

## ANALISIS DISAIN FILTER LC UNTUK SISTEM DAYA

### Design Analysis of LC Filter for Power System

**Rusli Gustiono**

SMK Negeri Gebang Cirebon  
 Jl. Raya Gebang Ilir, Perum Gebang Permai No.1 Cirebon  
 Telepon : +62 231 661562  
 e-mail: [rusli.gustiono@yahoo.com](mailto:rusli.gustiono@yahoo.com)

#### ABSTRACT

*Static converter and electronic device are able to generate harmonics current. Harmonics current can causes overheating of rotational machinery, transformator, magnetic contactor and cable of line distribution. Harmonic current effect is able to be reduced with using harmonic filter. Actually, for significant harmonic reduction must do field experiment or trial but determine resonance frequency, value of induktor and capacitor are first step in design filter before to do field experiment. This papper to intoudece other analysis in determining or calculating resonance frequency which be basic in harmonic filter design.*

*Key word: frequency resonance, harmonic filter*

#### Pendahuluan

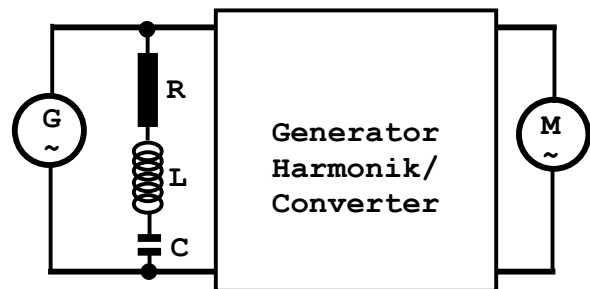
##### Latar Belakang

Beban-beban non linier seperti peralatan elektronik, inverter, rectifier, UPS dan peralatan static converter lainnya menyebabkan distorsi bentuk gelombang pada saluran daya. Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan sintesis dari gelombang berfrekuensi dasar dengan sejumlah gelombang yang berfrekuensi kelipatan dari frekuensi dasar.

Gelombang dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar disebut gelombang harmonik. Beban-beban non linier merupakan generator gelombang harmonik. Gelombang-gelombang dengan frekuensi harmonik mengakibatkan meningkatnya rugi-rugi histerisis dalam bentuk panas pada transformator, motor induksi, kabel dan pada kontaktor magnet. Gelombang-gelombang dengan frekuensi harmonik juga dapat mengakibatkan kesalahan pembacaan pada alat-alat ukur elektromekanik yang menggunakan prinsip kerja elektromagnet. Sebuah transformator daya dapat meledak hanya karena menanggung harmonik yang tinggi.

Untuk mengatasi masalah harmonik pada system daya diperlukan rangkaian filter. Rangkaian filter ini tentunya harus berfungsi ganda yaitu pada frekuensi dasar (frekuensi daya) filter harus mampu menyuplai sebagian kebutuhan daya reaktif beban dan pada frekuensi diatas frekuensi dasar filter harus mampu menahan/menapis gelombang harmonik.

#### Dasar-dasar Rangkaian Filter Pasif RLC



Gambar 1 Rangkaian filter pasif RLC untuk system daya

Dari rangkaian pada gambar 1 impedansi filter adalah  $Z_f$ :

$$Z_f = R + j \frac{(\omega^2 LC - 1)}{\omega C} \quad \dots(1)$$

dimana  $\omega = 2\pi f$

Ketika bagian imajiner dari impedansi  $Z_f$  berharga nol, maka besar impedansi akan mencapai nilai minimum, yaitu sebesar:

$$Z_{f \min} = R \quad \dots(2)$$

Nilai impedansi mencapai minimum pada saat:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \dots(3)$$

Frekuensi saluran daya yang menyebabkan impedansi filter berharga minimum disebut frekuensi

resonansi  $f_r$  yang berkoresponden dengan nilai  $\omega$ . Sehingga persamaan (3) dapat ditulis menjadi:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \dots\dots(4)$$

Sehingga persamaan (1) menjadi:

$$Z_f = R + j \frac{(\omega^2 - \omega_r^2)}{\omega_r^2 \omega C} \quad \dots\dots(5)$$

Daya yang diserap rangkaian filter pada saat resonansi adalah:

$$P_f = I_f \max^2 \cdot R \quad \dots\dots(6)$$

atau:

$$P_{f \max} = \left( \frac{V}{Z_{f \min}} \right)^2 \cdot R \quad \dots\dots(7)$$

Ini merupakan daya maksimum yang diserap rangkaian filter.

