

Z_{ps} didefinisikan sebagai impedansi bocor antara belitan-belitan P dan S yang diukur pada belitan P dengan belitan S dihubungkan singkat. Demikian juga apabila besaran-besaran primer dibawa ke dalam rangkaian sekunder, maka Z_{ps} menjadi:

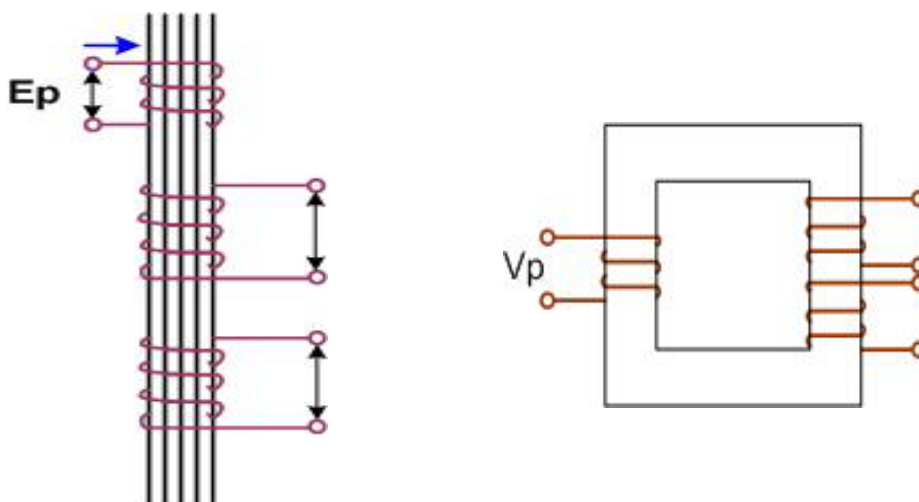
$$Z_{ps} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 Z_{ps} \dots\dots\dots (1.5)$$

Sebagai bahan pertanyaan untuk Anda, dari gambar rangkaian ekuivalen yang ditunjukkan pada gambar 1.10, 1.11, dan 1.12, manakah yang digunakan dalam proses analisis kasus transformator dua belitan di lapangan? Bila Anda belum bisa menjawab pertanyaan tersebut, silahkan baca dan cermati lagi paragraf pertama halaman 15 dari bahan ajar ini.

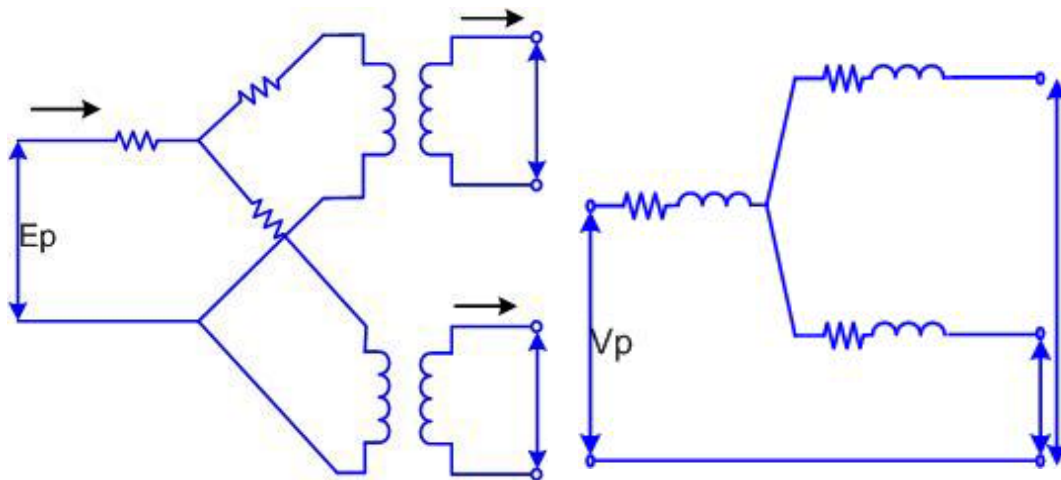


b. Transformator tiga belitan

Diagram belitan dari transformator tiga belitan ditunjukkan pada gambar 1.13.a. Dengan menghilangkan cabang-cabang magnetisasinya, rangkaian ekuivalen transformator tiga belitan digambarkan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.13.b.



