

Elektronika Telekomunikasi

Modul 2

RANGKAIAN RESONATOR **(Resonator Circuit / Tune Circuit)**

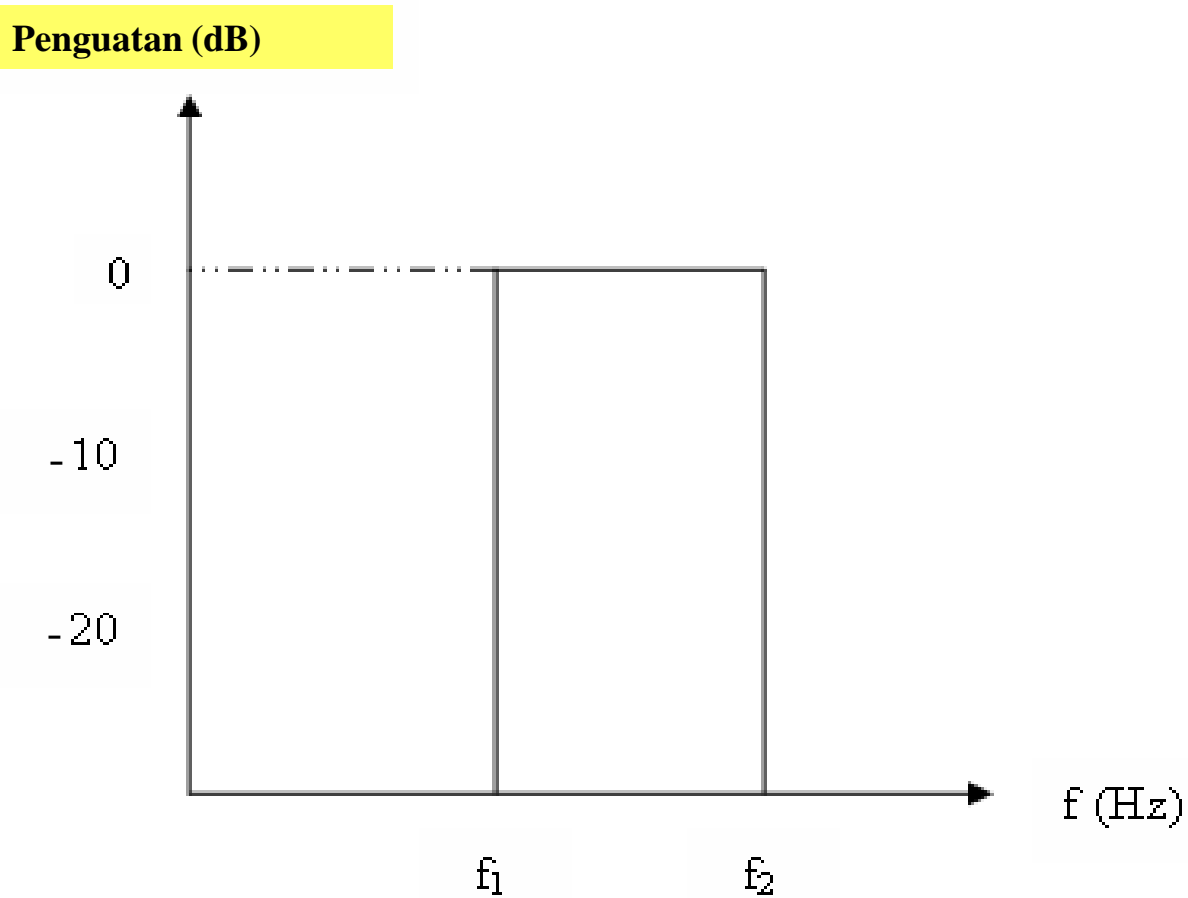
Prodi D3 Teknik Telekomunikasi
Yuyun Siti Rohmah, MT

Fungsi

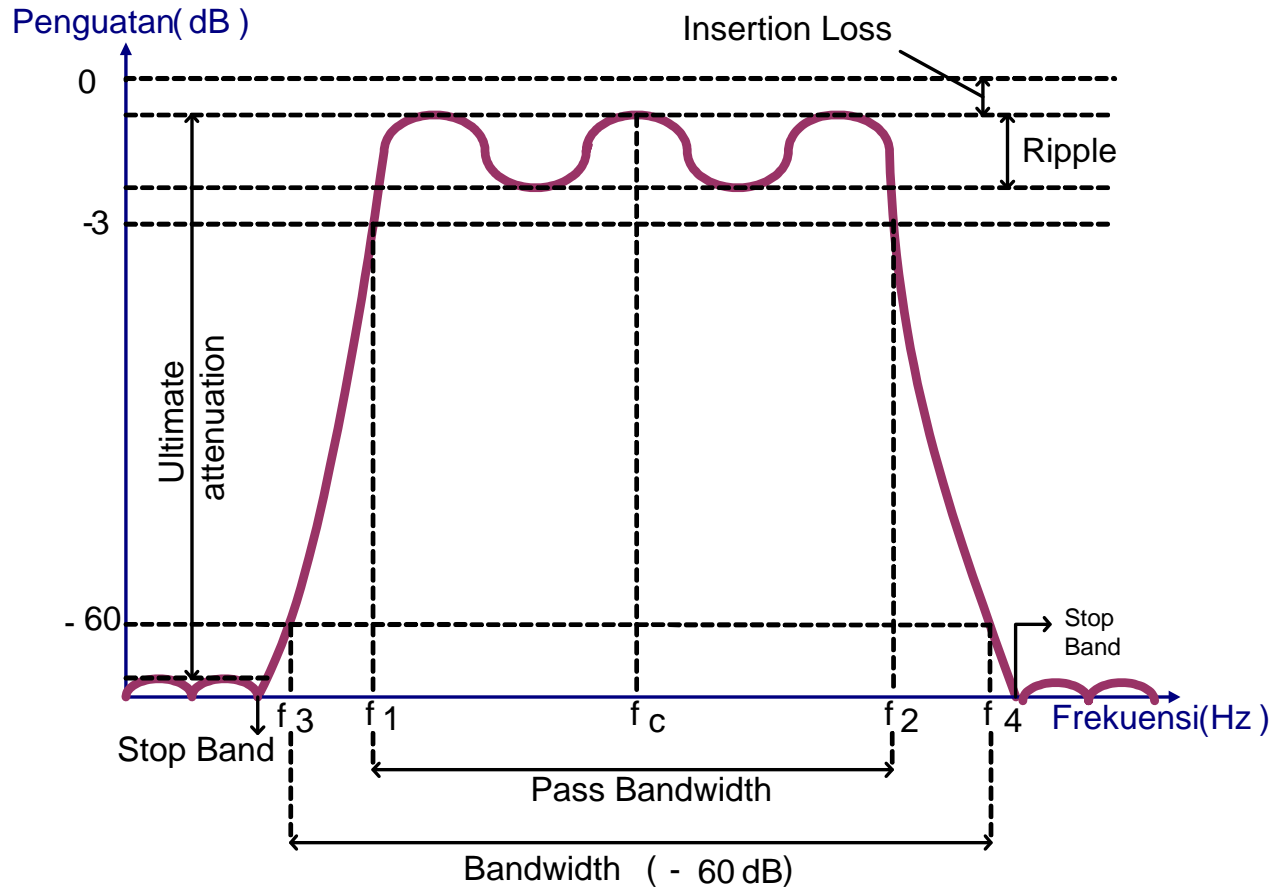
- Memilih / meloloskan sinyal pada frekuensi tertentu, meredam secara *significant* di luar frekuensi yang diinginkan.

