

## BAB I

### RANGKAIAN RESONANSI

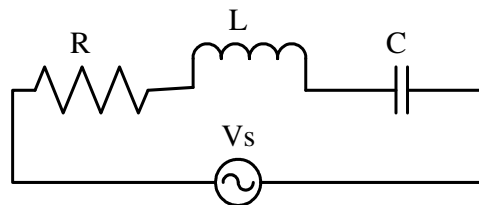
Beberapa definisi yang perlu diketahui antara lain :

- **Resonansi** : kondisi dimana komponen reaktansi dari suatu impedansi berharga nol pada frekuensi tertentu.
- **Tuning/ penalaan** : pengaturan harga L dan C agar dapat beresonansi pada frekuensi kerjanya.
- **Faktor kualitas (Q)** : parameter untuk mengukur tingkat selektivitas rangkaian.
- **Insertion Loss** : loss yang ditimbulkan oleh pemasangan suatu rangkaian antara sumber tegangan dan suatu beban.
- **Bandwidth (3dB)** : lebar frekuensi yang ditempati oleh suatu sinyal dengan batas setengah daya.

Beberapa analisis rangkaian yang dibahas pada bagian ini antara lain :

- Resonansi RL paralel C
- Resonansi RC paralel L
- Resonansi RLC seri
- Konversi rangkaian paralel ke rangkaian seri
- Konversi rangkaian seri ke rangkaian parallel

#### 1.1. Resonansi RLC – seri



Faktor kualitas Q suatu rangkaian resonansi seri didefinisikan sebagai rasio antara tegangan induktif dengan tegangan resistif.

Impedansi seri untuk rangkaian tersebut dalam Q adalah :

$$Q = \frac{V_L}{V_R} = \frac{\omega_{so}L}{R}, \quad \omega_{so}L = \frac{1}{\omega_{so}C}, \quad Q = \frac{1}{\omega_{so}RC}$$

$$\begin{aligned}
 Z &= R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \\
 &= R \left[ 1 + j\left(\frac{\omega L}{R} - \frac{1}{\omega RC}\right) \right] \\
 &= R \left[ 1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_{so}} \frac{\omega_{so} L}{R} - \frac{\omega_{so}}{\omega} \frac{1}{\omega_{so} RC}\right) \right] \\
 &= R \left[ 1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_{so}} - \frac{\omega_{so}}{\omega}\right) Q \right] \\
 &= R [1 + jyQ], \quad y = \frac{\omega}{\omega_{so}} - \frac{\omega_{so}}{\omega} \\
 |Z| &= R\sqrt{1 + y^2 Q^2}
 \end{aligned}$$

Dari rumus tersebut tampak bahwa semakin tinggi Q dari suatu rangkaian menghasilkan selektivitas yang baik. Selektivitas biasa dinyatakan dengan Bandwidth 3 dB.

$$\begin{aligned}
 R\sqrt{1 + y_3^2 Q^2} &= R\sqrt{2} \\
 y_3^2 Q^2 &= 1 \\
 y_3 &= \frac{1}{Q}
 \end{aligned}$$

$y_3 = 1/Q$  harus positif

pada  $f_2 > f_{so}$ , dan  $1/Q$  positif

$$\begin{aligned}
 y_3 &= \frac{f_2}{f_{so}} - \frac{f_{so}}{f_2} = \frac{1}{Q} \\
 f_2^2 - f_{so}^2 - \frac{f_{so} f_2}{Q} &= 0
 \end{aligned}$$

$$f_2 = \frac{f_{so}}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{f_{so}}{2Q}\right)^2 + f_{so}^2}$$

pada  $f_1 < f_{so}$ , dan  $1/Q$  positif

$$y_3 = \frac{f_{so}}{f_1} - \frac{f_1}{f_{so}} = \frac{1}{Q}$$

$$f_{so}^2 - f_1^2 - \frac{f_1 f_{so}}{Q} = 0$$

$$f_1 = -\frac{f_{so}}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{f_{so}}{2Q}\right)^2 + f_{so}^2}$$

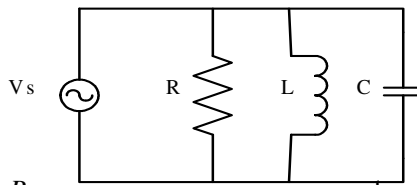
$$BW_{3dB} = f_2 - f_1$$

$$= \frac{f_{so}}{2Q} \pm \sqrt{\left(\frac{f_{so}}{2Q}\right)^2 + f_{so}^2} + \frac{f_{so}}{2Q} \mp \sqrt{\left(\frac{f_{so}}{2Q}\right)^2 + f_{so}^2}$$

$$= \frac{f_{so}}{2Q} + \frac{f_{so}}{2Q} = \frac{f_{so}}{Q}$$

Dari persamaan ini tampak bahwa semakin besar  $Q$ , maka akan semakin sempit Bandwidth 3 dB. Untuk rangkaian seri biasanya  $Q$  antara 10 – 300

### 1.2. Resonansi RLC – paralel



$$Q = \frac{R}{\omega_{po} L}, \quad \omega_{po} L = \frac{1}{\omega_{po} C}, \quad Q = \omega_{po} RC$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$BW_{3dB} = \frac{f_{so}}{Q_p}$$

$$Y = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)$$

$$= \frac{1}{R} \left[ 1 + j\left(\omega RC - \frac{R}{\omega L}\right) \right]$$

$$= \frac{1}{R} \left[ 1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_{po}} \omega_{po} RC - \frac{\omega_{po}}{\omega} \frac{R}{\omega_{po} L}\right) \right]$$

$$= \frac{1}{R} \left[ 1 + j\left(\frac{\omega}{\omega_{po}} - \frac{\omega_{po}}{\omega}\right) Q_p \right]$$

$$= \frac{1}{R} [1 + jyQ] \quad y = \frac{\omega}{\omega_{so}} - \frac{\omega_{so}}{\omega}$$

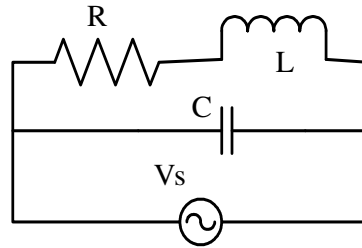
$$|Y| = \frac{1}{R} \sqrt{1 + y^2 Q^2}$$

Memiliki frekuensi resonansi yang sama seperti pada RLC seri.

Rangkaian RLC paralel ini kurang baik untuk analisis rangkaian yang riil karena tidak memperhitungkan resistansi induktor.

Faktor kualitas rangkaian ini berkebalikan dengan Q pada resonator RLC seri karena semakin besar harga R diperoleh selektivitas yang semakin rendah.

### 1.3. Resonansi RL paralel C



$$\begin{aligned}
 Y &= \frac{1}{R + j\omega L} + j\omega C \\
 &= \frac{R - j\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\omega C \\
 &= \frac{R}{R^2 + \omega^2 L^2} + j\left(\omega C - \frac{\omega L}{R^2 + \omega^2 L^2}\right)
 \end{aligned}$$

Pada kondisi resonansi dan bila  $Q_s = \omega_{so}L/R$

$$\begin{aligned}
 \omega_{PO} C &= \frac{\omega_{PO} L}{R^2 + \omega_{PO}^2 L^2} \\
 R^2 + \omega_{PO}^2 L^2 &= \frac{L}{C} \\
 \omega_{PO} &= \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} \\
 \omega_{PO} &= \omega_{SO} \sqrt{1 - \frac{1}{Q_s^2}} \\
 Q_p &= \frac{\omega_{PO} L}{R} = \sqrt{Q_s^2 - 1}
 \end{aligned}$$

Bila harga  $Q_s$  lebih besar dari 10 maka  $Q_s \approx Q_p$

Admittansi pada saat resonansi

$$Y_o = \frac{R}{R^2 + \omega_{po}^2 L^2}$$

$$Y_o = \frac{CR}{L}$$

Resistansi yang besarnya  $L/RC$  ini disebut sebagai resistansi dinamik (*dynamic resistance*)

$$R_D = \frac{L}{RC} = \omega_{po} LQ = \frac{Q}{\omega_{po} C} = Q^2 R$$

#### 1.4. Transformasi seri ke paralel dan paralel ke seri

Transformasi seri ke paralel

$$Z = R_S + jX_S$$

$$Y = \frac{1}{R_S + jX_S} = \frac{R_S - jX_S}{R_S^2 + X_S^2}$$

$$Y = \frac{R_S}{R_S^2 + X_S^2} - \frac{jX_S}{R_S^2 + X_S^2}$$

$$\frac{1}{R_P} = \frac{R_S}{R_S^2 + X_S^2}, \quad \frac{1}{X_P} = \frac{X_S}{R_S^2 + X_S^2}$$

$$R_P = R_S \left( 1 + \frac{X_S^2}{R_S^2} \right) = R_S (1 + Q_S^2)$$

$$X_P = X_S \left( 1 + \frac{R_S^2}{X_S^2} \right) = X_S \left( 1 + \frac{1}{Q_S^2} \right)$$

Transformasi paralel ke seri

$$Y = \frac{1}{R_P} + \frac{1}{jX_P}$$

$$Z = \frac{jR_P X_P}{R_P + jX_P} = \frac{jR_P^2 X_P + R_P X_P^2}{R_P^2 + X_P^2}$$

$$Z = \frac{R_P X_P^2}{R_P^2 + X_P^2} + \frac{jR_P^2 X_P}{R_P^2 + X_P^2}$$

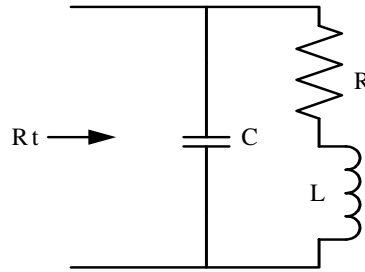
$$R_S = \frac{R_P X_P^2}{R_P^2 + X_P^2}, \quad X_S = \frac{R_P^2 X_P}{R_P^2 + X_P^2}$$

$$R_S = \frac{R_P}{1 + \frac{R_P^2}{X_P^2}} = \frac{R_P}{1 + Q_P^2}$$

$$X_S = \frac{X_P}{1 + \frac{X_P^2}{R_P^2}} = \frac{X_P}{1 + \frac{1}{Q_P^2}}$$

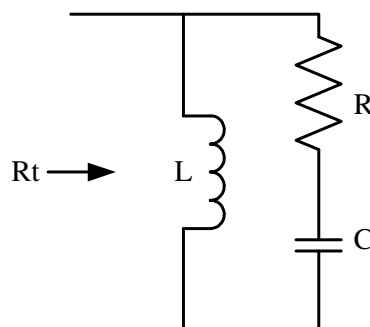
**TABEL-TABEL DAN RUMUS PERENCANAAN**

a. Rumus perencanaan untuk rangkaian resonansi RL paralel C



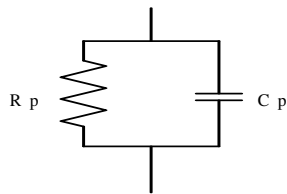
| Besaran      | Persamaan Pasti   | Satuan  | Persamaan Pendekatan $Q_t > 10$                                     |
|--------------|---|---------|---|
| $\omega_o$   | $= \left( \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2} \right)^{\frac{1}{2}}$ | rad / s | $\approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$                                       |
| $Q_t$        | $\equiv \frac{\omega_o L}{R} = \omega_o C R_t$                  |         | $\approx \frac{1}{\omega_o C R}$                                    |
| $\omega_o L$ | $= \frac{1}{\omega_o C} \left( \frac{Q_t}{Q_t^2 + 1} \right)$   | ohm     | $\approx \frac{1}{\omega_o C}$                                      |
| $R_t$        | $= \frac{L}{C R} = \frac{Q_t}{\omega_o C}$                      | ohm     | $\approx Q_t^2 R = \omega_o L Q_t$                                  |
| $B$          | $= R(Q_t^2 + 1)$  | hertz   | $\approx \frac{1}{2\pi C R_t} = \frac{R}{2\pi L} = \frac{f_o}{Q_t}$ |

b. Rumus perencanaan untuk rangkaian resonansi RC paralel L



| Besaran      | Persamaan Pasti   | Satuan  | Persamaan Pendekatan $Q_t > 10$                 |
|--------------|---|---------|---|
| $\omega_o$   | $= \left( \frac{1}{LC - R^2 C^2} \right)^{\frac{1}{2}}$       | rad / s | $\approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$                   |
| $Q_t$        | $\equiv \frac{1}{\omega_o CR} = \frac{R_t}{\omega_o L}$       |         | $\approx \frac{\omega_o L}{R}$                  |
| $\omega_o L$ | $= \frac{1}{\omega_o C} \left( \frac{Q_t^2 + 1}{Q_t} \right)$ | ohm     | $\approx \frac{1}{\omega_o C}$                  |
| $R_t$        | $= \frac{L}{CR} = \omega_o L Q_t$<br>$= R(Q_t^2 + 1)$         | ohm     | $\approx Q_t^2 R = \frac{Q_t}{\omega_o C}$      |
| $B$          |   | hertz   | $\approx \frac{1}{2\pi CR_t} = \frac{f_o}{Q_t}$ |

c. Rumus-rumus Konversi Paralel Seri untuk Rangkaian RC

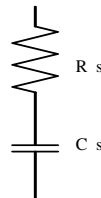


**Definisi :**

$$X_p = \frac{1}{\omega C_p}$$

$$Q_p = \frac{R_p}{X_p}$$

Pengganti paralel dari rangkaian seri



**Definisi :**

$$X_s = \frac{1}{\omega C_s}$$

$$Q_s = \frac{X_s}{R_s}$$

Pengganti seri dari rangkaian paralel

**RUMUS-RUMUS PASTI**

$$R_{PE} = R_s (1 + Q_s^2)$$

$$X_{PE} = X_s \left( \frac{1 + Q_s^2}{Q_s^2} \right)$$

$$C_{PE} = C_s \left( \frac{Q_s^2}{1 + Q_s^2} \right)$$

$$R_{SE} = \frac{R_p}{1 + Q_p^2}$$

$$X_{SE} = X_p \left( \frac{Q_p^2}{Q_p^2 + 1} \right)$$

$$C_{SE} = C_p \left( \frac{Q_p^2 + 1}{Q_p^2} \right)$$

**RUMUS-RUMUS PENDEKATAN**

Jika  $Q_p \geq 10$

$$R_{PE} \approx R_s Q_s^2$$

$$X_{PE} \approx X_s$$

$$C_{PE} \approx C_s$$

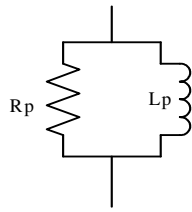
Jika  $Q_s \geq 10$

$$R_{SE} \approx \frac{R_p}{Q_p^2}$$

$$X_{SE} \approx X_p$$

$$C_{SE} \approx C_p$$

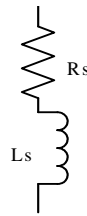
## d. Rumus-rumus Konversi Paralel Seri untuk Rangkaian RL

**Definisi :**

$$X_p = \omega L_p$$

$$Q_p = \frac{R_p}{X_p}$$

Pengganti paralel dari rangkaian seri

**Definisi :**

$$X_s = \omega L_s$$

$$Q_s = \frac{X_s}{R_s}$$

Pengganti seri dari rangkaian paralel

**RUMUS-RUMUS PASTI**

$$R_{PE} = R_s (1 + Q_s^2)$$

$$X_{PE} = X_s \left( \frac{1 + Q_s^2}{Q_s^2} \right)$$

$$L_{PE} = L_s \left( \frac{1 + Q_s^2}{Q_s^2} \right)$$

$$R_{SE} = \frac{R_p}{1 + Q_p^2}$$

$$X_{SE} = X_p \left( \frac{Q_p^2}{Q_p^2 + 1} \right)$$

$$L_{SE} = L_p \left( \frac{Q_p^2}{Q_p^2 + 1} \right)$$

**RUMUS-RUMUS PENDEKATAN**Jika  $Q_p \geq 10$ 

$$R_{PE} \approx R_s Q_s^2$$

$$X_{PE} \approx X_s$$

$$L_{PE} \approx L_s$$

Jika  $Q_s \geq 10$ 

$$R_{SE} \approx \frac{R_p}{Q_p^2}$$

$$X_{SE} \approx X_p$$

$$L_{SE} \approx L_p$$



## BAB II

### RANGKAIAN PENYESUAI IMPENDANSI

Penyesuai impedansi/ matching impedansi digunakan untuk menghasilkan impedansi yang tampak sama dari impedansi beban maupun impedansi sumber agar terjadi transfer daya maksimum. Penyesuai impedansi ini hanya dapat diaplikasikan pada rangkaian dengan sumber AC.

Ketika match terjadi, maka daya beban besarnya adalah setengah dari daya sumber atau dengan kata lain setengah daya. Match/ sepadan ini hanya terjadi pada satu frekuensi saja. Suatu rangkaian dikatakan match bila impedansi beban sama dengan kompleks konjugate dari impedansi sumber, dan bila kedua impedansi hanya mengandung komponen resistif maka resistansi sumber akan sama dengan resistansi beban.

Berdasarkan bentuk rangkaiannya, penyesuai impedansi ini dibagi menjadi dua yaitu :

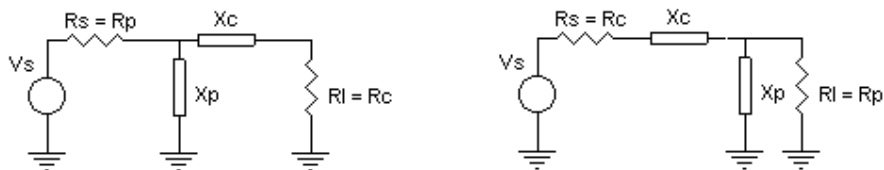
#### 1. Penyesuai impedansi bentuk L

Penyesuai impedansi ini merupakan bentuk penyesuai yang paling sederhana. Dari penyesuai impedansi bentuk L ini dapat dibuat beberapa jenis bentuk penyesuai impedansi yaitu diantaranya adalah penyesuai impedansi bentuk T dan bentuk  $\pi$ .

Rangkaian penyesuai impedansi atau IMC (Impedance Matching Circuit) digunakan bila impedansi beban tidak sama dengan impedansi sumber. Dengan IMC ini, akan diperoleh seolah-olah dari  $Z_s$  akan tampak  $Z_l$  sebagai  $Z_s$  dan sebaliknya.

##### a. Bila impedansi hanya komponen resistif

- Bila  $R_s > R_l$ , maka digunakan IMC L kanan



- Bila  $R_s < R_l$ , maka digunakan IMC L kiri

Rumus yang digunakan :

$$Q_c = Q_p = \sqrt{(R_p/R_c)-1}$$

$$Q_c = R_p/X_p$$

$$Q_p = X_c/R_c$$

Keterangan :

$Q_c$  = Faktor kualitas paralel

$X_p$  = Reaktansi Pararel

$Q_p$  = Faktor kualitas seri

$X_c$  = Reaktansi Seri

$R_p$  = Resistansi paralel

$R_c$  = Resistansi seri

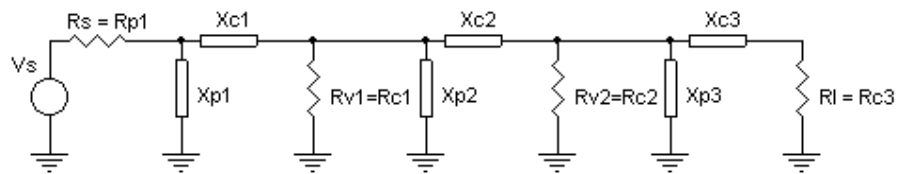
L kanan maupun L kiri berfungsi pula sebagai filter. Pada saat  $X_p$  berupa kapasitor dan  $X_c$  berupa induktor, maka IMC bersifat sebagai LPF dan bila  $X_p$  berupa induktor dan  $X_c$  berupa kapasitor, maka IMC bersifat sebagai HPF.

- Bila ingin memperlebar Bandwidth

Dilakukan dengan cara mengkaskadekan beberapa buah IMC L.

Dasar perancangannya sama seperti perancangan satu buah IMC, dan seolah-olah ada resistansi virtual yang memiliki harga di antara  $R_s$  dan  $R_l$  (pada prakteknya digunakan  $R_{virtual} = \sqrt{(R_s \times R_l)}$ )

Contohnya untuk L kanan tiga tingkat

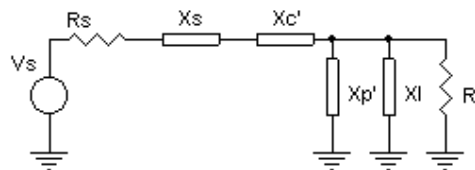


### b. Bila impedansi kompleks

Terdapat 2 prinsip dasar yaitu absorpsi dan resonansi, dan dengan dua prinsip dasar ini akan diperoleh komponen-komponen pada IMC yang memiliki nilai sama.

- Absorpsi

misal pada L kiri

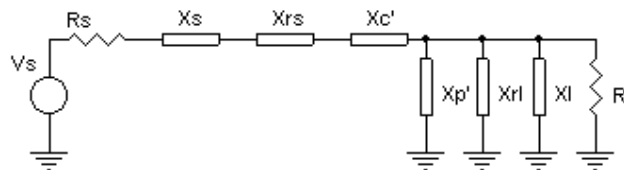


Langkah-langkah perancangan :

1. Anggap impedansi beban dan impedansi sumber hanya komponen resistif.
2. Hitung  $X_c$  dan  $X_p$ .
3. Perhitungkan harga  $X_s$  dan  $X_p$  sehingga diperoleh  $X_c'$  dan  $X_p'$ .

- Resonansi

Misal pada L kiri



Langkah-langkah perancangan :

1. Hitung harga  $X_{rs}$  dan  $X_{rl}$  agar pada beban dan sumber terjadi resonansi.
2. Setelah terjadi resonansi pada beban dan sumber, hitung  $X_{c'}$  dan  $X_{p'}$ . (impedansi beban =  $R_l$  dan impedansi sumber =  $R_s$ )
3. Hitung  $X_{c'}$  seri dengan  $X_{rs}$  maupun  $X_{p'}$  paralel dengan  $X_{rl}$ .

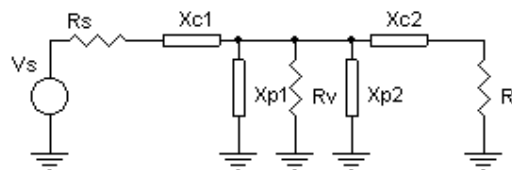
## 2. Penyesuai Impedansi bentuk T atau $\pi$

Digunakan untuk memperoleh Q yang tinggi (Bandwidth yang sempit), merupakan penggabungan dari IMC L kiri dan IMC L kanan

### a. IMC T

$R_v$ ( $R_{virtual}$ ) ditentukan harus lebih besar dari  $R_s$  maupun  $R_l$  dan dihitung berdasarkan Q yang diinginkan.  $X_{p1}$  dan  $X_{p2}$  dapat digabungkan menjadi satu komponen.

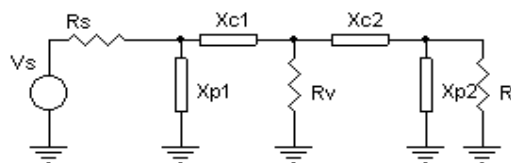
$$Q = \sqrt{((R_v/R_{min})-1)}, R_{min} = \min(R_s, R_l)$$



### b. IMC $\pi$

$R_v$  ( $R_{virtual}$ ) ditentukan harus lebih kecil dari  $R_s$  maupun  $R_l$  dan dihitung berdasarkan Q yang diinginkan.  $X_{c1}$  dan  $X_{c2}$  dapat digabungkan menjadi satu komponen.

$$Q = \sqrt{((R_{max}/R_v)-1)}, R_{max} = \max(R_s, R_l)$$

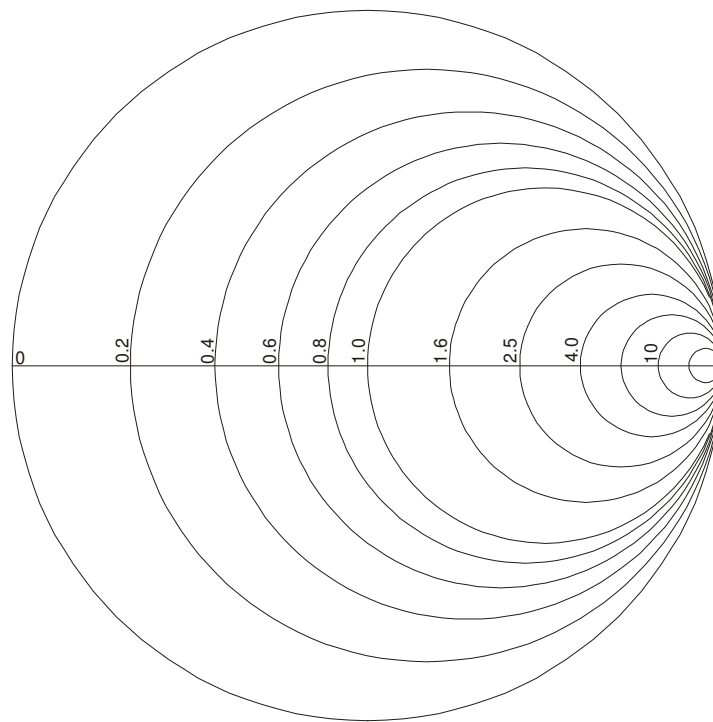


## PEMAKAIAN SMITH CHART PADA RANGKAIAN PENYESUAI IMPEDANSI (IMC)

Perancangan penyesuai impedansi dapat dilakukan dengan lebih sederhana jika digunakan Smith Chart. Pada dasarnya Smith Chart yang terdiri dari dua buah susunan lingkaran dengan aturan-aturan tertentu. Dua susunan lingkaran tersebut adalah lingkaran resistansi dan lingkaran reaktansi.

Pada lingkaran resistansi konstan, tiap titik pada lingkaran konstan memiliki resistansi yang sama dengan titik lain pada bagian lain lingkaran yang sama, demikian pula untuk pada lingkaran reaktansi konstan. Bagian lingkaran diatas garis tengah menunjukkan reaktansi positif  $+jX$  (induktif) sedangkan bagian lingkaran dibawah garis tengah menunjukkan reaktansi negatif  $-jX$  (kapasitif).

Lingkaran resistansi dan lingkaran reaktansi pada Smith Chart:

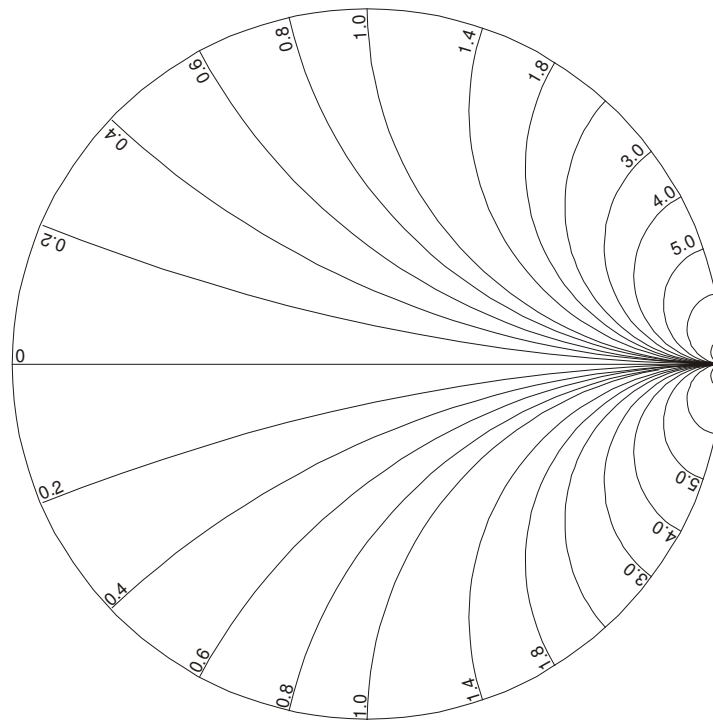


**Lingkaran Resistansi**

Garis datar/garis tengah  $x = 0$  adalah axis yang riil.

Lingkaran resistansi konstan  $R = 0$  merupakan lingkaran terluar dari Smith Chart.

Jika komponen resistansi naik maka jari-jari lingkaran mengecil dan pusat lingkaran ke kanan. Hal yang sama terjadi pada lingkaran reaktansi.



### Lingkaran Reaktansi

#### 1. Penggambaran Harga Impedansi dan Admittansi

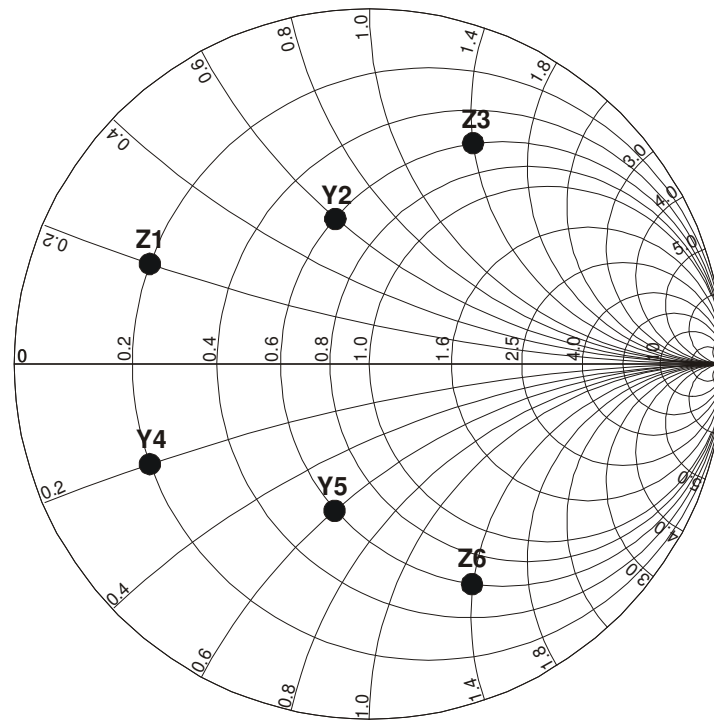
Tiap titik pada Smith Chart merepresentasikan kombinasi dari resistansi dan reaktansi  $Z = R + jX$  maupun konduktansi dan susceptansi  $Y = G + jB$ . Misalkan untuk menentukan posisi  $Z = 1 + j1$ , maka titik  $Z$  merupakan perpotongan lingkaran resistansi konstan  $R = 1$  dan lingkaran reaktansi konstan  $X = 1$  yang berada di atas garis datar  $X = 0$ . Sedangkan jika  $Z = 1 - j1$  maka lingkaran reaktansi konstan pada  $X = 1$  dibawah garis  $X = 0$ . Bila lingkaran tidak ada di Smith Chart, maka penentuan titik dilakukan dengan interpolasi/perkiraan.