Gambar 1.13. a. Diagram belitan transformator 3 belitan



Gambar 1.13.b. Rangkaian ekuivalen transformator tiga belitan

Gambar 1.13. Rangkaian transformator tiga belitan

Nilai-nilai impedansi pada transformator tiga belitan adalah:

$Z_p = \frac{1}{2} (Z_{ps} + Z_{pt} - \frac{1}{N_1^2} Z_{st})$ (1.6a)
$Z_s = \frac{1}{2} (\frac{1}{N_1^2} Z_{st} + Z_{ps} - Z_{pt})$ (1.6b)
$Z_t = \frac{1}{2} (Z_{pt} + \frac{1}{N_1^2} Z_{st} - Z_{ps})$ (1.6c)

Pada gambar tersebut, Z_p dan Z_s harganya berbeda dengan Z_p dan Z_s transformator 2 belitan. Berdasarkan persamaan tersebut, dapat diperoleh besaran dari impedansi bocor antara tiap belitan sebagai :

$Z_{ps} = Z_p + Z_s$ (1.7a)
$Z_{pt} = Z_p + Z_t$ (1.7b)
$Z_{st} = N_1^2 (Z_s + Z_t)$ (1.7c)

dimana:

Z_{ps} = impedansi bocor antara belitan-belitan P dan S yang diukur, pada belitan P dengan S dihubungkan singkat dan belitan T dalam keadaan terbuka.

Z_{pt} = impedansi bocor antara belitan-belitan P dan T yang diukur, pada belitan P dengan T dalam keadaan terbuka.

Z_{st} = impedansi bocor antara belitan-belitan S dan T yang diukur, pada belitan S dan T terhubung singkat dan belitan P dalam keadaan terbuka.

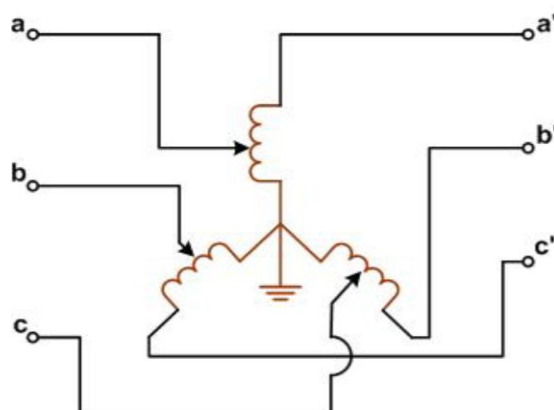
Proses pengukuran impedansi pada transformator 3 belitan

Sebagai bahan pertanyaan untuk Anda, apa sebenarnya fungsi dari transformator tiga belitan pada sistem tenaga listrik? Bila Anda belum tahu, silakan review lagi materi mata kuliah Transmisi dan Distribusi pada pokok bahasan transformator.

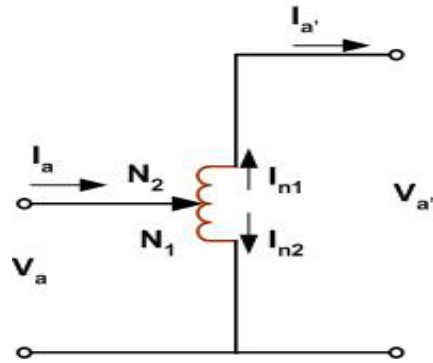


c. Auto Transformator

Auto transformator merupakan suatu transformator dimana belitan-belitannya tergabung dalam satu inti dan terhubung secara seri. Gambar 1.14 menunjukkan rangkaian auto transformator 3 fasa dan gambar 1.15 menunjukkan rangkaian auto transformator satu fasa.



