BAB II

INDUKTANSI PADA KONDUKTOR SELINDER

II.1 Induktansi Pada Penghantar Berarus

Adanya flux magnet pada saluran $\varepsilon = \dfrac{d\phi}{dt}$ (2.1)

Dengan permeabilitas μ yang konstan maka:

$$\phi = Li \Rightarrow e = L\frac{di}{dt} \Rightarrow L = \frac{d\phi}{di} \tag{2.2}$$

dimana:

ε = tegangan imbas (volt)

L = induktansi rangkaian (Henry)

$\dfrac{di}{dt}$ = kecepatan perubahan arus (A/s)

Fluks magnet mempunyai hubungan linier dengan arus dan permeabilitas konstan, maka : $L = \dfrac{\phi}{i} \Rightarrow \phi = Li$ untuk tegangan AC ψ dan I sepasa

II.2 Induktansi Pengantar yang Disebabkan oleh Fluks Internal

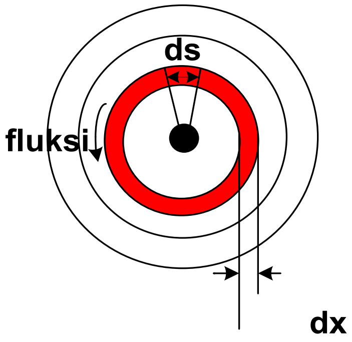
Magnetomotive (mmf = gaya gerak magnet) dalam ampere-turns sepanjang jalur tertutup yang manapun sama dengan arus dalam ampere yang dikelilingi oleh jalur tersebut, mmf juga sama dengan integral komponen garis singgung (tangensial) dari kuat (intensitas) medan magnet disepanjang jalur yang sama. Jadi:

$$mmf = \oint H.ds = I$$

dimana : H = kuat (intensitas) medan magnet (At/m)

s = jarak sepanjang jalur (m)

I = arus (A) yang dikelilingi



Gambar 2.1 Penampang Suatu Penghantar Berbentuk Selinder

Dari gambar diatas jarak x dan intensitas magnet H maka

$$\oint H_X .ds = I \tag{2.3}$$

$$2\pi x.H_X = I_X \tag{2.4}$$

untuk kerapatan arus yang uniform

$$I_X = \frac{\pi x^2}{\pi r^2} I \tag{2.5}$$

$$2\pi x Hx = \frac{x^2}{r^2} I \tag{2.6}$$

Intensitas medan magnet dengan jarak x

$$Hx = \frac{x}{2\pi r^2} I \tag{2.7}$$

Kerapatan fluks

$$B_x = \mu\ H_x = \mu \frac{x}{2\pi r^2} I \tag{2.8}$$

Dengan $\mu = \mu_r \mu_o$ dengan μ_r = permeabilitas relatif , $\mu_o = 4\ \pi\ 10^{-7}$ H/m

Pada elemen setebal dx

Fluksi/m = $d\phi = \frac{\mu x}{2\pi r^2} Idx$ (2.9)

Fluks yang melingkar per meter disebabkan fluksi element

$$\psi_{\text{int}} = \int_0^r \mu \frac{Ix^3}{2\pi r^4} Idx = \mu \frac{I}{8\pi} \quad (2.10)$$

Jika $\mu_r = 1$ dan $\mu_o = 4\pi\ 10^{-7}$ H/m

$$\psi_{\text{int}} = \frac{1}{2} I \times 10^{-7}\ H/m \quad \text{dan} \quad L = \frac{1}{2} \times 10^{-7}\ H \quad (2.11)$$

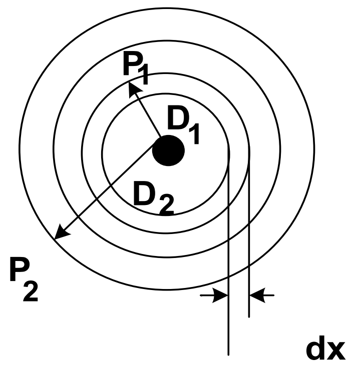
II.3 Fluks Gandeng Antara Dua Titik Diluar Penghantar yang Tersendiri