Contoh :

penentuan titik impedansi dan admittansi yaitu

$Z1 = (0,2 + j 0,2)$  ohm,  $Y2 = (0,6 + j 0,6)$  mho,  $Z3 = (0,6 + j 1,4)$  ohm,

$Y4 = (0,2 - j 0,2)$  mho,  $Y5 = (0,6 - j 0,6)$  mho,  $Z6 = (0,6 - j 1,4)$  ohm



**Z dan Y pada Smith Chart**

## 2. Normalisasi Impedansi Pada Smith Chart

Jika harga Z cukup besar untuk harga resistansi dan reaktansi, maka titik tersebut pada Smith Chart akan berada di daerah lingkaran kecil sehingga diperoleh akurasi yang kurang baik. Oleh karena itu untuk Z besar, diperlukan normalisasi untuk menggambar Smith Chart. Dalam penggambaran impedansi, angka-angka impedansi harus dinormalisasi dengan angka yang sama, misalnya  $Z = 100 + j150$  ohm, maka angka pembagi yang dapat dipakai, misalkan 100, sehingga diperoleh Z baru, yaitu  $1 + j1,5$  ohm. Pemilihan angka penormalisasi didasari untuk menghasilkan tingkat ketelitian yang diinginkan.

## 3. Konversi Impedansi ke Admitansi

Konversi Z ke Y dan sebaliknya dapat dilakukan dengan menggunakan Smith Chart.

$$Y = \frac{1}{Z} = G \pm jB$$

Keterangan :

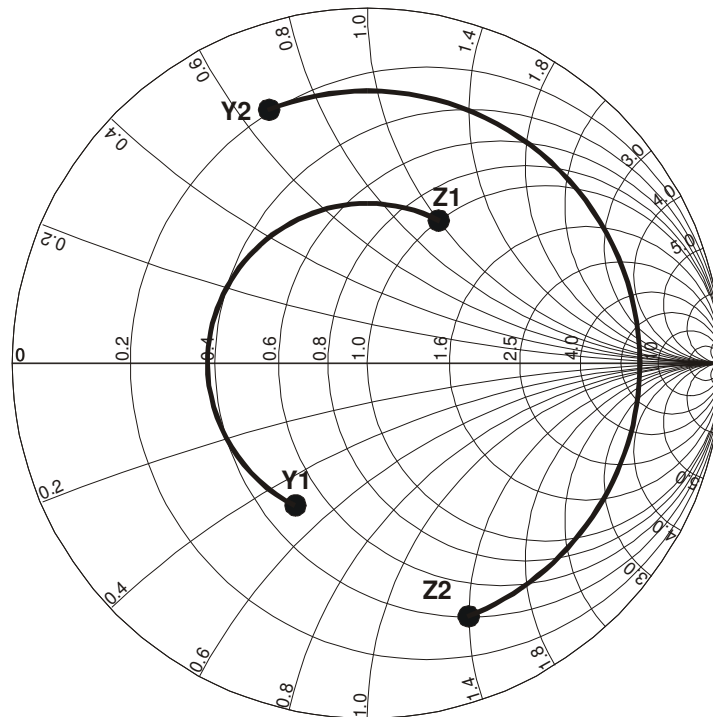
G = konduktansi dalam mho

B = suseptansi dalam mho

Pada kapasitor, susceptansi bernilai positif. Sedangkan induktor, susceptansi bernilai negatif. Untuk mengkonversi Z ke Y dan sebaliknya dapat dilakukan dengan membuat titik Z dan Y yang memiliki jarak sama ke pusat lingkaran  $R = 0$  dan keduanya berbeda  $180^\circ$  satu sama lain.

Untuk mempermudah konversi maka hal yang dilakukan adalah memutar Smith Chart  $180^\circ$  sehingga diperoleh Smith Chart ganda.

Pada Smith Chart ganda penentuan titik-titik dari reaktansi suatu komponen Y berkebalikan dengan penentuan titik Z (berlawanan) pada kordinat yang berbeda.



**Konversi Y ke Z dan Z ke Y**

#### 4. Manipulasi Impedansi Pada Smith Chart

Secara umum penambahan (secara seri) suatu komponen reaktif L dan C yaitu bahwa penambahan kapasitor seri menyebabkan perputaran Z berlawanan arah dengan perputaran jarum jam pada lingkaran resistansi konstan, sedangkan penambahan induktor seri menyebabkan perputaran Z searah perputaran jarum jam pada lingkaran resistansi konstan.

Misalkan reaktansi  $-j10$  ohm diseri dengan impedansi  $Z = 0,5 + j0,8$  ohm maka  $Z' = 0,5 + j0,8 - j10 = 0,5 - j9,2$  ohm. Z baru ini merepresentasikan harga RC seri. Untuk menggambarkan Z baru di Smith Chart dilakukan dengan memutar titik Z lama sesuai arah komponen yang diseri (berlawanan arah dengan perputaran jarum jam) pada lingkaran R konstan 0,5.

## 5. Manipulasi Admittansi Pada Smith Chart

Secara umum penambahan (secara paralel) suatu komponen reaktif L dan C yaitu bahwa penambahan induktor paralel menyebabkan perputaran Y berlawanan arah dengan perputaran jarum jam pada lingkaran resistansi konstan, sedangkan penambahan kapasitor paralel menyebabkan perputaran Y searah perputaran jarum jam pada lingkaran resistansi konstan.

Misalkan susceptansi  $-j10$  mho diparalel dengan admittansi  $Y = 0,5 + j0,8$  mho maka  $Y' = 0,5 + j0,8 - j10 = 0,5 - j0,2$  mho. Y baru ini merepresentasikan harga RL paralel. Untuk menggambarkan Y baru di Smith Chart dilakukan dengan memutar titik Y lama sesuai arah komponen yang diparalelkan (berlawanan arah dengan perputaran jarum jam) pada lingkaran G konstan 0,5.

contoh :

manipulasi impedansi dan admittansi pada gambar Smith Chart yaitu

$Z1 = (0,2 - j0,2)$  ohm seri komponen reaktif  $-j0,6$  ohm menjadi  $Zt1$ ,

$Y2 = (0,2 + j0,2)$  mho paralel komponen reaktif  $+j0,6$  mho menjadi  $Yt2$ ,

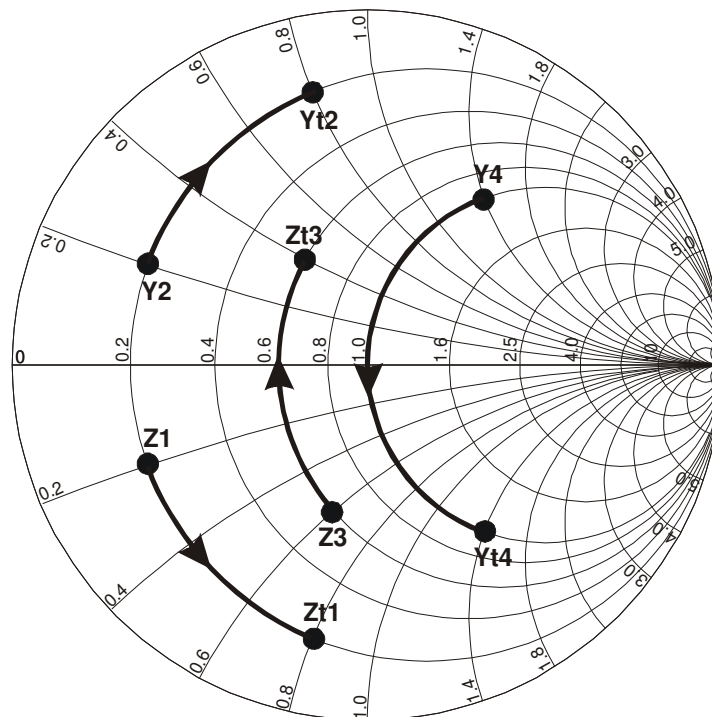
$Z3 = (0,6 + j0,6)$  ohm seri komponen reaktif  $-j1,0$  ohm menjadi  $Zt3$ ,

$Y4 = (1,4 - j1,0)$  mho paralel komponen reaktif  $+j2,8$  mho menjadi  $Yt4$ ,

Sedangkan contoh pada Smith Chart ganda :

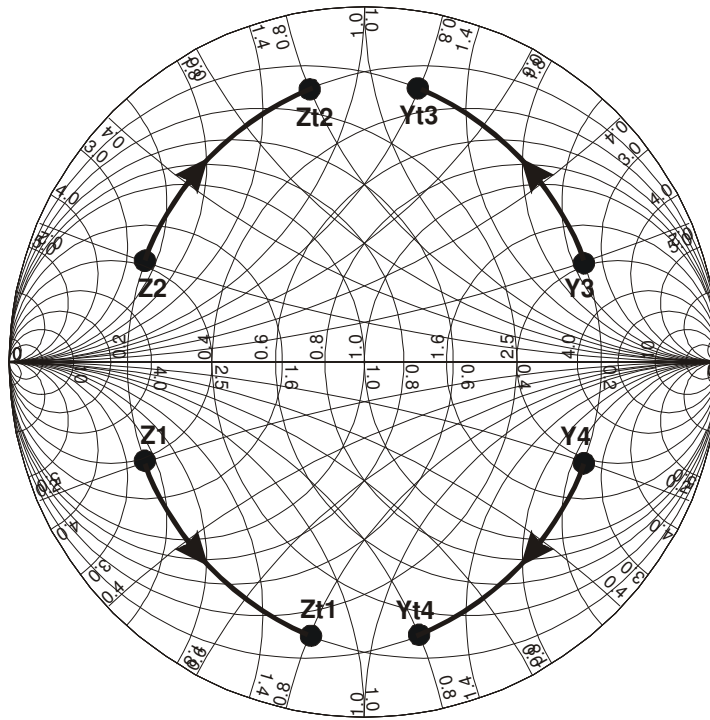
$Z1 = (0,2 + j0,2)$  ohm seri  $+j0,6$  ohm,  $Z2 = (0,2 - j0,2)$  ohm seri  $-j0,6$  ohm

$Y3 = (0,2 - j0,2)$  mho par.  $-j0,6$  mho,  $Y4 = (0,2 + j0,2)$  mho par.  $+j0,6$  mho



Manipulasi Impedansi dan Admittansi





### Manipulasi Impedansi dan Admittansi

#### 6. Penyesuaian Impedansi Pada Smith Chart

##### a. Penyesuaian impedansi 2 elemen.

Persamaan-persamaan untuk memudahkan analisis:

$$\text{Komponen C seri} : C = \frac{1}{\omega XN}$$

$$\text{Komponen L seri} : L = \frac{XN}{\omega}$$

$$\text{Komponen C paralel} : C = \frac{B}{\omega N}$$

$$\text{Komponen L paralel} : L = \frac{N}{\omega B}$$

Keterangan :

$$\omega = 2\pi f$$

X = reaktansi yang terbaca dari Smith Chart

B = susceptansi

N = angka penormalisasi

Prosedur pemakaian Smith Chart untuk desain penyesuai impedansi 2 elemen:

1. Tentukan titik Z beban dan Z sumber *konjugate* atau Z sumber dan Z beban *konjugate*.
2. Tentukan titik X yang merupakan pertemuan 2 titik (Z beban dan Z sumber *konjugate*) yang sudah diputar pada R yang konstan.
3. Jarak pemutaran titik Z beban dan Z sumber konjugate menentukan harga dan jenis komponen reaktif yang digunakan sebagai penyesuai impedansi.

Contoh :

pemakaian Smith Chart pada penyesuai impedansi tipe L dengan

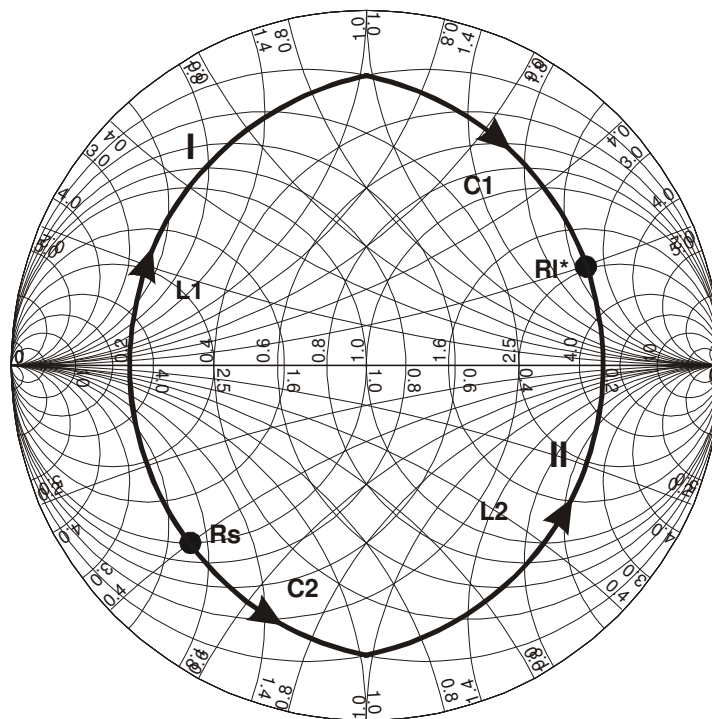
$$R_s = (0,2 - j 0,4) \text{ ohm dan } R_l = (0,2 + j 0,2) \text{ ohm}$$

Sehingga diperoleh dua kemungkinan pemakaian komponen yang digunakan:

( I ), L1 dengan reaktansi (+j) 1,4 ohm dan C1 dengan susceptansi (+j) 0,8 mho

( II ), C2 dengan reaktansi (-j) 0,6 ohm dan L2 dengan susceptansi (-j) 1,2 mho

Dari kedua kemungkinan ini, dapat dipilih salah satu rangkaian sesuai dengan sifat IMC yang diinginkan.



IMC 2 Elemen

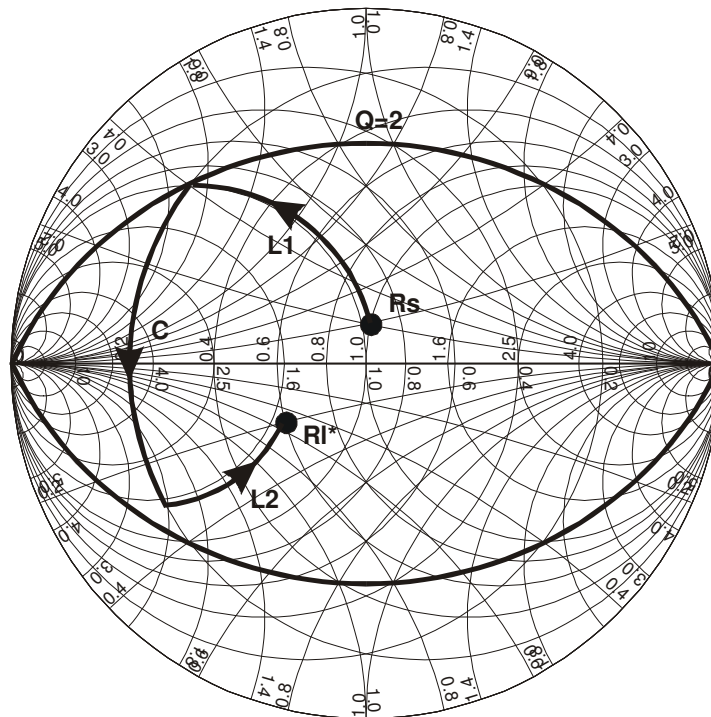
### b. Penyesuai impedansi 3 elemen

Pada IMC 3 elemen, dapat dipilih harga Q tertentu, sehingga perlu diplot dulu titik-titik Q pada Smith Chart. Q pada impedansi seri sama dengan rasio reaktansi dan resistansi.

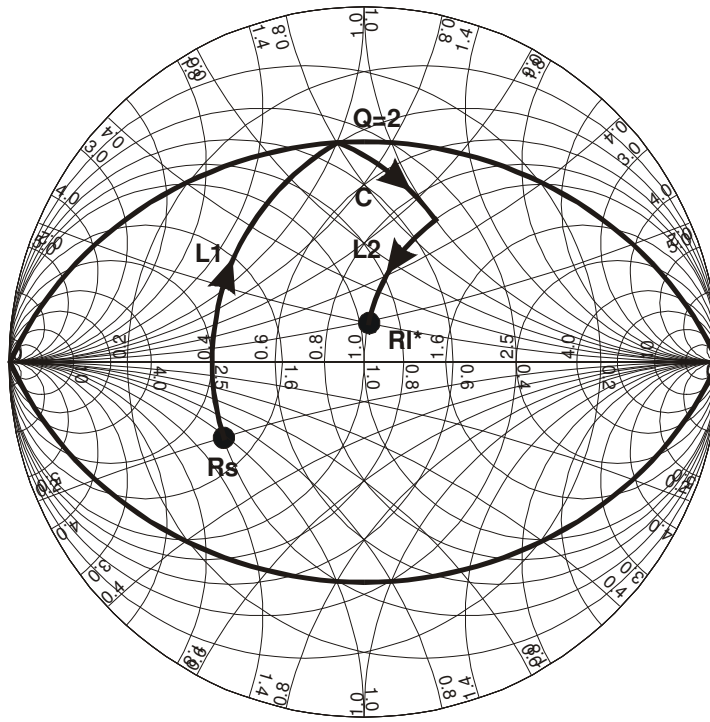
Penggambaran titik-titik Q pada Smith Chart bersesuaian dengan harga reaktansi dan resistansinya. Titik-titik Q pada Smith Chart membentuk garis lengkung pada bagian atas dan bawah garis mendasar. Penentuan harga komponen penyesuai impedansi dibatasi oleh garis lengkung Q pada smith Chart.

Prosedur desain IMC 3 elemen:

1. Gambar lengkungan Q konstan pada Q tertentu.
2. Gambar impedansi beban dan kompleks konyuget impedansi sumber.
3. Putar salah satu titik dengan 3 kali pemutaran pada lingkaran r dan lingkaran G tertentu sehingga bertemu pada titik lainnya. Pemutaran titik dilakukan pada yang lebih kecil dan Q yang ditentukan
4. Jarak pemutaran titik ke titik lainnya merupakan harga komponen reaktif yang digunakan sebagai rangkaian IMC.



IMC  $\pi$



**IMC T**

### BAB III

#### FILTER ANALOG

Filter merupakan merupakan suatu alat yang memiliki fungsi untuk melewatkan frekuensi tertentu. Filter analog berarti filter yang melewatkan sinyal analog dan pengolahan sinyalnya juga dilakukan secara analog.

Filter analog banyak digunakan pada sistem komunikasi, misalnya untuk merancang duplexer, filter sinyal audio, filter RF, filter SSB, dsb. Filter merupakan kombinasi dari beberapa rangkaian penala yang diatur sehingga didapatkan respon frekuensi sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Berdasarkan komponen penyusunnya, filter analog dibagi menjadi beberapa jenis antara lain :

1. Filter LC pasif dan RC aktif

Filter ini tersusun dari komponen reaktif L, C (filter pasif) dan R, C, penguat (filter aktif).

2. Filter SAW (*Surface Acoustic Waves*)

Filter SAW ini menggunakan kristal piezoelektrik sebagai permukaan yang di atasnya terdapat kutub-kutub yang berhubungan dengan input dan output.

Prinsip kerjanya yaitu bila input diberi suatu sinyal dengan tegangan tertentu maka kristal piezoelektrik akan bervibrasi. Vibrasi ini menghasilkan gelombang akustik yang memiliki kecepatan propagasi 3000 m/s. Molekul pada permukaan piezoelektrik mengikuti gerak eliptik menembus media padat piezoelektrik, emf akan dihasilkan dari piezoelektrik ini. Filter ini disebut juga sebagai *delay line filter*, struktur elektroda berupa garis-garis dengan jarak antar garis (satu kutub) adalah  $1\chi$ , dimana  $\chi$  ini adalah panjang gelombang center.

Karakteristik filter SAW ini selalu berupa bandpass filter. Struktur elektroda input dan output tampak sama yang disebut sebagai *InterDigital Transducers* (IDTs). Gelombang akustik di permukaan dihasilkan oleh kopleng dari dua arah, bagian terluar diserap atau didisipasikan dalam sebuah elektroda di bagian tepi (mencegah pantulan). Absorber dapat diganti dengan grating reflector yang terdiri dari *reflecting slots/ grooves* dengan jarak  $\chi/2$ . Beberapa reflektor menimbulkan peak pada output.

3. Filter-filter elektromekanik

Filter elektromekanik disusun dari piringan besi yang diatur secara axial akan menghasilkan filter bandpass dengan karakteristik cutoff frekuensi yang sangat tajam, sehingga filter jenis ini biasa dipakai pada komunikasi SSB.

Jenis lain filter elektromekanik adalah filter keramik yang terbuat dari piringan keramik piezoelektrik (misalnya *Barium Titanate*) yang disusun rapi. Contoh filter keramik yaitu filter IF pada penerima AM dengan frekuensi centernya 455 kHz dengan bandwidth antara 2 KHz sampai

50 kHz, dan filter keramik pada penerima FM dengan frekuensi center 10,7 MHz dengan bandwidth 100 KHz sampai 1 MHz.

#### 4. Filter kristal piezoelektrik

Kristal yang diproduksi pabrik, biasanya berkisar antara 1 kHz – 50 MHz. Bentuk kristal ini berupa potongan kristal dengan rancangan tertentu untuk memperoleh frekuensi resonansi yang diapit oleh elektroda pada dua sisi yang lain sehingga ada komponen kapasitifnya.

Secara elektronik, resonansi mekanik (*mechanical resonance*) membuat kristal ini memiliki Q (faktor kualitas) yang tinggi dan menyebabkan kristal ini memiliki resonansi seri. Kapasitor yang timbul sebagai akibat kristal yang terapat elektroda ini menyebabkan resonansi paralel kedua yang terjadi pada frekuensi yang sangat dekat dengan  $f$  resonansi mekanik kristal.

Kristal memiliki reaktansi yang sangat dipengaruhi oleh induktor jika induktor tersebut dipasang paralel. Pemasangan induktor yang diseriikan dengan kristal juga mempengaruhi karakteristik reaktansi kristal. Biasanya jarak  $f_s$  dan  $f_p$  beberapa ratus Hz untuk kristal 1 MHz.

Berdasarkan daerah frekuensi yang dilewatkan, filter analog dibagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. *LPF (Low Pass Filter)*
2. *BPF (Band Pass Filter)*
3. *HPF (High Pass Filter)*
4. *BSF/BRF (Band Stop Filter/ Band Reject Filter)*
5. *All Pass Filter* (hanya memperhatikan respon fasa).

Berdasarkan bentuk respon frekuensi terhadap gain antara lain :

#### 1. Filter Bessel/ *Maximally Flat Time Delay*

Filter ini memiliki cut off yang tidak terlalu tajam tetapi menghasilkan constant time delay yang baik (respon fase-frekuensi yang linier).

Filter ini digunakan untuk memfilter sinyal pada suatu sistem yang lebih memperhatikan fasa sinyal dibandingkan respon amplitudo. Biasanya, filter ini digunakan pada sinyal pulsa dan sinyal video/ gambar.

#### 2. Filter Cauer/ Eliptic

Memiliki daerah transisi (antara passband dan stop band) yang sangat tajam, biasanya dipakai dalam telepon. Pada filter ini, respon pada passband dan stopband terdapat ripple.

#### 3. Filter Butterworth/ *maximally flat*

#### 4. Filter Chebyshev/ Tchebycheff

Filter yang dibahas di bagian ini adalah filter aktif dan filter pasif yang tersusun dari komponen reaktif L dan C, yang memiliki bentuk respon Butterworth dan Chebychev. Pada suatu filter (*frequency selective filter*), selektivitas ditentukan oleh faktor kualitas Q dari suatu rangkaian penala/ rangkaian resonansi. Rangkaian filter lebih kompleks dibandingkan dengan rangkaian penala.

Pada jenis filter pasif, komponen penyusunnya menggunakan induktor, kapasitor dan resistor. Sedangkan untuk filter aktif, komponen-komponen yang menyusunnya yaitu penguat, kapasitor dan resistor. Induktor memiliki ukuran yang besar dan harga yang cukup mahal, sehingga saat ini dalam beberapa perancangan induktor diganti dengan rangkaian elektronik yang menggunakan op-amp, resistor dan kapasitor.

Filter aktif memiliki beberapa keuntungan antara lain ukuran yang lebih kecil, ringan, lebih murah dan lebih fleksibel dalam perancangannya. Sedangkan kekurangannya ada pada kebutuhan catu daya eksternal, lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan, dan memiliki frekuensi kerja yang tidak terlalu tinggi (hanya sampai ratusan MHz).

### Model Filter Ternormalisasi

Untuk memudahkan analisis dan perhitungan dalam merancang suatu filter maka dibuat suatu prototipe/ model filter LPF ternormalisasi, bila LPF ternormalisasi ini sudah dibuat maka dapat dirancang LPF, HPF, BPF maupun BSF riil yaitu pada frekuensi yang sebenarnya dengan transformasi tertentu. Untuk mengaplikasikan prototipe ternormalisasi pada suatu harga frekuensi tertentu diperlukan penskalaan dengan aturan yang ditentukan, karena prototipe LPF ternormalisasi ini dirancang saat frekuensi  $\omega_c = 1$  rad/s.

### LPF pasif Butterworth ternormalisasi

Respon magnituda kuadrat LPF Butterworth terhadap frekuensi (pada bagian ini, untuk memudahkan disebut sebagai 'respon frekuensi')

$$|H_N(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2N}}, \quad \frac{\omega}{\omega_c} = \Omega$$

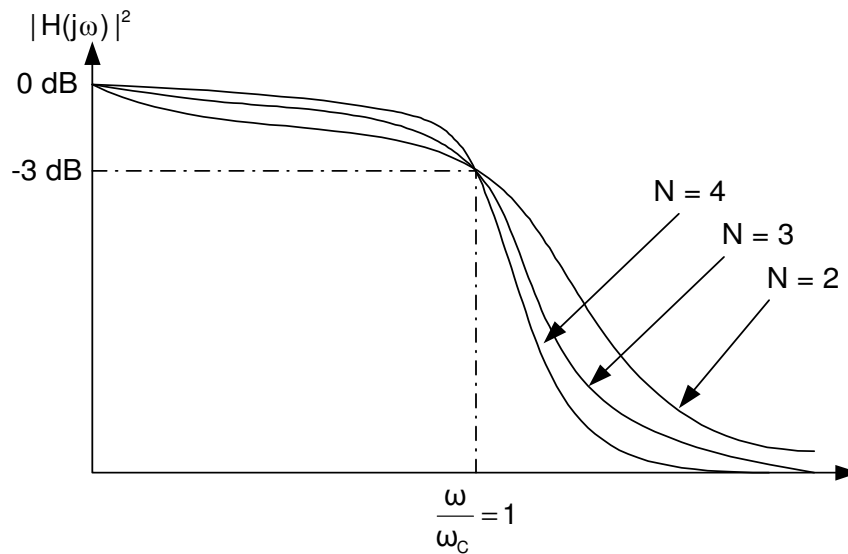
Keterangan :

$\omega$  = frekuensi redaman yang diinginkan

$\omega_c$  = frekuensi cutt off 3 dB.

Filter ini memiliki orde N, N integer dan jika N semakin besar maka respon filter mendekati respon filter ideal. Orde filter ini ditentukan oleh jumlah komponen penyimpan energi. LPF Butterworth ini memiliki respon flat pada daerah passband maupun stopband.

Grafik respon LPF Butterworth ditunjukkan pada gambar berikut :



Dari Persamaan Filter tersebut, untuk mengetahui redaman perdekade (persepuluh kali) setelah frekuensi cut off dilakukan pendekatan sebagai berikut.

Jadi setelah frekuensi cut off-nya, filter Butterworth ini memiliki respon meredam mendekati  $20N$  dB/ dekad.

$$|H_N(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + (10)^{2N}} \approx -20N \log(10) \text{ dB} = -20N \text{ dB/dec}$$

$$|H_N(s)|^2 = |H_N(s)| \cdot |H_N(-s)| = \frac{1}{1 + \Omega^{2N}} \Big|_{\Omega^2 = -s^2} = \frac{1}{1 + (-1)^N s^{2N}}$$

Posisi pole-pole pada bidang  $s$  ( $s$ -plane) ditentukan dengan menyelesaikan persamaan berikut.

