

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Teori dasar transformator

2.1.1. Sirkuit Magnetis

Pada suatu penghantar yang dialiri arus listrik, akan muncul medan magnet disekeliling penghantar tersebut. Medan magnet yang timbul digambarkan sebagai garis garis fluks magnet dan dinyatakan dengan symbol Φ .

Sedangkan besar kerapatan fluks magnet (B) yang terjadi dinyatakan dengan jumlah fluks yang menembus suatu luasan A tertentu dan dinyatakan dengan rumusan:

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad (2.1)$$

Dimana:

B = kerapatan fluks magnet (Wb/m^2)

Φ = Fluks magnet (Weber)

A = luasan (m^2)

Sedangkan kuat medan magnet (H) dinyatakan sebagai:

$$H = \frac{B}{\mu} \quad (2.2)$$

Dimana:

H = kuat medan magnet (A/m)

μ = permeabilitas bahan

μ adalah permeabilitas yang menunjukkan sifat magnetik dari suatu bahan. Besar permeabilitas dinyatakan sebagai perbandingan terhadap permeabilitas udara.

$$\mu = \mu_r * \mu_0 \quad (2.3)$$

Dimana:

μ = permeabilitas bahan

μ_r = permeabilitas relative

μ_0 = permeabilitas udara

Aliran fluks magnet membentuk lingkaran tertutup dalam suatu rangkaian magnetis, dan akan mengalami hambatan, yang disebut hambatan magnetis atau bias disebut sebagai reluktansi (R) yang besarnya:

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu A} \quad (2.4)$$

Dimana:

\mathcal{R} = reluktansi (Ampere-turns/Wb)

μ = permeabilitas bahan

l = panjang jalur magnetik (m)

A = luas penampang (m^2)

Beda potensial yang menyebabkan mengalirnya fluks magnet dalam rangkaian magnetis disebut gaya gerak magnet (ggm) dan diberi simbol τ , dan memiliki harga sebesar:

$$\tau = NI \quad (2.5)$$

Dimana:

τ = gaya gerak magnet (Ampere-lilit)

N = jumlah lilitan (lilit)

I = arus yang mengalir dalam kumparan (Ampere)

Sehingga dapat diperoleh hubungan sebagai berikut

$$\Phi = \frac{\tau}{\mathcal{R}} \quad (2.6)$$

Besarnya gaya gerak magnet per-unit disebut kuat medan magnet (H), dan besarnya:

$$H = \frac{\tau}{\ell} \quad (2.7)$$

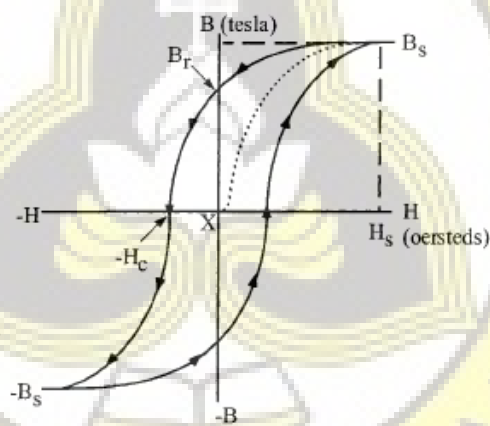
Dengan mensubstitusikan harga τ , didapat:

$$H = \frac{NI}{\ell} \text{ (Ampere-turn/meter)} \quad (2.8)$$

2.1.2. Kurva Histerisis

Kurva histerisis, yang disebut kurva B-H, merupakan kurva yang menyatakan hubungan antara kerapatan fluks magnet (B) terhadap kuat medan magnet (H) pada suatu bahan magnetis.

Untuk menentukan kurva B-H pada inti dapat dilakukan dengan pengujian. Dengan memasang kumparan yang dialiri arus listrik pada suatu bahan magnetic, akan menimbulkan kuat medan magnet (H) dan menghasilkan rapat fluks magnet (B) seperti tampak pada gambar:



Gambar 2.1 Kurva histerisis

Jika kuat medan magnet (H) diperbesar, maka akan dicapai suatu titik jenuh, dimana besar rapat fluks magnet (B) tidak akan naik lagi. Luasan kurva B-H yang terbentuk dengan menaikkan dan menurunkan kuat medan magnet (H) menyatakan rugi rugi histerisis yang akan hilang menjadi panas.

2.1.3. Bahan Magnetic dan Permeabilitanya

Bahan magnet banyak digunakan sebagai inti (*core*) terbuat dari induktor besi lunak yang disebut ferit. Ada bermacam-macam bahan ferit atau disebut feromagnetik. Bahan dasarnya berupa bubuk besi oksida yang disebut juga *iron powder*. Ada juga ferit yang dicampur dengan bahan bubuk lain seperti *nickle*, *manganase*, *zinc* (seng) dan magnesium. Ferit ini dihasilkan melalui proses yang dinamakan kalsinasi yaitu dengan pemanasan tinggi dan menggunakan tekanan tinggi, kemudian bubuk campuran tersebut dibuat menjadi komposisi yang padat. Proses pembuatannya sama seperti membuat keramik. Oleh sebab itu ferit ini sebenarnya adalah keramik.

Ferit yang sering dijumpai ada yang memiliki $\mu = 1$ sampai $\mu = 15.000$. Dapat dipahami penggunaan ferit dimaksudkan untuk mendapatkan nilai induktansi yang lebih besar relatif terhadap jumlah lilitan yang lebih sedikit serta dimensi induktor yang lebih kecil. Penggunaan ferit juga disesuaikan dengan frekuensi kerjanya. Karena beberapa ferit akan optimum jika bekerja pada selang frekuensi tertentu. Berikut ini adalah beberapa contoh bahan ferit yang dipasar dikenal dengan kode nomer materialnya. Pabrik pembuat biasanya dapat memberikan data kode material, dimensi dan permeabilitas yang lebih detail.