Jadi rangkaian resonator: Rangkaian yang dapat meloloskan frekuensi tertentu dan menghentikan frekuensi yang tidak diinginkan

Karakteristik Respon Ideal



Respon Resonator “Praktis”



Beberapa definisi yang perlu diketahui:

- ① **Resonansi** : kondisi dimana komponen reaktansi dari suatu impedansi berharga nol pada frekuensi tertentu.
- ① **Bandwidth / lebar pita** : Perbedaan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah ($f_2 - f_1$), respon amplitudonya -3 dB dibawah respon passband. Jadi yang diloloskan hanya diantara f_1 dan f_2 , diluar frekuensi tersebut diredam secara signifikan.
- ① **Faktor kualitas (Q)** : parameter untuk mengukur tingkat selektivitas rangkaian.

$$Q \approx \frac{f_c}{BW_{3dB}} = \frac{f_c}{f_2 - f_1}$$

Beberapa definisi yang perlu diketahui:

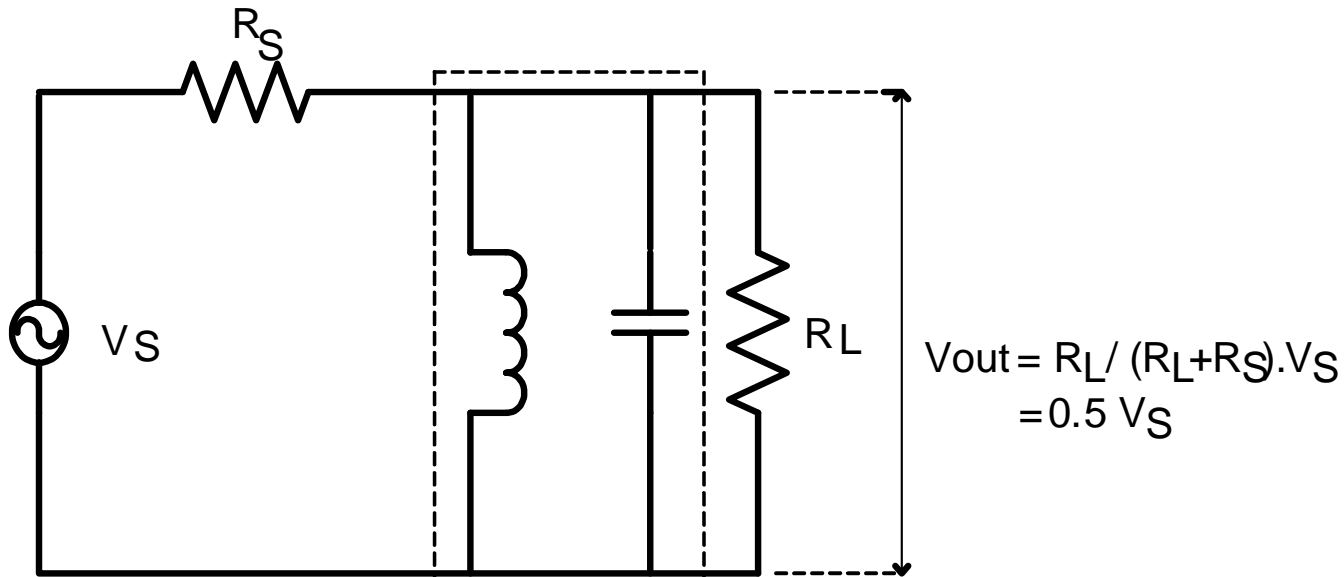
- ⊙ **Faktor bentuk** (Shape Factor = SF) : Perbandingan BW 60dB (redaman besar) terhadap BW 3 dB (redaman kecil) pada rangkaian resonator (seberapa miring terhadap ideal).

$$SF \cong \frac{BW\ 60\ dB}{BW\ 3\ dB} = \frac{f_4 - f_3}{f_2 - f_1}$$

- ⊙ **Ultimate Attenuation** : Redaman minimum akhir yang diinginkan/dikehendaki rangkaian resonansi diluar passband.
- ⊙ **Ripple / Riak** : Ukuran dari kerataan passband rangkaian resonansi yang dinyatakan dalam dB.

Beberapa definisi yang perlu diketahui:

- ① **Insertion Loss** : loss yang ditimbulkan oleh pemasangan suatu rangkaian (komponen tidak ideal) antara sumber tegangan dan suatu beban.



- ① **Tuning/ penalaan** : pengaturan harga L dan C agar dapat beresonansi pada frekuensi kerjanya.

Analisis Rangkaian

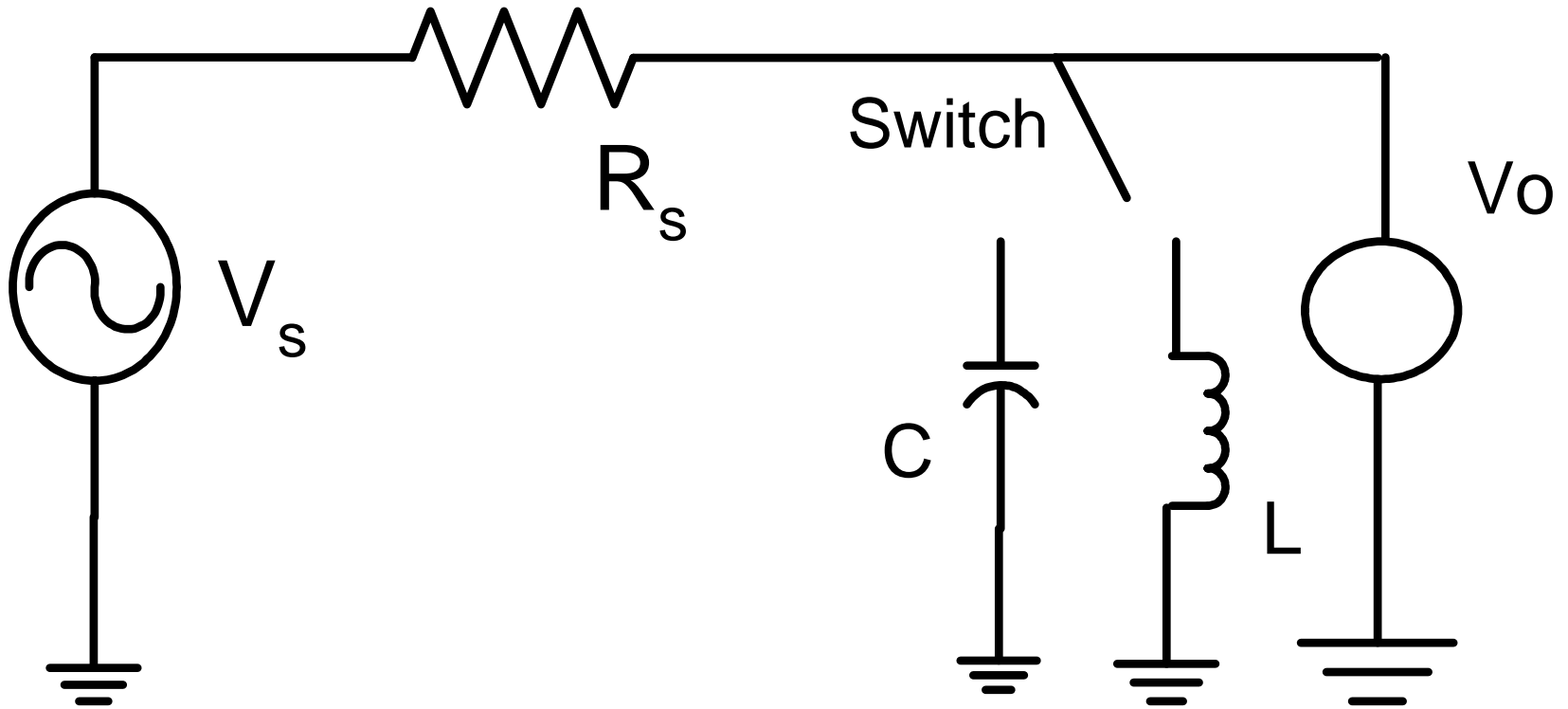
- ⊗ Resonansi RC paralel L
- ⊗ Resonansi RL paralel C
- ⊗ Resonansi RLC seri
- ⊗ Konversi rangkaian paralel ke rangkaian seri
- ⊗ Konversi rangkaian seri ke rangkaian parallel