Untuk menghitung induktansi yang disebabkan oleh fluks yang berada di luar konduktor, dapat diturunkan suatu rumus untuk fluks gandeng pada sebuah penghantar yang tersendiri (isolated) yang disebabkan oleh bagian dari fluks eksternal yang terletak diantara dua titik pada jarak D_1 dan D_2 meter dari titik tengah penghantar. Jalur – jalur fluks merupakan lingkaran konsentris (digambarkan dengan garis- garis lingkaran penuh) yang melalui P_1 dan P_2. Pada element berbentuk tabung pada jarak x meter dari titik tengah penghantar, kuat medan adalah H_x mmf disepanjang element ini adalah :

$$2\pi x Hx = I_x ; H_x = \frac{I}{2\pi x} \quad (2.12)$$

Dengan mendapatkan H_x dan mengalikannya dengan μ kita peroleh kerapatan fluksi B_x pada element itu, sehingga

$$B_x = \frac{\mu I}{\pi r} \text{ Wb/m}^2 \quad (2.13)$$



Gambar 2.2 Suatu Penghantar Dan Titik Eksternal P_1 Dan P_2

Fluksi dΦ pada element berbentuk pipa dengan tebal dx adalah :

$$d\phi = \mu \frac{I}{2\pi x} dx \qquad (2.14)$$

Fluks gandeng dψ per meter dalam meter sama dengan fluks dΦ karena fluks yang berada diluar penghantar menggandeng seluruh arus penghantar hanya sekali saja. Fluks gandeng total antara P_1dan P_2 diperoleh dengan menghitung integral dψ dari x = D_1 sampai x = D_2 diperoleh

$$\psi_{\text{int}} = \int_{D!}^{D2} \mu \frac{I}{2\pi x} dx \qquad (2.15)$$

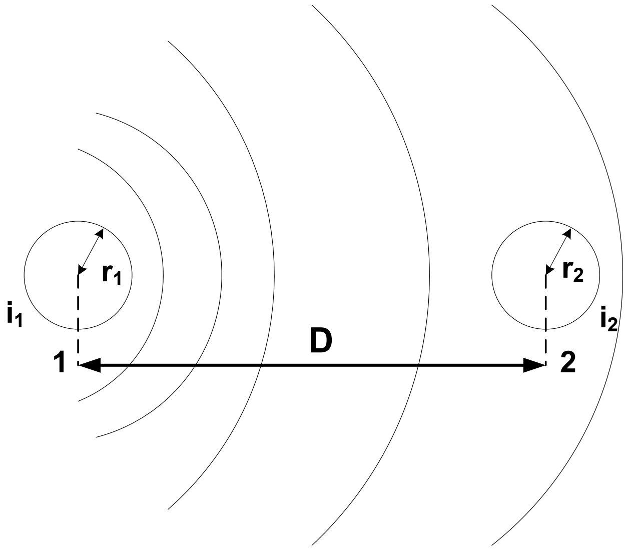
$$= \frac{\mu I}{2\pi x} \ln \frac{D_2}{D_1} \qquad (2.16)$$

$$= \psi_{\text{int}} = 2 \times 10^{-7} \times I \times \ln \frac{D_2}{D_1} \qquad (2.17)$$

Induktansi yang didapat terhadap fluksi yang terkandung antara P_1 dan P_2

$$L_{12} = \frac{\psi_{12}}{I} \Rightarrow L_{12} = 2 \times 10^{-7} \times \ln \frac{D_2}{D_1} H/m \qquad (2.18)$$

II.4 Induktansi Saluran Dua-Kawat Berfasa Tunggal



Gambar 2.3 Konduktor Balik Dekat Dengan Konduktor Pertama

Gambar 2.3 memperlihatkan rangkaian yang mempunyai dua penghantar masing – masing dengan jari –jari r_1 dan r_2. Penghantar yang satu merupakan rangkaian kembali untuk penghantar yang lain. Pertama – tama kita perhatikan fluks gandeng dari rangkaian yang disebabkan oleh arus pada penghantar 1. Suatu garis fluks yang dibangkitkan oleh arus pada penghantar 1 pada jarak yang sama dengan atau lebih besar dari D + r_2 dari titik tengah pengantar 1 tidak menggandengkan rangkaian itu dan karenanya tidak dapat mengimbas tegangan pada rangkaian. Dengan perkataan lain, garis fluks semacam itu menggandeng arus neto (total) yang sama dengan nol, karena arus pada penghantar 2 sama besarnya tapi berlawanan arah dengan arus pada penghantar 1.