Dengan membuat harga denominator fungsi tersebut pada harga 0, pole akan diperoleh sebagai berikut :

$$s = \left[ -(-1)^N \right]^{\frac{1}{2N}}$$

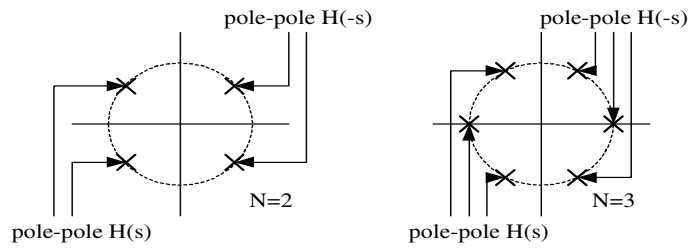
$$\begin{aligned} (N \text{ genap}) \quad s_K &= 1 < (k\pi / N) & K &= 0,1,2,\dots,2N-1 \\ (N \text{ ganjil}) \quad s_K &= 1 < (\pi / 2N + k\pi / N) & K &= 0,1,2,\dots,2N-1 \end{aligned}$$

atau

$$s_K = -\sin\left[\frac{(2K-1)\pi}{2N}\right] + j \cos\left[\frac{(2K-1)\pi}{2N}\right] \quad K = 1,2,3,\dots,N$$

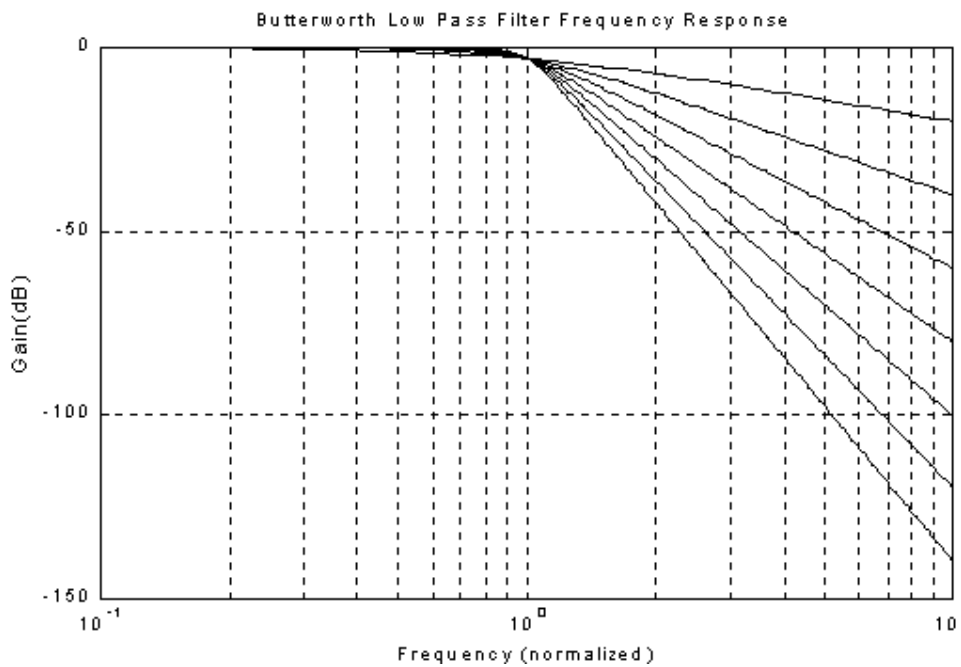


Posisi-posisi pole dari fungsi  $H_N(s)$  dan  $H_N(-s)$  ini ditunjukkan pada gambar berikut ini yaitu berada pada titik-titik dengan jari-jari = 1. Jarak antara dua buah pole adalah  $\pi/N$  radian.

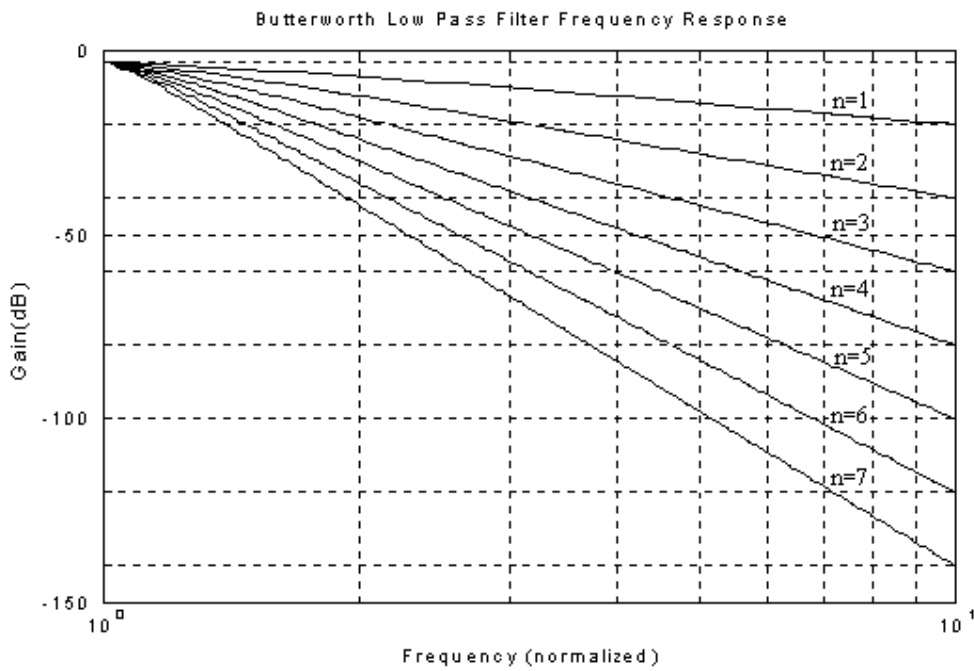
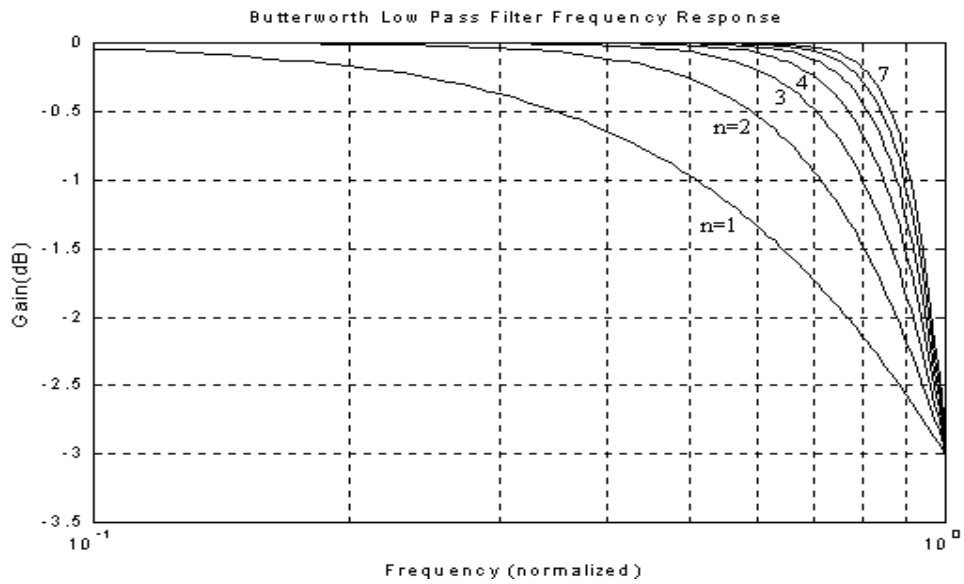


Pole-pole dari fungsi  $H_N(-s)$  terletak disebelah kanan sumbu vertikal (disebut *Right Half Plane Poles*), sedangkan pole-pole dari fungsi  $H_N(s)$  terletak disebelah kiri sumbu vertikal (disebut *Left Half Plane Poles*)

Berikut ini adalah respon frekuensi LPF Butterworth ternormalisasi yang disimulasikan menggunakan MATLAB :

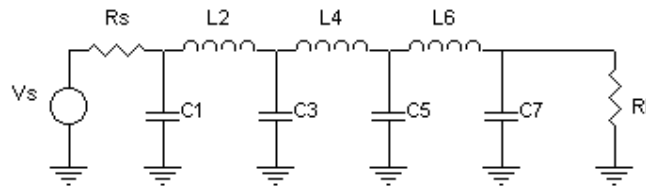


Secara lengkapnya terlihat pada gambar berikut (frekuensi 0,1 sampai 1 dan 1 sampai 10).

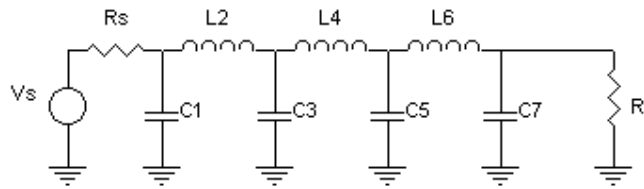


Untuk menentukan komponen yang digunakan, dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi ( $R_S = R_L$ )



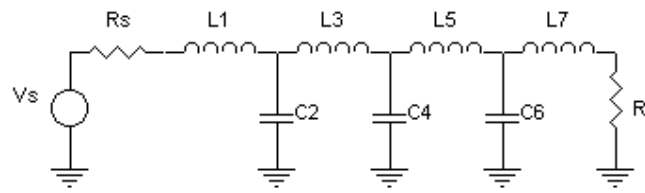
| N | C <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | L <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 1.414          | 1.414          |                |                |                |                |                |
| 3 | 1.000          | 2.000          | 1.000          |                |                |                |                |
| 4 | 0.765          | 1.848          | 1.848          | 0.765          |                |                |                |
| 5 | 0.618          | 1.618          | 2.000          | 1.618          | 0.618          |                |                |
| 6 | 0.518          | 1.414          | 1.932          | 1.932          | 1.414          | 0.518          |                |
| 7 | 0.445          | 1.247          | 1.802          | 2.000          | 1.802          | 1.247          | 0.445          |
| N | L <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | L <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | L <sub>7</sub> |



Sedangkan Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi ( $R_S \neq R_L$ ) adalah sebagai berikut :

| N     | R <sub>s</sub> /R <sub>l</sub> | C <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | L <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> |
|-------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2     | 1.111                          | 1.035          | 1.835          |                |                |                |                |                |
|       | 1.250                          | 0.849          | 2.121          |                |                |                |                |                |
|       | 1.429                          | 0.697          | 2.439          |                |                |                |                |                |
|       | 1.667                          | 0.566          | 2.828          |                |                |                |                |                |
|       | 2.000                          | 0.448          | 3.346          |                |                |                |                |                |
|       | 2.500                          | 0.342          | 4.095          |                |                |                |                |                |
|       | 3.333                          | 0.245          | 5.313          |                |                |                |                |                |
|       | 5.000                          | 0.156          | 7.707          |                |                |                |                |                |
| 3     | 10.000                         | 0.074          | 14.814         |                |                |                |                |                |
|       | ∞                              | 1.414          | 0.707          |                |                |                |                |                |
|       | 0.900                          | 0.808          | 1.633          | 1.599          |                |                |                |                |
|       | 0.800                          | 0.844          | 1.384          | 1.926          |                |                |                |                |
|       | 0.700                          | 0.915          | 1.165          | 2.277          |                |                |                |                |
|       | 0.600                          | 1.023          | 0.965          | 2.702          |                |                |                |                |
|       | 0.500                          | 1.181          | 0.779          | 3.261          |                |                |                |                |
|       | 0.400                          | 1.425          | 0.604          | 4.064          |                |                |                |                |
| 0.300 | 1.838                          | 0.440          | 5.363          |                |                |                |                |                |

|   |        |       |        |        |        |        |        |        |
|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | 0.200  | 2.669 | 0.284  | 7.910  |        |        |        |        |
|   | 0.100  | 5.167 | 0.138  | 15.455 |        |        |        |        |
|   | ∞      | 1.500 | 1.333  | 0.500  |        |        |        |        |
| 4 | 1.111  | 0.466 | 1.592  | 1.744  | 1.469  |        |        |        |
|   | 1.250  | 0.388 | 1.695  | 1.511  | 1.811  |        |        |        |
|   | 1.429  | 0.325 | 1.862  | 1.291  | 2.175  |        |        |        |
|   | 1.667  | 0.269 | 2.103  | 1.082  | 2.613  |        |        |        |
|   | 2.000  | 0.218 | 2.452  | 0.883  | 3.187  |        |        |        |
|   | 2.500  | 0.169 | 2.986  | 0.691  | 4.009  |        |        |        |
|   | 3.333  | 0.124 | 3.883  | 0.507  | 5.338  |        |        |        |
|   | 5.000  | 0.080 | 5.684  | 0.331  | 7.940  |        |        |        |
|   | 10.000 | 0.039 | 11.094 | 0.162  | 15.642 |        |        |        |
|   | ∞      | 1.531 | 1.577  | 1.082  | 0.383  |        |        |        |
| 5 | 0.900  | 0.442 | 1.027  | 1.910  | 1.756  | 1.389  |        |        |
|   | 0.800  | 0.470 | 0.866  | 2.061  | 1.544  | 1.738  |        |        |
|   | 0.700  | 0.517 | 0.731  | 2.285  | 1.333  | 2.108  |        |        |
|   | 0.600  | 0.586 | 0.609  | 2.600  | 1.126  | 2.552  |        |        |
|   | 0.500  | 0.686 | 0.496  | 3.051  | 0.924  | 3.133  |        |        |
|   | 0.400  | 0.838 | 0.388  | 3.736  | 0.727  | 3.965  |        |        |
|   | 0.300  | 1.094 | 0.285  | 4.884  | 0.537  | 5.307  |        |        |
|   | 0.200  | 1.608 | 0.186  | 7.185  | 0.352  | 7.935  |        |        |
|   | 0.100  | 3.512 | 0.091  | 14.095 | 0.173  | 15.710 |        |        |
|   | ∞      | 1.545 | 1.694  | 1.382  | 0.894  | 0.309  |        |        |
| 6 | 1.111  | 0.289 | 1.040  | 1.322  | 2.054  | 1.744  | 1.335  |        |
|   | 1.250  | 0.245 | 1.116  | 1.126  | 2.239  | 1.550  | 1.688  |        |
|   | 1.429  | 0.207 | 1.236  | 0.957  | 2.499  | 1.346  | 2.062  |        |
|   | 1.667  | 0.173 | 1.407  | 0.801  | 2.858  | 1.143  | 2.509  |        |
|   | 2.000  | 0.141 | 1.653  | 0.654  | 3.369  | 0.942  | 3.094  |        |
|   | 2.500  | 0.111 | 2.028  | 0.514  | 4.414  | 0.745  | 3.931  |        |
|   | 3.333  | 0.082 | 2.656  | 0.379  | 5.433  | 0.552  | 5.280  |        |
|   | 5.000  | 0.054 | 3.917  | 0.245  | 8.020  | 0.363  | 7.922  |        |
|   | 10.000 | 0.026 | 7.705  | 0.122  | 15.786 | 0.179  | 15.738 |        |
|   | ∞      | 1.553 | 1.759  | 1.553  | 1.202  | 0.758  | 0.259  |        |
| 7 | 0.900  | 0.299 | 0.711  | 1.404  | 1.489  | 2.125  | 1.727  | 1.296  |
|   | 0.800  | 0.322 | 0.606  | 1.517  | 1.278  | 2.334  | 1.546  | 1.652  |
|   | 0.700  | 0.357 | 0.515  | 1.688  | 1.091  | 2.618  | 1.350  | 2.028  |
|   | 0.600  | 0.408 | 0.432  | 1.928  | 0.917  | 3.005  | 1.150  | 2.477  |
|   | 0.500  | 0.480 | 0.354  | 2.273  | 0.751  | 3.553  | 0.951  | 3.064  |
|   | 0.400  | 0.590 | 0.278  | 2.795  | 0.592  | 4.380  | 0.754  | 3.904  |
|   | 0.300  | 0.775 | 0.206  | 3.671  | 0.437  | 5.761  | 0.560  | 5.258  |
|   | 0.200  | 1.145 | 0.135  | 5.427  | 0.287  | 8.526  | 0.369  | 7.908  |
|   | 0.100  | 2.257 | 0.067  | 10.700 | 0.142  | 16.822 | 0.182  | 15.748 |
|   | ∞      | 1.558 | 1.799  | 1.659  | 1.397  | 1.055  | 0.656  | 0.223  |



|   |        |                |                |                |                |                |                |                |
|---|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| N | RL/ Rs | L <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | L <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | L <sub>7</sub> |
|---|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|

Pole-pole Butterworth

| n | Bagian riil (-α) | Bagian Imajiner (±jβ) | n  | Bagian riil (-α) | Bagian Imajiner (±jβ) |
|---|------------------|-----------------------|----|------------------|-----------------------|
| 2 | 0.7071           | 0.7071                | 8  | 0.9808           | 0.1951                |
| 3 | 0.5000           | 0.8660                |    | 0.8315           | 0.5556                |
|   | 1.0000           |                       |    | 0.5556           | 0.8315                |
| 4 | 0.9239           | 0.3827                |    | 0.1951           | 0.9808                |
|   | 0.3287           | 0.9239                | 9  | 0.9397           | 0.3420                |
| 5 | 0.8090           | 0.5878                |    | 0.7660           | 0.6428                |
|   | 0.3090           | 0.9511                |    | 0.5000           | 0.8660                |
|   | 1.0000           |                       |    | 0.1737           | 0.9848                |
| 6 | 0.9659           | 0.2588                |    | 1.0000           |                       |
|   | 0.7071           | 0.7071                | 10 | 0.9877           | 0.1564                |
|   | 0.2588           | 0.9659                |    | 0.8910           | 0.4540                |
| 7 | 0.9010           | 0.4339                |    | 0.7071           | 0.7071                |
|   | 0.6235           | 0.7818                |    | 0.4540           | 0.8910                |
|   | 0.2225           | 0.9749                |    | 0.1564           | 0.9877                |
|   | 1.0000           |                       |    |                  |                       |

Urutan perancangan model LPF Butterworth ternormalisasi adalah :

1. Berdasarkan spesifikasi LPF yang diberikan yaitu spesifikasi resistansi sumber ( $R_s$ ), resistansi beban ( $R_L$ ), frekuensi cutoff ( $\omega_c$ ), frekuensi stop band ( $\omega_s$ ) dan redamannya ( $A_s$ ), bila  $\omega_c \neq 1$  rad/s maka normalisasikan harga  $\omega_c$  dan  $\omega_s$  dengan referensi  $\omega_c = 1$ .
2. Setelah dinormalisasikan, sesuaikan harga  $\omega_c$  dan  $\omega_s$  dengan melihat grafik respon frekuensi LPF Butterworth ternormalisasi.
3. Pilih orde filter (N) yang sesuai dengan spesifikasi filter (orde filter diperoleh dengan pembulatan ke atas).
4. Dengan harga N, tentukan rangkaian yang digunakan berdasarkan spesifikasi filter dengan cara melihat Tabel harga komponen LPF Butterworth ternormalisasi.

**LPF pasif Chebyshev/ Tchebycheff ternormalisasi**

Beberapa literatur menyebutkan Chebyshev/ Tschebyscheff/ Tchebycheff, perbedaan ini dikarenakan terjemahan tulisan Rusia yaitu Чебышёв.

Respon magnituda kuadrat LPF Chebychev terhadap frekuensi

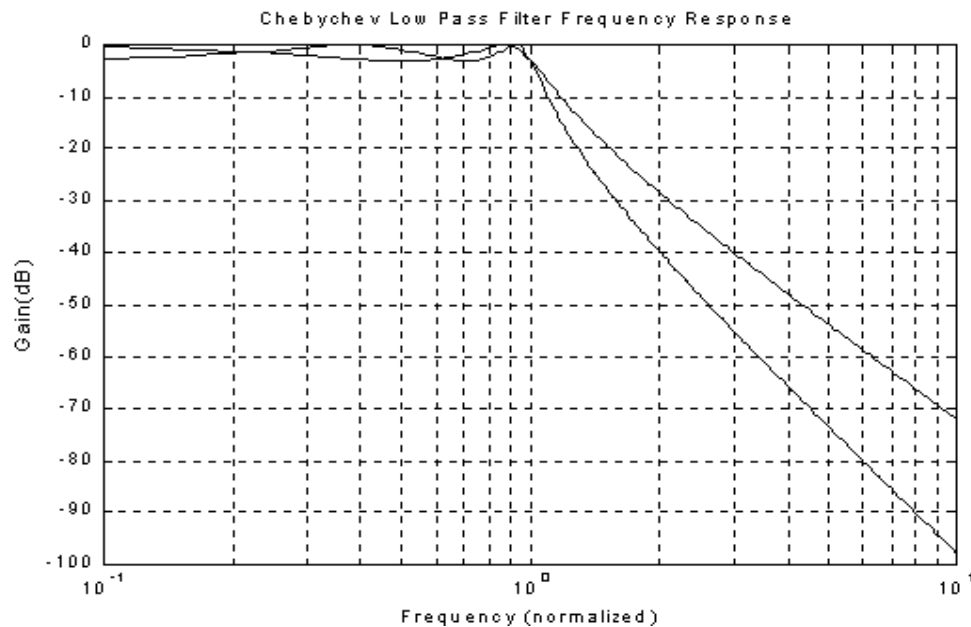
$$|H_N(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon^2 \left[ T_N \left( \frac{\omega}{\omega_c} \right) \right]^2}$$

$T_N(\omega/\omega_c)$  disebut polinomial Chebyshev yaitu untuk

$$-1 \leq \omega/\omega_c \leq 1 \text{ memiliki nilai } \cos [N \cos^{-1} (\omega/\omega_c)]$$

$$-1 \geq \omega/\omega_c \text{ dan } \omega/\omega_c \geq 1 \text{ memiliki nilai } \cosh [N \cosh^{-1} (\omega/\omega_c)]$$

Polinomial Chebyshev berosilasi antara +1 dan -1, koefisien  $\varepsilon$  dipilih berdasarkan besar kecilnya ripple yang diinginkan.



$\omega$  adalah frekuensi redaman yang diinginkan, dan  $\omega_c$  adalah frekuensi cutt off 3 dB. Filter ini memiliki orde  $N$ ,  $N$  integer dan jika  $N$  semakin besar maka respon filter mendekati respon filter ideal. Filter ini cocok digunakan bila diinginkan slope yang tajam dan diperbolehkan ripple di passband atau di stopband. LPF Chebychev ini memiliki respon yang memiliki ripple (disebut equiripple pada daerah passband atau daerah stopband).

Polinomial Chebychev dapat juga dihasilkan dari rumus rekursif :

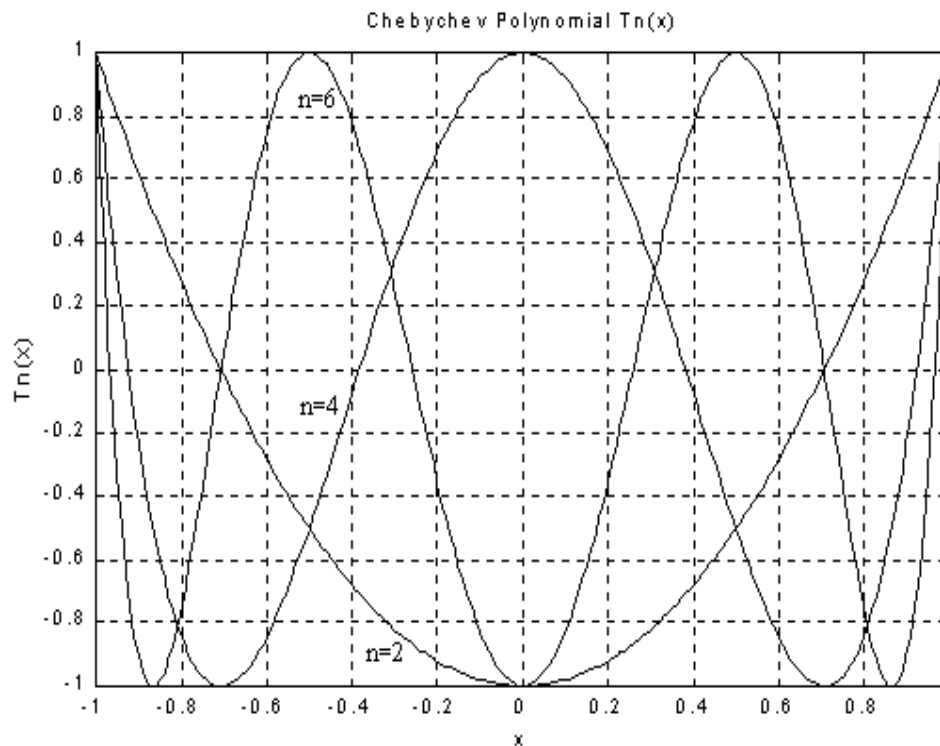
$$T_N(x) = 2xT_{N-1}(x) - T_{N-2}(x), \quad N > 2; \quad T_0(x) = 1 \text{ dan } T_1(x) = x.$$

Sepuluh polinomial Chebychev yang pertama :

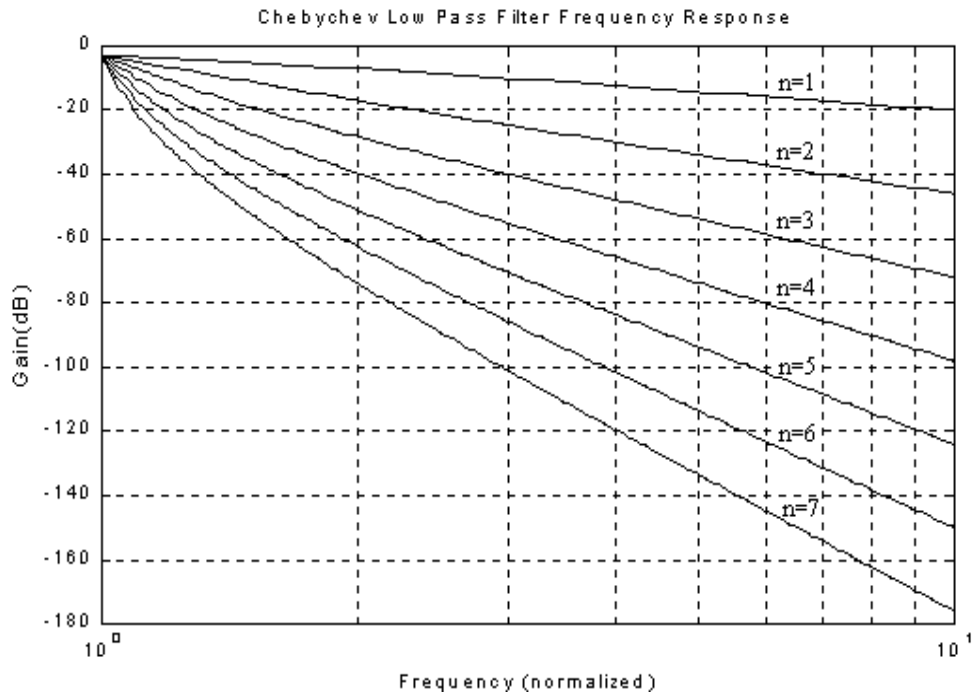
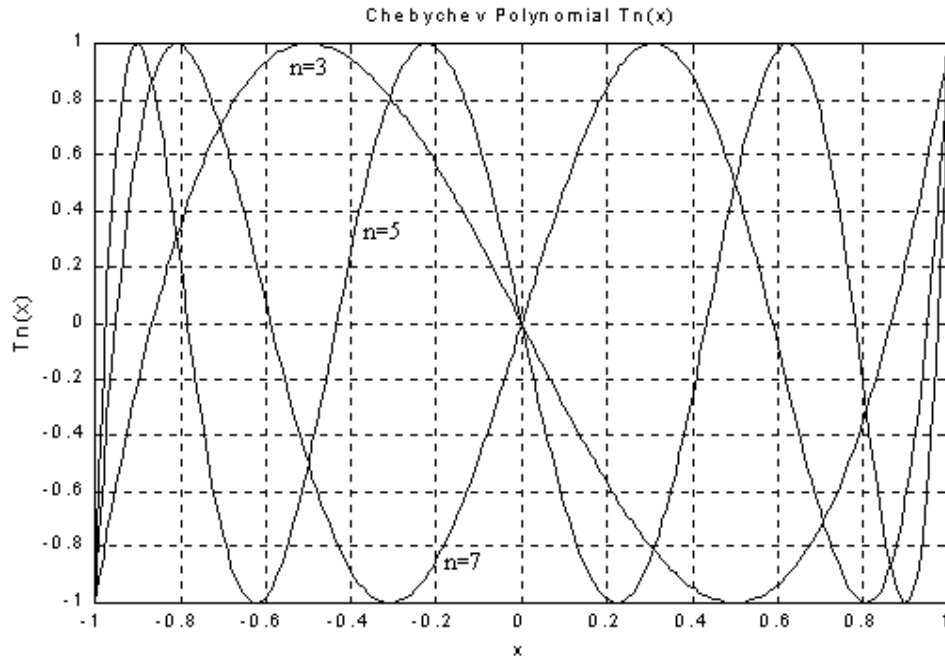
| N  | $T_N(x)$   |
|----|--|
| 0  | 1  |
| 1  | X  |
| 2  | $2x^2 - 1$   |
| 3  | $4x^3 - 3x$  |
| 4  | $8x^4 - 8x^2 + 1$                                    |
| 5  | $16x^5 - 20x^3 + 5x$                                 |
| 6  | $32x^6 - 48x^4 + 18x^2 - 1$                          |
| 7  | $64x^7 - 112x^5 + 56x^3 - 7x$                        |
| 8  | $128x^8 - 256x^6 + 160x^4 - 32x^2 + 1$               |
| 9  | $256x^9 - 576x^7 + 432x^5 - 120x^3 + 9x$             |
| 10 | $512x^{10} - 1280x^8 + 1120x^6 - 400x^4 + 50x^2 - 1$ |

Pada saat  $-1 \leq x \leq 1$  memiliki respon seperti gambar berikut :

Untuk N genap (dalam tabel ini N ditulis sebagai n)



Untuk N ganjil (dalam tabel ini N ditulis sebagai n)



