengurangan alkohol	604
Gambar 13-57	Penambahan alkohol	604
Gambar 13-58	Hasil SPECT dan CT dari torso bagian atas tubuh manusia ditunjukkan kedua tulang dan organ dalam	604
Gambar 13-59	Cylodran bagian instrumen PET yang digunakan untuk menghasilkan radioisoto umur pendek Menunjukkan cyclotron bagian instrumen PET	605
Gambar 13-60	PET mengungkapkan kemajuan kanker dada kiri pasien	605
Gambar 13-61	Rangkaian Irisan PET menunjukkan distribusi kondisi anomalous otak	606
Gambar 13-62	Scan PET dapat menunjukan pola dalam otak yang membantu dokter analisis parkinson	606
Gambar 13-63	Scan otak penderita Parkinson	606
Gambar 13-64	Perbandingan hasil MRI	607
Gambar 13-65	Hasil scan termal	608

LEMBAR PENGESAHAN

LAMPIRAN D

GLOSSARY

airbag deployment	Airbag adalah suatu pengekangan pasif (tidak memerlukan campur tangan manusia) di rancang dalam bentuk tas memompa ketika terjadi benturan. Terbuat dari bahan fleksibel yang dapat memompa bila terjadi tabrakan mobil.
akuisisi	Akuisisi data merupakan pencuplikan waktu riil untuk membangkitkan data yang dapat dimanipulasi oleh komputer.
amniocentesis	Amniocentesis adalah prosedur yang digunakan dalam mendiagnosa cacat janin pada awal trimester kedua kehamilan.
anti-aliasing	Dalam pemrosesan sinyal digital anti-aliasing merupakan teknik meminimkan aliasing pada saat merepresentasikan sinyal resolusi tinggi pada resolusi yang lebih rendah.
anti-lock brake	Anti-lock brakes dirancang untuk mencegah peluncuran dan membantu pengendara mempertahankan kendali kemudi selama situasi pemberhentian darurat
attenuator	Attenuator merupakan piranti elektronik yang mengurangi amplitudo atau daya sinyal tanpa membuat bentuk gelombang cacat. Attenuator biasanya biasanya berupa piranti pasip terdiri dari resistor.
Bandpass Filter	Penyarring frekuensi yang hanya melewatkan frekuensi menengah.
chip	Serpihan kristal tunggal yang berisi rangkaian terpadu.
claustrophobic	Tidak nyaman di ruang sempit, gelap tertutup.
Common Mode Rejection Ratio	Besaran yang dapat menunjukkan kualitas penguat beda merupakan perbandingan antara besarnya penguatan common dan penguatan penguat beda.
cyclotron	Unsur radiasi yang dihasikan oleh mesin scan sebelum pengujian dimulai.
Debug	Mengidentifikasi dan melokalisir letak kesalahan .

densifying	Perbandingan harga atas beribu-ribu nama merek produk untuk semua kebutuhan.
distorsi	Cacat gelombang
ECU test throughput	Piranti throughput misalnya perubahan RS 232 dengan CAN dan sebaliknya dapat membuat atau memecahkan performansi sitem pengetesan.
efek piezolistrik	Bila sumbu mekanik dari Kristal diberi tekanan maka akan timbul beda tegangan pada sumbu listrik. Bila pada sumbu listrik diberi tegangan maka akan terjadi perubahan keadaan disepanjang sumbu mekanik. Bila pada sumbu listrik diberi tegangan AC maka akan terjadi getaran di sumbu mekanik dengan frekuensi naturalnya. Semakin tipis Kristal frekuensi getar semakin tinggi.
elektron gun	Susunan elektroda yang menghasilkan berkas elektron yang dapat dikendalikan difokuskan dan dibelokkan sebagaimana dalam gambar tabung televisi.
electrocardiogram	Electrocardiogram, juga dinakaman EKG atau ECG, merupakan pengetesan sederhana yang mendeteksi dan merekam aktivitas kelistrikan jantung.
encrypte code	Kode yang digunakan dalam program Java , anda dapat menggunakan sistem manajemen menjaga profil pemakai dengan menggunakan passwaord.
fisiologi	Istilah dalam fisiologi yang berasal dari kata physics yang berarti alami dan logos yang berarti kata. Fisiologi merupakan bidang ilmu yang mempelajari berbagai fungsi organisme hidup.
gastrointestinal	Berkaitan dengan perut dan isi perut.
Glitch	Dalam elektronika, glitch adalah suatu sinyal listrik jangka waktu pendek yang pada umumnya hasil suatu kesalahan atau kesalahan disain
High Pass Filter	Penyaring frekuensi yang hanya melewatkan frekuensi tinggi
Immoblizer	Tidak ada definisi standar, merupakan keadaan yang tidak sesuai dengan perancangan.
Interlace	Dua bidang gambar yang tampak dalam satu layar televise, namun setiap bidang gambar di scan secara