Sampai di sini kita sudah dapat menghitung nilai induktansi suatu induktor. Misalnya induktor dengan jumlah lilitan 20, berdiameter 1 cm dengan panjang 2 cm serta menggunakan inti ferit dengan $\mu = 3000$. Dapat diketahui nilai induktansinya adalah : $L = 5.9$ mH (aproksimasi).

Material No.	μ	Freq Optimum (MHz)
67	40	10 – 80
68	20	80 - 180
77	2000	0.5 - 50
F	3000	0.5 - 50
J	5000	< 1
W	10000	< 1
H	15000	< 200KHz

Tabel 2.1 Tabel Data Material Ferit

Selain ferit yang berbentuk silinder ada juga ferit yang berbentuk toroida. Umumnya dipasar tersedia berbagai macam jenis dan ukuran toroida. Jika datanya lengkap, maka kita dapat menghitung nilai induktansi dengan menggunakan rumus-rumus yang ada. Karena perlu diketahui nilai permeability bahan ferit, diameter lingkaran luar, diameter lingkaran dalam serta luas penampang toroida. Tetapi biasanya pabrikan hanya membuat daftar indeks induktansi (*inductance index*) AL.

Indeks ini dihitung berdasarkan dimensi dan permeabilitas ferit. Dengan data ini dapat dihitung jumlah lilitan yang diperlukan untuk mendapatkan nilai induktansi tertentu. Seperti contoh tabel AL berikut ini yang satuannya mH/100 lilitan.

Material No.	3	1	2	10
Warna	Abu-abu	Biru	Merah	Hitam
μ	35	20	10	6
Freq Opt (MHz)	< 0.5	0.5 - 5	2 - 30	30 - 100
T30	140	85	43	25
T44	180	105	52	33
T50	175	100	49	31
T130	350	200	110	
T200	425	250	200	100
T400			185	

Tabel 2.2 Contoh Tabel AL

Rumus untuk menghitung jumlah lilitan yang diperlukan untuk mendapatkan nilai induktansi yang diinginkan adalah :

$$N = 100 \sqrt{L/A_L} \quad (2.9)$$

Misalnya digunakan ferit toroida T50-1, maka dari tabel diketahui nilai AL = 100. Maka untuk mendapatkan induktor sebesar 4mH diperlukan lilitan sebanyak :

$$N = 20 \text{ lilitan (aproksimasi)}$$

Rumus ini sebenarnya diperoleh dari rumus dasar perhitungan induktansi dimana induktansi L berbanding lurus dengan kuadrat jumlah lilitan N_2 . Indeks AL umumnya sudah baku dibuat oleh pabrikan sesuai dengan dimensi dan permeabilitas bahan magnetnya.

Permeabilitas bahan bisa juga diketahui dengan kode warna tertentu. Misalnya abu-abu, hitam, merah, biru atau kuning. Sebenarnya lapisan ini bukan hanya sekedar warna yang membedakan permeabilitas, tetapi berfungsi juga sebagai pelapis atau *isolator*. Biasanya pabrikan menjelaskan berapa nilai tegangan kerja untuk toroida tersebut.

Contoh bahan ferit toroida di atas umumnya memiliki permeabilitas yang kecil. Karena bahan ferit yang demikian terbuat hanya dari bubuk besi (*iron power*). Banyak juga ferit toroid dibuat dengan nilai permeabilitas m yang besar. Bahan ferit tipe ini terbuat dari campuran bubuk besi dengan bubuk logam lain. Misalnya ferit toroida FT50-77 memiliki indeks $AL = 1100$.

2.1.4. Pengertian Transformator

Transformator dapat didefinisikan sebagai sebuah peralatan yang dapat memindahkan daya listrik dari sebuah rangkaian (rangkai primer) ke sebuah rangkaian yang lain (rangkain sekunder), tanpa terjadi perubahan frekuensi. Secara fisik, transformator terdiri dari dua buah kumparan induktif yang secara listrik terpisah, tetapi terhubung secara magnetis.

2.1.5. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja suatu transformator adalah suatu induksi bersama (mutual induction) dari dua buah rangkaian yang mempunyai hubungan magnetis. Dalam bentuk sederhana, transformator terdiri dari dua buah kumparan induktif yang secara listrik terpisah, tetapi terhubung secara magnetis.

Kedua kumparan tersebut mempunyai induksi bersama (mutual induction). Jika salah satu kumparan dihubungkan terhadap suatu sumber tegangan bolak balik, fluks akan timbul dalam inti, sehingga akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) induksi yang sesuai dengan hukum Faraday. Jika rangkaian kumparan kedua dihubungkan dengan beban, arus akan mengalir dalam rangkaian dan daya listrik diberikan kepada beban. Untuk selanjutnya, kumparan yang diberi supply tegangan dinyatakan sebagai kumparan primer, dan kumparan yang berhubungan dengan beban dinyatakan sebagai kumparan sekunder.