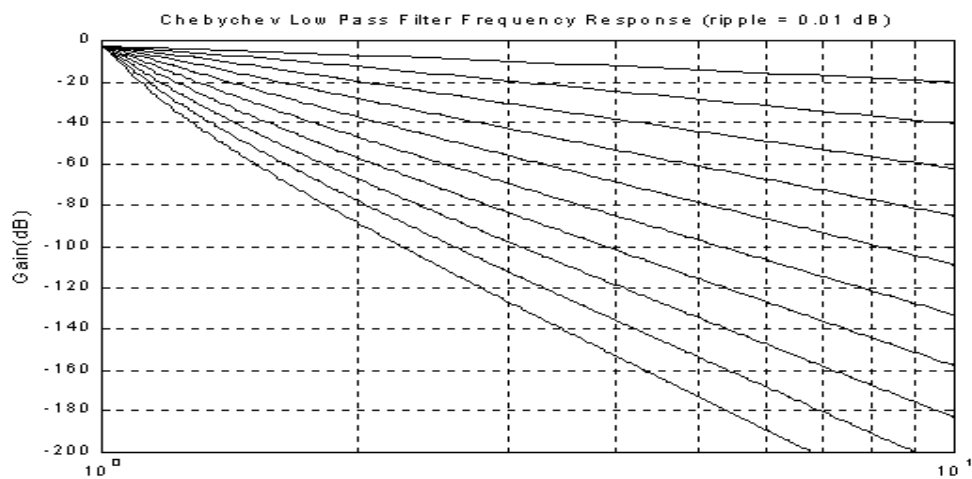
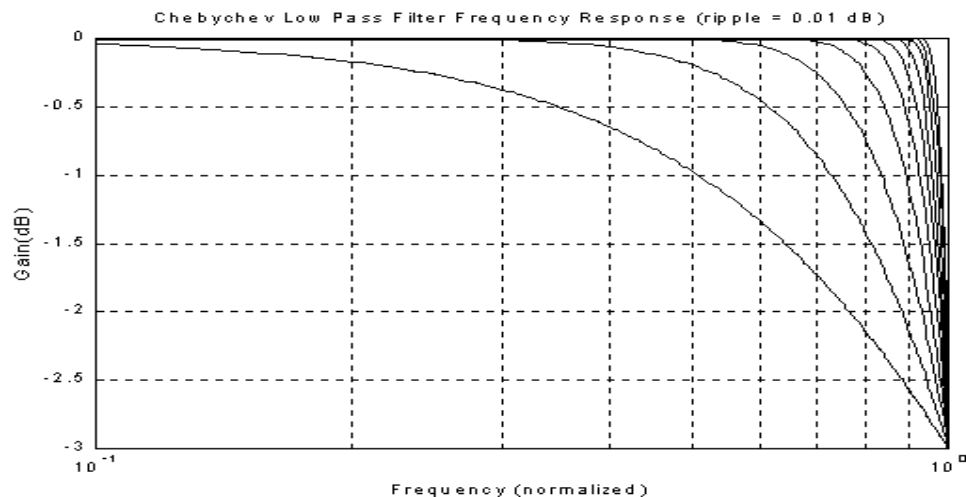


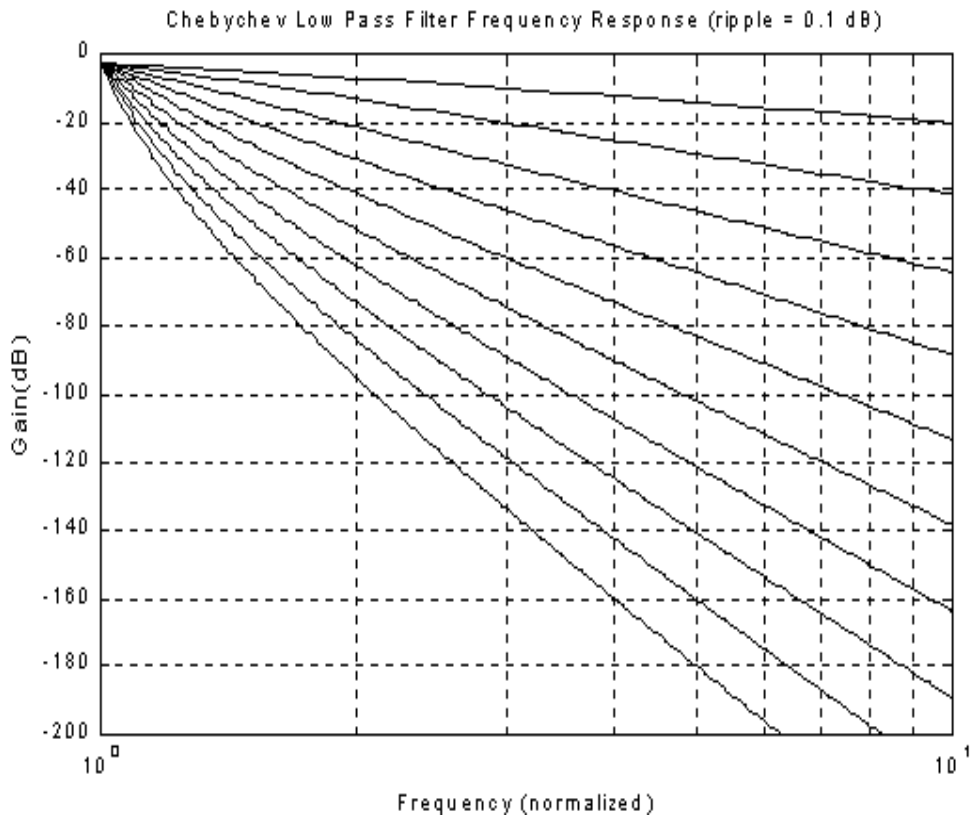
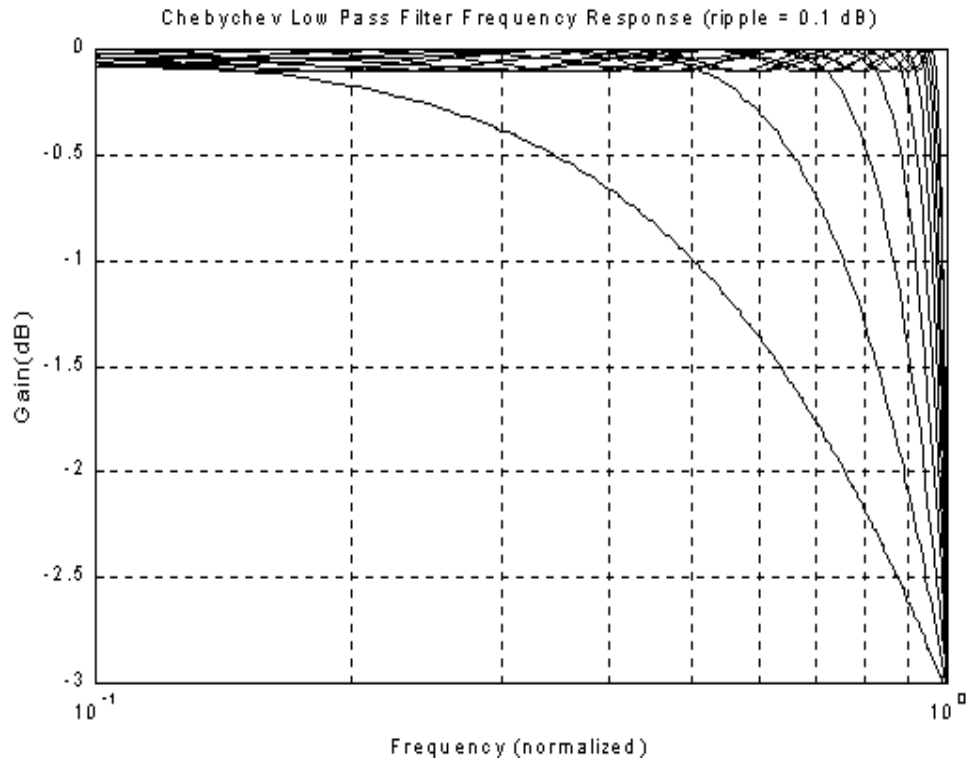
Contoh Respon LPF Chebychev untuk  $\Omega$  antara 1 sampai 10 terlihat pada gambar berikut.

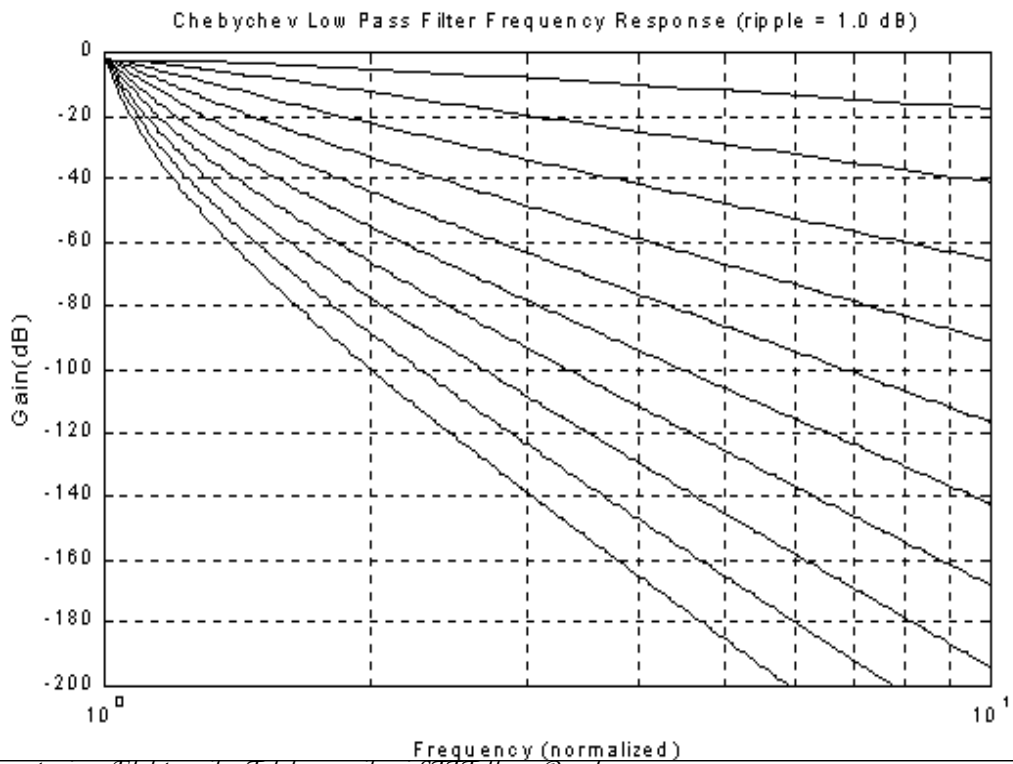
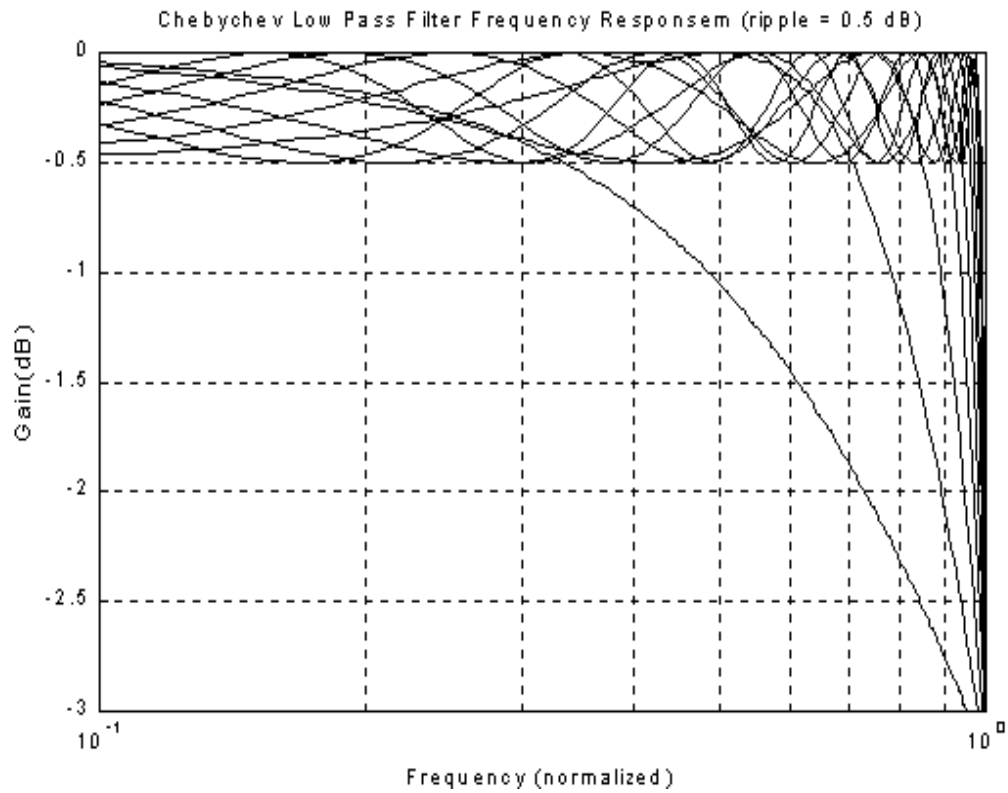
Urutan perancangan model LPF Chebychev ternormalisasi adalah :

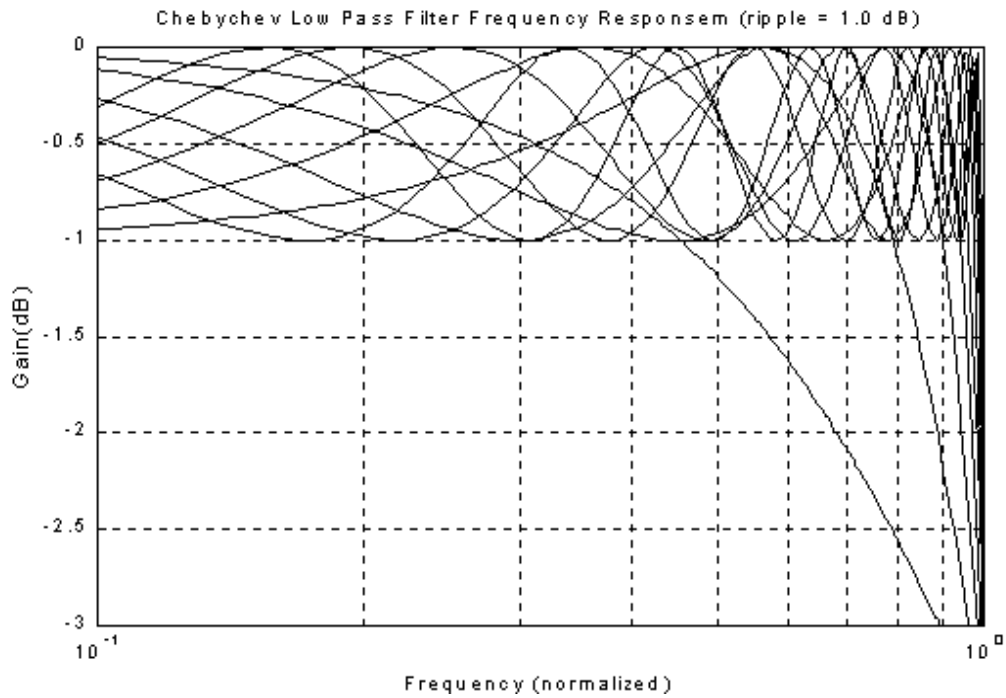
1. Berdasarkan spesifikasi LPF yang diberikan yaitu spesifikasi resistansi sumber ( $R_S$ ), resistansi beban ( $R_L$ ), ripple yang diperbolehkan (dB), frekuensi cutoff ( $\omega_C$ ), frekuensi stop band ( $\omega_S$ ) dan redamannya ( $A_S$ ), bila  $\omega_C \neq 1$  rad/s maka normalisasikan harga  $\omega_C$  dan  $\omega_S$  dengan referensi  $\omega_C = 1$ .
2. Setelah dinormalisasikan, sesuaikan harga  $\omega_C$  dan  $\omega_S$  dengan melihat grafik respon frekuensi LPF Chebychev ternormalisasi.
3. Pilih orde filter ( $N$ ) yang sesuai dengan spesifikasi filter (orde filter diperoleh dengan pembulatan ke atas).
4. Dengan harga  $N$ , tentukan rangkaian yang digunakan berdasarkan spesifikasi filter dengan cara melihat Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi.

Berikut ini grafik respon LPF Chebychev dengan ripple yang berbeda (pada grafik ini terdapat beberapa proses pendekatan)



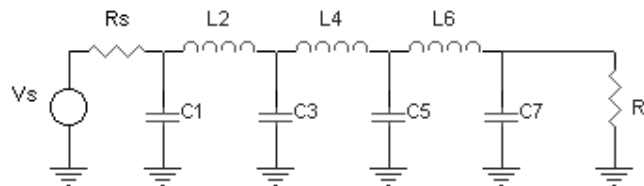






Semua tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi menggunakan dua alternatif rangkaian.

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,01 dB)



| N | Rs/RL  | C <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | L <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> |
|---|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 1.101  | 1.347          | 1.483          |                |                |                |                |                |
|   | 1.111  | 1.247          | 1.595          |                |                |                |                |                |
|   | 1.250  | 0.943          | 1.997          |                |                |                |                |                |
|   | 1.429  | 0.759          | 2.344          |                |                |                |                |                |
|   | 1.667  | 0.609          | 2.750          |                |                |                |                |                |
|   | 2.000  | 0.479          | 3.277          |                |                |                |                |                |
|   | 2.500  | 0.383          | 4.033          |                |                |                |                |                |
|   | 3.333  | 0.259          | 5.255          |                |                |                |                |                |
|   | 5.000  | 0.164          | 7.650          |                |                |                |                |                |
|   | 10.000 | 0.078          | 14.749         |                |                |                |                |                |
|   | ∞      | 1.412          | 0.742          |                |                |                |                |                |
| 3 | 1.000  | 1.181          | 1.821          | 1.181          |                |                |                |                |
|   | 0.900  | 1.092          | 1.660          | 1.480          |                |                |                |                |

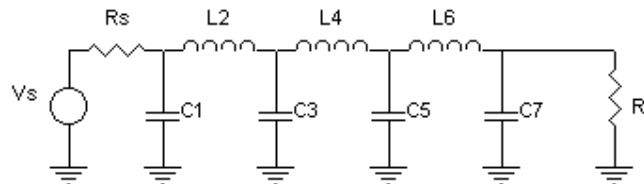
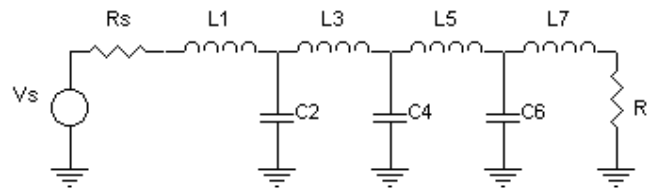
|   |        |       |        |        |        |        |        |       |
|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|   | 0.800  | 1.097 | 1.443  | 1.806  |        |        |        |       |
|   | 0.700  | 1.160 | 1.228  | 2.165  |        |        |        |       |
|   | 0.600  | 1.274 | 1.024  | 2.598  |        |        |        |       |
|   | 0.500  | 1.452 | 0.829  | 3.164  |        |        |        |       |
|   | 0.400  | 1.734 | 0.645  | 3.974  |        |        |        |       |
|   | 0.300  | 2.216 | 0.470  | 5.280  |        |        |        |       |
|   | 0.200  | 3.193 | 0.305  | 7.834  |        |        |        |       |
|   | 0.100  | 6.141 | 0.148  | 15.390 |        |        |        |       |
|   | ∞      | 1.501 | 1.433  | 0.591  |        |        |        |       |
| 4 | 1.000  | 0.950 | 1.938  | 1.761  | 1.046  |        |        |       |
|   | 1.111  | 0.854 | 1.946  | 1.744  | 1.165  |        |        |       |
|   | 1.250  | 0.618 | 2.075  | 1.542  | 1.617  |        |        |       |
|   | 1.429  | 0.495 | 2.279  | 1.334  | 2.008  |        |        |       |
|   | 1.667  | 0.398 | 2.571  | 1.128  | 2.461  |        |        |       |
|   | 2.000  | 0.316 | 2.994  | 0.926  | 3.045  |        |        |       |
|   | 2.500  | 0.242 | 3.641  | 0.729  | 3.875  |        |        |       |
|   | 3.333  | 0.174 | 4.727  | 0.538  | 5.209  |        |        |       |
|   | 5.000  | 0.112 | 6.910  | 0.352  | 7.813  |        |        |       |
|   | 10.000 | 0.054 | 13.469 | 0.173  | 15.510 |        |        |       |
|   | ∞      | 1.529 | 1.691  | 1.312  | 0.523  |        |        |       |
| 5 | 1.000  | 0.977 | 1.685  | 2.037  | 1.685  | 0.977  |        |       |
|   | 0.900  | 0.880 | 1.456  | 2.174  | 1.641  | 1.274  |        |       |
|   | 0.800  | 0.877 | 1.235  | 2.379  | 1.499  | 1.607  |        |       |
|   | 0.700  | 0.926 | 1.040  | 2.658  | 1.323  | 1.977  |        |       |
|   | 0.600  | 1.019 | 0.883  | 3.041  | 1.135  | 2.424  |        |       |
|   | 0.500  | 1.166 | 0.699  | 3.584  | 0.942  | 3.009  |        |       |
|   | 0.400  | 1.398 | 0.544  | 4.403  | 0.749  | 3.845  |        |       |
|   | 0.300  | 1.797 | 0.398  | 5.772  | 0.557  | 5.193  |        |       |
|   | 0.200  | 2.604 | 0.259  | 8.514  | 0.368  | 7.826  |        |       |
|   | 0.100  | 5.041 | 0.127  | 16.741 | 0.182  | 15.613 |        |       |
|   | ∞      | 1.547 | 1.795  | 1.645  | 1.237  | 0.488  |        |       |
| 6 | 1.101  | 0.851 | 1.796  | 1.841  | 2.027  | 1.631  | 0.937  |       |
|   | 1.111  | 0.760 | 1.782  | 1.775  | 2.094  | 1.638  | 1.053  |       |
|   | 1.250  | 0.545 | 1.864  | 1.489  | 2.403  | 1.507  | 1.504  |       |
|   | 1.429  | 0.436 | 2.038  | 1.266  | 2.735  | 1.332  | 1.899  |       |
|   | 1.667  | 0.351 | 2.298  | 1.061  | 3.167  | 1.145  | 2.357  |       |
|   | 2.000  | 0.279 | 2.678  | 0.867  | 3.768  | 0.954  | 2.948  |       |
|   | 2.500  | 0.214 | 3.261  | 0.682  | 4.667  | 0.761  | 3.790  |       |
|   | 3.333  | 0.155 | 4.245  | 0.503  | 6.163  | 0.568  | 5.143  |       |
|   | 5.000  | 0.100 | 6.223  | 0.330  | 9.151  | 0.376  | 7.785  |       |
|   | 10.000 | 0.048 | 12.171 | 0.162  | 18.105 | 0.187  | 15.595 |       |
|   | ∞      | 1.551 | 1.847  | 1.790  | 1.598  | 1.190  | 0.469  |       |
| 7 | 1.000  | 0.913 | 1.595  | 2.002  | 1.870  | 2.002  | 1.595  | 0.913 |
|   | 0.900  | 0.816 | 1.362  | 2.089  | 1.722  | 2.202  | 1.581  | 1.206 |
|   | 0.800  | 0.811 | 1.150  | 2.262  | 1.525  | 2.465  | 1.464  | 1.538 |
|   | 0.700  | 0.857 | 0.967  | 2.516  | 1.323  | 2.802  | 1.307  | 1.910 |
|   | 0.600  | 0.943 | 0.803  | 2.872  | 1.124  | 3.250  | 1.131  | 2.359 |
|   | 0.500  | 1.080 | 0.650  | 3.382  | 0.928  | 3.875  | 0.947  | 2.948 |
|   | 0.400  | 1.297 | 0.507  | 4.156  | 0.735  | 4.812  | 0.758  | 3.790 |
|   | 0.300  | 1.669 | 0.372  | 5.454  | 0.546  | 6.370  | 0.568  | 5.148 |

|   |          |                |                |                |                |                |                |                |
|---|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | 0.200    | 2.242          | 0.242          | 8.057          | 0.360          | 9.484          | 0.378          | 7.802          |
|   | 0.100    | 4.701          | 0.119          | 15.872         | 0.178          | 18.818         | 0.188          | 15.652         |
|   | $\infty$ | 1.559          | 1.867          | 1.866          | 1.765          | 1.563          | 1.161          | 0.456          |
| N | Rl/ Rs   | L <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | L <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | L <sub>7</sub> |

Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,1 dB)

| N        | Rs/Rl    | C <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | L <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> |
|----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2        | 1.355    | 1.209          | 1.638          |                |                |                |                |                |
|          | 1.429    | 0.977          | 1.982          |                |                |                |                |                |
|          | 1.667    | 0.733          | 2.489          |                |                |                |                |                |
|          | 2.000    | 0.560          | 3.054          |                |                |                |                |                |
|          | 2.500    | 0.417          | 3.827          |                |                |                |                |                |
|          | 3.333    | 0.293          | 5.050          |                |                |                |                |                |
|          | 5.000    | 0.184          | 7.426          |                |                |                |                |                |
|          | 10.000   | 0.087          | 14.433         |                |                |                |                |                |
|          | $\infty$ | 1.391          | 0.819          |                |                |                |                |                |
| 3        | 1.000    | 1.433          | 1.594          | 1.433          |                |                |                |                |
|          | 0.900    | 1.426          | 1.494          | 1.622          |                |                |                |                |
|          | 0.800    | 1.451          | 1.356          | 1.871          |                |                |                |                |
|          | 0.700    | 1.521          | 1.193          | 2.190          |                |                |                |                |
|          | 0.600    | 1.648          | 1.017          | 2.603          |                |                |                |                |
|          | 0.500    | 1.853          | 0.838          | 3.159          |                |                |                |                |
|          | 0.400    | 2.186          | 0.660          | 3.968          |                |                |                |                |
|          | 0.300    | 2.763          | 0.486          | 5.279          |                |                |                |                |
|          | 0.200    | 3.942          | 0.317          | 7.850          |                |                |                |                |
|          | 0.100    | 7.512          | 0.155          | 15.466         |                |                |                |                |
| $\infty$ | 1.513    | 1.510          | 0.716          |                |                |                |                |                |
| 4        | 1.355    | 0.992          | 2.148          | 1.585          | 1.341          |                |                |                |
|          | 1.429    | 0.779          | 2.348          | 1.429          | 1.700          |                |                |                |
|          | 1.667    | 0.576          | 2.730          | 1.185          | 2.243          |                |                |                |
|          | 2.000    | 0.440          | 3.227          | 0.967          | 2.856          |                |                |                |
|          | 2.500    | 0.329          | 3.961          | 0.760          | 3.698          |                |                |                |
|          | 3.333    | 0.233          | 6.178          | 0.560          | 5.030          |                |                |                |
|          | 5.000    | 0.148          | 7.607          | 0.367          | 7.614          |                |                |                |
|          | 10.000   | 0.070          | 14.887         | 0.180          | 15.230         |                |                |                |
|          | $\infty$ | 1.511          | 1.768          | 1.455          | 0.673          |                |                |                |
|          | 5        | 1.000          | 1.301          | 1.556          | 2.241          | 1.556          | 1.301          |                |
| 0.900    |          | 1.285          | 1.433          | 2.380          | 1.488          | 1.488          |                |                |
| 0.800    |          | 1.300          | 1.282          | 2.582          | 1.382          | 1.738          |                |                |
| 0.700    |          | 1.358          | 1.117          | 2.868          | 1.244          | 2.062          |                |                |
| 0.600    |          | 1.470          | 0.947          | 3.269          | 1.085          | 2.484          |                |                |
| 0.500    |          | 1.654          | 0.778          | 3.845          | 0.913          | 3.055          |                |                |
| 0.400    |          | 1.954          | 0.612          | 4.720          | 0.733          | 3.886          |                |                |
| 0.300    |          | 2.477          | 0.451          | 6.196          | 0.550          | 5.237          |                |                |
| 0.200    |          | 3.546          | 0.295          | 9.127          | 0.368          | 7.889          |                |                |
| 0.100    |          | 6.787          | 0.115          | 17.957         | 0.182          | 15.745         |                |                |
| $\infty$ | 1.561    | 1.807          | 1.766          | 1.417          | 0.651          |                |                |                |
| 6        | 1.355    | 0.942          | 2.080          | 1.659          | 2.247          | 1.534          | 1.277          |                |
|          | 1.429    | 0.735          | 2.249          | 1.454          | 2.544          | 1.405          | 1.629          |                |

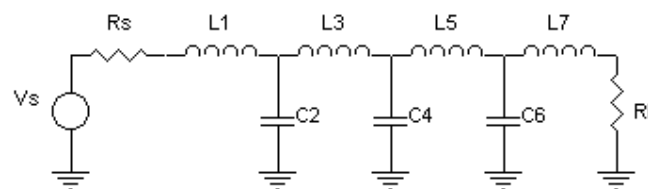
|   |          |                |                |                |                |                |                |                |
|---|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|   | 1.667    | 0.542          | 2.600          | 1.183          | 3.064          | 1.185          | 2.174          |                |
|   | 2.000    | 0.414          | 3.068          | 0.958          | 3.712          | 0.979          | 2.794          |                |
|   | 2.500    | 0.310          | 3.765          | 0.749          | 4.651          | 0.778          | 3.645          |                |
|   | 3.333    | 0.220          | 4.927          | 0.551          | 6.195          | 0.580          | 4.996          |                |
|   | 5.000    | 0.139          | 7.250          | 0.361          | 9.261          | 0.384          | 7.618          |                |
|   | 10.000   | 0.067          | 14.220         | 0.178          | 18.427         | 0.190          | 15.350         |                |
|   | $\infty$ | 1.534          | 1.884          | 1.831          | 1.749          | 1.394          | 0.638          |                |
| 7 | 1.000    | 1.262          | 1.520          | 2.239          | 1.680          | 2.239          | 1.520          | 1.262          |
|   | 0.900    | 1.242          | 1.395          | 2.361          | 1.578          | 2.397          | 1.459          | 1.447          |
|   | 0.800    | 1.255          | 1.245          | 2.548          | 1.443          | 2.624          | 1.362          | 1.697          |
|   | 0.700    | 1.310          | 1.083          | 2.819          | 1.283          | 2.942          | 1.233          | 2.021          |
|   | 0.600    | 1.417          | 0.917          | 3.205          | 1.209          | 3.384          | 1.081          | 2.444          |
|   | 0.500    | 1.595          | 0.753          | 3.764          | 0.928          | 4.015          | 0.914          | 3.018          |
|   | 0.400    | 1.885          | 0.593          | 4.618          | 0.742          | 4.970          | 0.738          | 3.855          |
|   | 0.300    | 2.392          | 0.437          | 6.054          | 0.556          | 6.569          | 0.557          | 5.217          |
|   | 0.200    | 3.428          | 0.286          | 8.937          | 0.369          | 9.770          | 0.372          | 7.890          |
|   | 0.100    | 6.570          | 0.141          | 17.603         | 0.184          | 19.376         | 0.186          | 15.813         |
|   | $\infty$ | 1.575          | 1.858          | 1.921          | 1.827          | 1.734          | 1.379          | 0.631          |
| N | Rl/ Rs   | L <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | L <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | L <sub>7</sub> |



Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 0,5 dB)

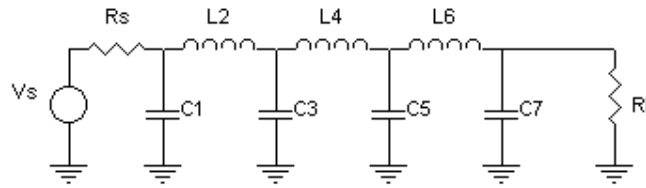
| N | Rs/Rl    | C <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | L <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> |
|---|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 1.984    | 0.983          | 1.950          |                |                |                |                |                |
|   | 2.000    | 0.909          | 2.103          |                |                |                |                |                |
|   | 2.500    | 0.564          | 3.165          |                |                |                |                |                |
|   | 3.333    | 0.375          | 4.411          |                |                |                |                |                |
|   | 5.000    | 0.228          | 6.700          |                |                |                |                |                |
|   | 10.000   | 0.105          | 13.322         |                |                |                |                |                |
|   | $\infty$ | 1.307          | 0.975          |                |                |                |                |                |
| 3 | 1.000    | 1.864          | 1.280          | 1.864          |                |                |                |                |
|   | 0.900    | 1.918          | 1.209          | 2.026          |                |                |                |                |
|   | 0.800    | 1.997          | 1.120          | 2.237          |                |                |                |                |
|   | 0.700    | 2.114          | 1.015          | 2.517          |                |                |                |                |

|   |        |       |        |        |        |        |        |        |
|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   | 0.500  | 2.557 | 0.759  | 3.436  |        |        |        |        |
|   | 0.400  | 2.985 | 0.615  | 4.242  |        |        |        |        |
|   | 0.300  | 3.729 | 0.463  | 5.576  |        |        |        |        |
|   | 0.200  | 5.254 | 0.309  | 8.225  |        |        |        |        |
|   | 0.100  | 9.890 | 0.153  | 16.118 |        |        |        |        |
|   | ∞      | 1.572 | 1.518  | 0.932  |        |        |        |        |
| 4 | 1.984  | 0.920 | 2.586  | 1.304  | 1.826  |        |        |        |
|   | 2.000  | 0.845 | 2.720  | 1.238  | 1.985  |        |        |        |
|   | 2.500  | 0.516 | 3.766  | 0.869  | 3.121  |        |        |        |
|   | 3.333  | 0.344 | 5.120  | 0.621  | 4.480  |        |        |        |
|   | 5.000  | 0.210 | 7.708  | 0.400  | 6.987  |        |        |        |
|   | 10.000 | 0.098 | 15.352 | 0.194  | 14.262 |        |        |        |
|   | ∞      | 1.436 | 1.889  | 1.521  | 0.913  |        |        |        |
| 5 | 1.000  | 1.807 | 1.303  | 2.691  | 1.303  | 1.807  |        |        |
|   | 0.900  | 1.854 | 1.222  | 2.849  | 1.238  | 1.970  |        |        |
|   | 0.800  | 1.926 | 1.126  | 3.060  | 1.157  | 2.185  |        |        |
|   | 0.700  | 2.035 | 1.015  | 3.353  | 1.058  | 2.470  |        |        |
|   | 0.600  | 2.200 | 0.890  | 3.765  | 0.942  | 2.861  |        |        |
|   | 0.500  | 2.457 | 0.754  | 4.367  | 0.810  | 3.414  |        |        |
|   | 0.400  | 2.870 | 0.609  | 5.296  | 0.664  | 4.245  |        |        |
|   | 0.300  | 3.588 | 0.459  | 6.871  | 0.508  | 5.625  |        |        |
|   | 0.200  | 5.064 | 0.308  | 10.054 | 0.343  | 8.367  |        |        |
|   | 0.100  | 9.556 | 0.153  | 19.647 | 0.173  | 16.576 |        |        |
|   | ∞      | 1.630 | 1.740  | 1.922  | 1.514  | 0.903  |        |        |
| 6 | 1.984  | 0.906 | 2.577  | 1.368  | 2.713  | 1.299  | 1.796  |        |
|   | 2.000  | 0.830 | 2.704  | 1.291  | 2.872  | 1.237  | 1.956  |        |
|   | 2.500  | 0.506 | 3.722  | 0.890  | 4.109  | 0.881  | 3.103  |        |
|   | 3.333  | 0.337 | 5.055  | 0.632  | 5.699  | 0.635  | 4.481  |        |
|   | 5.000  | 0.206 | 7.615  | 0.406  | 8.732  | 0.412  | 7.031  |        |
|   | 10.000 | 0.096 | 15.186 | 0.197  | 17.681 | 0.202  | 14.433 |        |
| 7 | 1.000  | 1.790 | 1.296  | 2.718  | 1.385  | 2.718  | 1.296  | 1.790  |
|   | 0.900  | 1.835 | 1.215  | 2.869  | 1.308  | 2.883  | 1.234  | 1.953  |
|   | 0.800  | 1.905 | 1.118  | 3.076  | 1.215  | 3.107  | 1.155  | 2.168  |
|   | 0.700  | 2.011 | 1.007  | 3.364  | 1.105  | 3.416  | 1.058  | 2.455  |
|   | 0.600  | 2.174 | 0.882  | 3.772  | 0.979  | 3.852  | 0.944  | 2.848  |
|   | 0.500  | 2.428 | 0.747  | 4.370  | 0.838  | 4.289  | 0.814  | 3.405  |
|   | 0.400  | 2.835 | 0.604  | 5.295  | 0.685  | 5.470  | 0.669  | 4.243  |
|   | 0.300  | 3.546 | 0.455  | 6.867  | 0.522  | 7.134  | 0.513  | 5.635  |
|   | 0.200  | 5.007 | 0.303  | 10.049 | 0.352  | 10.496 | 0.348  | 8.404  |
|   | 0.100  | 9.456 | 0.151  | 19.649 | 0.178  | 20.631 | 0.176  | 16.665 |
|   | ∞      | 1.646 | 1.777  | 2.031  | 1.789  | 1.924  | 1.503  | 0.895  |



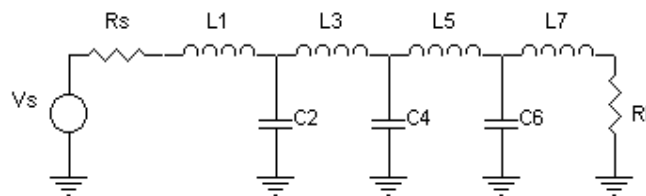
|   |       |                |                |                |                |                |                |                |
|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| N | RL/Rs | L <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | L <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | L <sub>7</sub> |
|---|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|





Tabel harga komponen LPF Chebychev ternormalisasi (ripple 1.0 dB)

| N | Rs/RI  | C <sub>1</sub> | L <sub>2</sub> | C <sub>3</sub> | L <sub>4</sub> | C <sub>5</sub> | L <sub>6</sub> | C <sub>7</sub> |
|---|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 3.000  | 0.572          | 3.132          |                |                |                |                |                |
|   | 4.000  | 0.365          | 4.600          |                |                |                |                |                |
|   | 8.000  | 0.157          | 9.658          |                |                |                |                |                |
|   | ∞      | 1.213          | 1.109          |                |                |                |                |                |
| 3 | 1.000  | 2.216          | 1.088          | 2.216          |                |                |                |                |
|   | 0.500  | 4.431          | 0.817          | 2.216          |                |                |                |                |
|   | 0.333  | 6.647          | 0.726          | 2.216          |                |                |                |                |
|   | 0.250  | 8.662          | 0.680          | 2.216          |                |                |                |                |
|   | 0.125  | 17.725         | 0.612          | 2.216          |                |                |                |                |
|   | ∞      | 1.652          | 1.460          | 1.108          |                |                |                |                |
| 4 | 3.000  | 0.653          | 4.411          | 0.814          | 2.538          |                |                |                |
|   | 4.000  | 0.452          | 7.083          | 0.612          | 2.848          |                |                |                |
|   | 8.000  | 0.209          | 17.164         | 0.428          | 3.281          |                |                |                |
|   | ∞      | 1.350          | 2.010          | 1.488          | 1.106          |                |                |                |
| 5 | 1.000  | 2.207          | 1.128          | 3.103          | 1.128          | 2.207          |                |                |
|   | 0.500  | 4.414          | 0.585          | 4.653          | 1.128          | 2.207          |                |                |
|   | 0.333  | 6.622          | 0.376          | 6.205          | 1.128          | 2.207          |                |                |
|   | 0.250  | 8.829          | 0.282          | 7.756          | 1.128          | 2.207          |                |                |
|   | 0.125  | 17.657         | 0.141          | 13.961         | 1.128          | 2.207          |                |                |
|   | ∞      | 1.721          | 1.645          | 2.061          | 1.493          | 1.103          |                |                |
| 6 | 3.000  | 0.679          | 3.873          | 0.771          | 4.711          | 0.969          | 2.406          |                |
|   | 4.000  | 0.481          | 5.644          | 0.476          | 7.351          | 0.849          | 2.582          |                |
|   | 8.000  | 0.887          | 12.310         | 0.198          | 16.740         | 0.726          | 2.800          |                |
|   | ∞      | 1.378          | 2.097          | 1.690          | 2.074          | 1.494          | 1.102          |                |
| 7 | 1.000  | 2.204          | 1.131          | 3.147          | 1.194          | 3.147          | 1.131          | 2.204          |
|   | 0.500  | 4.408          | 0.566          | 6.293          | 0.895          | 3.147          | 1.131          | 2.204          |
|   | 0.333  | 6.612          | 0.377          | 9.441          | 0.796          | 3.147          | 1.131          | 2.204          |
|   | 0.250  | 8.815          | 0.283          | 12.588         | 0.747          | 3.147          | 1.131          | 2.204          |
|   | 0.125  | 17.631         | 0.141          | 25.175         | 0.671          | 3.147          | 1.131          | 2.204          |
|   | ∞      | 1.741          | 1.677          | 2.155          | 1.703          | 2.079          | 1.494          | 1.102          |
| N | RI/ Rs | L <sub>1</sub> | C <sub>2</sub> | L <sub>3</sub> | C <sub>4</sub> | L <sub>5</sub> | C <sub>6</sub> | L <sub>7</sub> |



Pole-pole Chebychev (ripple 0,01 dB)

| n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) | n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) |
|---|---------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| 2 | 0.6743                    | 0.7075                           | 7 | 0.4393                    | 0.4339                           |
| 3 | 0.4233                    | 0.8663                           |   | 0.3040                    | 0.7819                           |
|   | 0.8467                    |                                  |   | 0.1085                    | 0.9750                           |
| 4 | 0.6762                    | 0.3828                           |   | 0.4876                    |                                  |
|   | 0.2081                    | 0.9241                           | 8 | 0.4268                    | 0.1951                           |
| 5 | 0.5120                    | 0.5879                           |   | 0.3618                    | 0.5556                           |
|   | 0.1956                    | 0.9512                           |   | 0.2418                    | 0.8315                           |
|   | 0.6328                    |                                  |   | 0.0849                    | 0.9808                           |
| 6 | 0.5335                    | 0.2588                           | 9 | 0.3686                    | 0.3420                           |
|   | 0.3906                    | 0.7072                           |   | 0.3005                    | 0.6428                           |
|   | 0.1430                    | 0.9660                           |   | 0.1961                    | 0.8661                           |
|   |                           |                                  |   | 0.06812                   | 0.9848                           |
|   |                           |                                  |   | 0.3923                    |                                  |

Pole-pole Chebychev (ripple 0,1 dB)

| n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) | n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) |
|---|---------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| 2 | 0.6104                    | 0.7106                           | 7 | 0.3178                    | 0.4341                           |
| 3 | 0.3490                    | 0.8684                           |   | 0.2200                    | 0.7823                           |
|   | 0.6979                    |                                  |   | 0.0785                    | 0.9755                           |
| 4 | 0.2177                    | 0.9254                           |   | 0.3528                    |                                  |
|   | 0.5257                    | 0.3833                           | 8 | 0.3058                    | 0.1952                           |
| 5 | 0.3842                    | 0.5884                           |   | 0.2592                    | 0.5558                           |
|   | 0.1468                    | 0.9521                           |   | 0.1732                    | 0.8319                           |
|   | 0.4749                    |                                  |   | 0.06082                   | 0.9812                           |
| 6 | 0.3916                    | 0.2590                           | 9 | 0.2622                    | 0.3421                           |
|   | 0.2867                    | 0.7077                           |   | 0.2137                    | 0.6430                           |
|   | 0.1049                    | 0.9667                           |   | 0.1395                    | 0.8663                           |
|   |                           |                                  |   | 0.04845                   | 0.9852                           |
|   |                           |                                  |   | 0.2790                    |                                  |

Pole-pole Chebychev (ripple 0,5 dB)

| n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) | n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) |
|---|---------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| 2 | 0.5129                    | 0.7225                           | 7 | 0.2221                    | 0.4349                           |
| 3 | 0.2683                    | 0.8753                           |   | 0.1550                    | 0.7836                           |
|   | 0.5366                    |                                  |   | 0.05534                   | 0.9771                           |
| 4 | 0.3872                    | 0.3850                           |   | 0.2487                    |                                  |
|   | 0.1605                    | 0.9297                           | 8 | 0.2144                    | 0.1955                           |
| 5 | 0.2767                    | 0.5902                           |   | 0.1817                    | 0.5565                           |
|   | 0.1057                    | 0.9550                           |   | 0.1214                    | 0.8328                           |
|   | 0.3420                    |                                  |   | 0.04264                   | 0.9824                           |
| 6 | 0.2784                    | 0.2596                           | 9 | 0.1851                    | 0.3425                           |
|   | 0.2037                    | 0.7091                           |   | 0.1493                    | 0.6436                           |
|   | 0.07459                   | 0.9687                           |   | 0.09743                   | 0.8671                           |
|   |                           |                                  |   | 0.03383                   | 0.9861                           |
|   |                           |                                  |   | 0.1949                    |                                  |

Pole-pole Chebychev (ripple 1,0 dB)

| n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) | n | Bagian riil ( $-\alpha$ ) | Bagian Imajiner ( $\pm j\beta$ ) |
|---|---------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|----------------------------------|
| 2 | 0.4508                    | 0.7351                           | 7 | 0.1819                    | 0.4554                           |
| 3 | 0.2257                    | 0.8822                           |   | 0.1259                    | 0.7846                           |
|   | 0.4513                    |                                  |   | 0.04494                   | 0.9785                           |
| 4 | 0.3199                    | 0.3868                           |   | 0.2019                    |                                  |
|   | 0.1325                    | 0.9339                           | 8 | 0.1737                    | 0.1956                           |
| 5 | 0.2265                    | 0.5918                           |   | 0.1473                    | 0.5571                           |
|   | 0.0865                    | 0.9575                           |   | 0.09840                   | 0.8337                           |
|   | 0.2800                    |                                  |   | 0.03456                   | 0.9836                           |
| 6 | 0.2268                    | 0.2601                           | 9 | 0.1482                    | 0.3427                           |
|   | 0.1660                    | 0.7106                           |   | 0.1208                    | 0.6442                           |
|   | 0.06076                   | 0.9707                           |   | 0.07884                   | 0.8679                           |
|   |                           |                                  |   | 0.02739                   | 0.9869                           |
|   |                           |                                  |   | 0.1577                    |                                  |

### LPF Aktif ternormalisasi

LPF aktif merupakan LPF yang di dalamnya terjadi proses penguatan. LPF aktif ternormalisasi ini merupakan model LPF saat frekuensi sudut  $\omega_C = 1$  rad/s.

LPF aktif ini direalisasikan tanpa menggunakan induktor, jadi komponen penyusunnya adalah resistor, kapasitor dan penguat (biasanya op-amp). Kelebihan lain filter aktif ini adalah dapat dihindari pembebanan karena memiliki  $Z_{in}$  yang besar dan  $Z_{out}$  yang kecil.

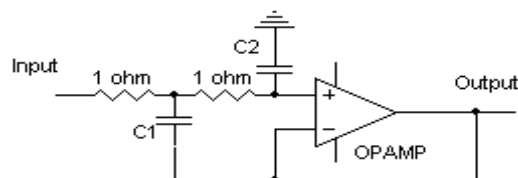
LPF aktif ini memiliki frekuensi kerja yang tidak terlalu tinggi yaitu maksimumnya pada ratusan MHz. Frekuensi kerja filter ini sangat dipengaruhi oleh kemampuan op-amp yang dipakai.

Adapun realisasi filter aktif ini adalah sebagai berikut :

- Bila orde filter N genap, maka realisasi dilakukan dengan  $(N/2)$  buah filter double pole.
- Bila orde filter N ganjil, maka realisasi dilakukan dengan  $((N-3)/2)$  buah filter double pole dan sebuah filter triple pole.

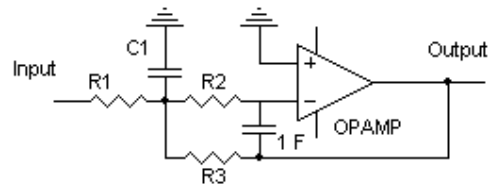
Filter double pole adalah filter aktif yang memiliki dua buah pole yang saling berpasangan pada bagian pole yang imajiner. Sedangkan filter triple pole adalah filter aktif yang memiliki tiga buah pole yaitu satu buah pole riil negatif dan dua buah pole yang saling berpasangan pada bagian pole yang imajiner.

### LPF double pole



- LPF double pole dengan penguatan = 1 (model Sallen and Key)

Bila pasangan polenya adalah  $s_K = \alpha_K \pm j\beta_K$ , maka  $C_1$  dan  $C_2$  ditentukan



$$C_1 = \frac{1}{\alpha_K}; \quad C_2 = \frac{\alpha_K}{\alpha_K^2 + \beta_K^2}$$

- LPF double pole dengan penguatan = -A (model infinite gain)

Bila pasangan polenya adalah  $s_K = \alpha_K \pm j\beta_K$

Penguatan = -A (di daerah passband)

$$C_1 = (A + 1) \left[ 1 + \left( \frac{\beta_K}{\alpha_K} \right)^2 \right]$$

$$R_1 = \frac{\alpha_K}{A(\alpha_K^2 + \beta_K^2)}$$

$$R_2 = \frac{A.R_1}{A + 1}$$

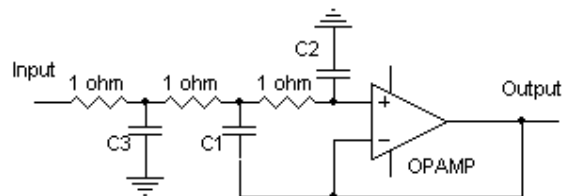
$$R_3 = A.R_1$$

### LPF triple pole

- LPF triple pole dengan penguatan = 1

Terdiri dari satu buah LPF double pole dan sebuah filter pasif dengan pole riil (berupa R dan C)

Pole-pole yang LPF tersebut adalah sebuah real pole  $s_k = \alpha_0$  dan sepasang pole  $s_K = \alpha_K \pm j\beta_K$



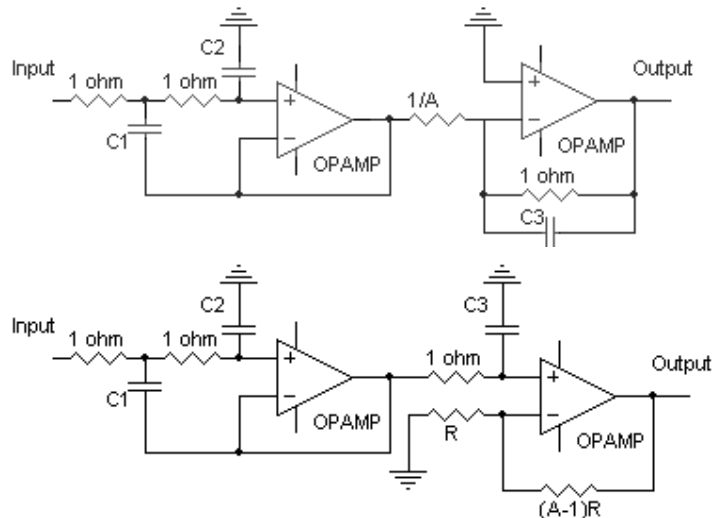
- LPF triple pole dengan penguatan  $\neq 1$  (penguatan = -A), ada dua alternatif

Pasangan polenya adalah  $s_K = \alpha_K \pm j\beta_K$  dan pole riilnya  $s_k = \alpha_0$ ,

$$C_1 = \frac{1}{\alpha_K}; \quad C_2 = \frac{\alpha_K}{\alpha_K^2 + \beta_K^2}; \quad C_3 = \frac{1}{\alpha_0}$$

Penguatan = -A (di daerah passband)

$$C_1 = \frac{1}{\alpha_K}; \quad C_2 = \frac{\alpha_K}{\alpha_K^2 + \beta_K^2}; \quad C_3 = \frac{1}{\alpha_0}$$



### Penskalaan Impedansi dan Frekuensi (Denormalisasi)

Nilai-nilai komponen R, L, maupun C pada rangkaian LPF ternormalisasi merupakan harga-harga komponen saat frekuensi sudut  $\omega_c = 1$  rad/s. Dengan acuan ini, maka dalam merancang filter sesuai spesifikasi diperlukan proses normalisasi.

Setelah dilakukan normalisasi, maka nilai komponennya harus dikonversi kembali ke harga sesungguhnya yang disebut sebagai denormalisasi. Denormalisasi ini, selain berpengaruh pada nilai komponen yang digunakan, juga berpengaruh pada pole-pole filter. Denormalisasi ini dilakukan pada semua jenis perancangan filter (filter aktif maupun pasif) yaitu LPF, HPF, BPF, BSF.

Rumus-rumus yang dipakai dalam denormalisasi yaitu :

$$\begin{aligned} R_A &= R \times R_{BA} \\ L_A &= (L \times R_{BA}) / (2\pi f_{CA}) \\ C_A &= C / (2\pi f_{CA} \times R_{BA}) \\ \alpha_A &= \alpha \times 2\pi f_{CA} \\ \beta_A &= \beta \times 2\pi f_{CA} \\ f_A &= f \times 2\pi f_{CA} \end{aligned}$$

keterangan :

- $R_A$  : Resistor akhir
- $R$  : Resistor ternormalisasi
- $R_{BA}$  : Resistor akhir beban
- $L_A$  : Induktor akhir

- L : Induktor ternormalisasi
- $f_{CA}$  : Frekuensi cutoff akhir
- $C_A$  : Kapasitor akhir
- C : Kapasitor ternormalisasi
- $\alpha_A$  : Bagian pole riil akhir
- $\alpha$  : Bagian pole riil ternormalisasi
- $\beta_A$  : Bagian pole imajiner akhir
- $\beta$  : Bagian pole imajiner ternormalisasi
- $f_A$  : Frekuensi akhir
- f : Frekuensi ternormalisasi

### High Pass Filter

Filter yang melewatkan sinyal yang memiliki frekuensi di atas frekuensi cutoff dan meredam sinyal yang memiliki frekuensi di bawah frekuensi cutoff.

Fungsi transfer HPF didapatkan dengan menggantikan pole-pole pada fungsi transfer LPF yaitu  $(s_K)_{LPF} = (1/s_K)_{HPF}$ . Selain perubahan pole-polenya juga terjadi perubahan pada  $(\omega_S)_{HPF} = (1/\omega_S)_{LPF}$ ,  $(\Omega)_{HPF} = (\Omega)_{LPF}$ . Pada filter ini juga memiliki respon seperti pada LPF antara lain respon Butterworth dan respon Chebychev.

Transformasi dari LPF ternormalisasi ke HPF ternormalisasi ini juga menyebabkan berubahnya komponen-komponen penyusun filter yaitu pada HPF pasif ternormalisasi akan terjadi perubahan dari induktor menjadi kapasitor dan sebaliknya, sedangkan pada HPF aktif ternormalisasi terjadi perubahan dari resistor menjadi kapasitor dan juga sebaliknya. Adapun persamaan yang menunjukkan perubahan nilai komponen adalah sebagai berikut (perubahan dilakukan pada kondisi ternormalisasi) :

HPF pasif ternormalisasi :

$$C_{HPF} = 1/L_{LPF} \text{ dan } L_{HPF} = 1/C_{LPF}$$

HPF aktif ternormalisasi :

$$C_{HPF} = 1/R_{LPF} \text{ dan } R_{HPF} = 1/C_{LPF}$$

Pada HPF aktif, resistor yang menyebabkan terjadinya penguatan, tidak perlu diganti dengan kapasitor.

Urutan perancangan HPF adalah :

1. Berdasarkan spesifikasi HPF yang diberikan yaitu spesifikasi resistansi sumber ( $R_S$ ), resistansi beban ( $R_L$ ), frekuensi cutoff ( $\omega_C$ ), frekuensi stop band ( $\omega_S$ ), ripple (untuk respon Chebychev) dan redamannya ( $A_S$ ), bila  $\omega_C \neq 1$  rad/s maka normalisasikan harga  $\omega_C$  dan  $\omega_S$  dengan referensi  $\omega_C = 1$  rad/s.
2. Setelah dinormalisasikan, transformasikan HPF ternormalisasi dengan harga  $(\omega_C)_{HPF}$  dan  $(\omega_S)_{HPF}$  ke LPF ternormalisasi yaitu dengan rumus  $(\omega)_{HPF} = (1/\omega)_{LPF}$ .

3. Setelah diperoleh LPF ternormalisasi, sesuaikan respon dan orde filter berdasarkan grafik respon frekuensi LPF ternormalisasi.
4. Pilih orde filter (N) yang sesuai dengan spesifikasi filter (orde filter diperoleh dengan pembulatan ke atas).
5. Berdasarkan tabel, bila LPF ternormalisasi telah diperoleh nilai komponennya, transformasikan ke HPF ternormalisasi.
6. Lakukan denormalisasi pada HPF ternormalisasi.

**Band Pass Filter**

Filter yang melewatkan sinyal yang memiliki band frekuensi tertentu.

BPF ini dikelompokkan menjadi 2 bagian :

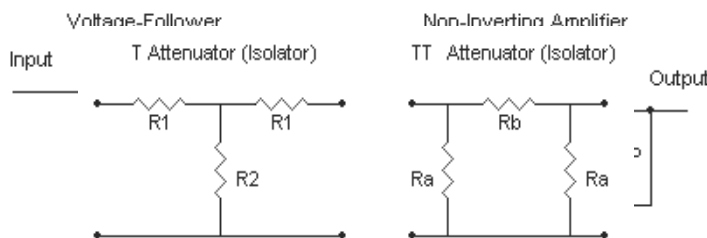
- Wideband Band Pass Filter : bila perbandingan antara upper cutoff frequency dengan lower cutoff frequency lebih besar dari 2.
- Narrowband Band Pass Filter : bila perbandingan antara upper cutoff frequency dengan lower cutoff frequency lebih kecil atau sama dengan 2.

**Wideband Band Pass Filter**

Dalam desainnya, dapat didekati dengan membuat kaskade antara LPF dan BPF yang diberi rangkaian isolator agar respon masing-masing filter tidak saling mempengaruhi. Pada WBPF pasif, isolator berupa peredam yang tersusun atas resistor-resistor (bentuk T atau bentuk  $\pi$ ). Sedangkan pada WBPF aktif, isolator berupa voltage follower/buffer atau noninverting amplifier.

Rangkaian isolator yang digunakan adalah sebagai berikut :

Isolator untuk filter aktif :



Isolator untuk filter pasif (impedansi input-output sepadan yaitu = 500 ohm):

| dB | R1   | R2   | Ra   | Rb   |
|----|------|------|------|------|
| 1  | 28.8 | 4330 | 8700 | 57.7 |
| 2  | 57.3 | 2152 | 4362 | 116  |
| 3  | 85.5 | 1419 | 2924 | 176  |
| 4  | 113  | 1048 | 2210 | 239  |
| 5  | 140  | 822  | 1785 | 304  |

|    |     |     |      |     |
|----|-----|-----|------|-----|
| 6  | 166 | 669 | 1505 | 374 |
| 7  | 191 | 558 | 1307 | 448 |
| 8  | 215 | 473 | 1161 | 528 |
| 9  | 238 | 406 | 1050 | 616 |
| 10 | 260 | 351 | 963  | 712 |

Untuk terminasi sepadan  $R \neq 500$  ohm maka kalikan nilai-nilai pada tabel dengan  $(R/500)$ .

Urutan perancangan WBPF adalah :

1. Berdasarkan spesifikasi WBPF yang diberikan yaitu spesifikasi resistansi sumber ( $R_S$ ), resistansi beban ( $R_L$ ), frekuensi cutoff ( $\omega_C$ ), frekuensi stop band ( $\omega_S$ ), ripple (untuk respon Chebychev) dan redamannya ( $A_S$ ), buat spesifikasi LPF dan HPF yang dikaskadekan.
2. Setelah diperoleh spesifikasi LPF dan HPF, tentukan orde filter dan jenis respon filter.
3. Rancang LPF dan HPF tersebut secara terpisah, dan tentukan komponen-komponen yang digunakan.
4. Tambahkan rangkaian isolator di antara LPF dan HPF tersebut

### Narrowband Band Pass Filter

Fungsi transfer BPF didapatkan dengan menggantikan pole-pole pada fungsi transfer LPF yaitu  $(s_K)_{LPF} = (p_K + 1/p_K)_{BPF}$  dengan  $p_K = (s_K/2) \pm \sqrt{((s_K/2)^2 - 1)}$ . Pada NBPF juga memiliki respon seperti pada LPF antara lain respon Butterworth dan respon Chebychev.