	terpisah.
Interpolasi	Interpolasi adalah menghubungkan titik. Interpolasi linier sederhana menghubungkan titik sampel dengan garis lurus.
Indomitabel	Tidak mampu untuk diperdaya, ditundukkan; lunak, atau ditaklukkan; tak tertundukkan .
interferensi	Percampuan dua gelombang atau lebih dapat saling memperkuat atau melemahkan tergantung dari kedudukan pasa satu dengan yang lain.
intravascular	Dalam pembuluh darah
Intermittent	Selang waktu mulai dan berhenti berselang-seling dengan sebentar-sebentar sinonim dengan periodik
Intuitif	Tentang, berkenaan dengan, atau timbul dari intuisi
kompatibel	Dapat digunakan secara bersama-sama dengan tanpa merubah dan menambah peralatan lain dalam sistem. Misal penerima TV warna dan hitam putih untuk menerima siaran dari pemancar yang sama
Low Pass Filter	Penyaring frekuensi yang hanya melewatkan frekeunsi rendah.
luminansi	Istilah yang digunakan untuk menandai kecerahan atau hitam putihnya gambar televisi.
neonatal	Berkaitan dengan bayi baru.
noise	Sinyal yang tidak dikehendaki keberadaannya dalam sistem.
noise figure	Dalam telekomunikasi noise figure (NF) merupakan suatu ukuran degradasi dari perbandingan sinyal terhadap noise, yang disebabkan oleh komponen dalam sinyal RF.
osteoporosis	Pengapuran / pengkeroposan tulang
Partikel	Suatu bagian yang sangat kecil
Patologi forensic	Ilmu penyakit forensik adalah suatu cabang kedokteran yang terkait dengan menentukan penyebab kematian, pada umumnya untuk kasus hukum pidana dan kasus hukum perdata dalam beberapa yurisdiksi.

pacemaker	Pacemaker berupa alat kecil yang membantu detak jantung dengan simulasi listrik membantu mengendalikan irama jantung.
Penomena	Suatu kejadian, keadaan, atau fakta yang dapat diterima oleh pikiran sehat.
peripheral	Periperal merupakan piranti komputer seperti drive CD-ROM atau printer yang bukan merupakan bagian utama computer seperti memori, mikroprosesor. Periperal eksternal seperti mouse, keyboard, monitor, printer.
peripheral neuropathy	Peripheral neuropathy merupakan masalah dengan kegelisahan yang membawa informasi ke dan dari otak dan tulang belakang. Sakit ini mengakibatkan, hilangnya sensasi, dan ketidak-mampuan untuk mengendalikan otot.
portable	Dapat dijinjing tidak ditempatkan secara permanen.
protocol	Dalam teknologi informasi, protokol adalah satuan aturan yang khusus dalam koneksi telekomunikasi .
pseudo-range	Cakupan pengukuran semu digunakan bersama-sama dengan estimasi posisi SV yang didasarkan pada data empiris yang dikirim oleh masing-masing SV. Data orbital (empiris) memungkinkan penerima untuk menghitung posisi SV dalam tiga dimensi pada saat pengiriman sinyal secara berunyun.
radio isotop	Suatu versi elemen kimia yang memiliki inti tak sabil dan mengemisikan radiasi selama decay untuk membentuk kestabilan. Radio isotop penting digunakan dalam diagnosa medis untuk pengobatan dan penyelidikan.
radiactive decay	Radioactive decay merupakan suatu proses ketidakstabilan inti atom karena kehilangan energi berupa emisi radiasi dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik.
real time	waktu yang sebenarnya pada saat terjadinya proses.
Resolution	Kejelasan atau ketajaman gambar,
retrace	Kembalinya berkas elektron dari sistem scanning televisi sisi kanan layar ke sisi kiri layar monitor.

rise time	Waktu yang diperlukan pulsa untuk naik dari 10% amplitudo maksimum sampai 90%.
ringing	Dengan hanya satu sinyal yang diberikan pada terminal osiloskop dan yang lain tidak dihubungkan dapat dilihat adanya beberapa sinyal yang tidak berguna. Sinyal ringing tidak menambah amplitude tegangan, yang bertambah adalah frekuensinya karena factor ketiga.
scrambling	CSS, Content Scrambling System, merupakan system enkripsi lemah yang digunakan pada kebanyakan DVD komersial.
shadow mask	Lapisan logam berlubang di dalam monitor warna untuk meyakinkan bahwa berkas elektron hanya menumbuk titik pospor dengan warna yang benar dan tidak mengiluminasi lebih dari satu titik.
S/N Ratio	Perbandingn sinyal terhadap noise meruakan perbandingan dari sinyal yang dikehendaki terhadap sinyal yang tak diinginkan.
sweep vernier	Sapuan dari atas ke bawah untuk mengukur posisi terhadap skala.
tomography	Berkaitan dengan scan medis.
Transduser	Transduser merupakan suatu piranti yang dapat mengubah besaran non listrik menjadi besaran listrik dan sebaliknya.
transceiver	Pemancar dan penerima sinyal yang ditempatkan dalam satu kemasan.
transien	Transien dapat didefinisikan sebagai lonjakan kenaikkan arus yang mempunyai durasi 50 sampai 100 milidetik dan kembali normal pada tegangan sumber 28 Volt membutuhkan waktu 50 mili detik atau lebih.
troubleshooting	Proses pencarian letak gangguan atau kerusakan.
Vasodilatation	Pelebaran pembuluh darah.
Virtual	Virtual sekarang ini secara filosofi distilahkan sebagai sesuatu yang tidak nyata, namun memungkinkan untuk diperagakan sepenuh kualitas nyata.

ISBN 978-602-8320-11-5
ISBN 978-602-8320-13-9

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 26,554,00