Dengan demikian, maka suatu transformator adalah suatu alat yang:

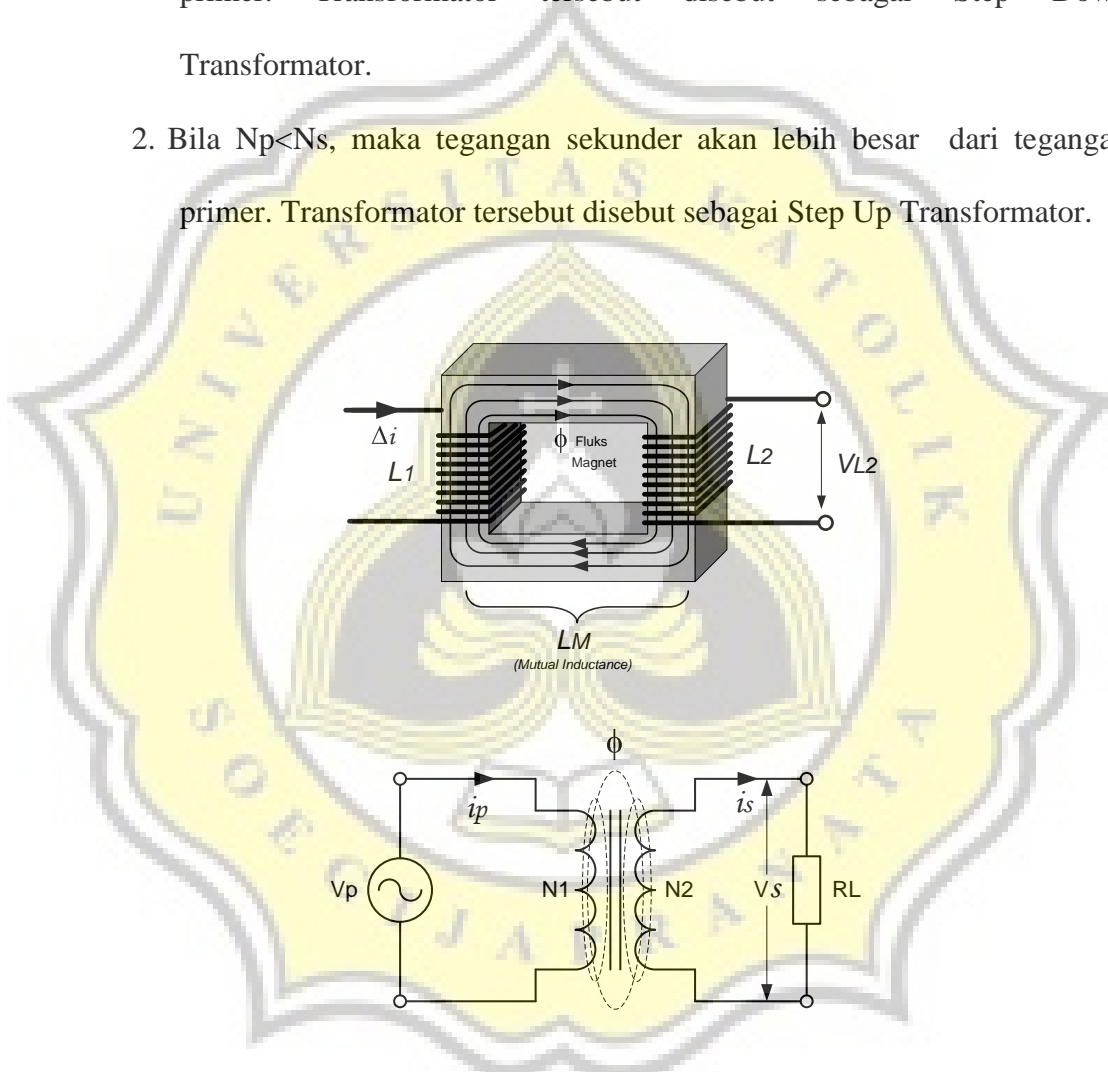
- 1) Mempunyai kemampuan untuk mentransfer energy listrik dari suatu sirkuit listrik ke sirkuit listrik yang lain.
- 2) Bekerja tanpa adanya perubahan frekuensi.
- 3) Bekerja dengan system induksi electromagnet.
- 4) Mempunyai sirkuit listrik yang terhubung secara magnetis.

Besarnya tegangan induksi yang dihasilkan akan sebanding dengan banyaknya jumlah lilitannya. $N_p:N_s$ disebut dengan perbandingan lilitan (turns ratio).

Besarnya tegangan induksi pada lilitan sekunder tergantung dari perbandingan banyaknya lilitan antara primer dan sekunder dengan hubungan :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.10)$$

1. Bila $N_p > N_s$, maka tegangan sekunder akan lebih kecil dari tegangan primer. Transformator tersebut disebut sebagai Step Down Transformator.
2. Bila $N_p < N_s$, maka tegangan sekunder akan lebih besar dari tegangan primer. Transformator tersebut disebut sebagai Step Up Transformator.



Gambar 2.2 Konstruksi dasar dan Rangkaian Transformator

2.1.6. Karakteristik Transformer

Untuk transformator ideal (asumsi tidak ada kerugian daya yang hilang) besarnya daya yang diberikan pada primer akan sama dengan daya yang dipakai pada sekunder,dengan hubungan.

$$V_p I_p = V_s I_s \quad (2.11)$$

Atau :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.12)$$

Dari persamaan 2.9 :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.13)$$

Dimana:

V_p = Tegangan primer

V_s = Tegangan sekunder

N_p = Jumlah lilitan primer

N_s = Jumlah lilitan sekunder

I_p = Arus primer

I_s = Arus Sekunder

2.1.7. Rugi-Rugi Dan Efisiensi Transformer

Untuk transformator ideal efisiensi 100%, daya pada input akan sama dengan daya pada outputnya ($V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$). Pada prakteknya, transformator akan kehilangan energi dalam bentuk disipasi panas.