1.1 Rangkaian resonator paralel (Loss less components)

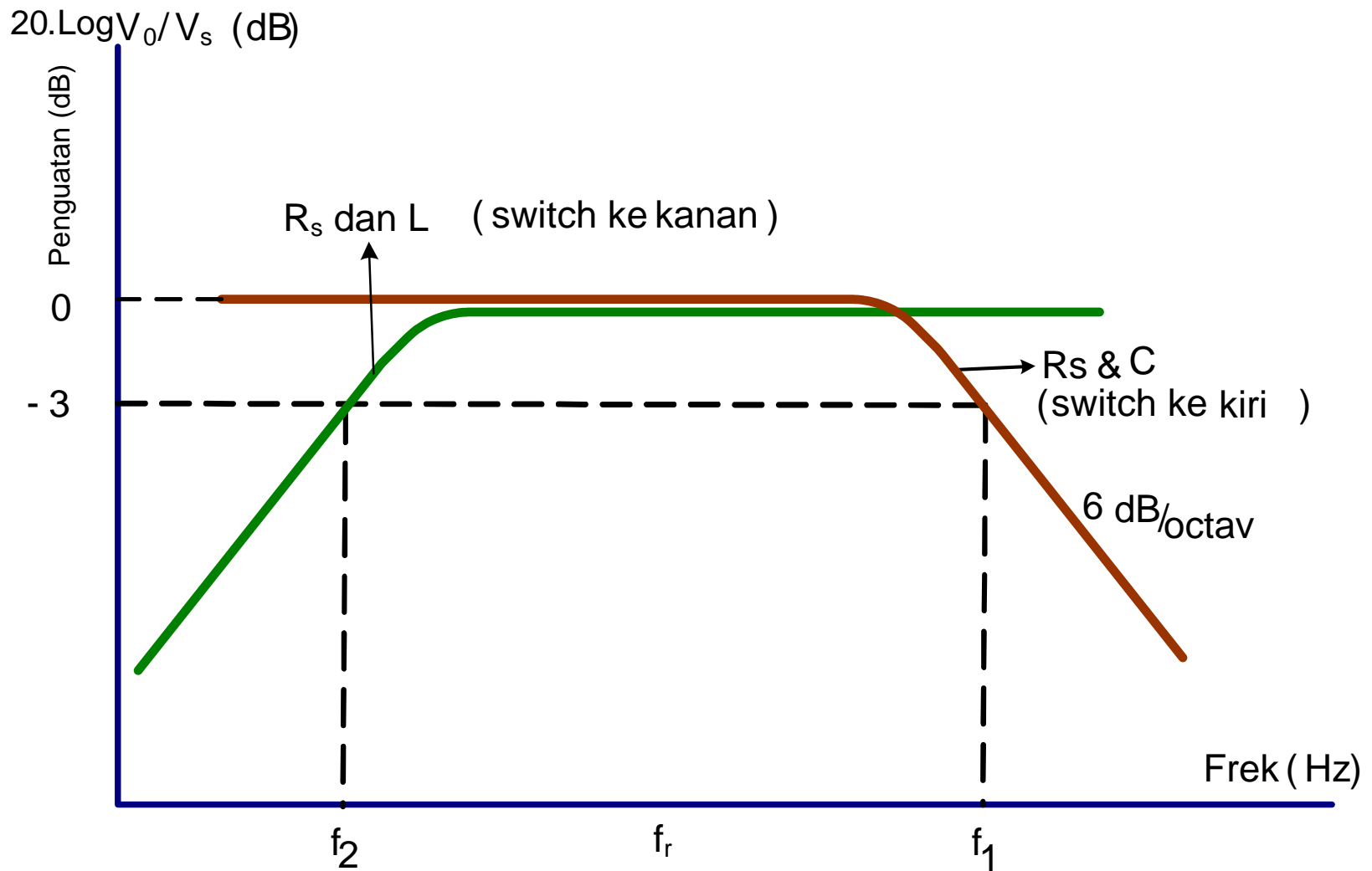
Rangkaian LC parallel dapat dimodelkan sebagai ideal band pass filter, dimana :

- ⊗ Induktor ideal
- ⊗ Kapasitor ideal
- ⊗ Beban dibuka / 'open'

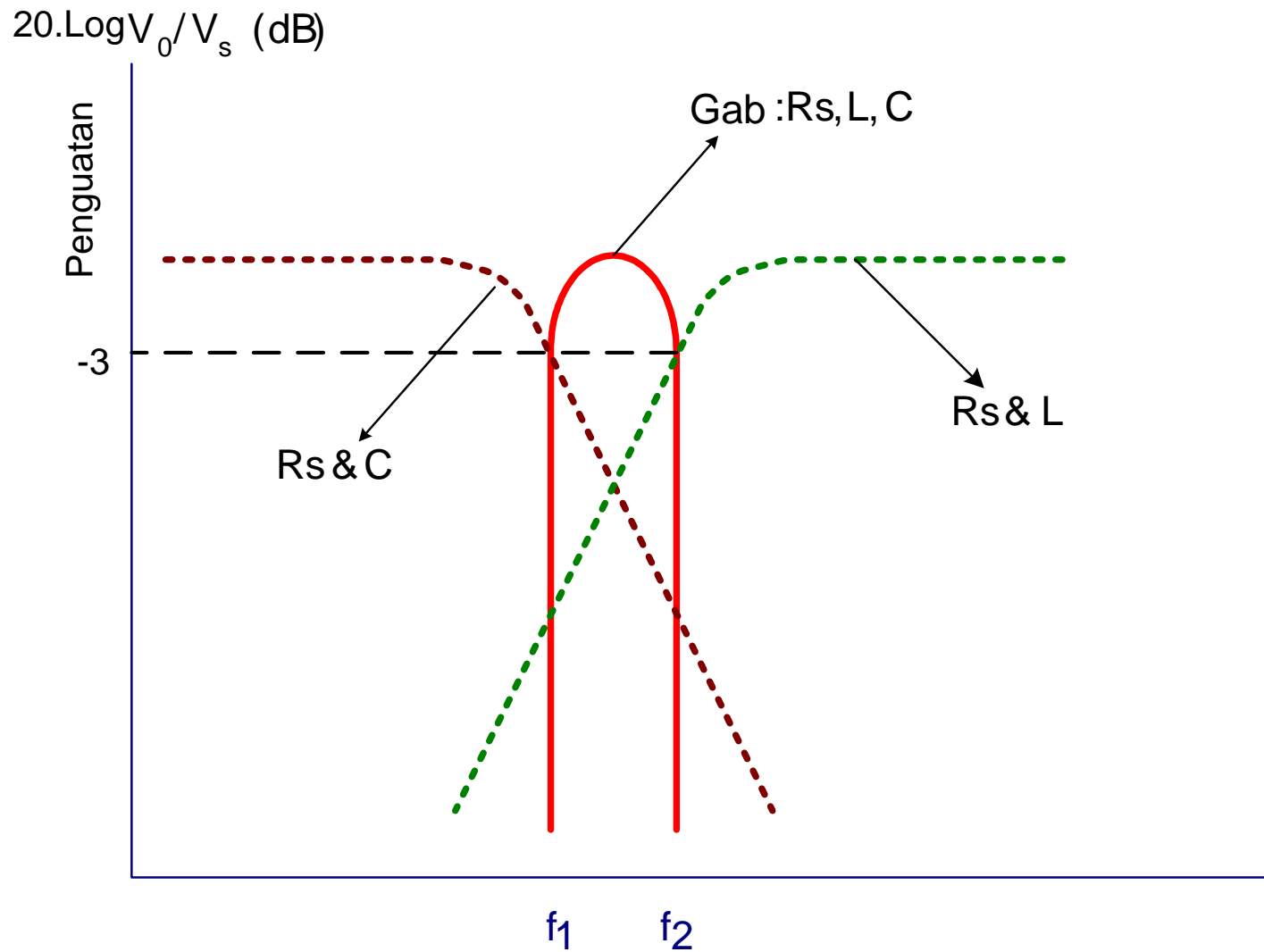
Rangkaian Paralel single-pole BPF



Respon V_o/V_s Jika menggunakan “ C kecil” dan “ L Besar” :



Respon V_o/V_s jika “ C diperbesar” & “ L diperkecil”



