



ELEKTRONIKA
Lanjutan

Elektronika Lanjut

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Elektronika Lanjut

Disusun Oleh: **Herman Dwi Surjono, Ph.D.**

© 2009 All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang

Penyunting : **Tim Cerdas Ulet Kreatif**

Perancang Sampul : **Dhega Febiharsa**

Tata Letak : **Dhega Febiharsa**

Diterbitkan Oleh:

Penerbit Cerdas Ulet Kreatif

Jl. Manggis 72 RT 03 RW 04 Jember Lor – Patrang

Jember - Jawa Timur 68118

Telp. 0331-422327 Faks. 0331422327

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Herman Dwi Surjono, **Elektronika Lanjut**/Herman Dwi Surjono, Penyunting:
Tim Cerdas Ulet Kreatif, 2009, 104 hlm; 14,8 x 21 cm.

ISBN 978-602-98174-6-1

1. Hukum Administrasi	I. Judul
II. Tim Cerdas Ulet Kreatif	104

Distributor:

Penerbit CERDAS ULET KREATIF

Website : www.cerdas.co.id - email : buku@cerdas.co.id

Cetakan Kedua, 2011

Undang-Undang RI Nomor 19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta

Ketentuan Pidana

Pasal 72 (ayat 2)

1. Barang Siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Kata Pengantar

Buku ini diperuntukkan bagi siapa saja yang ingin mengetahui elektronika baik secara teori, konsep dan penerapannya. Pembahasan dilakukan secara komprehensif dan mendalam mulai dari pemahaman konsep dasar hingga ke taraf kemampuan untuk menganalisis dan mendesain rangkaian elektronika. Penggunaan matematika tingkat tinggi diusahakan seminimal mungkin, sehingga buku ini bias digunakan oleh berbagai kalangan. Pembaca dapat beraktivitas dengan mudah karena didukung banyak contoh soal dalam hamper setiap pokok bahasan serta latihan soal pada setiap akhir bab. Beberapa rangkaian penguat sedapat mungkin diambilkan dari pengalaman praktikum.

Sebagai pengetahuan awal, pemakai buku ini harus memahami teori dasar rangkaian DC dan matematika dasar. Teori Thevenin, Norton, dan Superposisi juga digunakan dalam beberapa pokok bahasan. Di samping itu penguasaan penerapan hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan syarat mutlak terutama pada bagian analisis dan perancangan.

Bab 1 membahas bermacam-macam regulator tegangan beserta prinsip kerjanya. Bab 2 membahas tanggapan frekuensi beserta analisis frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Selanjutnya pada bab 3 dibahas berbagai rangkaian bertingkat mulai dari kaskade, darlington hingga CMOS. Pembahasan tentang penguat operasi yang didahului dengan penguat beda dan dilanjutkan dengan berbagai penggunaan Op-Amp seperti penguat inverting dan non-

inverting terdapat pada bab 4. Dan akhirnya bab 5 dari buku ini membahas umpan balik yang dimulai dari konsep dasar hingga analisis berbagai jenis umpan balik.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja. Saran-saran dari pembaca sangat diharapkan.

Yogyakarta, Agustus 2009

Penulis,

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika, FT- UNY

Daftar Isi

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. REGULATOR TEGANGAN	1
1.1. Pendahuluan	1
1.2. Regulator Tegangan Seri	2
1.3. Regulator Tegangan Paralel	6
1.4. Regulator Tegangan IC	8
1.5. Ringkasan	10
1.6. Soal Latihan	10
2. RESPON FREKUENSI	11
2.1. Pendahuluan	11
2.2. Tanggapan Frekuensi	12
2.3. Analisis Frekuensi Rendah	14
2.4. Respon Frekuensi Rendah	16
2.5. Respon Frekuensi Tinggi	22
2.6. Ringkasan	32
2.7. Soal Latihan	32
3. RANGKAIAN BERTINGKAT	35
3.1. Pendahuluan	35
3.2. Hubungan Kaskade	36
3.3. Hubungan Cascode	39
3.4. Hubungan Darlington	42
3.5. Hubungan Pasangan Umpan Balik (<i>Feedback Pair</i>)	45
3.6. Rangkaian CMOS	49
3.7. Ringkasan	51
3.8. Soal Latihan	52
4. PENGUAT OPERASI	53
4.1. Pendahuluan	53
4.2. Penguat Beda	53
4.3. Penguat Operasi (<i>Op-Amp</i>) Ideal	61
4.4. Penguat Inverting	63
4.5. Penguat Non-Inverting	64
4.6. Ringkasan	66
4.7. Soal Latihan	67
5. UMPAN BALIK	69
5.1. Pendahuluan	69
5.2. Konsep dan Jenis Umpan Balik	69
5.3. Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Seri	73
5.4. Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Paralel	79

5.5. Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Paralel	81
5.6. Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Seri	83
5.7. Ringkasan	85
5.8. Soal Latihan	86
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89
INDEKS	91

Bab 5

UMPAN BALIK

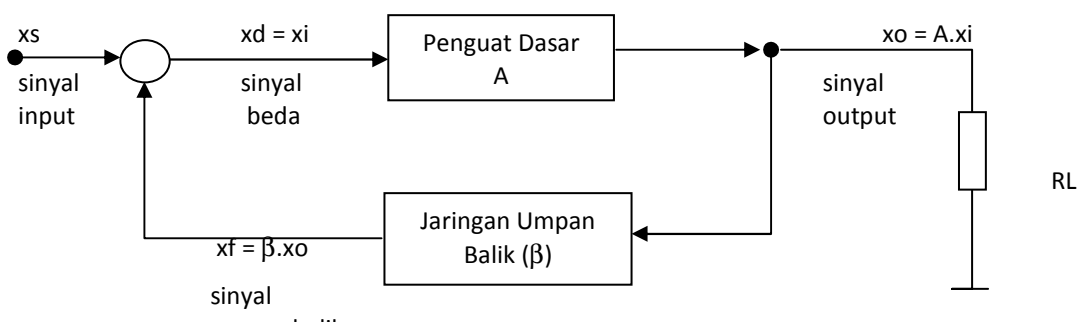
5.1 Pendahuluan

Umpan balik dalam suatu sistem penguat merupakan mekanisme pengembalian sebagian sinyal keluaran ke terminal masukan. Tergantung dari polaritas sinyal yang dikembalikan, maka umpan balik bisa terdiri atas umpan balik negatif dan umpan balik positif. Penguat dengan umpan balik negatif akan mempunyai faktor penguatan yang lebih kecil, akan tetapi memperbaiki beberapa parameter penguat lainnya. Sedangkan penguat umpan balik positif akan dipakai dalam rangkaian osilator. Pembicaraan pada bab ini akan dibatasi pada penguat dengan umpan balik negatif.

Pada bab ini akan dibahas konsep dasar umpan balik pada penguat dan analisis umpan balik pada berbagai jenis penguat. Jenis-jenis umpan balik tersebut misalnya, UB tegangan-seri, UB arus-seri, UB arus-paralel, dan UB tegangan-paralel.

5.2 Konsep dan Jenis Umpan Balik

Skema dasar penguat dengan umpan balik dapat dilihat pada gambar 53 di bawah ini.