Kumparan transformator terdiri dari tahanan R dan reaktansi X. dengan adanya kedua parameter tersebut, jika transformator dihubungkan dengan tegangan jala jala, maka akan timbul kerugian-kerugian. Hal ini yang menentukan besar kecilnya efisiensi dari sebuah transformator. Rugi-rugi yang terjadi pada transformator terdiri dari rugi tembaga dan rugi besi.

1) Rugi Tembaga P_{cu} .

Rugi tembaga adalah rugi yang dihasilkan oleh konduktor/tembaga yang digunakan sebagai bahan pembuat kumparan. Rugi ini diakibatkan oleh adanya resistansi bahan.

Nilai resistansi konduktor dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad (2.14)$$

Dimana:

R = tahanan (Ω)

ρ = Tahanan Jenis (Ωm)

l = Panjang konduktor (m)

A = Luas Penampang (m^2)

Jika transformator dibebani maka akan mengalir arus lewat kumparan yang memiliki tahanan R, hal ini akan menimbulkan rugi daya P_{cu} sebesar:

$$P_{cu} = I^2 R \quad (2.15)$$

Dimana:

P_{cu} = Rugi-rugi tembaga

I = arus (Ampere)

R = tahanan (Ω)

Catatan: ini berlaku untuk sisi primer dan sekunder.

Karena arus beban besarnya berubah-ubah, rugi tembaga tidak konstan melainkan tergantung beban.

2) Rugi Besi

Rugi besi adalah rugi rugi yang muncul pada inti transformer sebelum dibebani. Rugi besi terdiri dari dua macam yaitu rugi histerisis dan rugi arus eddy (Eddy Current)

a. Rugi histerisis

Adalah rugi-rugi yang disebabkan oleh fluks bolak bali pada inti besi.

Rugi-rugi ini dinyatakan sebagai luasan pada kurva histerisis. Dan akan muncul berupa panas pada bagian inti besi.

$$P_h = K_h f B_m^{1.6} \quad (2.16)$$

Dimana:

P_h = Rugi rugi daya histerisis (Watt)

K_h = Konstanta Histerisis

f = Frekuensi (Hz)

B_m = Kerapatan fluks maksimum (W_b/m^2)

1.6 = indeks steinmetz

b. Rugi Arus Eddy

Rugi arus eddy adalah rugi-rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi. Arus pusar ini mengalir pada inti besi karena adanya induksi magnetic yang ditimbulkan oleh kumparan primer pada inti besi. Sama seperti pada rugi histerisis, rugi arus eddy ini berakibat timbulnya panas pada inti besi. Untuk memperkecil rugi arus eddy dipakai inti besi yang berupa lembaran lembaran tipis yang dilapisi isolator. Besar rugi arus eddy dirumuskan sebagai:

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 t^2 \text{ (Watt)} \quad (2.17)$$

Dimana:

P_e = Rugi arus Eddy (Watt)

K_e = Konstanta arus Eddy

f = Frekuensi (Hz)

B_m = Kerapatan fluks maksimum (W_b/m^2)

t = Tebal laminasi/plat(mm)

Jadi rugi besi P_i pada inti dapat dinyatakan sebagai:

$$P_i = P_h + P_e \quad (2.18)$$

Sedangkan efisiensi kerja dari suatu transformfer dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \text{Daya keluar} / \text{Daya masuk} \\ &= \text{Daya keluar} / (\text{Daya Keluar} + \sum \text{rugi-rugi}) \\ &= 1 - (\sum \text{rugi-rugi} / \text{daya masuk}) \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$= P_{out} / P_{in} * 100\% \text{ (untuk Transformator Ideal)} \quad (2.20)$$

2.1.8. Kemampuan Transfer Daya Transformator.

Kemampuan transfer daya suatu transformator ditentukan oleh volume efektif dari inti (V_e), semakin besar V_e , semakin besar pula kemampuan transfer daya transformator itu, hubungan ini dapat dinyatakan:

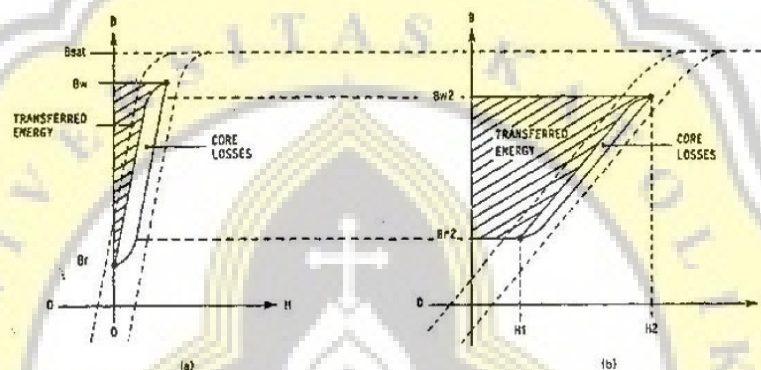
$$P = fV_e \int_{B_r}^{B_w} HdB = \frac{1}{2\mu} B_{maks}^2 V_e f \quad (2.21)$$

Dimana:

f = Frekuensi

V_e =Volume efektif dari inti dan celah udara

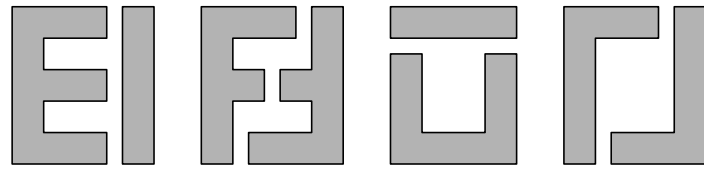
Untuk sebuah inti yang mempunyai luasan efektif (A_e) tertentu, harga V_e dapat diperbesar dengan memperbesar celah udara pada inti. Dengan menggunakan celah udara yang lebih besar, transformator dengan A_e tertentu dapat dibuat untuk mentransfer daya yang lebih besar dibandingkan dengan penggunaan celah udara yang lebih kecil.