Rangkaian resonator jika V_s short

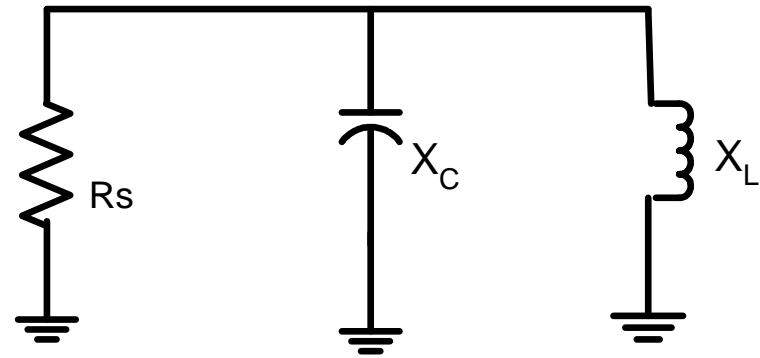
Saat rangkaian resonansi

$$X_c = X_L = X_{\text{Paralel}}$$

↓ ↓

$$\frac{1}{2\pi f C} \quad 2\pi f L$$

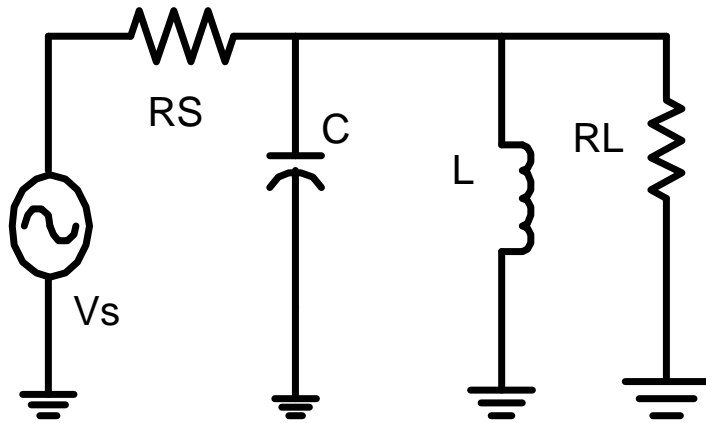
$$\text{Sehingga } f_r = f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



$$Q = \frac{f_c}{BW_{3dB}} = \frac{f_r}{f_2 - f_1} \cong \frac{R_{\text{paralel}}}{X_{\text{paralel}}}$$

Dan nilai $Q = \frac{R_{\text{paralel}}}{X_{\text{paralel}}} = \frac{R_s}{2\pi f_r L} = \frac{R_s}{1/2\pi f_r C} = 2\pi f_r C R_s$

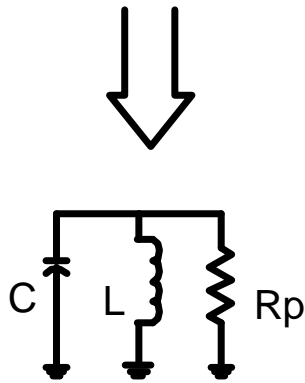
Beban R_L ($< \sim$), L dan C ideal



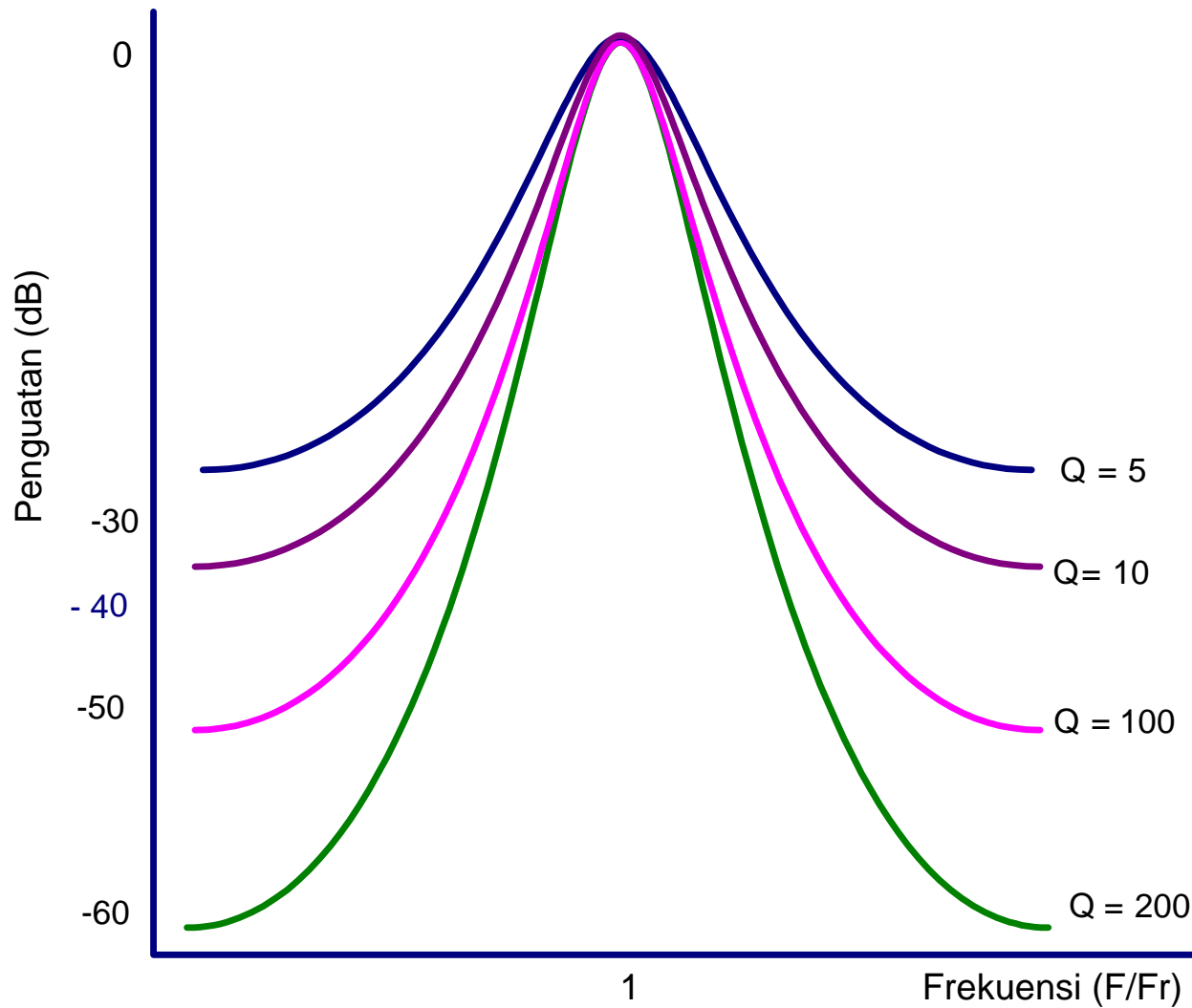
$$R_p = R_s // R_L = \frac{R_s \cdot R_L}{R_s + R_L}$$

Sehingga

$$Q = \frac{R_p}{X_p} = \frac{R_p}{2\pi f r L} = 2\pi f r C R_p$$



Respon Rangkaian Resonator



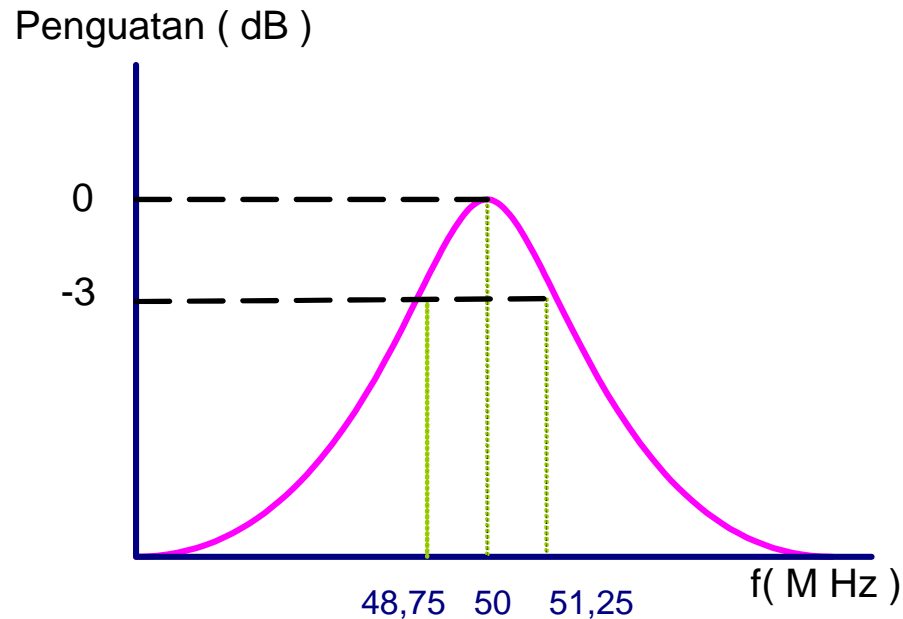
Contoh soal

1. Suatu generator dengan $R_S = 50 \Omega$, C dan L tanpa rugi-rugi. $C = 25 \text{ pF}$ dan $L = 0,05 \mu\text{H}$, $R_L = \text{open circuit}$. Tentukanlah nilai :
 - a. $f_c = f_r = \dots?$
 - b. $Q = \dots?$
 - c. Bw 3dB..?
2.
 - a. jika soal no.1 diatas nilai $R_S = 1000 \Omega$ hitung nilai Q
 - b. Jika soal 2.a diatas diberi nilai $R_L = 1000 \Omega$ hitung nilai Q