Gambar 53. Skema penguat umpan balik

Dalam penguat umpan balik sebagian sinyal output diumpankan kembali ke terminal masukan melalui jaringan umpan balik. Sinyal umpan balik ini selanjutnya dicampur (dikurangkan atau dijumlahkan) dengan sinyal sumber sehingga menghasilkan sinyal masukan yang baru (sinyal beda).

Output mixer (pencampur) adalah:

$$x_d = x_s - x_f = x_i$$

Faktor umpan balik adalah:

$$\beta = x_f / x_o$$

Penguatan transfer yaitu faktor penguatan dari penguat dasar tanpa umpan balik dengan memperhitungkan pembebanan jaringan β , R_L , dan R_S adalah:

$$A = x_o / x_i$$

Dengan demikian, penguatan dengan umpan balik adalah:

$$A_f = x_o / x_s$$

$$A_f = (x_i \cdot A) / (x_i + x_f)$$

$$A_f = (x_i \cdot A) / (x_i \cdot (1 + x_f/x_i))$$

$$A_f = (x_i \cdot A) / (x_i \cdot (1 + (x_f/x_o) \cdot (x_o/x_i)))$$

Akhirnya diperoleh:

$$A_f = A / (1 + \beta \cdot A)$$

dimana : jika $|A_f| < |A|$, maka disebut umpan balik negatip
jika $|A_f| > |A|$, maka disebut umpan balik positif

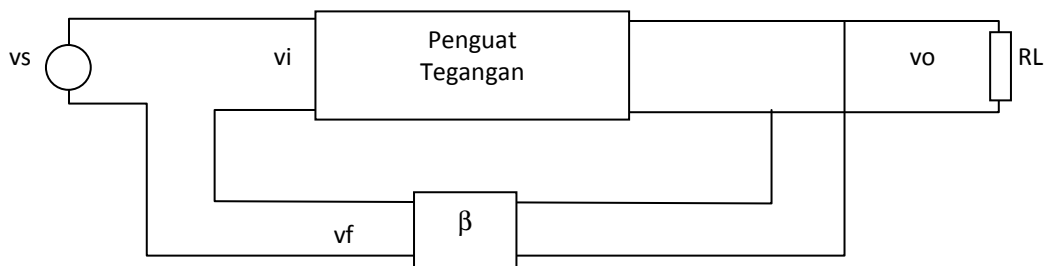
Yang dimaksud dengan penguat dasar dalam skema tersebut di atas adalah penguat tanpa umpan balik, tetapi tetap memperhitungkan pengaruh pembebanan yang disebabkan oleh jaringan umpan balik, sumber sinyal dan beban. Berdasarkan nilai relatif dari R_i dan R_o , maka penguat dasar dapat diklasifikasikan menjadi empat macam, yaitu:

1. Penguat Tegangan, yakni $A_v = v_o / v_s$, secara ideal penguat ini mempunyai $R_i = \infty$ dan $R_o = 0$
2. Penguat Arus, yakni $A_i = i_o / i_s$, secara ideal penguat ini mempunyai $R_i = 0$ dan $R_o = \infty$

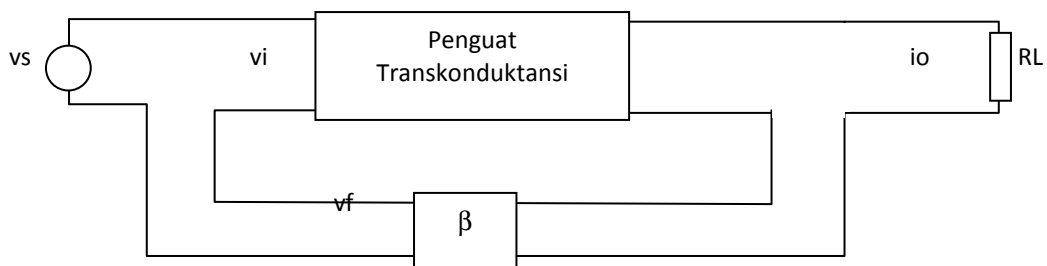
3. Penguat Transkonduktansi, yakni $G_m = i_o / v_s$, secara ideal penguat ini mempunyai $R_i = \infty$ dan $R_o = \infty$
4. Penguat Transresistansi, yakni $R_m = v_o / i_s$, secara ideal penguat ini mempunyai $R_i = 0$ dan $R_o = 0$

Keempat macam penguat dasar tersebut apabila diberi umpan balik akan menjadi empat jenis umpan balik yang berbeda, yakni UB tegangan-seri, UB arus-seri, UB arus-paralel, UB tegangan-paralel. Gambar 54 menunjukkan keempat jenis umpan balik tersebut.

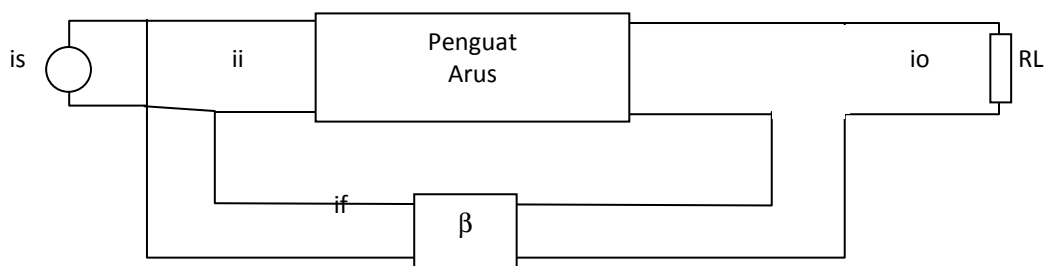
1. Penguat Tegangan dengan UB tegangan-seri



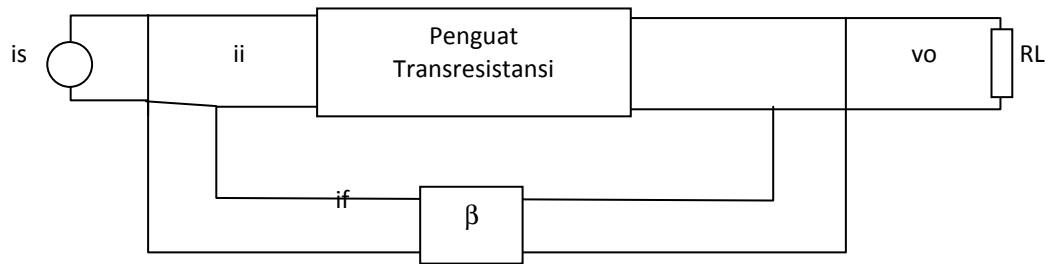
2. Penguat Transkonduktansi dengan UB arus-seri



3. Penguat Arus dengan UB arus-paralel



4. Penguat Transresistansi dengan UB tegangan-paralel



Gambar 54. Jenis-jenis Penguat dengan umpan balik

Dengan memperhatikan keempat jenis umpan balik dan masing-masing konfigurasi tersebut, maka suatu sebutan jenis umpan balik menyiratkan suatu makna pula. Umpan balik **tegangan-seri**, misalnya, berarti sinyal yang diambil dari output berupa **tegangan**, kemudian dikembalikan ke input melalui jaringan umpan balik secara **seri**. Demikian seterusnya berlaku pula untuk yang lain, misalnya umpan balik arus paralel, berarti sinyal yang diambil dari output berupa **arus**, dan dikembalikan ke input melalui jaringan umpan balik secara **paralel**. Pemahaman tentang jenis tegangan atau arus maupun secara seri atau paralel ini sangat penting untuk melakukan analisis penguat umpan balik.