**Gambar 2.3 a) inti dengan celah udara kecil
b) inti dengan celah udara lebih besar**

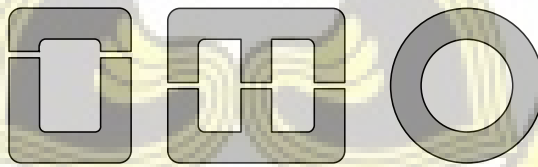
2.1.9. Konduksi Elemen Inti Transformator.

Transformator terdiri dari lilitan (kumparan) dari kawat tembaga berisolasi (dilapisi email) digulung pada sebuah gelondongan yang terbuat dari plastic dengan bagian tengahnya berongga sebagai tempat memasukan inti trafo. Pada Transformator daya dengan frekuensi rendah (umumnya frekuensi jala-jala 50-60 Hz) menggunakan inti yang terbuat dari lempengan besi yang dilapisi pernis yang bersifat isolator dan tahan panas. Bentuk Laminasinya ada yang berbentuk E - I, F, V - I, L. Dari keempat bentuk tersebut model E-I yang banyak dipakai.



Gambar 2.4 Bentuk-bentuk inti Besi trafo yang dilaminasi

Untuk transformator daya dengan frekuensi kerja yang tinggi (Orde Puluhan KHz), inti yang digunakan bukan besi karena inti besi akan saturasi bila digunakan frekuensi dalam orde KHz. Inti yang cocok untuk frekuensi tinggi adalah bahan Ferrit (serbuk besi yang dipadatkan dengan perekat). Bentuk inti ferrit yang umum adalah inti berbentuk C, E, dan Ring atau cincin untuk transformator jenis toroidal.

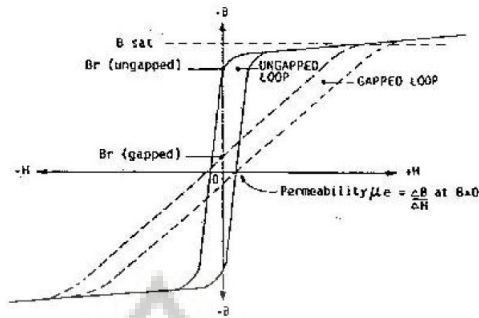


Gambar 2.5 Bentuk-bentuk inti Ferrite

2.1.10. Pengaruh Celah Udara

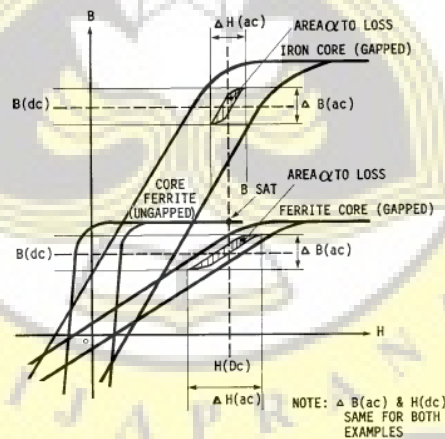
Pada inti yang mempunyai celah udara, intensitas medan magnet H lebih besar dan kerapatan fluks residual (sisa) B_r Lebih kecil disbanding inti tanpa celah udara, akan tetapi tingkat kejenuhan (saturasi) dari kedua inti tersebut adalah sama. Ini dapat dilihat pada gambar

:



Gambar 2.6 Kurva histerisis inti ferit dengan dan tanpa celah udara

Pada gambar 2.7 menunjukkan ¼ bagian pertama dari kurva histerisis sekaligus menunjukkan pengaruh dari sebuah celah udara pada inti. Dari gambar 2.7 juga akan menunjukkan perbedaan antara pengaruh dari kondisi pengkutuban AC dan DC.



Gambar 2.7 ¼ bagian pertama kurva histerisis inti ferit dengan dan tanpa celah udara

2.1.11. Polarisasi AC

Dari hukum induksi faraday

$$\text{emf} = \frac{Nd\phi}{dt} \quad (2.22)$$

Dari persamaan 2.21 dapat dilihat bahwa besarnya tegangan emf balik yang dihasilkan oleh transformator harus sama dengan besarnya tegangan primer yang diberikan ke transformator (dengan asumsi rugi-rugi transformator diabaikan).

Agar transformator dapat dipakai pada tegangan primer tertentu, perubahan kerapatan fluks ΔB_{ac} diperlukan. Amplitude ΔB_{ac} harus sebanding dengan tegangan yang diberikan dan periode 'on' dari transistor Q1, sehingga ΔB_{ac} ditentukan oleh kondisi tegangan AC yang diberikan bukan tergantung pada celah udara. Karena itu kondisi AC yang diberikan ke transformator dapat dilihat sebagai garis vertical dari sumbu B pada kurva hysteresis. Yang memberikan kenaikan pada sebuah perubahan pada arus magnetisasi ΔH_{ac} .