Dengan memperhatikan persamaan (2), maka persamaan (7) dapat diubah menjadi:

$$P_{f \max} = \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots(8)$$

Ketika rangkaian bekerja diluar titik resonansi maka ada suatu frekuensi yang menempatkan rangkaian filter menyerap daya setengahnya dari daya maksimum.

$$P_f = 0,5 \cdot P_{f \max} \quad \dots\dots(9)$$

$$\left( \frac{V}{Z_f} \right)^2 \cdot R = 0,5 \cdot \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots(10)$$

Sehingga besar impedansi filter setengah daya adalah:

$$Z_f = R\sqrt{2} \quad \dots\dots(11)$$

Persamaan (11) mengandung pengertian bahwa bagian imajiner dari persamaan (5) dapat bernilai:

$$\frac{(\omega^2 - \omega_r^2)}{\omega_r^2 \omega C} = -R \quad \dots\dots(12)$$

atau:

$$\frac{(\omega^2 - \omega_r^2)}{\omega_r^2 \omega C} = R \quad \dots\dots(13)$$

Dengan memperhatikan sifat rangkaian pada gambar 1, persamaan (12) menginformasikan bahwa rangkaian filter bersifat kapasitif. Kondisi tersebut terjadi ketika rangkaian bekerja dibawah frekuensi resonansi. Sedangkan persamaan (13)

menginformasikan bahwa rangkaian filter bersifat induktif. Kondisi tersebut terjadi ketika rangkaian bekerja diatas frekuensi resonansi.

Dengan mengali bentuk persamaan (12) menjadi:

$$\omega^2 + \omega \omega_r^2 RC - \omega_r^2 = 0 \quad \dots\dots(14)$$

maka akan didapat harga  $\omega$  yang positif, yaitu:

$$\omega = \frac{-\omega_r^2 RC + \sqrt{(-\omega_r^2 RC)^2 + 4\omega_r^2}}{2} \quad \dots\dots(15)$$

Karena  $\omega$  yang didapat berada dibawah harga  $\omega_r$ , maka  $\omega$  tersebut diberi simbol  $\omega_L$ .

$$\omega_L = \frac{-\omega_r^2 RC + \sqrt{(-\omega_r^2 RC)^2 + 4\omega_r^2}}{2} \quad \dots\dots(16)$$

Dengan mengali bentuk persamaan (13) menjadi:

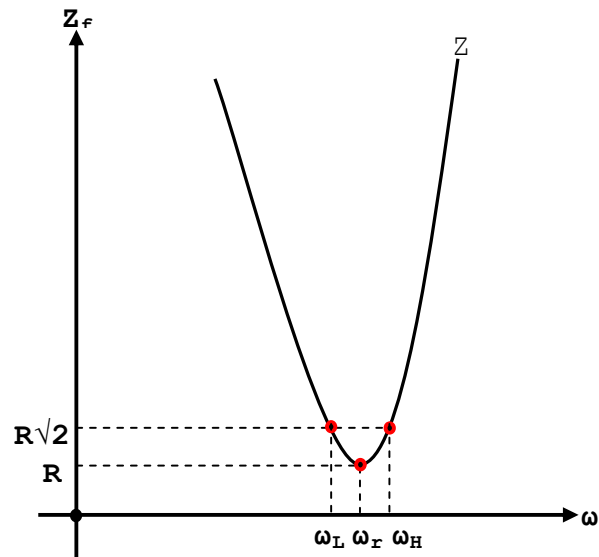
$$\omega^2 - \omega \omega_r^2 RC - \omega_r^2 = 0 \quad \dots\dots(17)$$

maka akan didapat harga  $\omega$  yang positif, yaitu:

$$\omega = \frac{\omega_r^2 RC + \sqrt{(\omega_r^2 RC)^2 + 4\omega_r^2}}{2} \quad \dots\dots(18)$$

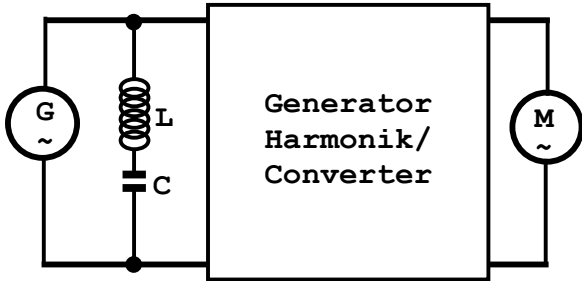
Karena  $\omega$  yang didapat berada diatas harga  $\omega_r$ , maka  $\omega$  tersebut diberi simbol  $\omega_H$ .