Ada dua metode perancangan NBPF yaitu bila faktor kualitas filter ( $Q = f_0/BW_{3dB}$ )  $< 10$  dan bila  $Q > 10$ .

#### 1. $Q < 10$

Respon NBPF akan merupakan simetri geometrik yaitu berlaku :

$$f_0^2 = f_{CB} \times f_{CA} = f_B \times f_A$$

$f_0$  : frekuensi tengah NBPF

$f_{CB}$  : frekuensi cutoff bawah

$f_{CA}$  : frekuensi cutoff bawah

$f_B$  : frekuensi bawah pada redaman X dB tertentu

$f_A$  : frekuensi atas pada redaman X dB tertentu

perancangan respon yang simetri geometrik :

diketahui suatu filter memiliki redaman 3 dB pada dua buah frekuensi yaitu  $f_{CB}$  dan  $f_{CA}$  dan memiliki redaman X db pada dua buah frekuensi yaitu  $f_B$  dan  $f_A$ . Lakukan langkah berikut :

- Dari spesifikasi filter, tentukan  $f_0$  berdasarkan rumus  $f_0^2 = f_{CB} \times f_{CA}$ .
- Tentukan harga  $f_B$  jika  $f_A$  tetap, dan tentukan pula  $f_A$  jika  $f_B$  tetap berdasarkan rumus  $f_0^2 = f_B \times f_A$ . Dari perhitungan ini diperoleh 2 harga  $f_B$  dan  $f_A$ .
- Tentukan Bandwidth X dB dari dua kemungkinan harga  $f_B$  dan  $f_A$  di atas.



- Berdasarkan dua buah Bandwidth X dB ini, pilih harga Bandwidth X dB yang mendekati Bandwidth X dB spesifikasi yang diberikan.

2.Q > 10

Respon NBPF akan merupakan simetri aritmatik yaitu berlaku :

$$f_0 = 0,5 \times (f_{CB} + f_{CA}) = 0,5 (f_B + f_A)$$

$f_0$  : frekuensi tengah NBPF

$f_{CB}$  : frekuensi cutoff bawah

$f_{CA}$  : frekuensi cutoff bawah

$f_B$  : frekuensi bawah pada redaman X dB tertentu

$f_A$  : frekuensi atas pada redaman X dB tertentu

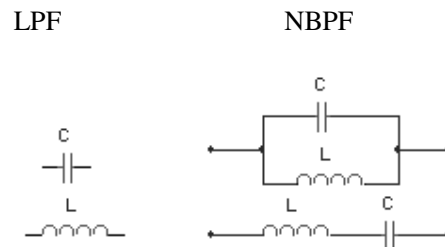
perancangan respon yang simetri aritmatik :

diketahui suatu filter memiliki redaman 3 dB pada dua buah frekuensi yaitu  $f_{CB}$  dan  $f_{CA}$  dan memiliki redaman X db pada dua buah frekuensi yaitu  $f_B$  dan  $f_A$ . Lakukan langkah berikut :

- Dari spesifikasi filter, tentukan  $f_0$  berdasarkan rumus  $f_0 = 0,5 \times (f_{CB} + f_{CA})$
- Tentukan harga  $f_B$  jika  $f_A$  tetap, dan tentukan pula  $f_A$  jika  $f_B$  tetap berdasarkan rumus  $f_0 = 0,5 \times (f_B + f_A)$ . Dari perhitungan ini diperoleh 2 harga  $f_B$  dan  $f_A$ .
- Tentukan Bandwidth X dB dari dua kemungkinan harga  $f_B$  dan  $f_A$  di atas.
- Berdasarkan dua buah Bandwidth X dB ini, pilih harga Bandwidth X dB yang mendekati Bandwidth X dB spesifikasi yang diberikan.

Transformasi dari LPF ke BPF ini akan menyebabkan berubahnya komponen-komponen penyusun filter yaitu pada NBPF pasif akan terjadi perubahan dari induktor menjadi kapasitor yang diserikan dengan kapasitor dan kapasitor menjadi induktor yang diparalel dengan kapasitor. Adapun persamaan yang menunjukkan perubahan nilai komponen adalah sebagai berikut (denormalisasi dilakukan pada saat diperoleh LPF ternormalisasi) :

Transformasi NBPF dari LPF pasif :

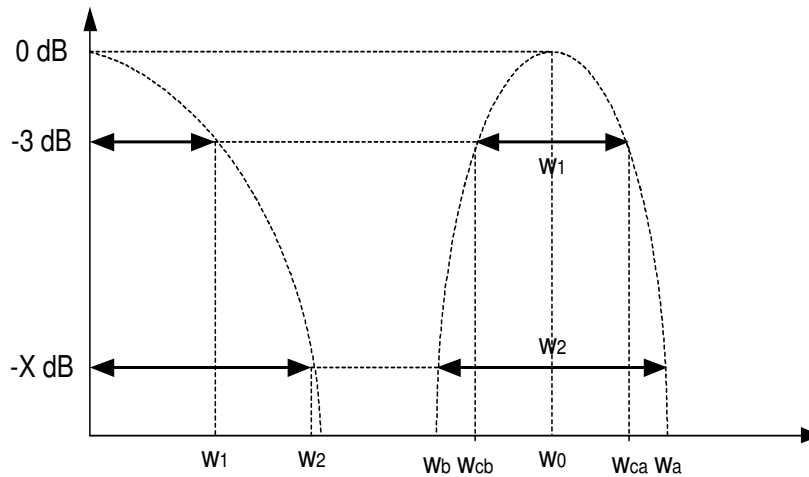


$$L_{NBPF} = 1/((2\pi f_0)^2 C_{LPF}) \text{ dan } C_{NBPF} = 1/((2\pi f_0)^2 L_{LPF})$$

Transformasi NBPF ke LPF dilakukan sesuai dengan harga Q-nya (ada dua metode yaitu simetri geometris dan simetri aritmatik). Pada tiap metode baik simetri geometrik maupun simetri

aritmatik, dipilih rancangan yang memiliki selisih nilai-nilai frekuensi yang lebih kecil dengan spesifikasi yang diberikan.

Transformasi NBPF ke LPF



**Urutan perancangan NBPF adalah :**

1. Berdasarkan spesifikasi NBPF yang diberikan yaitu spesifikasi resistansi sumber ( $R_S$ ), resistansi beban ( $R_L$ ), frekuensi cutoff ( $\omega_C$ ), frekuensi stop band ( $\omega_S$ ), ripple (untuk respon Chebychev) dan redamannya ( $A_S$ ), tentukan metode perancangan NBPF yang diperlukan.
2. Setelah diperoleh harga-harga frekuensi  $f_O$ ,  $f_B$ ,  $f_A$ , tentukan spesifikasi LPF berdasarkan transformasi NBPF ke LPF.
3. Normalisasikan LPF ini, dan tentukan jenis respon maupun orde LPF.
4. Bila LPF ternormalisasi telah diperoleh nilai-nilai komponennya, lakukan denormalisasi ke LPF.
5. Lakukan transformasi LPF ke NBPF dengan mengganti nilai-nilai komponen LPF.

### **Band Stop Filter / Band Reject Filter**

Filter yang meredam sinyal yang memiliki band frekuensi tertentu.

BSF ini dikelompokkan menjadi 2 bagian :

- Wideband Band Stop Filter : bila perbandingan antara upper cutoff frequency dengan lower cutoff frequency lebih besar dari 2.
- Narrowband Band Stop Filter : bila perbandingan antara upper cutoff frequency dengan lower cutoff frequency lebih kecil atau sama dengan 2.

### **Wideband Band Stop Filter**

Dalam desainnya, dapat didekati dengan membuat LPF dan BPF terpisah dan kemudian masing-masing keluarannya di jumlahkan.

Urutan perancangan WBSF adalah :

1. Berdasarkan spesifikasi WBSF yang diberikan yaitu spesifikasi resistansi sumber ( $R_s$ ), resistansi beban ( $R_L$ ), frekuensi cutoff ( $\omega_c$ ), frekuensi stop band ( $\omega_s$ ), ripple (untuk respon Chebychev) dan redamannya ( $A_s$ ), buat spesifikasi LPF dan HPF yang terpisah.
2. Setelah diperoleh spesifikasi LPF dan HPF, tentukan orde filter dan jenis respon filter.
3. Rancang LPF dan HPF tersebut secara terpisah, dan tentukan komponen-komponen yang digunakan.
4. Jumlahkan/ gabungkan masing-masing keluaran filter.

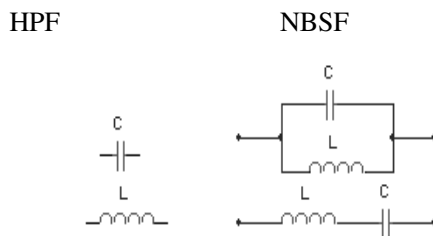
**Narrowband Band Stop Filter**

Fungsi transfer BSF didapatkan dengan menggantikan pole-pole pada fungsi transfer HPF yaitu  $(s_k)_{HPF} = (p_k + 1/p_k)_{BSF}$  dengan  $p_k = (s_k/2) \pm \sqrt{((s_k/2)^2 - 1)}$ . NBSF juga memiliki respon seperti pada LPF antara lain respon Butterworth dan respon Chebychev.

Dua metode perancangan NBSF yaitu bila faktor kualitas filter ( $Q = f_0/BW_{x\text{dB}} < 10$  dan bila  $Q > 10$ .

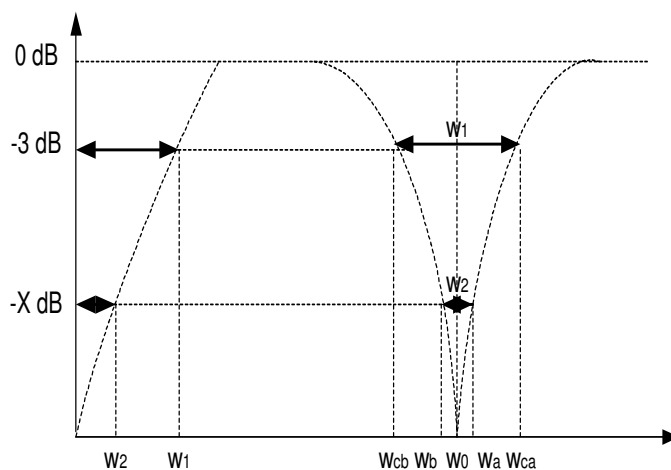
Dua metode perancangan NBSF ini sama seperti pada NBPF yaitu respon simetri geometrik dan respon simetri aritmatik. Perbedaannya adalah respon NBSF ini diubah dulu ke respon HPF dan bukan ke LPF.

Transformasi NBSF dari HPF pasif (denormalisasi dilakukan pada saat diperoleh HPF ternormalisasi) :



$$L_{NBSF} = 1/((2\pi f_0)^2 C_{HPF}) \text{ dan } C_{NBSF} = 1/((2\pi f_0)^2 L_{HPF})$$

Transformasi NBSF ke HPF



**Urutan perancangan NBSF adalah :**

1. Berdasarkan spesifikasi NBSF yang diberikan yaitu spesifikasi resistansi sumber ( $R_S$ ), resistansi beban ( $R_L$ ), frekuensi cutoff ( $\omega_C$ ), frekuensi stop band ( $\omega_S$ ), ripple (untuk respon Chebychev) dan redamannya ( $A_S$ ), tentukan metode perancangan NBSF yang digunakan.
2. Setelah diperoleh harga-harga frekuensi  $f_O$ ,  $f_B$ ,  $f_A$ , tentukan spesifikasi HPF berdasarkan transformasi NBSF ke HPF.
3. Normalisasikan HPF ini, dan tentukan jenis respon maupun orde HPF dengan cara membuat LPF ternormalisasinya.
4. Bila LPF ternormalisasi telah diperoleh nilai-nilai komponennya, aplikasikan ke HPF dan lakukan denormalisasi.
5. Lakukan transformasi HPF ke NBSF dengan mengganti nilai-nilai komponen HPF.

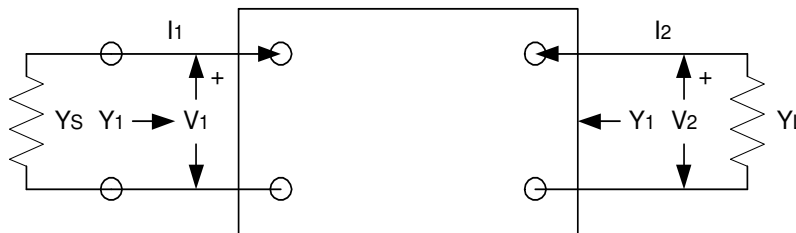
## BAB IV

### PENGUAT SINYAL KECIL

#### Penguat frekuensi tinggi

Perencanaan penguat frekuensi tinggi pada bagian ini didasarkan pada parameter  $y$  dari suatu alat aktif (misalnya transistor). Parameter  $y$  ini digunakan untuk membuat penguat pada frekuensi HF, VHF, dan UHF. Pada frekuensi yang lebih tinggi dapat digunakan parameter  $S$  (Scattering/hamburan).

#### Parameter $y$



Suatu perangkat aktif dapat dimodelkan menjadi model jaringan seperti gambar berikut :

$$A_V = \frac{V_2}{V_1} = - \frac{y_f}{y_o + Y_L}$$

$$A_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{y_f \cdot Y_L}{\Delta y + y_i \cdot Y_L}$$

$$\Delta y = y_i \cdot y_o - y_f \cdot y_r$$

$$Y_1 = \frac{I_1}{V_1} = y_i - \frac{y_f y_r}{y_o + Y_L}$$

$$Y_2 = \frac{I_2}{V_2} = y_o - \frac{y_f y_r}{y_i + Y_S}$$

#### Stabilitas Penguat

Tujuan perencanaan penguat pada frekuensi tinggi adalah perolehan daya maksimum dengan tingkat stabilisasi yang telah diperkirakan sesuai spesifikasi.

Penguat yang stabil adalah penguat yang bebas dari osilasi yang tidak diinginkan.

Ada dua jenis stabilitas suatu penguat yaitu :

##### a. Stabilitas Linvill C

Stabilitas Linvill merupakan ukuran stabilisasi alat dalam kondisi input maupun output yang terbuka (tanpa input dan tanpa beban).

$$C = \frac{|y_f \cdot y_r|}{2g_i g_o - \text{Re}(y_f \cdot y_r)}$$

alat aktif akan stabil jika  $C < 1$ , dan alat aktif tidak stabil jika  $C > 1$ .

b. Stabilitas Stern K

Stabilitas Stern merupakan ukuran stabilisasi alat yang telah memperhitungkan impedansi input dan impedansi output.

$$K = \frac{2(g_i + G_s)(g_o + G_L)}{|y_f \cdot y_r| + \text{Re}(y_f \cdot y_r)}$$

alat aktif tidak stabil jika  $K < 1$ , dan alat aktif stabil jika  $K > 1$

Pada suatu penguat yang terdapat umpan balik, kriteria Linvill dan Stern masih dapat dipergunakan tetapi parameter  $y$  yang digunakan merupakan gabungan dari dua blok jaringan. Jika subskrip  $t$  ditambahkan ke parameter alat dan subskrip  $f$  ke parameter jaringan umpan-balik, parameter  $y$  gabungan tersebut adalah :

$$\begin{aligned} Y_{ic} &= Y_{it} + Y_{if} & Y_{fc} &= Y_{ft} + Y_{ff} \\ Y_{oc} &= Y_{ot} + Y_{of} & Y_{rc} &= Y_{rt} + Y_{rf} \end{aligned}$$

jika jaringan umpan balik terdiri dari admittansi tunggal  $y_x$ , yang dihubungkan antara input dan output alat aktif maka parameter  $y$  untuk jaringan ini sama dengan :

$$\begin{aligned} Y_{if} &= Y_{of} = Y_x \\ Y_{ff} &= Y_{rf} = -Y_x \end{aligned}$$

jika suatu kapasitansi  $C_x$  dihubungkan dari masukan ke keluaran maka  $y_x = j\omega C_x$ , dan  $y_{rf} = -j\omega C_x$

### Pencapaian Stabilisasi

Pada umumnya, ketidakstabilan penguat disebabkan oleh umpan balik yang ada pada suatu penguat. Berdasarkan rumus Stabilitas Linvill  $C$  dan stabilitas Stern  $K$  dapat disimpulkan beberapa cara untuk memperoleh stabilitas yang diinginkan :

- Pilihlah komponen umpan balik sehingga  $y_{rf} = -y_{rt}$ , jika kondisi ini tercapai maka  $y_{rc}$  akan sama dengan nol dan penguat akan stabil (tidak ada transmisi balik). Penguat pada kondisi tersebut dikatakan penguat yang diunilateralkan. Jika  $y_{rt}$  kompleks, maka sangat sulit untuk menghasilkan  $y_{rf} = -y_{rt}$ .
- Jika  $y_{rt}$  kompleks, yaitu  $y_{rt} = g_{rt} + jb_{rt}$  (biasanya  $g_{rt}$  dapat diabaikan dibandingkan dengan  $b_{rt}$ , maka jaringan umpan balik luar dipilih mempunyai  $y_{rf} = jb_{rf} = -jb_{rt}$ . Pada keadaan ini  $y_{rc} = g_{rt}$  yang mempunyai pengaruh kecil pada kestabilan penguat. Penguat pada kondisi tersebut dikatakan penguat yang dinetralkan.
- Jika tidak dimungkinkan rangkaian penetral, maka  $G_s$  dan  $G_L$  dapat dipilih untuk memperoleh faktor Stern lebih besar dari 1 dengan kompensasi penurunan penguatan.

## Gain Transduser

Didefinisikan sebagai

$$G_T = \frac{\text{daya yang diberikan ke beban}}{\text{daya yang tersedia dari sumber}}$$

$$G_T = \frac{4G_S G_L |y_f|^2}{|(y_i + Y_S)(y_o + Y_L) - y_f y_r|^2}$$

## Perencanaan Penguat

### 1. Jika $C < 1$

Stabilitas Linvill  $C > 1$  berarti alat aktif akan stabil dengan penentuan nilai  $Y_S$  dan  $Y_L$  yang bebas berdasarkan gain transduser dan noise figure yang diinginkan. Netralisasi mungkin dilakukan untuk memperkecil interaksi antara penalaan rangkaian masuk dan rangkaian keluar dan untuk mengisolasi sinyal osilator lokal.

#### a. Penguat unilateral

Jaringan umpan balik dapat disambungkan untuk memperoleh  $y_{rc} = 0$ , sehingga

$$\begin{aligned} y_x &= y_{rt} \\ y_{rf} &= -y_{rt} \end{aligned}$$

diperoleh

$$\begin{aligned} y_{ic} &= y_{it} + y_{rt} & y_{fc} &= y_{ft} - y_{rt} \\ y_{oc} &= y_{ot} + y_{rt} & y_{rc} &= 0 \\ Y_1 &= y_{it} + y_{rt} \\ Y_2 &= y_{ot} + y_{rt} \end{aligned}$$

Dari rumus di atas terlihat bahwa  $Y_1$  dan  $Y_2$  tidak tergantung pada  $Y_L$  dan  $Y_S$ . Sehingga jika pada bagian input dan output dikehendaki persesuaian konjugasi maka

$$\begin{aligned} Y_S &= (y_{it} + y_{rt})^* & Y_L &= (y_{ot} + y_{rt})^* \\ G_S &= g_{it} + g_{rt} & G_L &= g_{ot} + g_{rt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G_T &= \frac{4G_S G_L |y_f|^2}{|(y_i + Y_S)(y_o + Y_L) - y_f y_r|^2} \\ &= \frac{4G_S G_L |y_{ft} - y_{rt}|^2}{|(y_{it} + y_{rt} + Y_S)(y_{ot} + y_{rt} + Y_L)|^2} \\ &= \frac{|y_{ft} - y_{rt}|^2}{4(g_{it} + g_{rt})(g_{ot} + g_{rt})} \end{aligned}$$

#### b. Penguat tanpa umpan balik

Pemilihan harga  $Y_L$  dan  $Y_S$  untuk memperoleh transduser yang maksimal (tanpa unilateralisasi ataupun netralisasi) yaitu sebagai berikut :

$$G_s = \frac{[[2g_o g_o - \text{Re}(y_f y_r)]^2 - |y_f y_r|^2]^{1/2}}{2g_o}$$

$$B_s = -b_1 + \frac{\text{Im}(y_f y_r)}{2g_o}$$

$$G_L = \frac{[[2g_o g_o - \text{Re}(y_f y_r)]^2 - |y_f y_r|^2]^{1/2}}{2g_o} = \frac{G_s g_o}{g}$$

$$B_L = -b_o + \frac{\text{Im}(y_f y_r)}{2g}$$

jika harga-harga tersebut digunakan untuk menghitung  $G_T$  maksimum maka :

$$G_T = \frac{|y_f|^2}{2g_o g_o - \text{Re}(y_f y_r) + [[2g_o g_o - \text{Re}(y_f y_r)]^2 - |y_f y_r|^2]^{1/2}}$$

## 2. Jika $C > 1$

Dengan menggunakan umpan balik yang tepat,  $y_{rc}$  dapat dikurangi sehingga  $C$  kurang dari satu pada alat gabungan.

- Jika penguat diunilateralkan ( $y_{rc} = 0$ ), (pada umumnya unilateralisasi penguat sulit dilakukan) maka analisis rangkaian penguat dapat menggunakan analisis pertama (untuk  $C < 1$ ).
- Jika penguat dinetralkan tetapi  $g_{rc} \neq 0$ , kestabilan Linvill  $C$  dapat ditentukan. Kalau  $C$  kurang dari 1 maka digunakan analisis pertama, tetapi kalau  $C$  lebih besar dari 1 maka digunakan prosedur berikut.

Umpan balik pada suatu penguat pada jumlah yang tepat akan memperumit rangkaian, tetapi masih dapat menimbulkan parameter gabungan ( $y_c$ ) yang memungkinkan osilasi. Berdasarkan persamaan pada kestabilan Stern, stabilitas suatu penguat dapat dicapai tanpa umpan balik. Pada penguat RF, harga  $G_s$  sering dikendalikan oleh Noise Figure. Sehingga bila  $G_s$  tetap, dan kalau kestabilan Stern  $K$  telah ditentukan maka  $G_L$  dapat dihitung.

Berikut ini cara menentukan harga  $Y_s$  dan  $Y_L$  : (iterasi)

- Misalkan bahwa awal harga  $B_L$ , yaitu  $B_L' = -b_o$
- Dengan  $Y_L = G_L + jB_L'$ , hitung  $Y_1' = G_1 + jB_1'$  dengan rumus

$$Y_1' = \frac{I_1}{V_1} = y_i - \frac{y_f y_r}{y_o + Y_L}$$

- Samakan  $B_s' = -B_1'$ . Dengan  $Y_s = G_s + jB_s'$ , hitung  $Y_2' = G_2 + jB_2'$  dengan rumus

$$Y_2' = \frac{I_2}{V_2} = y_o - \frac{y_f y_r}{y_i + Y_s}$$

Harga  $-B_2'$  merupakan koreksi dari  $B_L'$ .

- Dengan harga baru  $B_L'$ , kembali ke tahap (2) dan cari harga baru  $Y_1'$ , dan demikian seterusnya.



5. Teruskan proses tersebut sampai harga  $B_S$  dan  $B_L$  mendekati.

6. Penghitungan  $G_T$  dengan rumus  $G_T = \frac{4G_S G_L |y_f|^2}{|(y_i + Y_S)(y_o + Y_L) - y_f y_r|^2}$

3. Jika  $K$  ditentukan

$K$  telah ditentukan,  $G_T$  dibuat maksimum sedangkan  $G_S$  dan  $G_L$  tidak ditentukan.

$G_S$  dan  $G_L$  dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$G_S = \left\{ \frac{K[|y_f \cdot y_r| + \text{Re}(y_f \cdot y_r)] \cdot g_i}{2g_o} \right\}^{1/2} - g_i$$

$$G_L = \left\{ \frac{K[|y_f \cdot y_r| + \text{Re}(y_f \cdot y_r)] \cdot g_o}{2g_i} \right\}^{1/2} - g_o$$

harga  $B_S$  dan  $B_L$  dihitung menggunakan metode iterasi analisis kedua.

### Prosedur Perencanaan Keseluruhan suatu Penguat RF

Tahap-tahap dalam prosedur perencanaan adalah sebagai berikut :

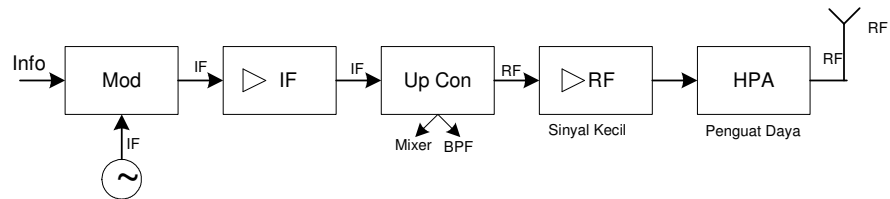
1. Pilih BJT, JFET atau MOSFET yang cocok untuk frekuensi kerja, dan dengan  $G_T$  dan Noise Figure yang ditentukan.
2. Menentukan parameter  $y$  dan kestabilan transistor. Tentukan cara memperoleh kestabilan (dengan netralisasi ataukah dengan pembebanan).
3. Hitunglah harga  $G_S$ ,  $B_S$ ,  $G_L$  dan  $B_L$  yang diperlukan.
4. Tentukan impedansi (admittansi) sumber sinyal dan beban.
5. Rancang jaringan untuk lebar pita akibat pembebanan. Biasanya pada prakteknya lebar pita keseluruhan  $B_n$  sama dengan

$$B_n = B (2^{1/n} - 1)^{1/2}$$

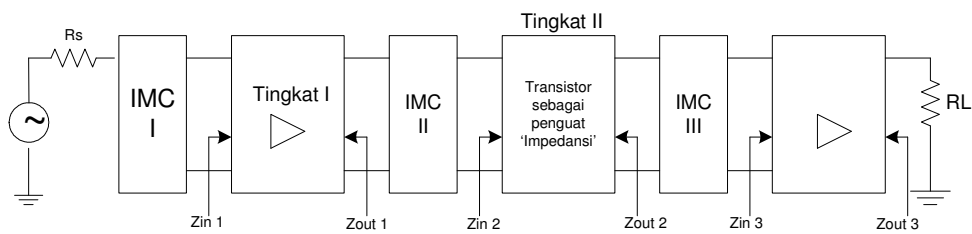
Keterangan :  $B \rightarrow$  lebar pita penguat satu tingkat

6. Rancang penyesuaian impedansi pada bagian input dan output.

## BAB V PENGUAT DAYA

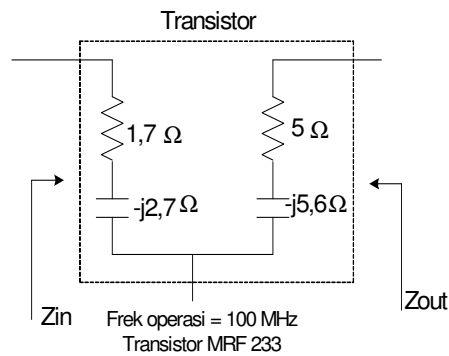


Untuk penguat sinyal kecil RF parameter Y dan S cocok digunakan  
Penguat daya dengan parameter Impedansi (Z)



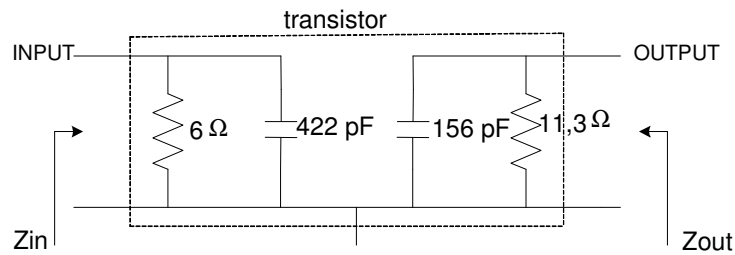
parameter Impedansi transistor  $Z_{in}/Z_{out}$  ada 2 model, yaitu:

### 1. Model Seri



### 2. Model Pararel

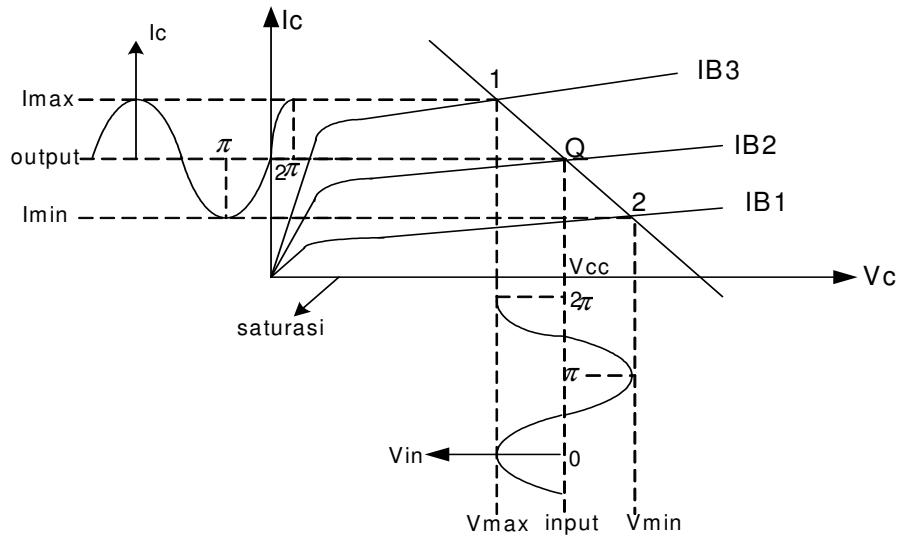
Contoh : MRF 233 dengan frek operasi 100 MHz