Contoh soal

3. **Rancanglah** suatu rangkaian resonator yang mempunyai spesifikasi sbb :
 $R_S = 150 \Omega$; $R_L = 1 \text{ k} \Omega$; C dan L ideal
Respon sbb :

→ example 2-1 *RF Circuit design*



1. 2. Resonator dengan “L dan C mempunyai rugi-rugi/komponen Losses”

Pengertian dan Model L dan C dengan rugi-rugi :

L – Ideal



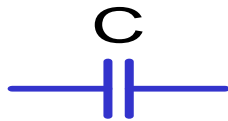
Menyimpan **seluruh energi** dalam
Medan Magnet

L praktis dengan rugi-rugi



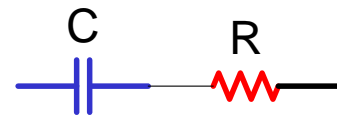
Ada energi yang dibuang / dilepas
berupa panas di resistor

C – Ideal



Menyimpan **seluruh energi** dalam
Medan Listrik

C praktis dengan rugi-rugi



Ada sebagian energi yang dilepas
berupa panas di resistor

Akibat dari komponen Losses / ada rugi-rugi komponen :

- ⊗ Q tidak mungkin lebih besar dari Q untuk Lossless komponen
- ⊗ Respon resonator mengalami redaman pada frekuensi resonansi
- ⊗ Frekuensi resonansi sedikit tergeser dengan adanya Losses / rugi
- ⊗ Pergeseran fasa pada filter tidak akan nol di frekuensi resonansi

Tingkat rugi-rugi pada L/C dinyatakan dalam factor kualitas Q

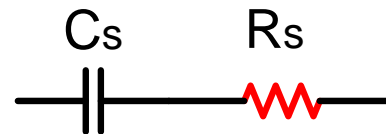
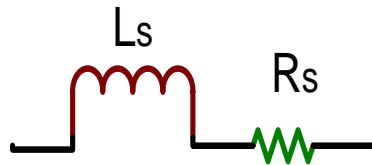
- Untuk L/C seri dengan R :

$$R_{\text{seri}} \approx R_s$$

$$X_s = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_s \text{ atau}$$

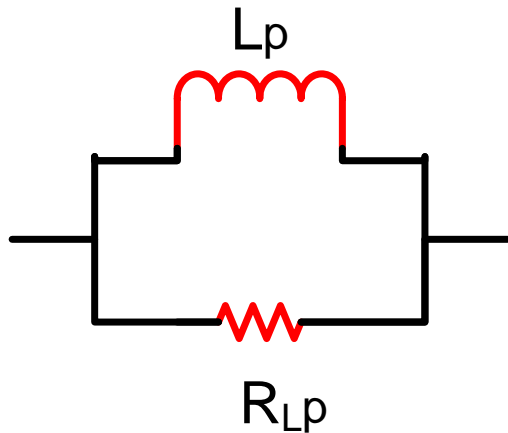
$$Q \approx \frac{X_s}{R_s}$$

$$X_s = \frac{1}{2\pi f C_s}$$

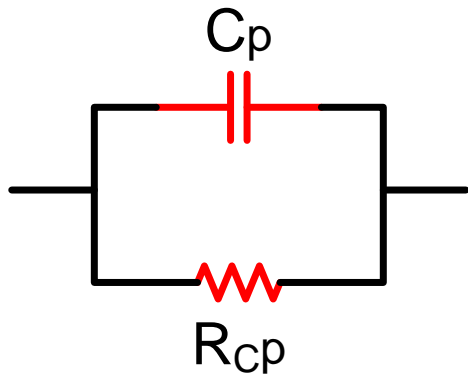


Faktor kualitas Komponen Qp:

Kadang Induktor L atau Kapasitor C dengan rugi-rugi juga dimodelkan sebagai rangkaian paralel dengan R-nya



$$Q_p = \frac{R_{Lp}}{X_p} = \frac{R_{Cp}}{X_p}$$



$$X_p = 2\pi f L_p \text{ atau } X_p = \frac{1}{2\pi f C_p}$$

Konversi dari “seri” ke “paralel” ekivalennya, jika R_s dan X_s diketahui maka X_p dan R_p bisa dicari

$$R_p = R_s(Q^2 + 1)$$

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

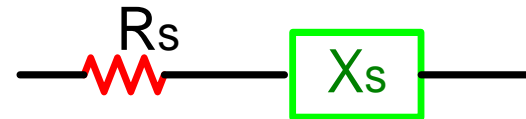
$$Q = Q_s = Q_p$$

Untuk $Q < 10$,

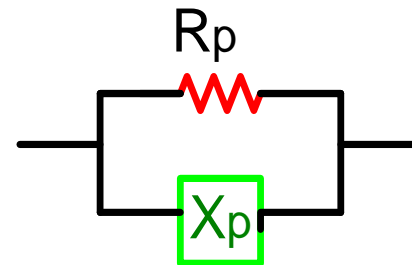
Dimana, jika $Q > 10 \rightarrow R_p \approx Q^2 \cdot R_s$