Adapun beberapa petunjuk atau urutan untuk menganalisis rangkaian dengan umpan balik negatif adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi jenis Umpan Balik (UB).
2. Gambar rangkaian penguat tanpa umpan balik.
3. Pakai sumber Thevenin bila x_f adalah tegangan dan Norton bila x_f adalah arus.
4. Ganti tiap komponen aktif dengan model.
5. Tentukan x_f dan x_o , kemudian hitung $\beta = x_f/x_o$
6. Hitung A dengan menerapkan Kirchoff 1 dan 2.
7. Dengan A dan β , hitung D, Af, dst.

Untuk memudahkan analisis tersebut, maka dapat digunakan tabel 3 berikut.

Tabel 3. Tabel analisis penguat umpan balik

	Tegangan Seri	Arus Seri	Arus Paralel	Tegangan Paralel
Mencari Loop Input	$v_o = 0$	$i_o = 0$	$i_o = 0$	$v_o = 0$
Mencari Loop Output	$i_i = 0$	$i_i = 0$	$v_i = 0$	$v_i = 0$
D	$1 + \beta \cdot A_v$	$1 + \beta \cdot G_m$	$1 + \beta \cdot A_i$	$1 + \beta \cdot R_m$
Af	A_v/D	G_m/D	A_i/D	R_m/D
Rif	$R_i \cdot D$	$R_i \cdot D$	R_i/D	R_i/D
Rof	R_o/D	$R_o \cdot D$	$R_o \cdot D$	R_o/D
xf	tegangan	tegangan	arus	arus
xo	tegangan	arus	arus	tegangan

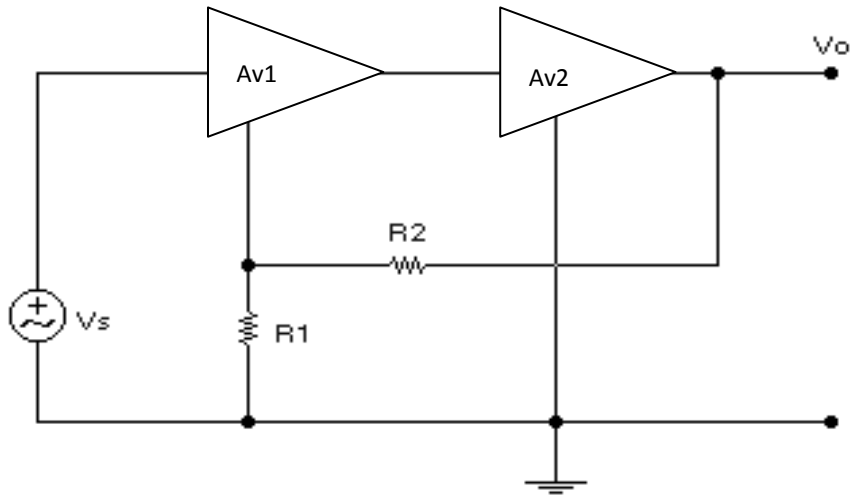
Beberapa keuntungan suatu penguat yang diberi umpan balik negatif adalah:

1. Penguatan relatif tidak tergantung dari parameter transistor.
2. Resistansi input dan output terkontrol.
3. Bandwidth tambah lebar (memperbaiki respon frekuensi).
4. Nonlinieritas dan distorsi menurun.
5. Noise berkurang.

Sedangkan kerugiannya adalah, bahwa faktor penguatan menjadi kecil.

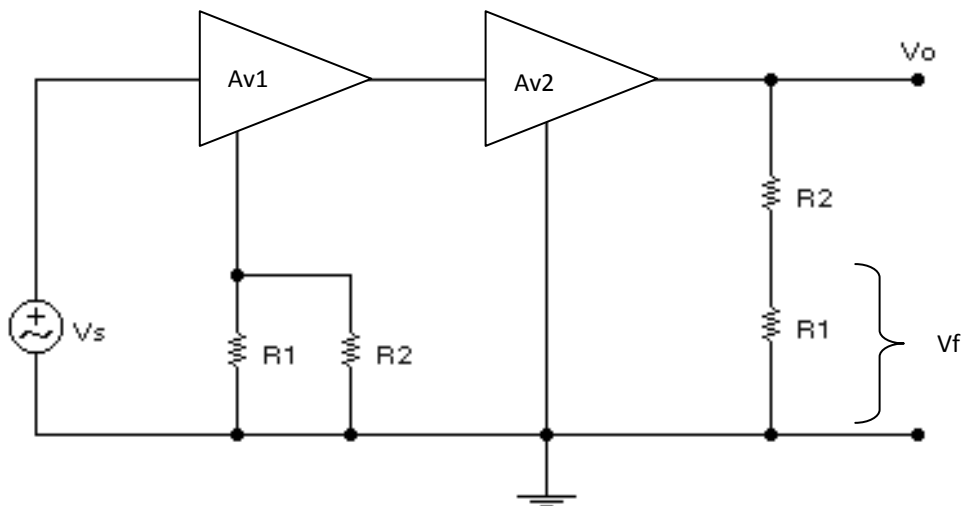
5.3 Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Seri

Blok diagram penguat dua tingkat yang menerapkan umpan balik tegangan seri terlihat pada gambar 55.



Gambar 55. Skema penguat dengan UB tegangan-seri

Langkah pertama dalam menganalisis rangkaian penguat dengan umpan balik adalah menentukan jenis umpan balik yang diterapkan. R1 dan R2 yang secara jelas digambarkan dalam skema tersebut merupakan jaringan umpan balik yang menghubungkan dari output penguat ke input penguat. Besaran yang diambil (oleh R2) dari output penguat berupa tegangan (x_o = tegangan), berarti jenis UB adalah tegangan. Sedangkan cara pengembalian sinyal tersebut adalah secara seri (berarti x_f = tegangan). Dengan demikian jenis umpan balik adalah UB tegangan-seri. Langkah selanjutnya adalah menggambarkan rangkaian ekuivalen tanpa umpan balik.