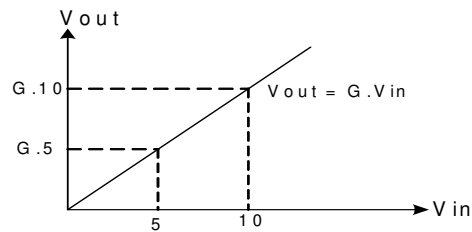
**PENGUAT DAYA KELAS A**

- $\eta = 25\%, 75\%$  panas
- cocok digunakan untuk modulasi amplitudo
- linearitas paling bagus

Titik kerja penguat daya kelas A



Karakteristik transfer linier



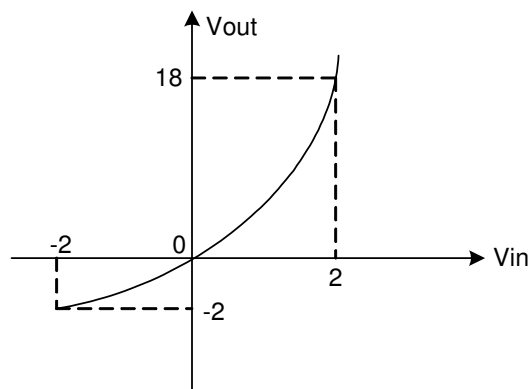
Persamaan umum output yang mempunyai penguatan tidak linier:

$$V_{out} = A V_{in} + B V_{in}^2 + C V_{in}^3 + \dots$$

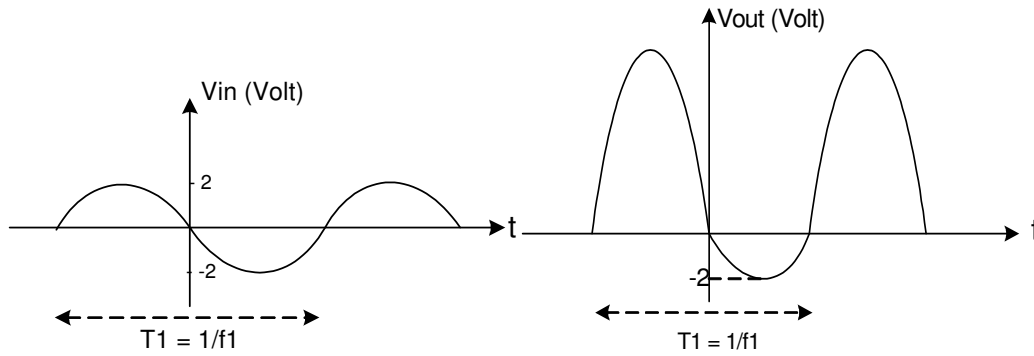
Contoh:

$$V_{out} = 5 V_{in} + 2 V_{in}^2$$

Maka karakteristik transfernya sebagai berikut:

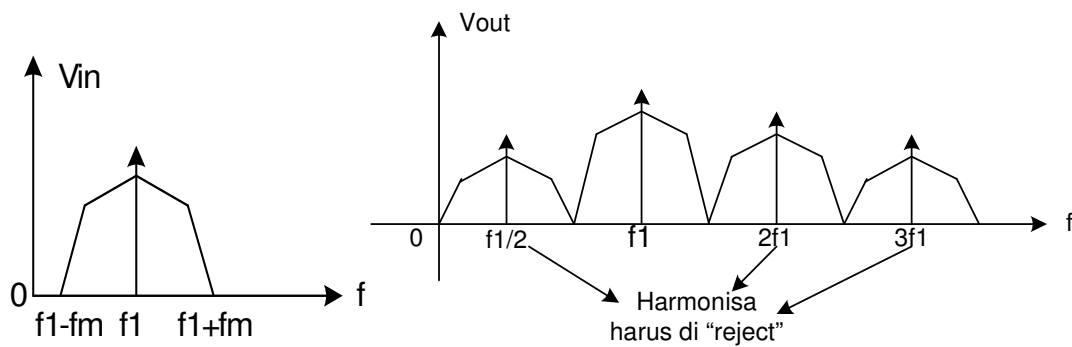


Jika info sinus



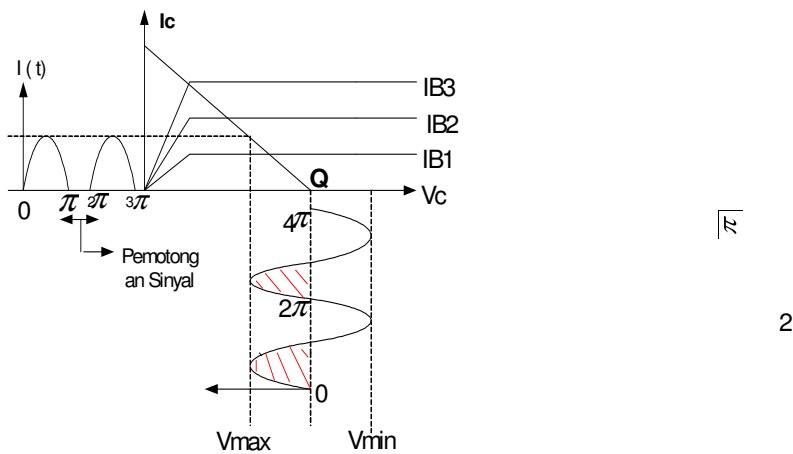
dalam domain frekuensi akan muncul harmonisa dari frekuensi dasar/fundamentalnya

- secara analitis : transformasi Fourier
- secara praktis : s. analyzer



**PENGUAT DAYA KELAS B**

Titik kerja penguat daya kelas B, yaitu:

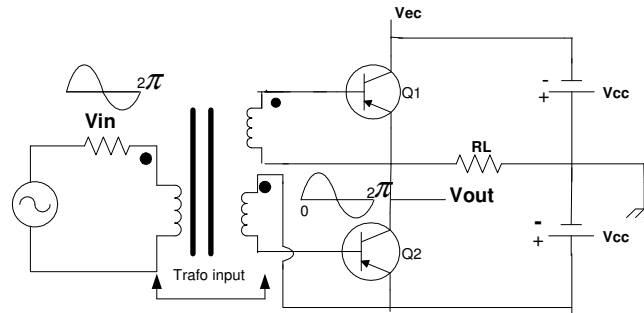


- $\eta = (50 - 70)\%$
- ada pemotongan sinyal  $180^\circ$

untuk mengatasi pemotongan sinyal maka penguat B dibuat “push pull”  
ada 2 metode push pull kelas B, yaitu:

1 a. penguat push pull kelas B dengan transformator input

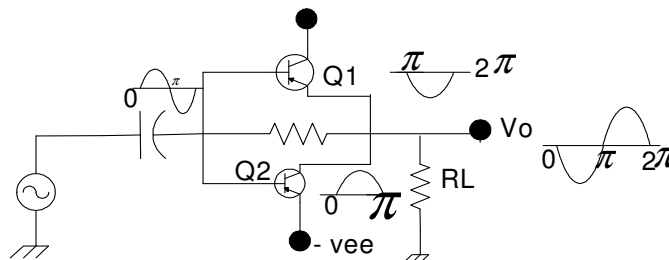
Contoh : menggunakan transistor PNP



b. penguat push pull kelas B dengan transformator input dan output  
contoh : dengan menggunakan transistor NPN

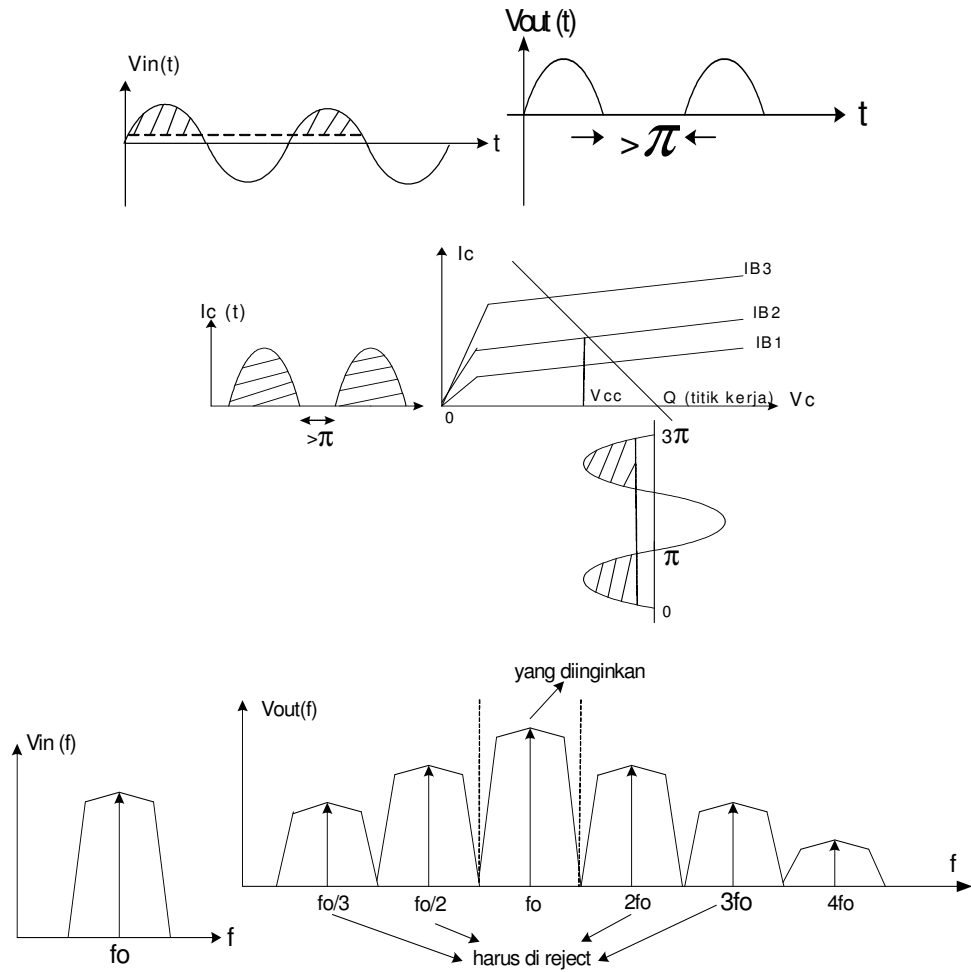
# Input

3. Rangkaian penguat push pull kelas B tanpa trafo  
Contoh : Dengan transistor PNP dan NPN



**PENGUAT DAYA KELAS C**

- Efisiensi :  $\eta = 85\%$ , 15% panas
- Linieritas paling jelek
- Ada pemotongan sinyal  $>180^\circ$



**langkah-langkah merancang penguat daya**

1. Menentukan beban RL yang optimum
2. Transistor biasing dan matching impedansi

## BAB VI OSILATOR

Osilator merupakan rangkaian elektronik yang didesain sebagai penghasil sinyal. Di bagian ini, yang dibahas adalah osilator menggunakan komponen LC sebagai resonator penghasil gelombang sinusoidal.

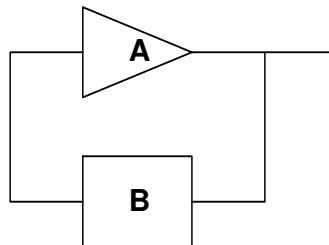
Pada umumnya, osilator menggunakan feedback positif untuk proses osilasi. Berdasarkan **kriteria Barkhausen**, rangkaian feedback dapat terus beresilasi jika 2 hal berikut ini dipenuhi yaitu :

1. Loop gain tidak kurang dari 1
2. Pergeseran fasa dalam loop harus perkalian bulat dari  $2\pi$  radian atau  $360^\circ$

$$\text{Loop Gain} = |AB| < \theta$$

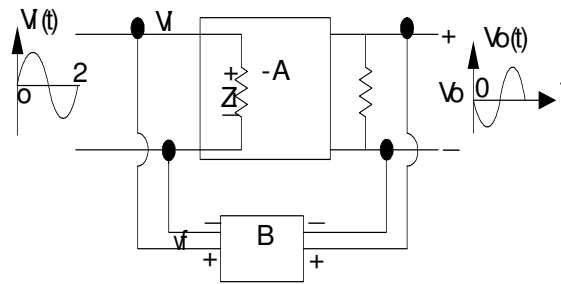
Dengan demikian osilasi terjadi bila :  $\theta = n \cdot 360^\circ$

$$\text{dimana } n = 0, 1, 2, 3, \dots, \text{ dan } |AB| \geq 1 \text{ (} AB \Rightarrow \text{gain loop)} \Rightarrow A_v = \frac{A}{1 - A \cdot B}$$



Pada umumnya pada beberapa osilator, A dan B masing-masing menggeser fasa  $180^\circ$  atau penguatan negatif. Jika magnitude AB adalah 1 maka overall gain dengan feedback adalah  $\infty$ , osilasi akan terjadi. Jika magnituda  $AB > 1$  maka osilasi akan meningkat. Pada prakteknya, osilasi akan meningkat sampai pada nonlinearitas amplifier (kondisi saturasi) sehingga  $AB = 1$ , setelah itu magnituda AB akan menjaga kondisi secara otomatis sehingga terjadi kestabilan dalam osilasi. Penguatan yang lebih besar dari 10 dB dari  $AB = 1$  biasanya dapat menjamin terjadinya osilasi. Karakteristik osilator yang penting adalah frekuensi operasi (bisa tetap atau variabel), kestabilan frekuensi, kestabilan amplituda, dan distorsi dari gelombang yang dihasilkan.

**Prinsip dasar osilator :**



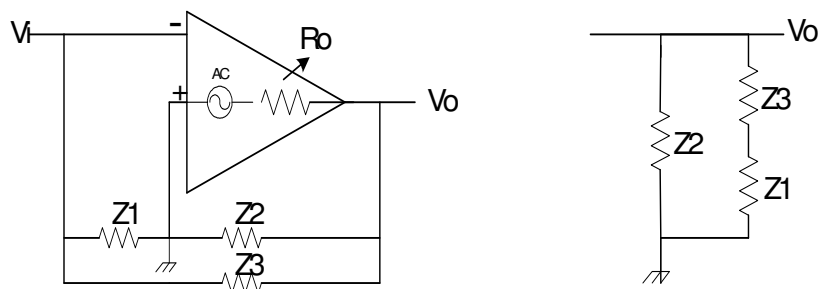
Rangkaian mempunyai penguatan negatif dengan feedback  $\beta$

- Tegangan Feedback :  $V_f = \beta \cdot V_o = V_i$
- Tegangan Output :  $V_o = -A \cdot V_i$

Sehingga  $V_f = -A \cdot \beta \cdot V_i = V_i$

- Supaya Stabil :  $A \cdot \beta = -1$  ,hal ini menunjukan bahwa magnitudenya adalah 1,Fasanya  $180^0 = (\pi)$  dan kelipatannya.
- Jika  $V_o$  merupakan tegangan tertentu ( tidak = 0 ) maka  $(1 + A\beta) = 0 \rightarrow A \cdot \beta = -1$
- Sehingga Syarat Osilasi:
  1. Magnitude :  $|A \cdot \beta| = 1$
  2. Fasanya :  $180^0 = \pi(\text{kelipatan nya})$
- Jika  $|A \cdot \beta| > 1$  : Berosilasi tapi tidak linier ( sinyal akan mengalami cacat )
- Jika  $|A \cdot \beta| < 1$  : Tidak terjadi osilasi,berhenti.

Kondisi yang dipilih : mula- mula  $|A \cdot \beta| = 1$  untuk memicu osilasi kemudian dipilih  $|A \cdot \beta| = 1$  supaya keluarannya linier



- $A_v$  : penguatan op amp;  $R_o$  : hambatan dalam Op.Amp
- Beban mempunyai impedansi  $Z_p = Z_2 // (Z_1 + Z_3)$
- Penguatan tegangan:  $A = \frac{V_o}{V_i}$

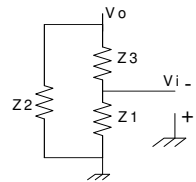


$$V_o = \frac{Z_p}{Z_p + R_o} \cdot -V_i \cdot A_v \text{ (penguatan Inverting) sehingga}$$

$$A = -\frac{A_v \cdot Z_p}{Z_p + R_o} = -\frac{A_v \cdot Z_2 (Z_1 + Z_3)}{(Z_2 + Z_1 + Z_3)R_o + Z_2 (Z_1 + Z_3)}$$

$$= -\frac{A_v \cdot \frac{Z_2 (Z_1 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3}}{\frac{Z_2 \cdot (Z_1 + Z_3)}{Z_1 + Z_2 + Z_3} + R_o \times (Z_1 + Z_2 + Z_3)}$$

➤ Penguatan Umpan balik  $\beta = \frac{V_i}{V_o}$



$$-V_i = \frac{Z_1}{(Z_1 + Z_3)} \cdot V_o \Rightarrow \beta = -\frac{Z_1}{Z_1 + Z_3}$$

$$A \cdot \beta = \frac{A_v \cdot Z_2 \cdot Z_1}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)R_o + Z_2 (Z_1 + Z_3)} = -1$$

Jika Impedansi yang digunakan adalah Reaktansi murni ( Kapasitif/ Induktif ) yaitu

$$Z_1 = jX_1; Z_2 = jX_2; Z_3 = jX_3 : j^2 = -1$$

$$A \cdot \beta = \frac{-A_v \cdot X_1 \cdot X_2}{jR_o (X_1 + X_2 + X_3) - X_2 (X_1 + X_3)} = -1 \text{ riil, imajiner} = 0$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0 \Rightarrow -(X_1 + X_3)$$

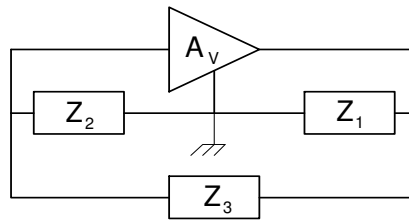
Salah satu harus induktif  $X_3$  : 2 komponen kapasitif ( $X_1, X_2$ )

Salah satu harus kapasitif  $X_3$  : 2 komponen Induktif ( $X_1, X_2$ )

$$A \cdot \beta = \frac{A_v \cdot X_1}{(X_1 + X_3)} = -1$$

$$A_v = -\frac{X_1 + X_3}{X_1} = \frac{X_2}{X_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

**Bentuk umum osilator LC**



|          | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$       | Keterangan :                |
|----------|-------|-------|-------------|-----------------------------|
| Hartley  | $L_1$ | $L_2$ | $C$         | $L = L_1 + L_2$             |
| Collpits | $C_1$ | $C_2$ | $L$         | $C = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$ |
| Clapp    | $C_1$ | $C_2$ | seri $LC_3$ | $C = C_3$                   |

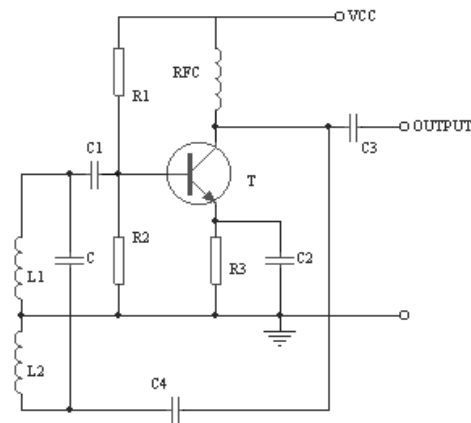
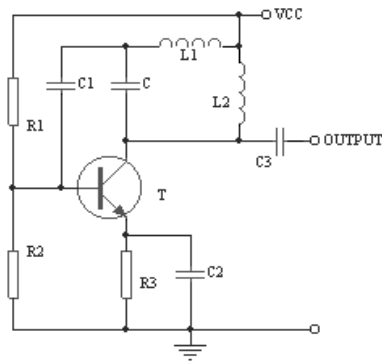
Frekuensi osilasi untuk semua jenis rangkaian adalah :  $1/(2\pi\sqrt{LC})$

Pada saat penguat transistor bekerja pada daerah aktif (kelas A), kestabilan rangkaian memiliki sifat yang sama dengan penguat kelas A biasa. Pada saat amplituda sinyal naik maka titik kerja transistor akan bergeser ke daerah saturasi, dan untuk kondisi ini penguatan transistor akan turun sampai mendekati 1.

Jika komponen penguat menggunakan OP-AMP maka frekuensi osilasi dibatasi oleh keterbatasan slew rate dari OP-AMP tersebut.

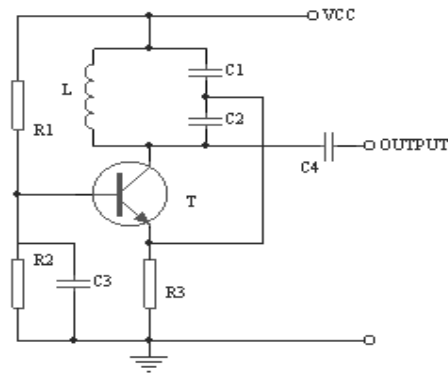
**1. OSILATOR HARTLEY**

Keterangan :  $X_3 =$  kapasitif,  $X_1$  &  $X_2 =$  Induktif



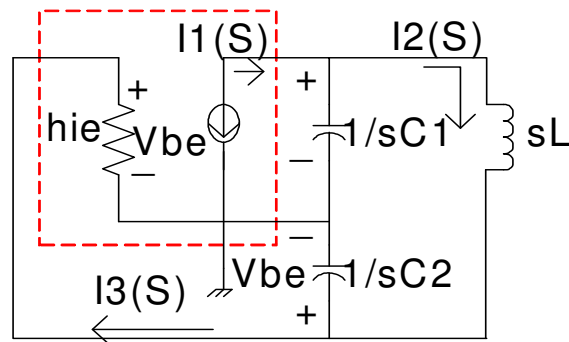
## 2. OSILATOR COLLPITS

Keterangan :  $X_3 =$  Induktif,  $X_1$  &  $X_2 =$  Kapasitif



### Analisa rangkaian osilator Collpitts

Rangkaian pengganti frekuensi tinggi rangkaian osilator collpitts



Keterangan :

$$\frac{1}{h_{oe}} \Rightarrow \text{diabaikan}$$

$$h_{oe} \approx 0\Omega$$

$$\frac{1}{h_{oe}} \approx \infty\Omega \text{ Opencircuit}$$

$$S = j\omega = j2\pi f$$

Dari Rangkaian Pengganti :

$$V_o(s) = \text{Arus Im pedansi} = [I_1(s) - I_2(s)] \cdot \frac{1}{sC_1}$$

$$V_o(s) = \frac{I_1(s)}{sC_1} \left( 1 - \frac{I_2(s)}{I_1(s)} \right); I_1(s) = -gm \cdot V_{be}(s)$$

Penguatan Tegangan :

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}; V_i(s) = V_{be}(s)$$

$$A(s) = \frac{-gm}{sC_1} \left( 1 - \frac{I_2(s)}{I_1(s)} \right)$$

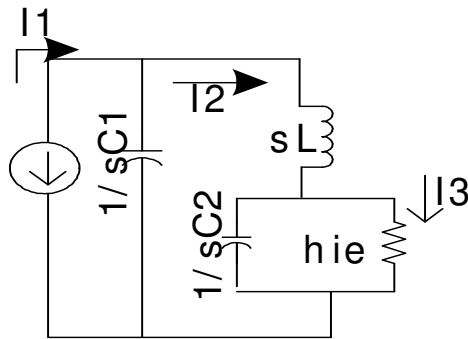
Penguatan Umpan Balik

$$\beta = -\frac{V_{be}(s)}{V_o(s)}$$

$V_{be}(s) = I_3(s) \cdot hie$ ; Sehingga Diperoleh

$$\beta = \frac{-hie \cdot I_3(s)}{\frac{I_1(s)}{sC_1} \cdot \left( 1 - \frac{I_2(s)}{I_1(s)} \right)}$$

$$A \cdot \beta = -1 = gm \cdot hie \cdot \frac{I_3(s)}{I_1(s)}$$



Dilihat dari rangkaian Pengganti :  $I_3(s) = \frac{1}{sC_2} \cdot I_2(s) \cdot \frac{1}{\frac{1}{sC_2} + hie}$

$$\frac{I_3(s)}{I_2(s)} = \frac{1}{1 + sC_2 \cdot hie}$$

$$\frac{I_2(s)}{I_1(s)} = \frac{\frac{1}{sC_1}}{\left(\frac{1}{sC_1}\right) + \left(sL + \frac{1}{sC_2} // hie\right)}$$

$$\frac{I_2(s)}{I_1(s)} = \frac{1}{sC_1 \left[ \frac{1}{sC_1} + sL + \left( \frac{1}{sC_2} \cdot hie \frac{1}{sC_2} + hie \right) \right]} \times \frac{1}{sC_2} + hie$$

$$= \frac{\frac{1}{sC_2} + hie}{sC_1 \left\{ \left( \frac{1}{sC_1} + sL \right) \cdot \left( \frac{1}{sC_2} + hie \right) + \left( \frac{1}{sC_2} \cdot hie \right) \right\}} \times sC_2$$

$$= \frac{1 + sC_2 \cdot hie}{(1 + s^2 C_1 L) \cdot (1 + hie \cdot sC_2) + hie \cdot sC_1}$$

$$\frac{I_2(s)}{I_1(s)} = \frac{1 + sC_2 hie}{s^3 C_1 \cdot C_2 \cdot L \cdot hie + s^2 \cdot C_1 \cdot L + s(C_1 + C_2)hie + 1}$$

$$\frac{I_3(s)}{I_1(s)} = \frac{I_3(s)}{I_1(s)} = \frac{1}{s^3 C_1 C_2 L \cdot hie + s^2 C_1 L + s(C_1 + C_2)hie + 1}$$

Sehingga :

$$A \cdot \beta = \frac{gm \cdot hie}{s^3 C_1 C_2 \cdot hie \cdot L + s^2 C_1 L + s(C_1 + C_2)hie + 1} = -1$$

$$A \cdot \beta = \frac{gm \cdot hie}{(1 - C_1 L W^2) + jW \cdot hie [(C_1 + C_2) - W^2 \cdot L \cdot C_1 \cdot C_2]} = -1$$

Imajiner = 0

$$\frac{1 - C_1 \cdot L \cdot W^2}{gm \cdot hie} = -1$$

Frekuensi Osilasi diperoleh dengan syarat Im = 0

$$C_1 + C_2 = W^2 \cdot L \cdot C_1 \cdot C_2$$

$$W^2 = \frac{C_1 + C_2}{L \cdot C_1 \cdot C_2} = (2\pi f)^2 = 4\pi^2 f^2$$

Jadi Frekuensi osilasi :

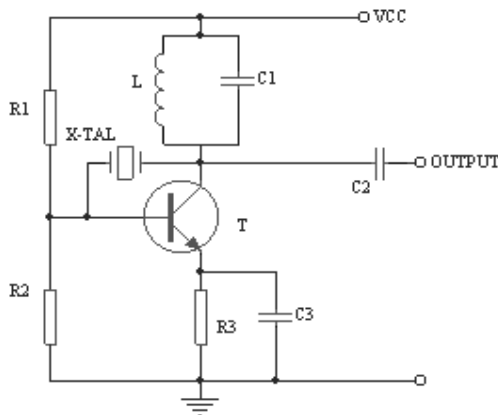
$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{L \cdot C_1 \cdot C_2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \left[ \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \right]}}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L(C_1 \text{ seri } C_2)}}$$

### 3. OSILATOR KRISTAL

Kestabilan frekuensi dari osilator LC mencapai  $\pm 10$  ppm per  $^{\circ}\text{C}$ , jika diperlukan tingkat kestabilan yang lebih tinggi yaitu sekitar 0,1 ppm (dengan pengontrol temperatur) sampai 1 ppm dapat digunakan osilator kristal (kristal Piezo Elektrik). Faktor kualitas Q kristal ini cukup tinggi yaitu bisa mencapai puluhan ribu.

Osilator kristal frekuensi tinggi sulit diperoleh karena keterbatasan potongan kristal yang semakin tipis untuk frekuensi yang tinggi. Biasanya untuk menghasilkan osilator kristal frekuensi tinggi, osilator diset bekerja pada frekuensi overtone (harmonisa) kristal.



Osilator kristal yaitu : Dasarnya Osilator Collpitts yang sudah diperbaiki menjadi Osilator Pierce.

Syarat:

$$C \ll C_1$$

$$C \ll C_2$$

$$X_1 + X_2 + X_3 = 0$$

$$X_1 = C_1; X_2 = C_2; X_3 = C_3$$

$$X_1 + X_2 + X_3 + X = 0$$

$$\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2} + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} = 0$$

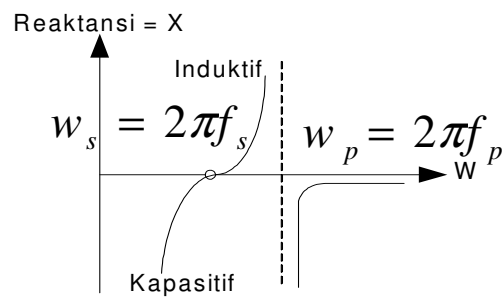
Sehingga diperoleh Frekuensi Osilasinya menjadi:

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L(C_1 \text{ seri } C_2 \text{ seri } C)}} \quad \text{dimana } C_1 \text{ \& } C_2 \gg C$$

$$\text{sehingga, } f_o \cong \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}};$$

Osilator pierce diatur hanya oleh L & C saja, penguatan tidak berubah, karena penguatan

$$\text{hanya diatur oleh besarnya } C_1 \text{ \& } C_2; A_v = \frac{C_1}{C_2}$$



Karakteristik Reaktansi  
x'Tal Jika R =0

$W_p$  = Resonansi paralel

$$W_p = 2\pi f_p$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{L} \left( \frac{1}{C} + \frac{1}{C'} \right)}}; \text{ Syarat } C' \gg C$$

$W_s$  = Resonansi Seri

$$W_s = 2\pi f_s$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \quad f_s < f_{\text{osilasi}} < f_p$$

$$\text{Output Osilator : } V_o = A \cdot \text{Cos}[2\pi(f_o(t) + \theta)]$$

### Kestabilan osilasi

Kapasitansi parasitik pada penguat terlihat diparalel dengan  $Z_1$  dan  $Z_2$ , dan kapasitansi ini memiliki range yang besar tergantung dari tegangan suplai amplifier, temperatur, beban dan pengaruh isolasi/ casing dsb. Untuk mengatasinya, maka digunakan regulator tegangan suplai, amplifier dengan buffer dsb.