Q_p, Q_s, Q :Faktor kualitas Komponen

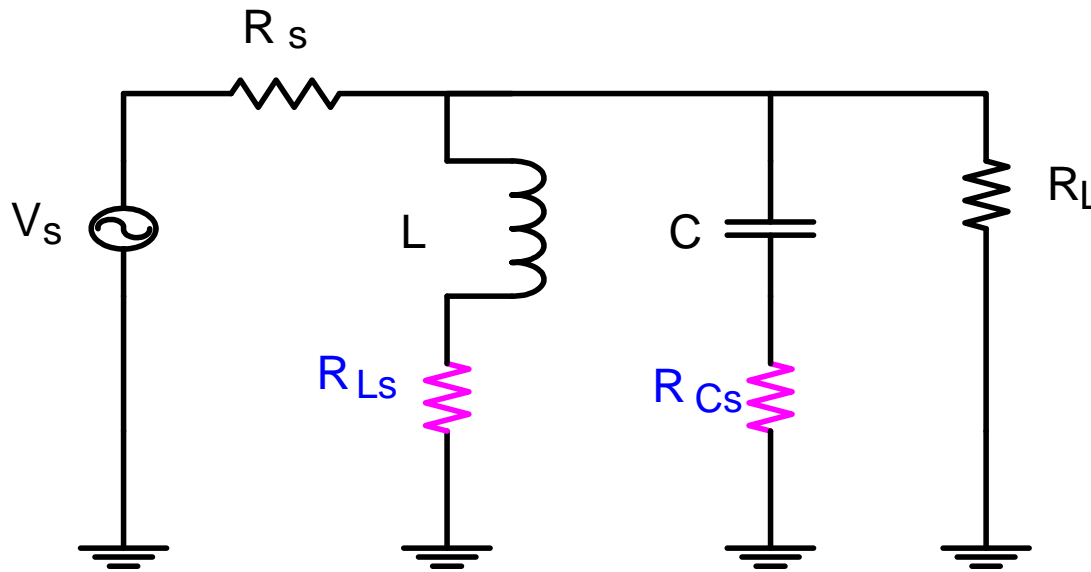
Seri



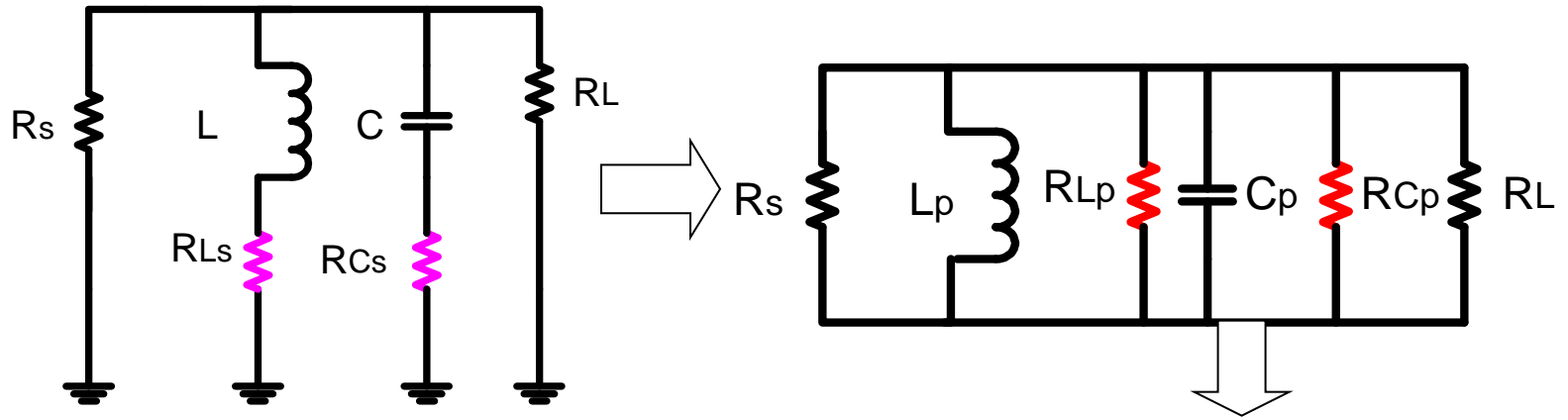
Paralel Ekivalen



Rangkaian Resonator menggunakan L dan C dengan rugi-rugi

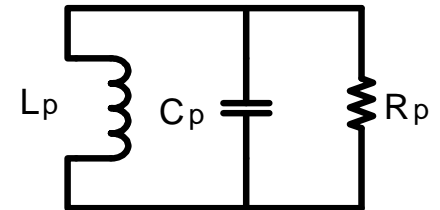


Rangkaian Ekuivalen untuk menentukan Q (Vs short):

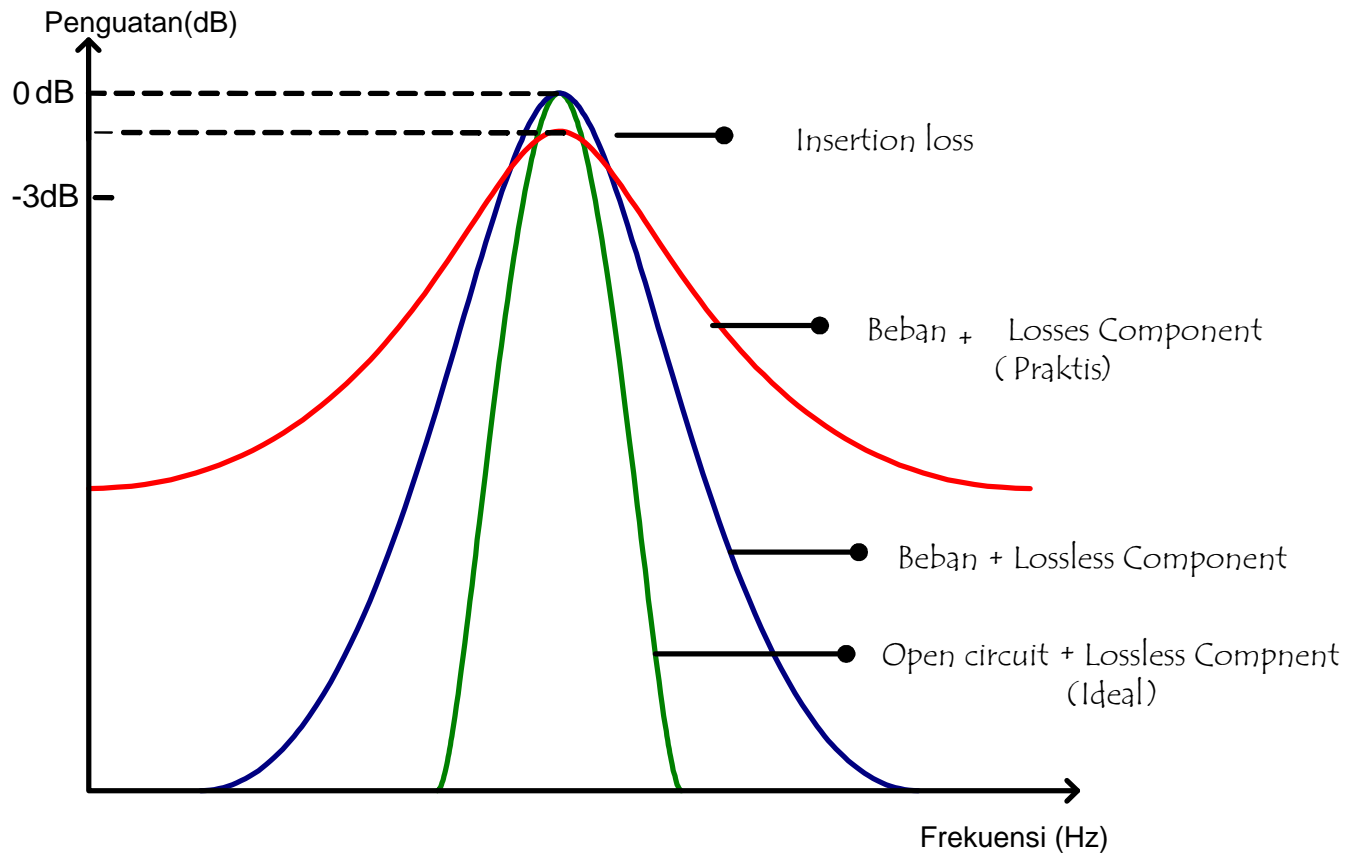


$$Q_{sistem} = \frac{f_c}{BW_{3dB}} = \frac{R_p}{X_p} = \frac{R_{LP} // R_S // R_L}{X_P}$$

$$X_p = 2\pi f L_p \text{ atau } X_p = \frac{1}{2\pi f C_p}$$



Perbandingan Respon LC untuk 3 kondisi:



Contoh Soal:

1. Suatu inductor 50 nH dengan hambatan rugi-rugi yang disusun secara **seri** sebesar 10Ω . Pada $f = 100 \text{ MHz}$. Carilah besarnya L dan R **baru** jika ditransformasikan ke rangkaian ekivalen **Paralelnya** !
→ example 2-2 *RF Circuit design*

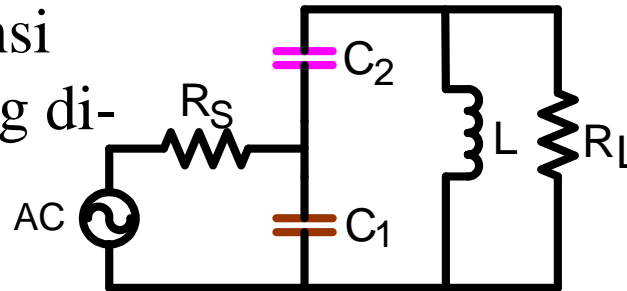
2. **Rancanglah rangkaian** resonansi sederhana supaya menghasilkan $\text{BW}_{3\text{dB}} = 10 \text{ MHz}$ pada frekuensi tengah 100 MHz!! Komponen yang dipakai sebagai berikut :
 - a. Hambatan sumber dan beban masing-masing 1000Ω , Kapasitor yang digunakan Ideal (Lossless C)
 - b. Sedangkan Induktor mempunyai factor $Q = 85$
 - **Kemudian Carilah** besarnya “**Insertion Loss**” rangkaian tersebut!→ example 2-3 *RF Circuit design*

1.3 Transformator Impedansi

Tujuan: Meningkatkan Q dengan meningkatkan R_s (atau R_L)