2.1.12. Pengaruh Celah Udara Pada Kondisi AC

Dapat dilihat pada gambar 2.7 bahwa kenaikan dari celah udara berakibat mengecilnya kurva karakteristik B/H, tetapi tidak merubah ΔB_{ac} yang dibutuhkan. Karena itu celah udara tidak merubah kebutuhan kerapatan fluks AC atau dengankata lain menaikkan tingkat kerja dari inti pada kondisi AC. Kesalahan konsep yang sering terjadi adalah anggapan bahwa sebuah inti yang mengalami saturasi karena kurangnya lilitan primer, kelebihan tegangan supply AC atau pengoperasian pada frekuensi rendah, atau dapat diperbaiki dengan menambahkan celah udara. Padahal hal tersebut tidak benar, kerapatan fluks saturasi B_{sat} adalah

tetap sama, dengan atau tanpa celah udara. Tetapi, penambahan sebuah celah udara akan dapat mengurangi kerapatan fluks sisa (B_r) dan menambah range kerja untuk ΔB_{ac} .

2.1.13. Pengaruh Celah Udara Pada Kondisi DC

dalam system SMPS, arus primer I_p hanya mengarah ke satu sisi saja, sebagai akibatnya, ada komponen DC pada I_p sebesar $\frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$. Komponen DC yang mengalir lewat belitan transformator menimbulkan H_{dc} , yang mana akan menimbulkan B_{dc} sebesar $\mu \cdot H_{dc}$. Bila komponen DC terlalu besar, bias menyebabkan inti mengalami saturasi (harga B mencapai B_{sat}), untuk mencegah terjadinya saturasi pada inti dengan harga H_{dc} , maka μ inti harus dikurangi agar harga B tidak mencapai harga B_{sat} , pengaturan μ inti didapat dengan jalan mengatur lebar celah udara pada inti transformator. Ini berarti bahwa celah udara akan dapat membuat inti transformator menerima nilai H_{dc} yang lebih besar, tanpa menyebabkan inti mengalami saturasi. Gambar 2.7 menunjukkan penyimpangan kerapatan fluks ΔB_{ac} (yang dibutuhkan untuk menerima tegangan AC) yang berarti kerapatan fluks B_{dc} yang dihasilkan komponen arus DC H_{dc} untuk keadaan inti dengan dan tanpa celah. Untuk inti dengan celah, dibutuhkan lebih besar arus DC agar dapat dihasilkan kerapatan fluks B_{dc} yang sama.

Perlu diingat bahwa harga tegangan, lilitan dan inti menggambarkan perubahan keadaan AC pada kerapatan fluks ΔB_{ac} yang ditunjukkan dengan sumbu B vertikal, sedangkan panjang arus DC, lilitan dan jalur magnetic

menentukan nilai H_{dc} digambarkan pada sumbu horizontal. Lilitan dan luasan inti yang cukup harus disediakan untuk menerima keadaan AC, dan celah udara yang cukup juga harus disediakan pada inti untuk mencegah kejenuhan menerima komponen DC.

Dari ulasan diatas dapat dikatakan keadaan AC dan DC perlu diperhatikan pertama-tama saat merancang smps transformer.

Keadaan AC menentukan jumlah lilitan primer minimum transformator yang diperbolehkan, agar inti tidak mengalami kejenuhan atau saturasi. Untuk menentukan jumlah lilitan primer minimum dapat dipakai persamaan umum:

$$emf = N \frac{d\phi}{dt} = N \cdot A \cdot \frac{dB}{dt} \quad (2.23)$$

$$N_{min} = \frac{emf \, dt}{A_e dB} = \frac{V_{inmaks}(DC) t_{on \, min}}{A_e B_{maks}} \quad (2.24)$$

A_e dan B_{maks} didapat setelah melakukan pemilihan inti, dan V_{inmaks} dan $t_{on \, min}$ didapat dari spesifikasi rangkaian control SMPS.

Kondisi DC akan menentukan besarnya celah udara untuk mencegah terjadinya saturasi pada inti karena pengaruh besarnya kompoen DC dari arus primer yang akan menimbulkan H_{dc} . Lebar celah udara pada inti juga akan menentukan kemampuan transfer daya transformator.

2.1.14. Menghitung Lilitan Primer Minimum

Lilitan primer dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan tegangan input untuk sebuah periode 'on' tunggal, karena bentuk gelombang tegangan input adalah pulsa kotak maka berlaku persamaan:

$$N_{p_{min}} = \frac{V_{in\ maks} t_{on\ min}}{B_{maks} A_{eff}} \quad (2.25)$$

Dimana:

$N_{p_{min}}$ = lilitan primer minimum

$V_{in\ min}$ = tegangan DC yang diberikan

$t_{on\ maks}$ = waktu 'on' (μs)

B_{maks} = kerapatan fluks maksimum (T)

A_{eff} = luasan diagonal minimum inti (mm^2)

2.1.15. Menghitung Lilitan Minimum Sekunder

Lilitan skunder minimum ditentukan oleh persamaan

$$N_s = \frac{V_s}{V/N} \quad (2.26)$$

Dimana:

N_s = lilitan sekunder

V_s = tegangan sekunder

V/N = tegangan per lilitan

2.1.16. Menghitung Induktansi Primer Transformator

Terlebih dahulu menghitung nilai $I_{p\ peak}$ dengan rumusan:

$$I_{p\ peak} = \frac{2 \cdot P_{out}}{\eta V_{in\ min} K_{maks}} \quad (2.27)$$

Dimana:

P_{out} = daya output maksimum transformator

η = efisiensi transformator

$V_{in\ maks}$ = tegangan DC input minimum

K_{maks} = konstantan dari rangkaian control

Dan besarnya induktansi primer adalah:

$$L_P = \frac{V_{in\ min} K_{maks}}{I_p f} \quad (2.28)$$

Dimana:

f = frekuensi kerja transformator

2.1.17. Perhitungan Celah Udara.

Celah udara inti membutuhkan daya magnetisasi H yang lebih besar untuk menjadikan inti jenuh, karena H itu akan menahan lebih banyak bagian arus DC yang lebih besar. Juga akan didapat harga kerapatan fluks sisa (Br) lebih sedikit, memberikan ruang kerja yang lebih besar dan dapat digunakan untuk kerapatan fluks inti tetapi permeabilitas harus diturunkan, menghasilkan induktansi per lilitan lebih kecil dan induktansi total yang lebih kecil pula.