Bagian dari arus total yang digandengkan oleh suatu garis fluks di luar penghantar 1 pada jarak yang sama dengan atau kurang dari D - r_2 adalah 1. Diantara D – r_1 dan D + r_2 (jadi pada penghantar 2), bagian dari arus total pada rangkaian yang digandengkan oleh garis fluks yang ditimbulkan oleh arus pada penghantar 1 bevariasi di antara 1 dan 0. Karena itu, memang masuk akal untuk menyederhanakan masalah ini, jika D jauh lebih besar dari r_1 dan r_2 dan kerapatan fluks melalui penghantar hampir merata, dengan memisahkan bahwa seluruh fluks eksternal yang dibangkitkan oleh arus pada penghantar 1 sampai pada titik tengah penghantar 2 menggandeng seluruh arus I dan bahwa fluks di luar titik tengah penghantar tidak menggandeng arus apapun.

Induktansi rangkaian yang disebabkan oleh arus pada penghantar 1 diberikan oleh Persamaan (2.18). Untuk fluks eksternal saja berlaku

$$L_{1.ext} = 2\times10^{-7}\times\ln\frac{D}{r_1} \text{ H/m} \tag{2.19}$$

Untuk fluks internal saja berlaku

$$L_{1.\text{int}} = \frac{1}{2}\times10^{-7} \text{ H/m} \tag{2.20}$$

Induktansi total rangkaian yang disebabkan oleh arus pada penghantar 1 saja adalah :

$$\text{L}_1 = \left(\frac{1}{2}+2\ln\frac{D}{r_1}\right)\times10^{-7} \quad \text{H/m} \tag{2.21}$$

Rumus induktansi dapat diubah kedalam bentuk yang lebih singkat dengan

menguraikan Persamaan (2.21) dan mengingat kembali bahwa $\ln\varepsilon^{1/4} = \frac{1}{4}$, sehingga:

$$\text{L}_1 = 2\times10^{-7}\left(\ln\varepsilon^{1/4}+\ln\frac{D}{r_1}\right) \qquad \text{H/m} \tag{2.22}$$

Dengan menyatukan suku- suku kita dapat

$$\text{L}_1 = 2\times10^{-7}\ln\frac{D}{r_1\varepsilon^{-1/4}} \qquad \text{H/m} \tag{2.23}$$

Jika kita subtitusi r_1' untuk $r_1 \varepsilon^{-1/4}$,maka kita dapat

$$L_1 = 2\times10^{-7} \ln\frac{D}{r_1'} \qquad \text{H/m} \qquad (2.24)$$

Jari – jari r_1' adalah jari – jari suatu penghantar fiktif yang diumpamakan tidak mempunyai fluks internal tetapi dengan induktansi yang sama dengan induktansi penghantar sebenarnya dengan jari – jari r_1. Karena arus pada penghantar 2 mengalir dengan arah yang berlawanan dengan arus pada penghantar 1 (atau berselisih fasa 180^0 dengannya), fluks gandeng yang dihasilkan oleh arus pada penghantar 2 saja mempunyai arah yang sama melalui rangkaian seperti yang dihasilkan oleh arus pada penghantar 1. Hasil akhir fluks kedua penghantar itu ditentukan oleh jumlah mmf keduanya. Tetapi untuk permibilitas yang konstan, fluks gandeng (dan demikian pula induksi) kedua penghantar tersebut yang telah dihitung sendiri – sendiri dapat ditambahkan. Maka induktansi yang disebabkan oleh arus pada penghantar 2 adalah:

$$L_1 = 2\times10^{-7} \ln\frac{D}{r_2'} \qquad \text{H/m} \qquad (2.25)$$

Dan untuk keseluruhan rangkaian

$$L = L_1 + L_2 = 4\times10^{-7} \ln\frac{D}{\sqrt{r_1' r_2'}} \qquad \text{H/m} \qquad (2.26)$$

Jika r_1' dan r_2' = r', induktansi keseluruhan menjadi

$$L_2 = 4\times10^{-7} \ln\frac{D}{r'} \qquad \text{H/m} \qquad (2.27)$$