TRANSFORMATOR IMPEDANSI

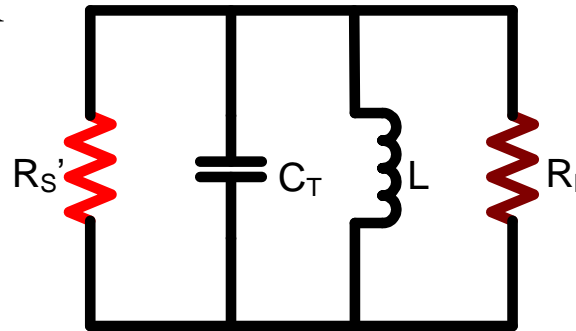
- Transformasi Impedansi dengan **kapasitor** yang di-tapped di tengah



$$\rightarrow R_s' > R_s$$

- Rangkaian ekuivalen untuk mencari Q

$R_s' = R_L \rightarrow$ transfer daya maximum

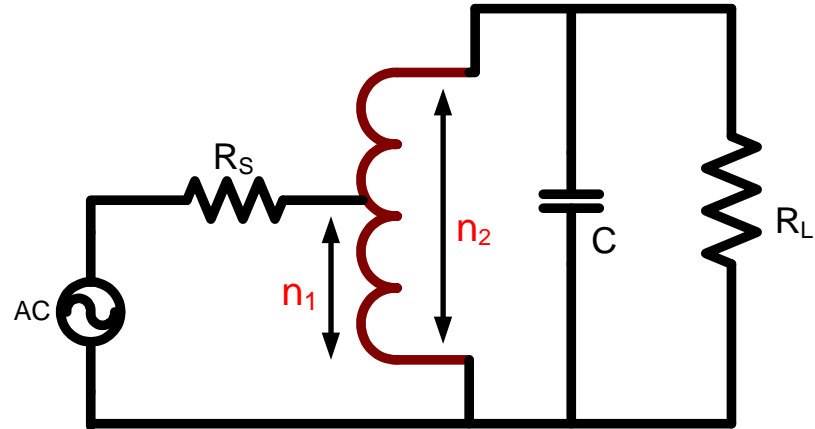


$$C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

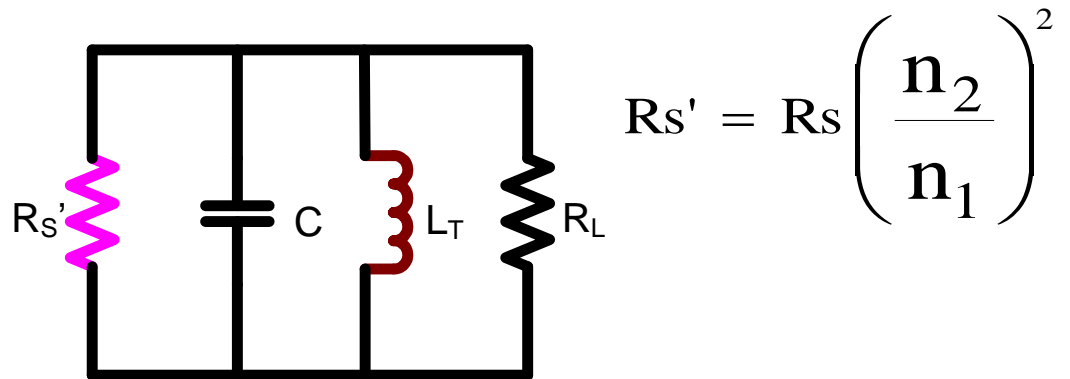
$$R_s' = R_s \left(1 + \frac{C_1}{C_2} \right)^2 \rightarrow Q_L > 10$$

TRANSFORMATOR IMPEDANSI

- Transformasi Impedansi dengan **Induktor** yang di-tapped



- Rangkaian ekivalennya



Contoh Soal:

- ⊙ Rancang suatu Resonator dengan spesifikasi sbb:

$$Q = 20 \text{ pada } f_c = 100 \text{ MHz}$$

$$R_s = 50 \text{ ohm}, R_L = 2000 \text{ ohm}$$

Gunakan rangkaian transformasi impedansi C tapped dengan asumsi $Q_L = 100$ pada 100 MHz

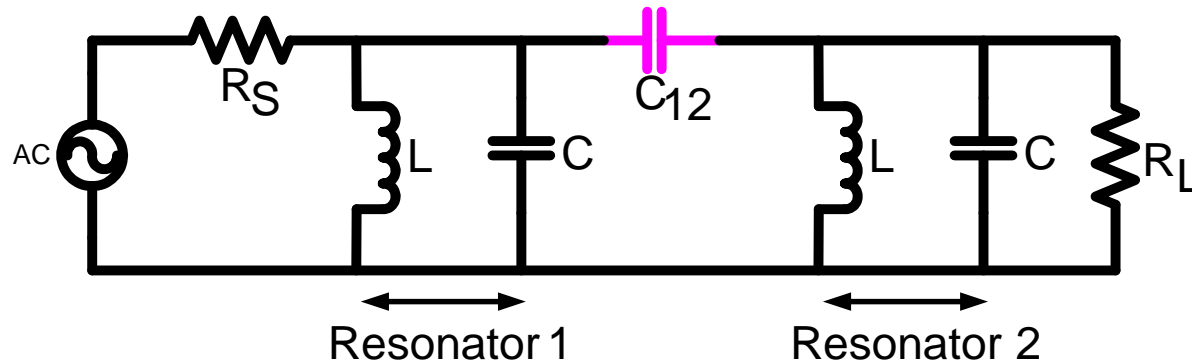
- → *example 2-4 RF Circuit design*

1.4 Rangkaian Resonator paralel ganda

Tujuan: Untuk memperbaiki shape faktor.

Tujuan: Untuk memperbaiki shape faktor:

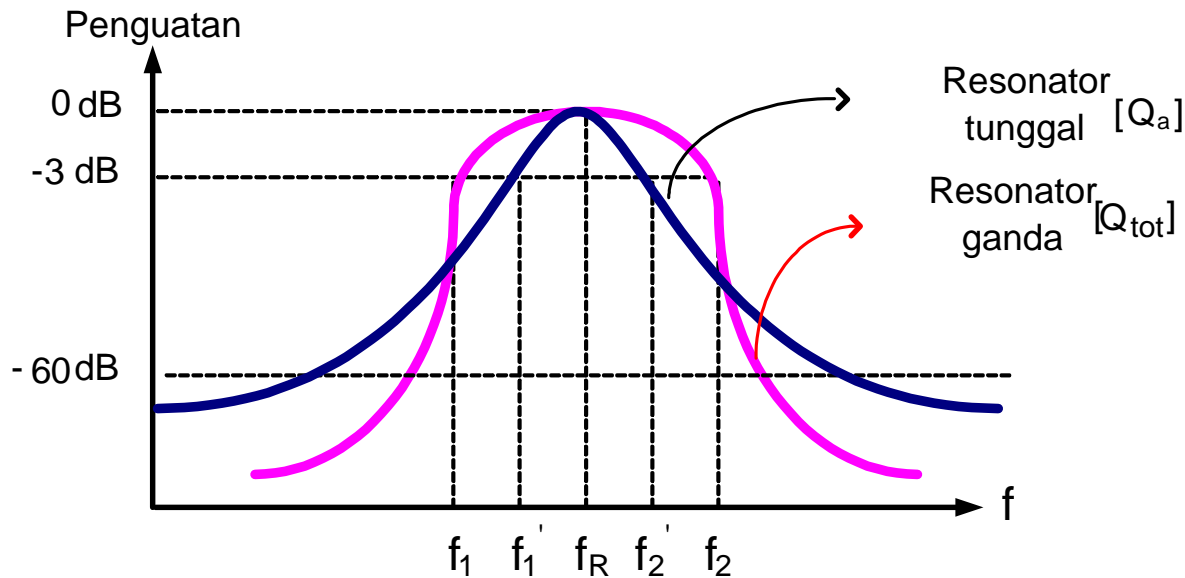
a. Hubungan seri dikopling kapasitor



$$C_{12} = \frac{C}{Q_a} \quad Q_a \approx Q_{\text{awal}} \approx Q_{\text{single}}$$

Q_a = faktor kualitas rangkaian single resonator

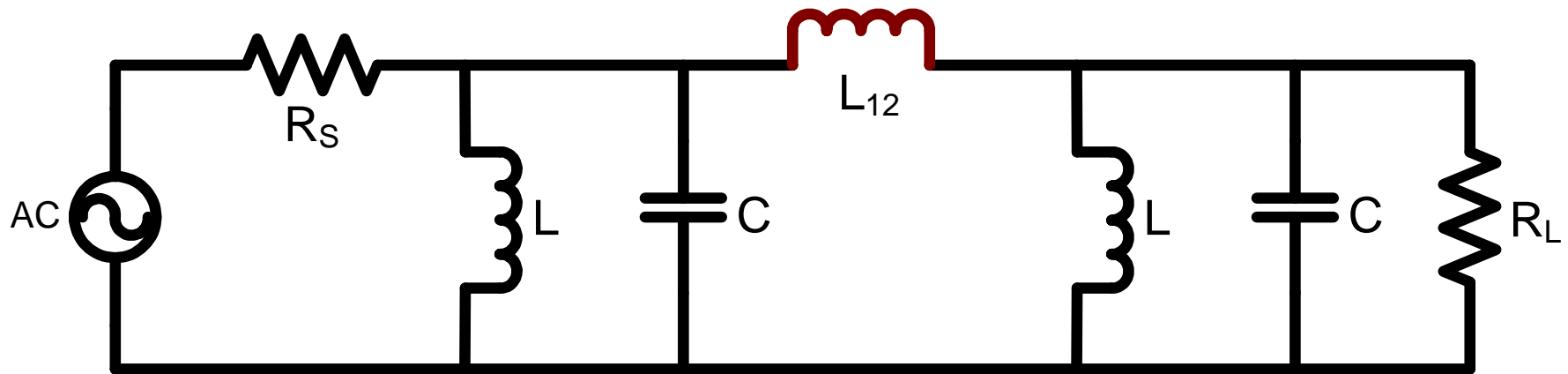
Respon 'Resonator ganda'