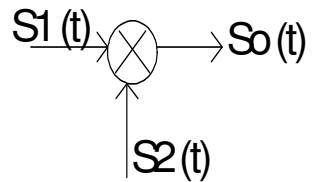
Pengaruh temperatur dapat dikurangi dengan pemakaian daya yang rendah dan pengisolasian termal osilator terhadap temperatur lingkungan. Osilator Clapp merupakan osilator yang cukup stabil karena hanya  $Z_3$  yang berpengaruh.

Vibrasi dan gelombang suara menyebabkan modulasi frekuensi pada osilator dan biasanya menjadi masalah yang perlu dipertimbangkan, sehingga perlu diberi shielding akustik dan anti vibrasi.



## BAB VII MIXER (PENCAMPUR)

Mixer merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengalikan sinyal. Prinsip dasarnya adalah dua buah sinyal masuk ke suatu rangkaian non linier yang menghasilkan frekuensi-frekuensi lain selain frekuensi dua buah sinyal masukan tersebut dengan amplituda tertentu.



$$S_0(t) = S_1(t) \cdot S_2(t)$$

$$S_0(f) = S_1(f) * S_2(f) \Rightarrow \int_{-\infty}^{\infty} S_1(\lambda) \cdot S_2(f - \lambda) \cdot d\lambda$$

Analisis Domain Waktu & domain frekuensi Untuk Kasus

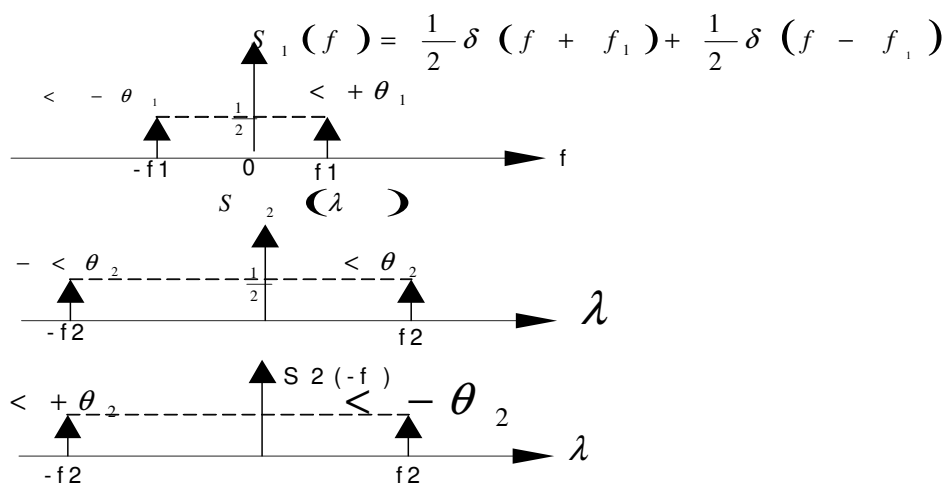
$$S_1(t) = 1 \cos(2\pi f_1 t + \theta_1)$$

$$S_2(t) = 1 \cos(2\pi f_2 t + \theta_2)$$

Maka

$$S_o(t) = S_1(t) \cdot S_2(t) = \frac{1}{2} \{ \cos[2\pi(f_1 + f_2)t + (\theta_1 + \theta_2)] + \cos[(2\pi(f_2 - f_1)t) + (\theta_2 - \theta_1)] \}$$

### Analisa Domain Frekuensi



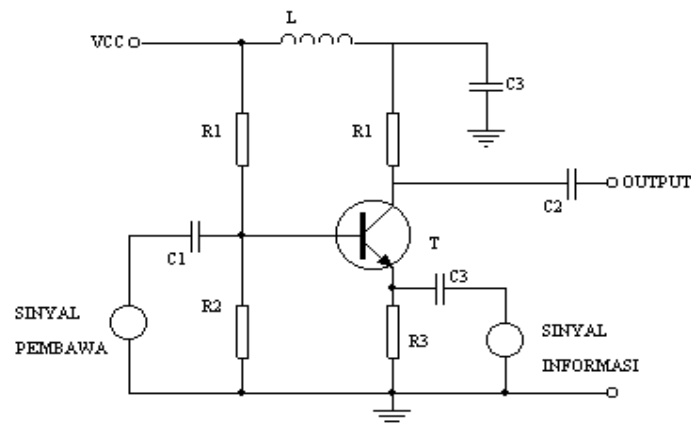
Beberapa istilah yang dipakai dalam menyatakan performansi mixer :

- Noise Figure (gambaran derau) : Menyatakan besarnya rapat spektral daya noise relatif yang dibandingkan oleh perangkat mixer.
- Isolasi : Besarnya redaman dalam dB sinyal masukan mixer pada sinyal keluaran mixer
- Dynamic Range : Daerah amplituda dimana mixer tidak berkurang performansinya (karakteristik mixer yang 'linier')
- Harmonic Intermodulation Distortion (distorsi intermodulasi harmonik) : Distorsi yang disebabkan oleh karena frekuensi harmonik yang dihasilkan mixer akibat sinyal masukan tertentu.

Mixer yang berfungsi sebagai penggeser pita frekuensi ini dapat digunakan untuk menggeser spektrum sinyal ke frekuensi lebih rendah (Down Converter), menggeser spektrum sinyal ke frekuensi lebih tinggi (Up Converter), 'pengali' dalam modulator AM, scrambler (pengacak) sinyal analog, dsb dengan menambahkan filter-filter yang memiliki spesifikasi tertentu.

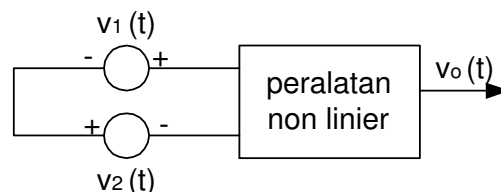
Rangkaian mixer ini dapat direalisasikan dengan membuat penguat transistor yang ditala pada frekuensi tertentu, sedangkan penguatan sinyal 'diatur' oleh amplituda sinyal informasi.

Contoh rangkaian mixer adalah sbb :



Rangkaian mixer ini dapat direalisasikan, yaitu ;

### 1. Mixer dengan peralatan/device nonlinier



$$v_o(t) = a.V_1.\cos(\omega_1 t) + b.V_2.\cos(\omega_2 t) + a.V_1^2.\cos^2(\omega_1 t) + b.V_2^2.\cos^2(\omega_2 t) + 2.V_1.V_2.\cos(\omega_1 t).\cos(\omega_2 t)$$

$$\begin{aligned}
 &= a.V_1.\cos(\omega_1 t) + b.V_2.\cos(\omega_2 t) + 0,5.a.V_1^2 + 0,5.a.V_1^2.\cos(2\omega_1 t) + \\
 &0,5.b.V_2^2 + 0,5.b.V_2^2.\cos(2\omega_2 t) + a.b.V_1.V_2.\cos(\omega_1 t - \omega_2 t) + \\
 &a.b.V_1.V_2.\cos(\omega_1 t + \omega_2 t)
 \end{aligned}$$

Jika misalnya sinyal yang dikalikan tersebut adalah sinyal sinusoidal  $s(t)$  dan  $p(t)$  dengan frekuensi tertentu maka akan diperoleh persamaan matematis (dengan pendekatan) :

$$s(t) = V_s \cos \omega_s t$$

$$p(t) = V_p \cos \omega_p t$$

maka :

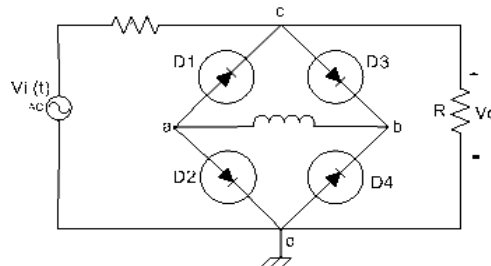
$$\begin{aligned}
 V_{\text{MIXER}}(t) &= s(t).p(t) \\
 &= V_s \cos \omega_s t.V_p \cos \omega_p t \\
 &= V_s V_p \cos \omega_p t \cos \omega_s t \\
 &= 0,5.V_s V_p \cos(\omega_p t + \omega_s t) + 0,5.V_s V_p \cos(\omega_p t - \omega_s t)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan terakhir diperoleh kesimpulan bahwa dengan perkalian sinyal-sinyal tersebut, ada proses pergeseran pita frekuensi.

## 2. Mixer dengan dioda

### A. Mixer dengan dioda berimbang

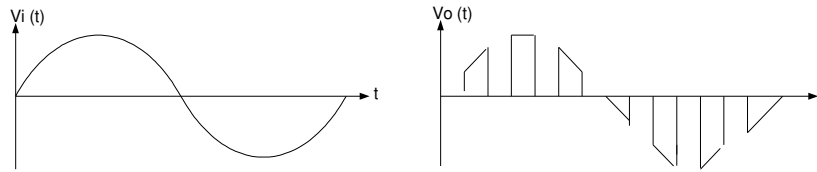
Kelebihan : frekuensi RF masih muncul pada *port* keluaran IF



### Cara kerja rangkaian :

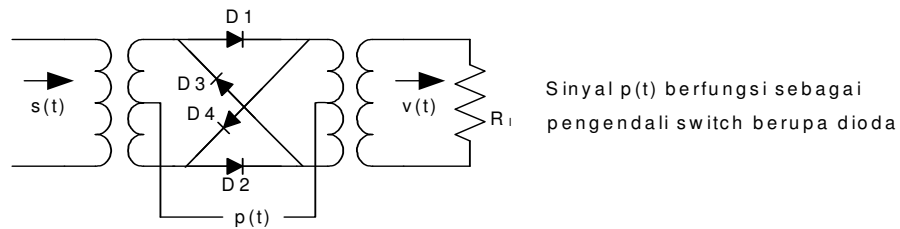
Frekuensi-frekuensi masukannya adalah  $f_{RF}$  dan  $f_{LO}$  dan frekuensi keluarannya adalah  $f_{IF}$ , tegangan osilator local berada dititik a dan b. Tegangan  $V_{LO}$  dimisalkan cukup besar untuk menghidupkan dioda-dioda selama  $\frac{1}{2}$  siklus, kalau a lebih positif dari b dan sama sekali mati selama  $\frac{1}{2}$  siklus yang lain  $V_{RF}$  berada antara titik c dan d. Dimisalkan juga bahwa  $V_{LO}$  jauh lebih besar dari  $V_{RF}$  sehingga  $V_{LO}$  dapat mengendalikan keadaan dioda setiap saat. Dengan begitu dioda bekerja sebagai penyambung (switch) yang akan menghubungkan dan memutuskan c dan d secara bergantian dan periodik. Sehingga kalau  $V_{ab}$  positif dan lebih besar dari tegangan antara kedua kutub dioda pada saat dioda ON, maka titik c dan d akan terhubung, sehingga  $V_o$  akan sama dengan nol. Sedangkan kalau  $V_{ab}$  negatif maka keempat dioda akan OFF sehingga titik c dan d akan terpisah sehingga  $V_o$  akan sama dengan  $V_{RF}$  jika  $R_s$  pada sumber  $V_{RF}$  diabaikan. Untuk pencampur pada penerima maka

beban akan ditala pada frekuensi  $f_{IF}$ , sehingga akan menapis komponen frekuensi yang tidak diinginkan



**B. Mixer dengan dioda berimbang ganda**

Kelebihan : frekuensi RF tidak muncul dalam keluaran IF



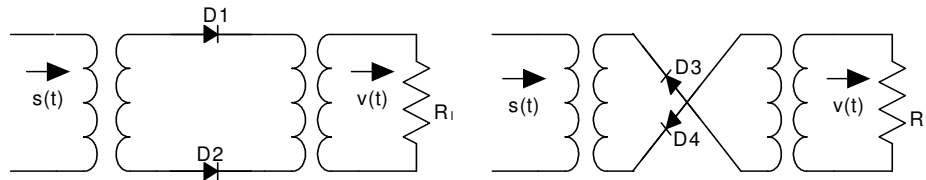
Keterangan :

Dioda luar : D1 & D2

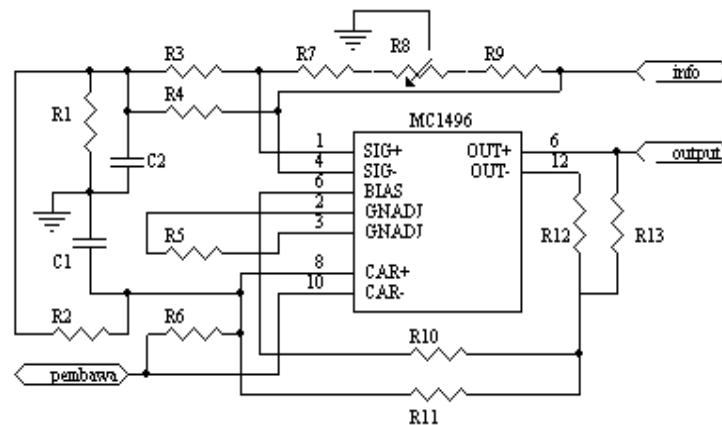
Dioda dalam : D3 & D4

Dioda ini bekerja saling bergantian:

- Jika dioda D1 & D2 ON, maka dioda D3 & D4 OFF
- Jika dioda D3 & D4 ON, maka dioda D1 & D2 OFF



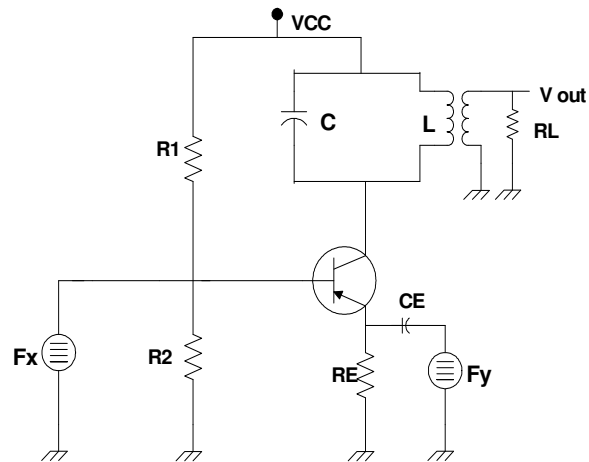
**3. Mixer yang menggunakan rangkaian terintegrasi (IC).**



#### 4.Mixer Dengan menggunakan BJT ( Bipolar Junction transistor )

Pencampur dapat dibuat dengan konfigurasi dasar transistor. Sinyal masukannya terdiri dari dua, yaitu satu sinyal kemudi berada disisi basis ( biasanya sinyal RF ) dan satu kemudi lain berada diemitor ( biasanya sinyal dari osilator ). Sinyal keluarannya berada pada konektor.

Contoh rangkaian Mixer dengan menggunakan BJT adalah sebagai berikut:



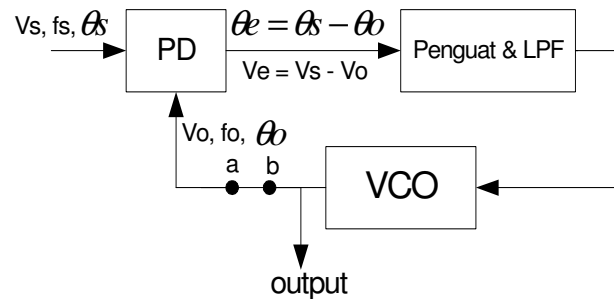
Syarat dari pencampur tersebut adalah bahwa salah satu sinyal masukannya mempunyai level yang cukup besar. Ini diperlukan untuk mengantisipasi operasi non linier dari rangkaian tersebut. Sinyal masukan yang lainnya selalu berlevel lebih kecil. Salah satu alasan mengapa sinyal ini kecil adalah karena biasanya sinyal ini datang dari antenna yang mempunyai level sinyal yang lemah.

Pada rangkaian tersebut, kolektornya dihubungkan dengan rangkaian tank circuit, yang ditala pada salah satu frekuensinya, misalnya ditala pada  $f_y - f_x$ . Tujuannya agar sinyal keluaran  $V_{out}$  hanya terdiri dari frekuensi selisih saja, jadi komponen-komponen frekuensi yang lain akan ditapis atau ditekan. Jadi L dan C harus beresonansi pada frekuensi  $F_o = F_y - F_x$ .

## BAB VIII

### PLL

#### Blok diagram dasar PLL



Phase Lock Loop (PLL) merupakan sistem tertutup membentuk feedback negatif dengan sinyal feedback digunakan untuk mengunci (lock) frekuensi dan fasa keluaran terhadap frekuensi dan fasa sinyal input.

PLL digunakan untuk

- filtering,
- penggeser frekuensi (frequency synthesizer)
- control kecepatan motor
- frequency modulation/demodulation
- signal detection

Frequency Synthesizer dapat dikatakan sebagai suatu konverter frekuensi.

Secara umum, Frequency Synthesizer ini terbagi menjadi :

#### 1. Direct Synthesizer

##### a. Direct Digital Synthesizer (DDS)

Menggunakan rangkaian digital yang dilengkapi dengan memori. Keluaran DDS ini merupakan keluaran digital (digital output). Jika resolusi tegangan output yang dihasilkan cukup baik maka outputnya akan seperti sinyal analog biasa.

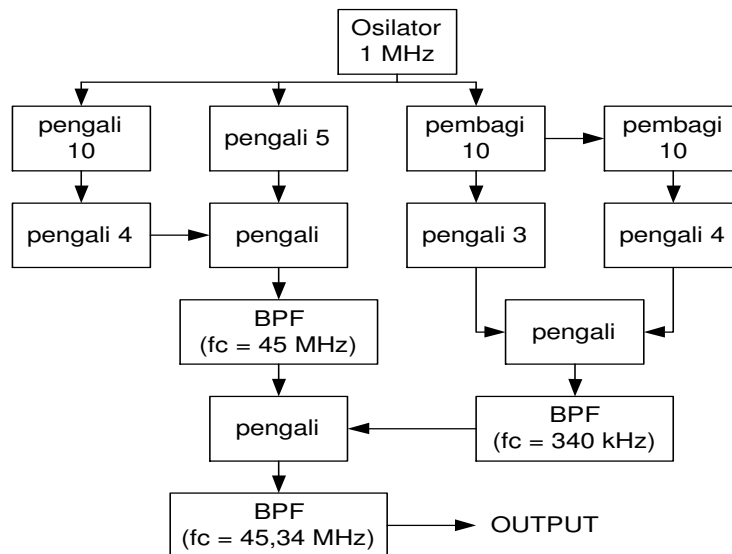
##### b. Pengali frekuensi (multiplier)

Menggunakan rangkaian pembangkit overtone (harmonisa frekuensi), dan rangkaian pembagi (digital).

#### 2. Indirect Synthesizer

Menggunakan rangkaian umpan balik yaitu PLL (Phase Locked Loop)

## 1. Frequency Synthesizer menggunakan multiplier

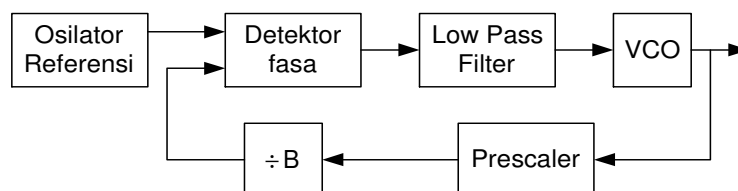


Pengali frekuensi digunakan untuk menghasilkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi sedangkan pembagi frekuensi (frequency divider) digunakan untuk menghasilkan sinyal dengan frekuensi yang lebih rendah.

Gambar rangkaian tersebut merupakan contoh suatu pembangkit sinyal dengan frekuensi 45,34 MHz (pengali frekuensi dan pembagi frekuensi hanya dibatasi sampai 10 kalinya saja)

## 2. Frequency Synthesizer menggunakan PLL

Osilator stabil menghasilkan gelombang persegi dengan frekuensi referensi  $f_r$  yang digunakan sebagai salah satu input detektor fasa. Sebuah VCO menghasilkan output akhir dengan frekuensi  $f_o$  dan dirancang agar dapat beresilasi sesuai frekuensi yang diinginkan. Kestabilan frekuensi keluaran ditentukan oleh kestabilan osilator referensi (biasanya dari osilator kristal).



Output ini juga langsung dihubungkan ke beban dan digunakan untuk mendrive binary counter yang dapat diprogram yang berfungsi sebagai pembagi frekuensi ( $\div N$ ). Keluaran counter berupa gelombang persegi pada frekuensi referensi sebagai input detektor fasa. Pembandingan fasa merupakan suatu rangkaian yang menghasilkan suatu sinyal DC yang memiliki amplitudo proporsional terhadap perbedaan fasa antara sinyal referensi  $f_r$  dengan output  $f_o/N$ . Sinyal DC ini difilter untuk

menghaluskan noise dan memperlambat respon rangkaian agar terhindar dari overshoot atau osilasi dan digunakan sebagai input VCO.

Beda fasa  $f_r$  dan  $f_o/N = 0 \Rightarrow$  DC output =  $Nf_r$

Beda fasa  $f_r$  dan  $f_o/N \neq 0 \Rightarrow$  DC output naik turun sehingga beda fasa  $\neq 0$

Bila frekuensi keluaran VCO =  $Nf_r$  maka pada kondisi ini PLL telah Lock/ terkunci.

Beberapa parameter yang digunakan dalam PLL :

a) Free running frequency

Jika masukan detector fase tidak ada, maka PLL akan bekerja dalam mode free running. Frekuensi keluaran VCO hanya akan ditentukan oleh komponen penyusun osilatornya saja yaitu R1 dan C1, jadi jika dipengaruhi oleh tegangan pengendali dc. Dalam bentuk ini maka keluaran dari VCO disebut free running frequency.

b) Lock range

Range frekuensi dimana PLL dapat terus bekerja.

c) Capture range

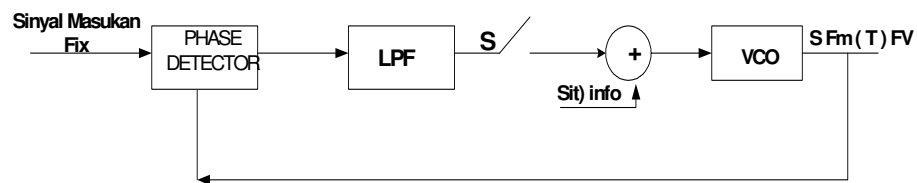
PLL yang bekerja dalam kondisi free running akan terkunci pada frekuensi masukannya jika frekuensi masukannya itu berada pada daerah capture range yaitu band frekuensi yang berpusat pada free running frekuensi.

$$B_c = f_2 - f_1$$

d) Lock up time

Slang waktu yang diperlukan antara waktu transient sampai kondisi terkunci.

### 3. PLL Sebagai Modulator FM dan Automatic Frequency Control ( AFC)



**Jika Switch S- off:**

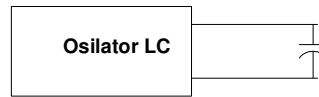
Sinyal FM,  $s_f m(t)$ , dengan frekuensi  $F_v$  yang hanya dipengaruhi oleh sinyal informasi  $s(t)$  saja, dengan menganggap komponen VCO stabil tidak dipengaruhi oleh lingkungan. Tapi jika tidak stabil, berarti  $F_v$  dipengaruhi  $s(t)$  dan lingkungannya.

**Jika Switch S- On:**

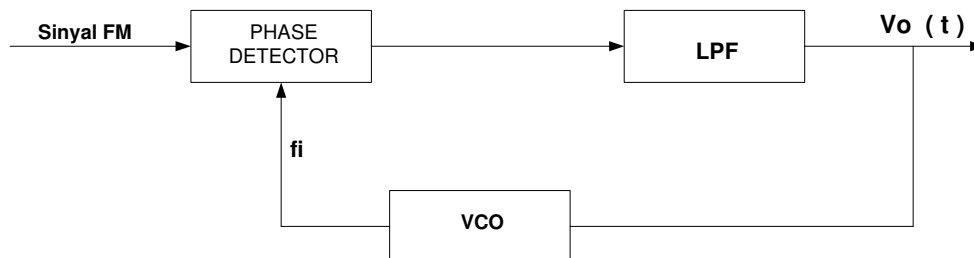
Keluaran LPF akan memuat sinyal perubahan  $F_v$  oleh lingkungan sebagai sinyal koreksi, sebagai masukan VCO yang berupa sinyal informasi  $s(t)$  ditambah sinyal koreksi dari keluaran LPF yang menyebabkan seolah-olah  $F_v$  dipengaruhi oleh  $s(t)$  saja.



#### 4. PLL Sebagai Demodulator FM / Diskriminator



Gambar diatas memperlihatkan sebuah osilator LC dengan sebuah kapasitor variable sebagai penala. Jika kapasitansi berubah, maka frekuensi Osilasi akan berubah. Jika Kapasitansi pada gambar diatas berubah secara sinusoidal pada frekuensi 1 KHz, maka frekuensi pemodulasinya adalah 1 KHz.



Ketika sinyal FM dimasukan sebagai masukan pada PLL, VCO akan mengikuti perubahan frekuensi masukannya. Sebagai hasilnya, tegangan yang berfluktuasi atau berubah-ubah akan keluar melalui LPF. Tegangan ini memiliki frekuensi yang sama dengan sinyal pemodulasi. Dengan kata lain, keluaran DC sekarang menyatakan keluaran demodulasi FM. Ini banyak digunakan dalam penerima FM.

Demodulasi atau deteksi FM dapat diperoleh secara langsung dengan menggunakan PLL. Jika frekuensi tengah PLL dirancang pada frekuensi sinyal FM, maka hasil penyaringan atau tegangan keluaran LPF nya adalah tegangan keluaran demodulasi yang diinginkan. Perubahan nilainya sebanding dengan perubahan frekuensi sinyal masukannya. Rangkaian PLL kemudian dioperasikan sebagai strip IF lengkap, pembatas, dan demodulator sebagaimana dipakai dalam penerima FM.

## BAB IX

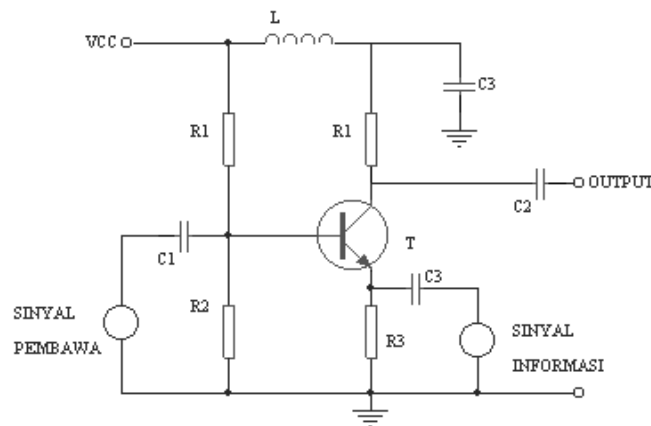
### MODULATOR DAN DEMODULATOR

Pembagian modulator dan demodulator berdasarkan pemrosesan sinyal :

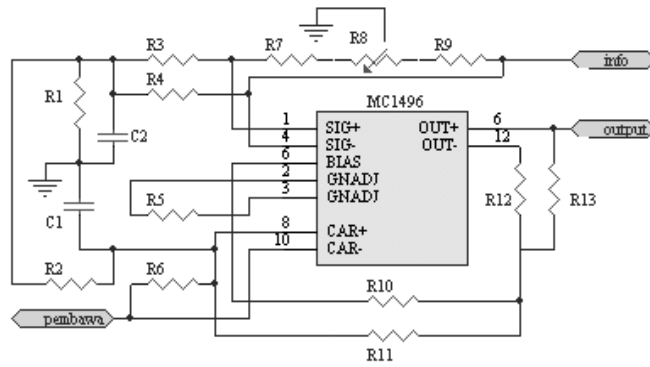
1. Modulator Analog
  - a. Modulator AM (AM-DSB-FC, AM-DSB-SC, AM-SSB)
  - b. Modulator FM (Narrowband, Wideband)
2. Modulator Digital
  - a. Modulator ASK (BASK, 4-ASK, 8-ASK)
  - b. Modulator FSK (BFSK, 4-FSK, 8-FSK)
  - c. Modulator M-PSK (BPSK, QPSK, 8-PSK, 16-PSK)
  - d. Modulator QAM (16-QAM, 64-QAM, 256-QAM)

Dari beberapa jenis modulator analog dan digital tersebut, ada modulator yang memiliki yang memiliki rangkaian yang sama. Untuk model rangkaian yang sama ini, masukan yang digunakan berbeda yaitu masing-masing sinyal analog dan sinyal digital. Contoh modulator analog dan modulator digital yang rangkaiannya sama adalah modulator AM-DSB-SC dan modulator BPSK, modulator AM-DSB-FC dan modulator ASK.

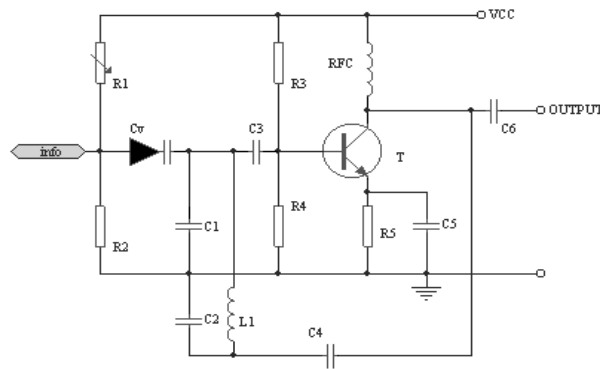
#### Modulator AM (AM-DSB-FC)



**Modulator AM (AM-DSB-SC)**



**Modulator FM**



**Demodulator FM**