Gambar 1.14. Rangkaian autotransformator tiga fasa



Gambar 1.15. Rangkaian autotransformator satu fasa

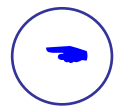
Pada gambar 1.14, terminal-terminal a-n menunjukkan sisi tegangan rendah, sedangkan a'-n adalah sisi tegangan tinggi. Turn ratio dari auto transformator diberikan sebagai:

$$\frac{V_{a'}}{V_a} = 1 + \frac{N_1}{N_2} = 1 + a = N \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

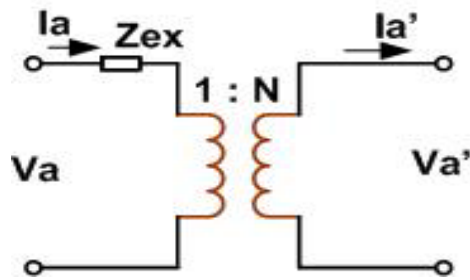
Rangkaian setara sebuah auto transformator ditunjukkan pada gambar 1.16. Z_{ex} adalah impedansi yang diukur pada sisi tegangan rendah dengan sisi tegangan tinggi dihubungkan singkat. Jika arus hubung singkat menjadi besar, maka 2 buah impedansi hubung singkat yang lain dapat diukur, yaitu:

Proses pengukuran impedansi pada autotransformator

☞ Z_{eH} adalah impedansi yang diukur dari sisi tegangan tinggi dengan N₁ terhubung singkat, yaitu dengan menghubungkan singkat terminal a-n. Hal ini secara mudah dapat dibuktikan sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 1.16, bahwa:



$$Z_{eH} = Z_{ex} N^2 \quad \dots\dots\dots (1.9)$$



Gambar 1.16. Rangkaian ekuivalen autotransformator

Z_{eL} adalah impedansi yang diukur pada sisi tegangan rendah dengan N_2 terhubung singkat, atau terminal a-a' terhubung singkat. Dengan demikian, maka:

$$\begin{aligned}
 V_a &= V_a' \\
 I_1 &= (V_a - \frac{V_a'}{N}) / Z_{ex} \\
 &= V_a - \frac{(N-1)}{N} V_a' / Z_{ex} \dots\dots\dots (1.10)
 \end{aligned}$$

Karena jumlah ampere turn untuk transformator ideal adalah nol, maka:

$$I_1 = I_a' N \text{ atau } I_a' = I_1 / N$$

$$\text{Demikian juga: } I_a + I_a' = I_t$$

Dengan demikian dapat dituliskan:

$$\boxed{I_a = \frac{I_1(N-1)}{N}} \dots\dots\dots (1.11)$$

Dan impedansi Z_{eL} :

$$Z_{eL} = \frac{V_a}{I_a} = \frac{V_a}{I_1} \frac{N}{(N-1)} = \left(\frac{N}{N-1}\right)^2 Z_{ex}$$

Atau juga dapat ditulis:

$$\boxed{Z_{ex} = Z_{eL} \left(\frac{N-1}{N}\right)^2} \dots\dots\dots (1.12)$$

Dengan menggunakan persamaan (1.9), maka persamaan (1.12) dapat dituliskan:

$$Z_{ex} = (N-1)^2 Z_{eL} = a^2 Z_{eL} \dots\dots\dots (1.13)$$

Rangkaian ekuivalen yang terlihat pada gambar 1.16, adalah rangkaian ekuivalen dari auto transformator dimana seluruh impedansinya dibawa ke sisi rangkaian tegangan rendah. Pada diagram segaris, dengan seluruh besaran-besarannya dalam satuan per unit, transformator ideal dapat dihilangkan apabila 1: N merupakan rasio tegangan nominal dan Z_{ex} dinyatakan dalam satuan per unit. Auto transformator mempunyai kelemahan-kelemahan sebagai berikut:



- ✗ Kedua sisi transformator tidak dipisahkan secara listrik.
- ✗ Impedansi serinya lebih kecil dari pada transformator dua belitan, sehingga mungkin menghasilkan arus hubung singkat yang sangat besar.