Pada kondisi critical coupling

$$Q_{total} = Q_{ganda} = 0,707 \times Q_a$$

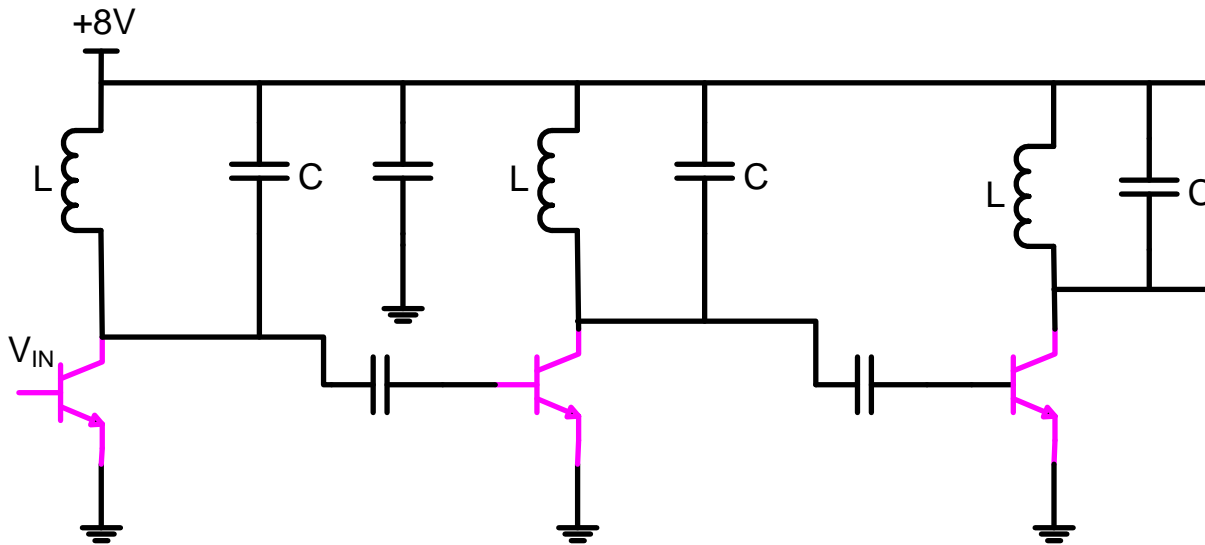
b. Hubungan seri dikopling Induktor



$$L_{12} = Q_a \times L \quad Q_a \approx Q_{\text{awal}} \approx Q_{\text{single}}$$

Q_a = faktor kualitas rangkaian single resonator

Hubungan seri dikopling aktif



Q_1 : faktor kualitas resonator tunggal
 n : banyaknya rangkaian resonator kaskade

$$Q_{\text{akhir}} = Q_{\text{total}} = \frac{Q_1}{\sqrt{2^{1/n} - 1}}$$

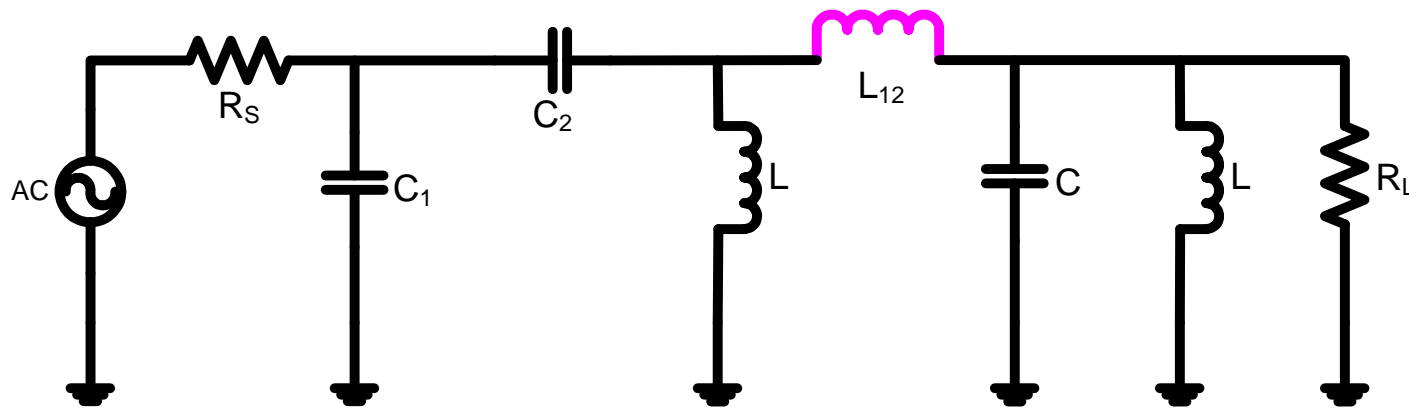
Contoh Soal: → *example 2-5 RF Circuit design*

Desainlah suatu rangkaian resonator yang terdiri dari 2 buah resonator identik yang dihubungkan seri dengan kopling induktor (diset pada kondisi critical coupling), sehingga terpenuhi spesifikasi sbb:

$$f_c = 75 \text{ MHz} ; BW_{3\text{dB}} = 3,75 \text{ MHz} ; R_s = 100 \text{ ohm}$$

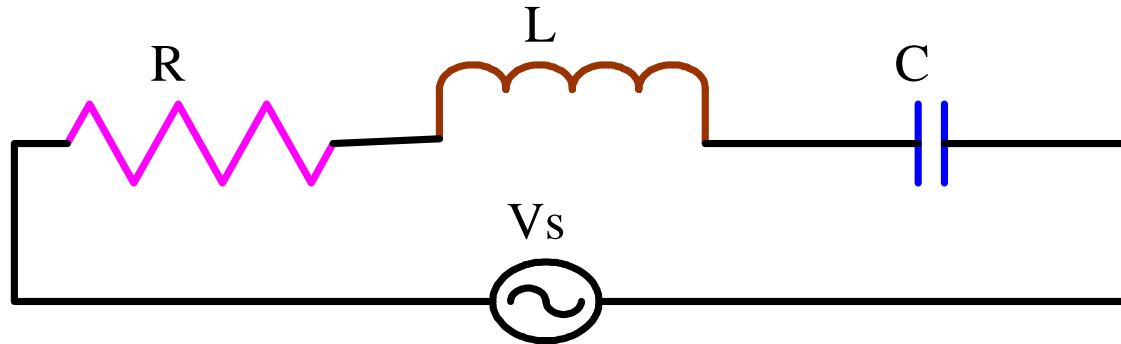
$$R_L = 1000 \text{ ohm} ; \text{Asumsikan } Q_L = 85 \text{ pada } f_c$$

- Terakhir gunakan transformasi impedansi C yang di tapped (di sumber) untuk menaikkan Q!



1.5 Rangkaian Resonator seri

Resonansi RLC seri



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

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

Impedansi seri untuk rangkaian tersebut dalam Q adalah :

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

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

$$R\sqrt{1 + y_3^2 Q^2} = R\sqrt{2}$$

$$y_3^2 Q^2 = 1$$

$$y_3 = \frac{1}{Q}$$

$y_3 = 1/Q$ harus positif

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

$$y = \frac{\omega}{\omega_{so}} - \frac{\omega_{so}}{\omega}$$

$$y_3 = \frac{f_2}{f_{so}} - \frac{f_{so}}{f_2} = \frac{1}{Q}$$

$$f_2^2 - f_{so}^2 - \frac{f_{so}f_2}{Q} = 0$$

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

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

THANK YOU