$$\omega_H = \frac{\omega_r^2 RC + \sqrt{(\omega_r^2 RC)^2 + 4\omega_r^2}}{2} \quad \dots\dots(19)$$

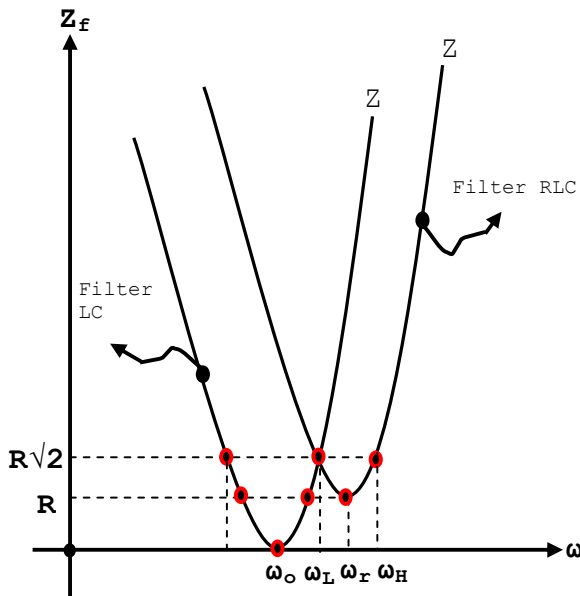


Gambar 2 Grafik impedansi filter terhadap frekuensi

**Analisis Disain filter LC**



Gambar 3 Rangkaian filter pasif LC untuk system daya



Gambar 4 Grafik impedansi filter RLC dan LC terhadap frekuensi

Dengan memperhatikan gambar 3 diambil asumsi rangkaian filter LC hanya berbeda pada nilai **C** jika dibandingkan terhadap filter RLC dengan tujuan bahwa filter LC dapat berfungsi sebagai penyedia daya reaktif pada frekuensi daya. Berdasarkan gambar 4 pada frekuensi  $\omega_L$  besar impedansi kedua filter sama, sehingga impedansi filter LC pada frekuensi  $\omega_L$  adalah:

$$\frac{(\omega_L^2 - \omega_o^2)}{\omega_o^2 \omega_L C'} = R\sqrt{2} \quad \dots\dots(20)$$

Pada filter RLC ketika rangkaian bekerja pada frekuensi  $\omega_L$ , maka filter bersifat kapasitif. Sehingga

dengan mensubstitusikan persamaan (12) ke persamaan (20), maka akan didapat bentuk persamaan:

$$\frac{(\omega_L^2 - \omega_o^2)}{\omega_o^2 \omega_L C'} = \frac{(\omega_r^2 - \omega_L^2)}{\omega_r^2 \omega_L C} \sqrt{2} \quad \dots\dots(21)$$

Karena diasumsikan hanya nilai **C** yang berbeda, maka harga dari  $\omega_o^2 C'$  akan sama dengan harga dari  $\omega_r^2 C$ , yaitu menyatakan nilai induktansi filter (L). Sehingga bentuk persamaan (21) menjadi:

$$\omega_o = \sqrt{(1 + \sqrt{2}) \omega_L^2 - \omega_r^2} \sqrt{2} \quad \dots\dots(22)$$

Jika dari gambar 4 diasumsikan bahwa:

$$\omega_L = v \cdot \omega_o \quad \dots\dots(23)$$

$$\omega_r = \epsilon \cdot \omega_L \quad \dots\dots(24)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (24) ke persamaan (22), maka akan didapat bentuk persamaan berikut:

$$\omega_o = \omega_L \sqrt{1 + (1 - \epsilon^2) \sqrt{2}} \quad \dots\dots(25)$$

$$\omega_o \approx \omega_L \sqrt{2,414 - 1,414 \epsilon^2} \quad \dots\dots(26)$$

**Menentukan Nilai Batas  $\epsilon$**

Berdasarkan gambar 4 serta persamaan (23) dan (24), maka harga **v** dan  $\epsilon$  haruslah:

$$v > 1 \quad \dots\dots(27)$$

$$\epsilon > 1 \quad \dots\dots(28)$$

Substitusikan persamaan (23) dan (24) ke persamaan (25), sehingga diperoleh bentuk persamaan berikut:

$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + (1 - \epsilon^2) \sqrt{2}}} \quad \dots\dots(29)$$