Untuk menghitung besar celah udara, digunakan persamaan:

$$L_{gap} = \frac{\mu_r N_p^2 A_{eff}}{L_p} \quad (2.29)$$

Dimana:

L_{gap} = panjang total dari celah udara (mm^2)

μ_r = $4\pi 10^{-7}$

N_p = lilitan primer

A_{eff} = luasan inti (mm^2)

L_p = induktansi primer (mH)

2.2. DC-DC Converter

2.2.1. Pendahuluan

Sistem catu-daya yang bekerja dalam mode pensaklaran (switching) mempunyai efisiensi yang jauh lebih tinggi dibanding sistem catu-daya linier. Oleh karenanya, hampir semua catu-daya modern bekerja dalam mode switching atau dikenal sebagai SMPS (Switched Mode Power Supply). Komponen utama

dari sistem catu-daya adalah konverter dc-dc yang berfungsi untuk mengkonversikan daya elektrik bentuk dc (searah) ke bentuk dc lainnya. Secara umum, ada tiga rangkaian (topologi) dasar konverter dc-dc, yaitu :Buck converter (chopper stepdown), Boost converter (Chopper stepup), Buck-boostconverter.

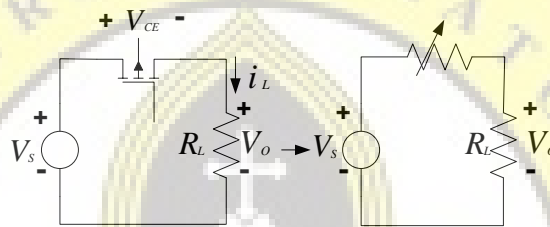
Rangkaian lain biasanya mempunyai kinerja mirip dengan topologi dasar ini sehingga sering disebut sebagai turunannya. Contoh dari konverter dc-dc yang dianggap sebagai turunan rangkaian buck adalah forward, push-pull, half-bridge, dan full-bridge. Contoh dari turunan rangkaian boost adalah konverter yang bekerja sebagai sumber arus. Contoh dari turunan rangkaian buck-boost adalah konverter flyback.

Pada tahun 1980-an, ditemukan dan dipatenkan ratusan rangkaian baru konverter dc-dc. Rangkaian baru ini ditawarkan dengan bermacam kelebihan yang diklaim bisa menggantikan peran rangkaian konvensional. Para insinyur baru sering sekali pusing dan menghabiskan banyak waktu untuk memilih dan mencoba rangkaian baru ini. Akan tetapi setelah banyak menghabiskan waktu dan biaya, sering sekali terbukti bahwa rangkaian baru tersebut sangat susah untuk diproduksi. Sebagai akibatnya, sampai saat ini, hampir semua industri masih menawarkan topologi dasar dalam jajaran produknya. Pengecualian mungkin ditemui pada penerapan yang sangat khusus. Akan tetapi, hampir semua insinyur biasanya mencoba lebih dulu menggunakan rangkaian dasar untuk bermacam keperluan. Kalau diperlukan, kinerja yang khusus dicoba dipenuhi dengan menggunakan beberapa rangkaian dasar yang dihubungkan seri, paralel, atau

kaskade. Kondisi ini tidak berarti bahwa konverter dc-dc tidak mengalami perkembangan selama tiga-puluh tahun terakhir ini.

2.2.2. Prinsip Dasar DC-DC Converter

Untuk lebih memahami keuntungan dari tipe peralihan, kita lihat kembali prinsip pengubahan daya DC-DC tipe linier seperti terlihat pada Gambar 2.8



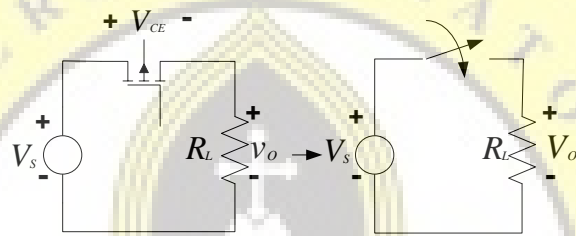
Gambar 2.8 Pengubah tipe linier

Pada tipe linier, pengaturan tegangan keluaran dicapai dengan menyesuaikan arus pada beban yang besarnya tergantung dari besar arus pada base-nya transistor:

$$V_o = I_L \times R_L \quad (2.30)$$

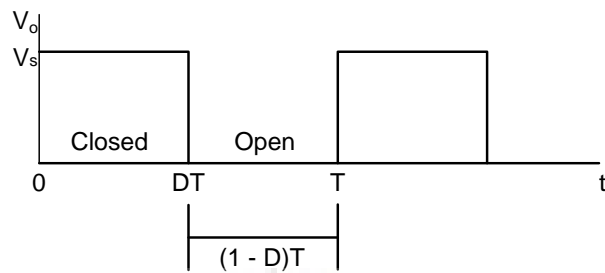
Dengan demikian pada tipe linier, fungsi transistor menyerupai tahanan yang dapat diubah ubah besarnya seperti yang juga terlihat dalam Gambar 2.8 Lebih jauh lagi, transistor yang digunakan hanya dapat dioperasikan pada batasan liniernya (linear region) dan tidak melebihi batasan cutoff dan selebihnya