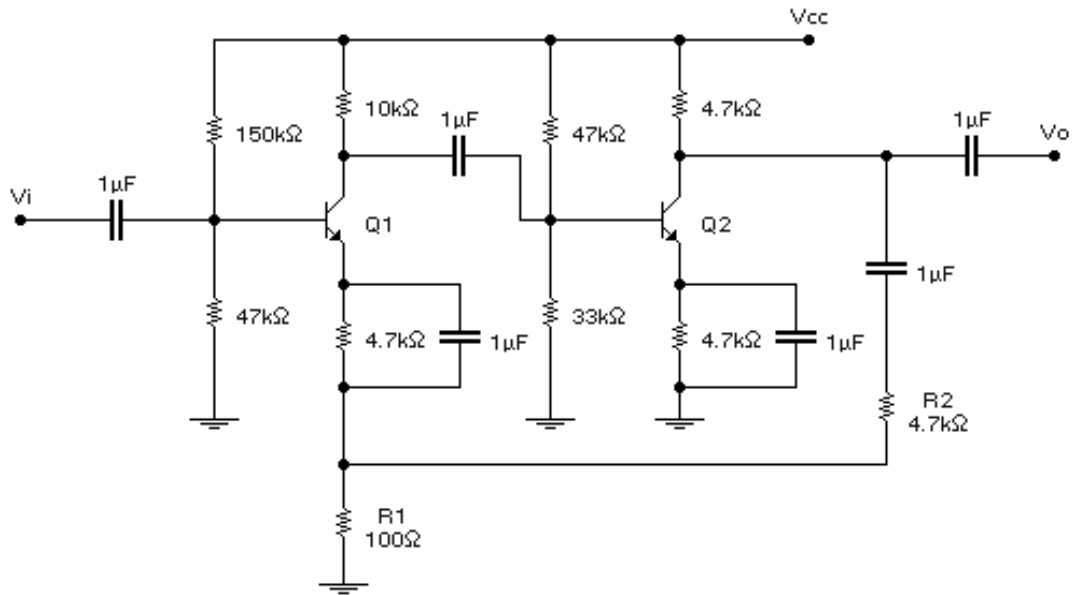


Gambar 56. Rangkaian ekuivalen tanpa umpan balik dari UB tegangan-seri

Sekali lagi yang perlu ditekankan adalah bahwa gambar 56 merupakan rangkaian ekuivalen **tanpa umpan balik** dari rangkaian umpan balik tegangan seri gambar 55. Jadi gambar 56 **bukan** ekuivalen dari gambar 55. Sebagaimana telah dijelaskan di depan, bahwa artinya **tanpa umpan balik** adalah meniadakan pengaruh (efek) umpan balik tetapi tetap memperhatikan pengaruh (efek) pembebanan jaringan umpan balik, RL, dan Rs. Untuk menentukan efek pembebanan maka perlu melihat petunjuk pada tabel 3. Untuk UB tegangan-seri, loop input ditentukan dengan membuat tegangan output nol ($V_o = 0$), sehingga R2 terhubung ke ground. Sedangkan loop output ditentukan dengan membuat arus input nol ($I_i = 0$), sehingga R1 menjadi seri dengan R2. Akhirnya diperolehlah rangkaian ekuivalen tanpa umpan balik seperti gambar 56 tersebut.

Langkah ketiga adalah menggunakan sumber Thevenin apabila x_f berupa tegangan dan sumber Norton bila x_f berupa arus. Oleh karena x_f adalah tegangan, maka digunakanlah sumber Thevenin dan kebetulan rangkaian tersebut sudah menggunakan sumber Thevenin sehingga tidak perlu dikonversi.

Langkah keempat adalah mengganti semua komponen aktif dengan modelnya masing-masing. Untuk merealisasikan langkah ini, maka perlu diberikan contoh rangkaian yang sebenarnya. Lihat gambar 57. Penguat pertama dan kedua masing-masing dilakukan oleh Q1 dan Q2 yang dihubungkan (dikopling) dengan kapasitor. Sedangkan kapasitor yang diletakkan seri dengan R2 berfungsi agar keberadaan jaringan umpan balik tidak mempengaruhi bias masing-masing tingkat penguat.



Gambar 57. Rangkaian penguat dengan UB tegangan-seri

Kedua transistor pada rangkaian tersebut mempunyai $h_{ie} = 1,1 \text{ K}$ dan $h_{fe} = 50$. Rangkaian ekuivalen dengan model hibrid dapat dibuat dengan berpedoman pada gambar 56, yakni untuk rangkaian penguat tanpa umpan balik. Perlu diingat bahwa pada kaki emitor Q1 terdapat R1 paralel R2, sedangkan pada output Q2 antara kolektor ke ground terdapat R1 seri R2.

Oleh karena itu:

Beban efektif Q1, $RL1 = RC1 // RB1 // RB2 // h_{ie1}$

$$RL1 = 10\text{K} // 47\text{K} // 33\text{K} // 1,1\text{K}$$

$$RL1 = 942 \Omega$$

Beban efektif Q2 $RL2 = RC2 // (R1 + R2)$

$$RL2 = 4,7\text{K} // 4,8\text{K}$$

$$RL2 = 2,37 \text{ K}\Omega$$

Re efektif Q1 $Re = R1 // R2$

$$Re = 100 // 4700$$

$$Re = 98 \Omega$$

Dengan demikian:

$$Av1 = - h_{fe1} \cdot RL1 / (h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot Re)$$

$$Av_1 = - (50).(942) / (1100 + (50 + 1).98) = - 7.72$$

Dan

$$Av_2 = - h_{fe2}.R_{L2} / h_{ie}$$

$$Av_2 = - (50).(2370) / (1100)$$

$$Av_2 = - 108$$

Sehingga penguatan tegangan total adalah:

$$A_v = Av_1 . Av_2$$

$$A_v = (-7.72).(-108)$$

$$A_v = 834$$

Selanjutnya adalah menentukan faktor umpan balik (β),

$$\beta = x_f/x_o \quad (\text{ingat definisi } \beta \text{ pada konsep Ub di depan})$$

$$\beta = v_f/v_o \quad (\text{karena UB tegangan-seri})$$

Perhatikan gambar 56, yakni:

$$v_f = R_1.v_o / (R_1 + R_2)$$

$$v_f/v_o = R_1 / (R_1 + R_2)$$

Jadi:

$$\beta = (100) / (100 + 4700)$$

$$\beta = 1/48 = 0.0208$$

Selanjutnya:

$$D = 1 + \beta.A_v$$

$$D = 1 + (0.0208).(834)$$

$$D = 18.4$$

Dengan demikian penguatan tegangan dengan umpan balik (A_{vf}) adalah:

$$A_{vf} = A_v / D$$

$$A_{vf} = 834 / 18.4$$

$$A_{vf} = 45.4$$

Atau secara pendekatan, A_{vf} dapat dihitung juga melalui:

$$A_{vf} \cong 1/\beta \quad \text{ingat } \beta = R_1/(R_1 + R_2)$$

$$A_{vf} \cong 1/(0.0208)$$

$$A_{vf} \cong 48$$

Dengan demikian terbukti bahwa penguatan dengan umpan balik (A_{vf}) lebih kecil dari pada A_v (tanpa umpan balik) dan penguatan lebih stabil (tidak tergantung pada parameter transistor seperti h_{fe}) karena A_{vf} hanya tergantung pada R_1 dan R_2 . Umpan balik tegangan seri ini sebenarnya juga diterapkan pada Op-Amp sebagai penguat non-inverting (lihat kembali gambar 50). Pada gambar 50 tersebut terdapat R_A dan R_F yang identik dengan R_1 dan R_2 pada gambar 55. Dalam penguat non-inverting diperoleh $A_v = (1 + R_F/R_A)$. Bila $R_A = 100\Omega$ dan $R_F 4700\Omega$, maka diperoleh $A_v = 48$. Harga ini sama dengan perhitungan pendekatan penguat umpan balik tegangan seri. Oleh karena itu sebenarnya penguat non-inverting dengan menggunakan OP-Amp adalah menerapkan umpan balik tegangan-seri.