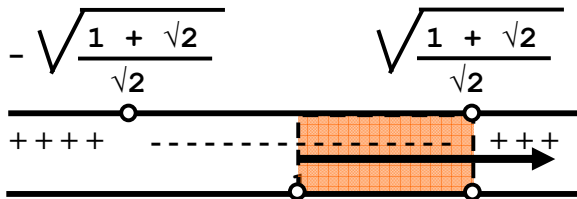
Persamaan (29) akan bernilai real jika:

$$1 + (1 - \epsilon^2) \sqrt{2} > 0 \quad \dots\dots(30)$$

$$\epsilon^2 \sqrt{2} - (1 + \sqrt{2}) < 0 \quad \dots\dots(31)$$

$$\left[ \epsilon + \sqrt{\frac{1 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}}} \right] \left[ \epsilon - \sqrt{\frac{1 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}}} \right] < 0 \quad \dots\dots(32)$$

Dengan memperhatikan persamaan-persamaan (28) dan (32), maka akan didapat nilai batas yang diijinkan untuk  $\epsilon$ .



Nilai batas  $\epsilon$  tersebut adalah:

$$1 < \epsilon < \sqrt{\frac{1 + \sqrt{2}}{\sqrt{2}}} \quad \text{.....(33)}$$

atau secara pendekatan  $\sqrt{2}$

$$1 < \epsilon < 1,3065 \quad \text{.....(34)}$$

Jika persamaan (16) dan (19) diperkalikan, maka akan didapat bentuk persamaan berikut ini:

$$\text{.....(35)}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (24) ke persamaan(35), maka akan didapat nilai  $\epsilon$  yang dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{\omega_H}{\omega_L}} \quad \text{.....(36)}$$

atau:

$$\epsilon^2 = \frac{\omega_H}{\omega_L} \quad \text{.....(37)}$$

dimana  $\omega_L$  dan  $\omega_H$  adalah frekuensi-frekuensi harmonik dominan yang berdekatan dengan  $\omega_L$  adalah frekuensi harmonik bawah dan  $\omega_H$  adalah frekuensi harmonik atas.

Persamaan (36) merupakan salah satu cara menentukan satu bilangan dari sejumlah bilangan yang mungkin dimana batas-batasnya diberikan oleh persamaan (34) tersebut diatas.

Rangkaian filter akan beresonansi ketika frekuensi harmonik bernilai:

$$\omega_o = 2\pi f_o \quad \text{.....(38)}$$

Dengan merujuk pada persamaan (4), maka persamaan (38) dapat ditulis:

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{.....(39)}$$

Sementara dari persamaan (25) didapat persamaan berikut:

$$f_o = f_L \sqrt{2,414 - 1,414\epsilon^2} \quad \text{.....(40)}$$

Dari persamaan (36) didapat persamaan berikut:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{f_H}{f_L}} \quad \text{.....(41)}$$

atau, karena  $f_H = (n_H)f$  dan  $f_L = (n_L)f$ , maka

$$\epsilon = \sqrt{\frac{n_H}{n_L}} \quad \text{.....(42)}$$

Sehingga:

$$\epsilon^2 = \frac{n_H}{n_L} \quad \text{.....(43)}$$

dimana  $n_L$  dan  $n_H$  merupakan bilangan-bilangan harmonik dominan yang berdekatan.

Dalam merancang disain filter untuk system daya data frekuensi harmonik dominan mutlak diperlukan dengan demikian untuk menentukan nilai  $C$  dapat digunakan persamaan (39),persamaan (40)dan persamaan (43)

### Kesimpulan

1. Filter dapat bersifat induktif maupun kapasitif. Untuk keperluan konservasi energi listrik biasanya disain filter bersifat kapasitif sehingga filter pada frekuensi daya dapat menyediakan sebagian keperluan daya reaktif beban.
2. Untuk merancang disain filter harmonik mutlak diperlukan data mengenai frekuensi harmonik dominan.
3. Melalui analisis didapat hubungan antara frekuensi resonansi dan frekuensi harmonik dominan bawah yang dapat menjadi alternatif dalam perancangan disain harmonik filter untuk system daya. Hubungan tersebut dinyatakan dalam bentuk

$$\omega_o = \omega_L \sqrt{1 + (1 - \epsilon^2)\sqrt{2}}$$

atau

$$f_o \approx f_L \sqrt{2,414 - 1,414\epsilon^2}$$

**Daftar Pustaka:**

1. Bird, John, Electrical circuit theory and technology, 2003, Newnes
2. Edminister, Joseph A., Rangkaian Listrik Seri Buku Schaum, 1992, Erlangga, Jakarta.
3. Mohan, Ned, at all, Power Electronic, 1985, John Wiley & Sons, Inc.
4. Miller, T.J.E, Electric Power Control in Electric system, 1982, John wiley & Sons
5. Rashid, MH, Power Electronic, 2001, Academic Press