(saturation region). Maka dari itu tipe ini dikenal dengan tipe linier. Walau tipe linier merupakan cara termudah untuk mencapai tegangan keluaran yang bervariasi, namun kurang diminati pada aplikasi daya karena tingginya daya yang hilang (powerloss) pada transistor ($V_{CE} \cdot I_L$) sehingga berakibat rendahnya efisiensi. Sebagai alternatif, maka muncul tipe peralihan yang pada prinsipnya dapat dilihat pada Gambar 2.9:



Gambar 2.9 Pengubah tipe peralihan

Pada tipe peralihan, terlihat fungsi transistor sebagai electronic switch yang dapat dibuka (off) dan ditutup (on). Dengan asumsi bahwa switch tersebut ideal, jika switch ditutup maka tegangan keluaran akan sama dengan tegangan masukan, sedangkan jika switch dibuka maka tegangan keluaran akan menjadi nol. Dengan demikian tegangan keluaran yang dihasilkan akan berbentuk pulsa seperti pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Tegangan keluaran

Besaran rata rata atau komponen DC dari tegangan keluaran dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$\frac{1}{T} \int_0^T V_o(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{DT} V_{in} dt = V_{in} D \quad (2.31)$$

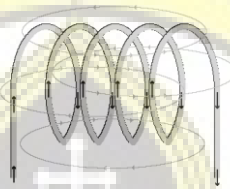
Dari persamaan diatas terlihat bahwa tegangan keluaran DC dapat diatur besarnya dengan menyesuaikan parameter D. Parameter D dikenal sebagai Duty ratio yaitu rasio antara lamanya waktu switch ditutup (ton) dengan perioda T dari pulsa tegangan keluaran, atau (lihat Gambar 2.10):

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T} = T_{ON} f \quad (2.32)$$

dengan $0 \leq D \leq 1$. Parameter f adalah frekuensi peralihan (switching frequency) yang digunakan dalam mengoperasikan switch. Berbeda dengan tipe linier, pada tipe peralihan tidak ada daya yang diserap pada transistor sebagai switch. Ini dimungkinkan karena pada waktu switch ditutup tidak ada tegangan yang jatuh pada transistor, sedangkan pada waktu switch dibuka, tidak ada arus listrik

mengalir. Ini berarti semua daya terserap pada beban, sehingga efisiensi daya menjadi 100%. Namun perlu diingat pada prakteknya, tidak ada switch yang ideal, sehingga akan tetap ada daya yang hilang sekecil apapun pada komponen switch dan efisiensinya walaupun sangat tinggi, tidak akan pernah mencapai 100%.

2.3. Induktor



Gambar 2.11 Induktor

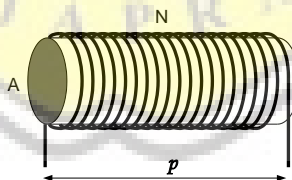
Induktor adalah komponen yang dapat menyimpan energi magnetik. Biasanya sebuah induktor adalah sebuah kawat penghantar yang dibentuk menjadi kumparan, lilitan membantu membuat medan magnet yang kuat di dalam kumparan dikarenakan hukum induksi Faraday.

Induktor adalah salah satu komponen elektronik dasar yang digunakan dalam rangkaian yang arus dan tegangannya berubah-ubah dikarenakan kemampuan induktor untuk memproses arus bolak-balik. Sebuah induktor ideal memiliki induktansi, tetapi tanpa resistansi atau kapasitansi, dan tidak memboroskan daya. Sebuah induktor pada kenyataannya merupakan gabungan dari induktansi, beberapa resistansi karena resistivitas kawat, dan beberapa kapasitansi. Pada suatu frekuensi, induktor dapat menjadi sirkuit resonansi karena kapasitas

parasitnya. Selain memboroskan daya pada resistansi kawat, induktor berinti magnet juga memboroskan daya di dalam inti karena efek histeresis, dan pada arus tinggi mungkin mengalami nonlinearitas karena penjenuhan. Induktansi (L) (diukur dalam Henry) adalah efek dari medan magnet yang terbentuk disekitar konduktor pembawa arus yang bersifat menahan perubahan arus. Arus listrik yang melewati konduktor membuat medan magnet sebanding dengan besar arus. Perubahan dalam arus menyebabkan perubahan medan magnet yang mengakibatkan gaya elektromagnetik lawan melalui GGL induksi yang bersifat menentang perubahan arus. Induktansi diukur berdasarkan jumlah gaya elektromotif yang ditimbulkan untuk setiap perubahan arus terhadap waktu. Secara matematis tegangan emf ditulis :

$$E = -L \frac{di}{dt} \quad (2.33)$$

Fungsi inti dalam inductor adalah untuk memperbesar nilai induksi diri yang dinyatakan dalam satuan Henry.



Gambar 2.12 Induktor diberi Inti

Ada tiga jenis inti yang biasa digunakan untuk membuat inductor yaitu :

1. Inti Besi untuk inductor yang bekerja di frekuensi rendah

2. Inti Ferrit (Serbuk besi yang dipadatkan dengan perekat) untuk inductor yang bekerja di frekuensi tinggi.
3. Inti Udara untuk inductor yang bekerja di frekuensi sangat tinggi.

Menghitung induksi diri dengan inti

$$L = \mu_r \mu_0 \frac{N^2}{p} A (\text{Henry}) \quad (2.34)$$

Dimana:

μ_r = Permeabilitas Relatif inti

μ_0 = $1,26 \cdot 10^{-6}$

(permeabilitas absolute)

N = banyaknya lilitan

A = luas lilitan pada inti (m^2)

p = panjang lilitan (m)