Selanjutnya adalah menentukan nilai impedansi input (Z_{if}) dan impedansi output (Z_{of}) dari rangkaian penguat umpan balik.

$$Z_i = h_{ie1} + (h_{fe1} + 1) \cdot R_e$$

$$Z_i = 1100 + (50 + 1) \cdot 98$$

$$Z_i = 6,1\text{K}\Omega$$

Sehingga:

$$Z_{if} = Z_i \cdot D$$

$$Z_{if} = (6.1\text{K}) \cdot (18.4) = 112 \text{ K}\Omega$$

Dan

$$Z_o = R_{L2}$$

$$Z_o = 2.37 \text{ K}\Omega$$

Sehingga:

$$Z_{of} = Z_o / D$$

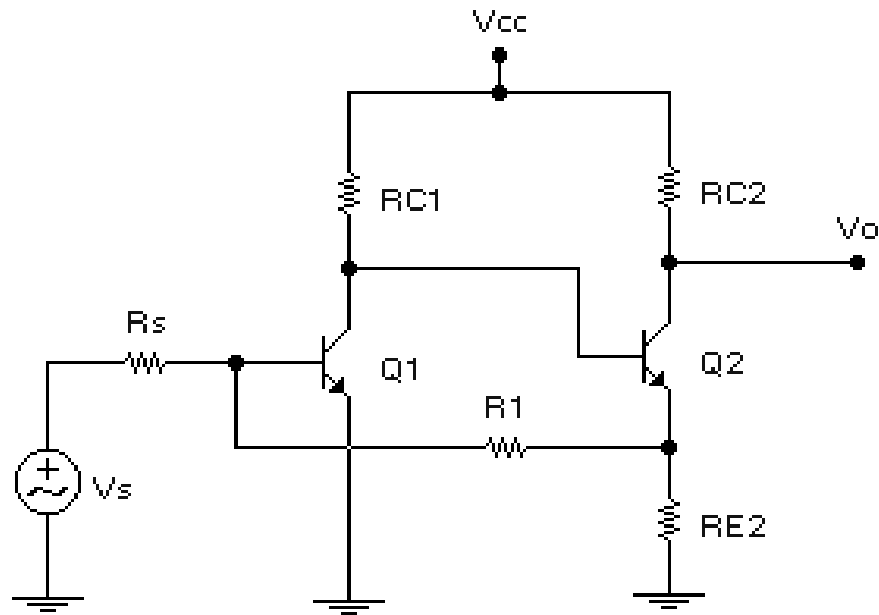
$$Z_{of} = 2.37 / 18.4$$

$$Z_{of} = 129 \Omega$$

Ternyata dengan menerapkan umpan balik tegangan seri, maka impedansi input menjadi naik (atau lebih besar dari pada tanpa umpan balik). Sedangkan impedansi output menjadi lebih kecil. Oleh karena baik Z_{if} maupun Z_{of} bergantung pada nilai D , maka dengan menerapkan umpan balik kita dapat mengontrol nilai impedansi input dan impedansi output.

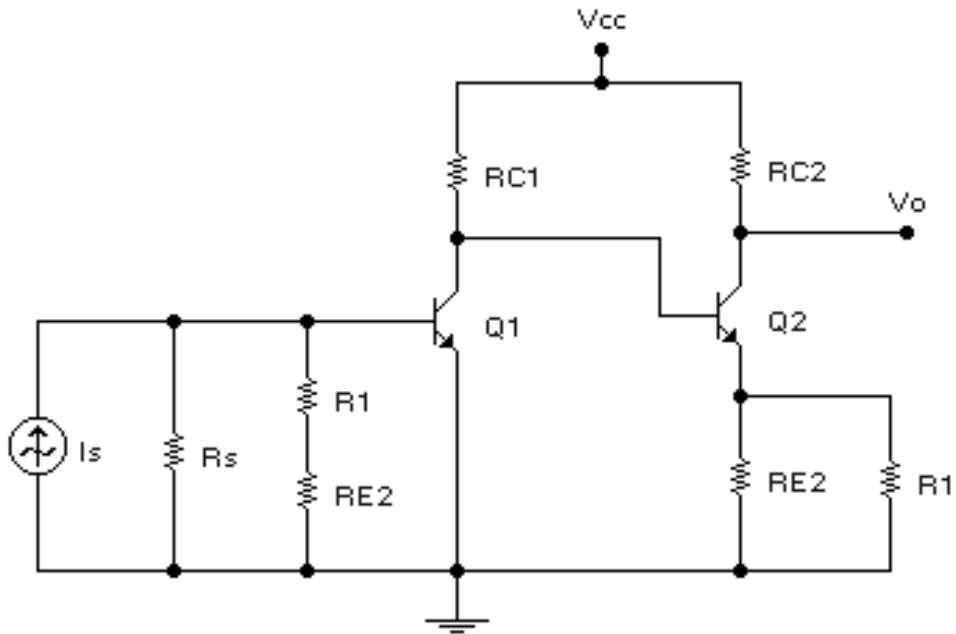
5.4 Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Paralel

Dengan urutan prosedur yang sama seperti pada analisis umpan balik tegangan-seri, maka selanjutnya secara singkat akan dibahas penguat umpan balik arus-paralel. Skema dasar penguat dua tingkat dengan umpan balik arus-paralel terlihat pada gambar 58. Pada gambar ini resistor-resistor bias tidak ditampilkan guna penyederhanaan.



Gambar 58. Skema penguat dengan umpan balik arus-paralel

Sedangkan gambar 59 menunjukkan skema penguat tersebut bila pengaruh umpan balik diabaikan (atau tanpa umpan balik) akan tetapi masih memperhitungkan efek pembebanannya.



Gambar 59. Skema penguat tanpa umpan balik dari UB arus-paralel

Pada skema tersebut digunakan sumber Norton (sumber arus diparalel tahanan dalam) karena x_f berupa arus, yaitu arus yang mengalir pada R1 atau disebut dengan I_f . Sedangkan x_o berupa arus pula (ingat konsep dasar umpan balik arus paralel), yaitu arus yang mengalir pada kolektor Q2 atau disebut dengan I_o . Perbandingan I_f dengan I_o atau yang disebut dengan β dapat diturunkan sebagai berikut:

$$I_f = (RE2) \cdot (I_o) / (RE2 + R1) \quad (\text{ingat hukum pembagian arus})$$

$$\beta = I_f / I_o = (RE2) / (RE2 + R1)$$

Untuk memperjelas persoalan, maka rangkaian tersebut diberi nilai komponen yang sesungguhnya, yakni:

$$RC1 = 3K\Omega; RC2 = 500\Omega; RE2 = 50\Omega; R1 = Rs = 1,2K\Omega$$

$$H_{fe} = 50; h_{ie} = 1,1K\Omega$$

Selanjutnya diperoleh:

$$\beta = (RE2) / (RE2 + R1) = 0.04$$

$$A_i = I_o / I_s$$

$$A_i = (I_o / I_{b2}) \cdot (I_{b2} / I_{b1}) \cdot (I_{b1} / I_s)$$

$$A_i = (-h_{fe}) \cdot (-h_{fe} \cdot RC1 / (RC1 + (h_{ie} + ((h_{fe} + 1) \cdot (RE // R1)))) \cdot (R_B / (R_B + h_{ie}))$$