Kelemahan-kelemahan autotransformator

Sebaliknya, keuntungan yang diperoleh dari autotransformator adalah dengan jumlah tembaga dan besi yang sama, kemampuan MVA autotransformator lebih besar dari pada transformator 2 belitan.



Sebagai bahan pertanyaan untuk Anda, apa sebenarnya fungsi dari autotransformator pada sistem tenaga listrik? Bila Anda belum tahu, silakan review lagi materi mata kuliah Transmisi dan Distribusi pada pokok bahasan transformator.



4. Beban

Di dalam menganalisa suatu sistem tenaga listrik, beban tidak diberikan secara lengkap. Untuk merepresentasikan suatu beban dari suatu sistem tenaga listrik (P-jQ), sangat penting untuk mengetahui variasi daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) terhadap variasi tegangannya. Pada suatu bus, sebuah beban mungkin terdiri dari:

- ✎ Motor-motor induksi : 50 – 70 %
- ✎ Penerangan dan pemanasan: 20 – 30 %
- ✎ Motor-motor sinkron : 5 – 10 %

Jenis-jenis beban

Dalam kehidupan sehari-hari, khususnya diperumahan atau pemukiman, jenis beban yang sering digunakan adalah lampu penerangan meskipun ada sebagian kecil yang menggunakan motor-motor listrik untuk keperluan rumah tangga seperti mesin cuci, kulkas, pendingin, *air conditioner*, dan sebagainya, sedangkan di industri-industri besar, jenis beban yang digunakan selain lampu penerangan adalah motor-motor listrik berdaya besar untuk keperluan proses produksi.

Didalam menganalisis suatu sistem tenaga listrik, terdapat tiga cara untuk merepresentasikan sebuah beban, antara lain:

Tiga cara dalam merepresentasikan beban

- a. Representasi beban dengan daya tetap

Dalam hal ini daya aktif P (MW), maupun daya reaktif Q (MVAR) dianggap konstan. Representasi beban ini digunakan untuk merepresentasikan beban untuk studi aliran daya.

- b. Representasi beban dengan arus tetap.

Dalam hal ini arus dihitung sebagai:

$$I = \frac{P - jQ}{V^*} = I \angle \theta - \phi \dots\dots\dots (1.14)$$

Dimana:

$$V = V \angle \theta \text{ dan}$$

$\phi = \tan^{-1} Q/P$ adalah sudut daya (*power factor angle*)

Pada representasi ini, besar arus dijaga konstan.

- c. Representasi beban dengan impedansi konstan.

Untuk merepresentasikan sebuah beban dengan impedansi tetap, daya yang diserap oleh beban dikonversikan ke dalam bentuk impedansi. Representasi beban dengan impedansi tetap ini biasanya digunakan pada studi tentang stabilitas suatu sistem

tenaga listrik. Jika MW dan MVAR dari pada beban diketahui dan tetap impedansi dihitung dengan:

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{V^2}{P - jQ} \dots\dots\dots (1.15)$$

atau

$$Y = \frac{I}{V} = \frac{P - jQ}{V^2} \dots\dots\dots (1.16)$$

Sebagai bahan pertanyaan untuk Anda, kenapa daya yang diserap beban ada dua jenis, yaitu daya nyata (MW) dan daya reaktif (MVAR)? Apa yang menyebabkan munculnya MW dan MVAR tersebut? Bila Anda belum tahu, jangan khawatir dan bingung, silahkan review lagi materi mata kuliah Dasar Listrik pada pokok bahasan segitiga daya.