$$A_i = 406$$

$$D = 1 + \beta \cdot A_i = 17.2$$

$$A_{if} = A_i / D = 23.6$$

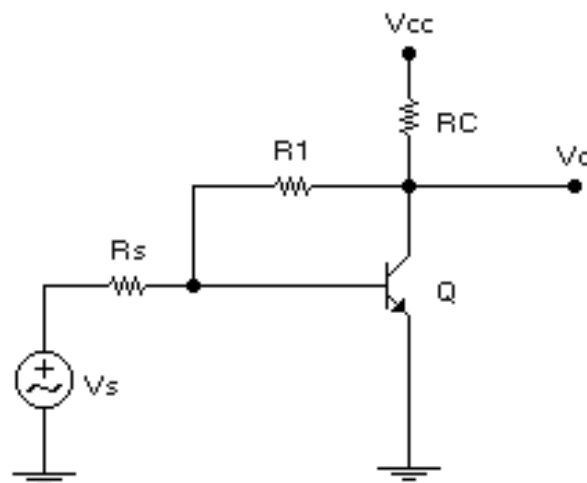
$$A_{if} \cong 1/\beta = 25 \text{ (secara pendekatan)}$$

$$A_v = V_o/V_s = A_i \cdot R_{C2}/R_s = 169.2$$

$$A_{vf} = A_v/D = 9.83$$

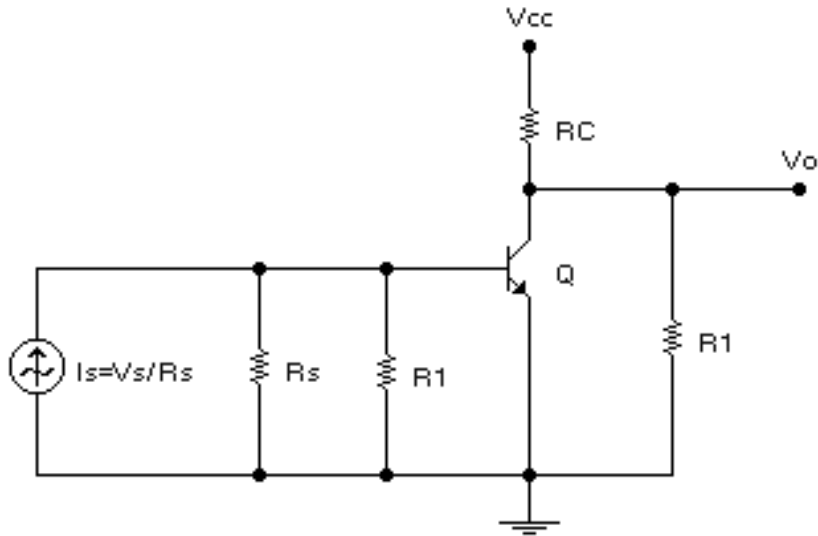
5.5 Analisis Penguat Umpan Balik Tegangan-Paralel

Pada penguat dengan umpan balik tegangan-paralel sinyal yang diambil dari output berupa tegangan (V_o) dan dikembalikan ke input berupa arus secara paralel (I_f). Skema dasar penguat dengan umpan balik tegangan-paralel terlihat pada gambar 60. Penguat dasar dari skema ini merupakan penguat transresistansi ($R_m = V_o/I_s$), yakni penguat yang mempunyai impedansi input dan output kecil. Meskipun skema ini merupakan penguat dengan umpan balik, analisis dapat juga dilakukan tanpa harus mengikuti prosedur analisis umpan balik, yakni dengan menggunakan Teori Miller (lihat Buku I). Akan tetapi pembahasan di sini akan mengikuti prosedur umpan balik, sehingga hasilnya dapat dibandingkan. Dalam praktek, analisis dapat dipilih salah satu diantara yang paling mudah.



Gambar 60. Skema dasar penguat dengan umpan balik tegangan paralel

Apabila skema penguat dengan umpan balik tersebut diubah menjadi tanpa umpan balik, maka diperoleh rangkaian pada gambar 61. Petunjuk untuk mendapatkan loop input dan loop output tertera pada tabel 3. Yakni, beban R1 menjadi paralel pada input maupun output. Karena x_f -nya berupa arus yakni I_f , maka sumber diganti dengan sumber Norton.



Gambar 61. Skema penguat tanpa umpan balik dari UB tegangan paralel

Sinyal yang dikembalikan (I_f),

$$I_f = (V_i - V_o)/R1 \quad (\text{karena } V_i \ll V_o), \text{ maka}$$

$$I_f = - V_o/R1$$

Faktor umpan balik (β),

$$\beta = I_f/V_o$$

$$\beta = - V_o/R1.V_o$$

$$\beta = - 1/R1$$

Apabila diketahui: $R_C = 4K\Omega$; $R_1 = 40K\Omega$; $R_s = 10K\Omega$

$$h_{ie} = 1100 \Omega; h_{fe} = 50$$

Maka:

$$\beta = - 1/40K\Omega = - 0.025 \text{ mA/V}$$

$$R_m = V_o/I_s$$

$$R_m = - (h_{fe}).(R_C//R1).((R1//R_s) / (h_{ie} + (R1//R_s)))$$

$$R_m = -160 \text{ K}\Omega$$

$$D = 1 + \beta \cdot R_m = 5$$

$$R_{mf} = R_m/D = -32 \text{ K}\Omega$$

$$R_{mf} \cong 1/\beta = -40 \text{ K}\Omega \text{ (secara pendekatan)}$$

$$A_v = -(h_{fe}) \cdot (R_C // R_1) \cdot (R_1 // h_{ie}) / (h_{ie}) \cdot ((R_1 // h_{ie}) + R_s)$$

$$A_v = -16$$

$$A_{vf} = A_v/D = -3,2$$

Atau dengan cara lain:

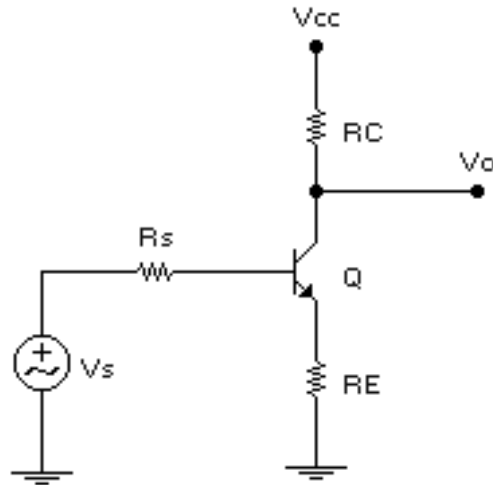
$$A_{vf} = V_o/V_s$$

$$A_{vf} = V_o/I_s \cdot R_s = R_{mf}/R_s = -3,2$$

Hasil perhitungan ini dapat diklarifikasi melalui analisis dengan Teori Miller.

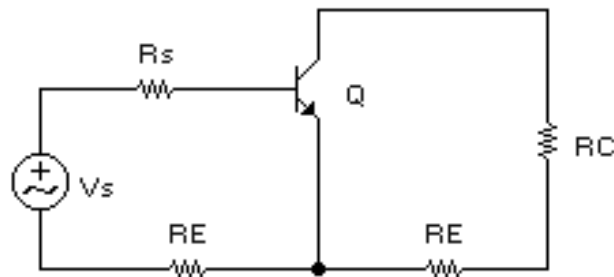
5.6 Analisis Penguat Umpan Balik Arus-Seri

Skema dasar penguat dengan umpan balik arus-seri juga tampak terbiasa, yakni sebuah penguat CE satu tingkat. Lihat gambar 62. Pada skema ini resistor-resistor bias ditiadakan. Meskipun rangkaian penguat ini sudah biasa, namun dalam pembahasan ini akan ditunjukkan bahwa rangkaian tersebut merupakan penguat dengan UB arus-seri dan akan dianalisis dengan prosedur umpan balik. Sedangkan dalam praktek, teknik analisis tidak harus secara umpan balik, karena umumnya dengan umpan balik akan menjadi lebih rumit. Pada penguat dengan UB arus-seri ini sinyal yang diambil dari output berupa arus (I_o) dan dikembalikan ke input berupa tegangan secara seri (V_f).



Gambar 62. Skema dasar penguat dengan UB arus-seri

Skema ekivalen ac penguat tanpa umpan balik dari rangkaian tersebut terlihat pada gambar 63. Untuk mendapatkan loop input dan output dapat diperoleh dari tabel 3. Resistor Re ternyata dirasakan baik pada loop input dan loop output.



Gambar 63. Skema ekivalen penguat tanpa umpan balik

Penguat dasar dari penguat dengan UB arus-seri adalah penguat transkonduktansi (G_m). Penguat G_m mempunyai impedansi input dan output tinggi. Apabila diketahui: $h_{fe} = 150$; $h_{ie} = 1\text{K}\Omega$; $R_s = R_E = 1\text{K}\Omega$; $R_C = 4\text{K}\Omega$, maka:

Faktor umpan balik (β):

$$\beta = V_f / I_o$$

$$\beta = (-I_o) \cdot (R_E) / I_o = -R_E = -1000\Omega$$

$$G_m = I_o / V_s$$

$$G_m = - (h_{fe}) / (R_s + h_{ie} + R_E) = - 50 \text{ mA/V}$$

$$D = 1 + \beta \cdot G_m = 51$$

$$G_{mf} = G_m/D = - 1 \text{ mS}$$

$$G_{mf} \cong 1/\beta = -1 \text{ mS (secara pendekatan)}$$

$$A_{vf} = G_{mf} \cdot R_C = -4$$

Dengan analisis biasa, secara pendekatan

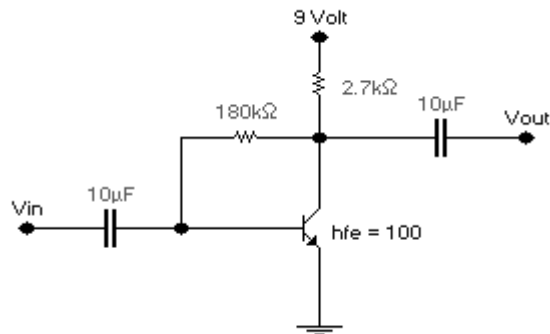
$$A_v \cong - R_C/R_E = - 4$$

5.7 Ringkasan

Umpan balik dalam penguat berarti pengembalian sebagian sinyal output ke input. Dalam umpan balik negatip terdapat kategorisasi jenis UB yang didasarkan atas jenis besaran sinyal output yang diambil (tegangan atau arus) dan cara pengembaliannya (secara seri atau paralel). Dengan melibatkan semua kombinasi yang mungkin, maka dapat diperoleh empat jenis UB, yaitu: UB tegangan-seri, UB tegangan-paralel, UB arus-seri, dan UB arus-paralel. Meskipun dengan menerapkan UB (negatip) suatu penguat akan menurun penguatannya, tetapi keuntungan yang diperoleh sangat berarti, misalnya penguatan menjadi stabil, impedansi input dan output terkontrol, distorsi berkurang, bandwidth tambah lebar.

5.8 Soal Latihan

1. Perhatikan rangkaian penguat dengan umpan balik tegangan seri seperti gambar 57. Apabila β kedua transistor dinaikkan dua kali (menjadi 100), sedangkan komponen yang lain sama, tentukan A_{vf} -nya. Beri komentar terhadap hasilnya.
2. Perhatikan rangkaian di bawah.



Apabila $V_{in} = 1\text{ mV}_{p-p}$, tentukan V_{out} .

Dengan prosedur umpan balik:

- Identifikasi jenis umpan balik yang diterapkan pada rangkaian tersebut?
- Tentukan A_{vf}
- Tentukan V_o , jika diketahui $V_i = 1\text{ mV}_{p-p}$ (bandingkan dengan cara pertama)

DAFTAR PUSTAKA

Boylestad and Nashelsky. (1992). *Electronic Devices and Circuit Theory*, 5th ed. Engelwood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

Floyd, T. (1991). *Electric Circuits Fundamentals*. New York: Merrill Publishing Co.

Herman Dwi Surjono (2007). *Elektronika Analog Jilid 1*. Jember: Penerbit Cerdas Ulet Kreatif.

Herman Dwi Surjono (2008). *Elektronika Analog Jilid 2*. Jember: Penerbit Cerdas Ulet Kreatif.

Malvino, A.P. (1993). *Electronic Principles 5th Edition*. Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Milman & Halkias. (1972). *Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and Systems*. Tokyo: McGraw-Hill, Inc.

Savant, Roden, and Carpenter. (1987). *Electronic Circuit Design: An Engineering Approach*. Menlo Park, CA: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

Stephen, F. (1990). *Integrated devices: discrete and integrated*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc.

_____, (1988). *Linear Databook 3*. National Semiconductor Corporation. 1988 edition.

_____, (1973). *The TTL Data Book for Design Engineering* 1st ed. Texas Instruments, Inc.

Elektronika Lanjut

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

Lampiran

A

Daftar Resistor Standar Toleransi 5 %

Daftar resistor karbon standar dengan toleransi 5 % yang tersedia di pasaran adalah seperti pada tabel A.1. Harga resistor tersedia dalam kelipatan puluhan dari daftar tersebut mulai dari 0.01 Ω hingga 100 M Ω . Sebagai contoh dari daftar 1.2 berarti tersedia harga-harga 1.2 Ω , 12 Ω , 120 Ω , 1200 Ω , 12000 Ω , dan seterusnya.

Tabel A.1 Daftar resistor standar toleransi 5%

1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8
2.0	2.2	2.4	2.7		
3.0	3.3	3.6	3.9		
4.3	4.7				
5.1	5.6				
6.2	6.8				
7.5					
8.2					
9.1					

Lampiran

B

Karakteristik Berbagai Jenis Kapasitor

Tabel B.1 menunjukkan beberapa jenis kapasitor yang sering dipakai dalam rangkaian elektronika. Beberapa karakteristik yang menyertai kapasitor tersebut adalah:(a) nilai kapasitansi yang tersedia di pasaran, (b) toleransi nilai kapasitansi, (c) tegangan maksimum yang diijinkan, (d) temperatur kerja maksimum yang diijinkan, dan (e) resistansi isolasi antara terminalnya.

Tabel B.1 Karakteristik berbagai jenis kapasitor

Jenis	Range Kapasitansi	Toleransi (%)	Tegangan Maks.	Temp	Resistansi Isolasi
				Maks (°C)	
Keramik					
k rendah	5 pF - 0.001 μ F	$\pm 5 - \pm 20$	6 kV	125	1000 M Ω
k tinggi	100 pF - 2.2 μ F	+ 100, - 20	100 V	85	100 M Ω
Elektrolit					
Aluminium	1 μ F - 1 F	+ 100, - 20	700 V	85	< 1 M Ω
Tantalum	0.001 μ F - 1 nF	$\pm 5 - \pm 20$	100 V	125	> 1 M Ω
Mika	1 pF - 0.1 μ F	$\pm 0.25 - \pm 5$	50 kV	150	> 1 G Ω
Kertas	500 pF - 50 μ F	$\pm 10 - \pm 20$	0.1 MV	125	100 M Ω
Polikarbonat	0.001 - 5 μ F	± 1	600 V	140	10 G Ω
Polister	0.001 - 15 μ F	± 10	1 kV	125	10 G Ω
Polistren	100 pF - 10 μ F	± 0.5	1 kV	85	10 G Ω
Mika perak	5 pF - 0.1 μ F	$\pm 1 - \pm 20$	75 kV	125	1000 M Ω

Index

A

Analisis frekuensi rendah, 14

B

bandwidth, 13

C

C by-pass, 12
CMRR, 49
Common-mode, 49

D

Differential-mode, 49

E

elemen kontrol, 2
E-MOSFET, 45

G

Faktor umpan balik, 64
Frekuensi cutoff rendah, 64
Frekuensi cutoff tinggi, 27

H

Hubungan *Cascode*, 35
Hubungan Darlington, 38
Hubungan Kaskade, 32
Hubungan Pasangan Umpan Balik, 41

I

IC regulator, 8

K

kapasitansi liar, 11
kapasitor liar, 21
karakteristik kapasitor, 81
kertas semi-log, 12
kopling C, 12
kopling kapasitor, 33
kopling langsung, 33
Kurva respon frekuensi, 12

L

LM78xx, 7
LM79xx, 7

N

nMOS, 45

O

Op-Amp, 48

P

Penguat Arus, 64
Penguat beda, 48
Penguat Inverting, 56
Penguat Non-Inverting, 58
Penguat Operasi, 48
Penguat Operasi (Op-Amp) Ideal, 55
Penguat Tegangan, 64
Penguat Transkonduktansi, 64
Penguat Transresistansi, 65
pMOS, 45
power supply, 1

R

Rangkaian CMOS, 45
Rangkaian ekuivalen, 17
rangkaian pembanding, 2
rangkaian sampling, 2
regulator, 1
Regulator Tegangan IC, 7
Regulator Tegangan Paralel, 5
Regulator Tegangan Seri, 1
resistor standar, 80
Respon Frekuensi Rendah, 16
Respon Frekuensi Tinggi, 21

T

Tanggapan Frekuensi, 11
teori Miller, 22

U

Umpan Balik, 63
Umpan Balik Arus-Paralel, 72
Umpan Balik Arus-Seri, 75
umpan balik negatip, 64
umpan balik positip, 64
Umpan Balik Tegangan-Paralel, 73
Umpan Balik Tegangan-Seri, 67

Elektronika Lanjut

Herman Dwi Surjono, Ph.D.

BIOGRAFI PENULIS



Herman Dwi Surjono,
dilahirkan di
Sidoarjo 5
Februari 1964.
Menyelesaikan
pendidikan S1
di Jurusan
Pendidikan
Teknik

Elektronika FPTK IKIP Yogyakarta (Drs.,
1986). Menyelesaikan S2 di Department
of Industrial Education and Technology
Iowa State University USA (M.Sc.,
1994) dan S2 di Teknik Elektro Sistem
Komputer dan Informatika Pascasarjana
UGM (MT., 2000). Menyelesaikan S3 di
School of Multimedia and Information
Technology Southern Cross University
(Ph.D., 2006). Bidang keahlian antara
lain: E-Learning, Multimedia
Pembelajaran, dan Adaptive
Hypermedia.

Menjadi dosen di Jurusan Pendidikan
Teknik Elektronika Prodi Pendidikan
Teknik Informatika FT UNY sejak tahun
1987 dan dosen di Program
Pascasarjana UNY sejak tahun 2006.
Sejak tahun 2006 menjabat sebagai
Kepala Puskom UNY. Sering menjadi
nara sumber dalam pelatihan,
workshop, seminar, technical assistance
tentang e-learning dan multimedia
pembelajaran di berbagai tempat baik
lokal, nasional maupun internasional.

Sebagai pengembang dan pemelihara
portal e-learning <http://elearning-jogja.org> dan <http://elearning-diy.org>
secara swadaya. Sebagai inisiatif dan
penanggung jawab portal e-learning
UNY (Besmart) <http://besmart.uny.ac.id>.
Memberi bimbingan kepada para
mahasiswa S1, S2, dan S3 serta para
guru yang sedang mengembangkan e-
learning.

Kontak:
hermansurjono@staff.uny.ac.id
<http://blog.uny.ac.id/hermansurjono>
<http://herman.elearning-jogja.org>

Penerbit CERDAS ULET KREATIF
E-mail : publisher@cerdas.co.id
Website : www.cerdas.co.id

Buku ini diperuntukkan bagi siapa saja yang ingin mengetahui elektronika baik secara teori, konsep dan penerapannya. Pembahasan dilakukan secara komprehensif dan mendalam mulai dari pemahaman konsep dasar hingga ke taraf kemampuan untuk menganalisis dan mendesain rangkaian elektronika. Penggunaan matematika tingkat tinggi diusahakan seminimal mungkin, sehingga buku ini bias digunakan oleh berbagai kalangan. Pembaca dapat beraktivitas dengan mudah karena didukung banyak contoh soal dalam hamper setiap pokok bahasan serta latihan soal pada setiap akhir bab. Beberapa rangkaian penguat sedapat mungkin diambilkan dari pengalaman praktikum.

Sebagai pengetahuan awal, pemakai buku ini harus memahami teori dasar rangkaian DC dan matematika dasar. Teori Thevenin, Norton, dan Superposisi juga digunakan dalam beberapa pokok bahasan. Di samping itu penguasaan penerapan hukum Ohm dan Kirchhoff merupakan syarat mutlak terutama pada bagian analisis dan perancangan.

Bab 1 membahas bermacam-macam regulator tegangan beserta prinsip kerjanya. Bab 2 membahas tanggapan frekuensi beserta analisis frekuensi rendah dan frekuensi tinggi. Selanjutnya pada bab 3 dibahas berbagai rangkaian bertingkat mulai dari kaskade, darlington hingga CMOS. Pembahasan tentang penguat operasi yang didahului dengan penguat beda dan dilanjutkan dengan berbagai penggunaan Op-Amp seperti penguat inverting dan non-inverting terdapat pada bab 4. Dan akhirnya bab 5 dari buku ini membahas umpan balik yang dimulai dari konsep dasar hingga analisis berbagai jenis umpan balik.

Semoga buku ini bermanfaat bagi siapa saja. Saran-saran dari pembaca sangat diharapkan.

CERDAS
ULET
KREATIF
PUBLISHER

ISBN 978-602-98174-6-1



9 786029 817461