

## **BAB 2**

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

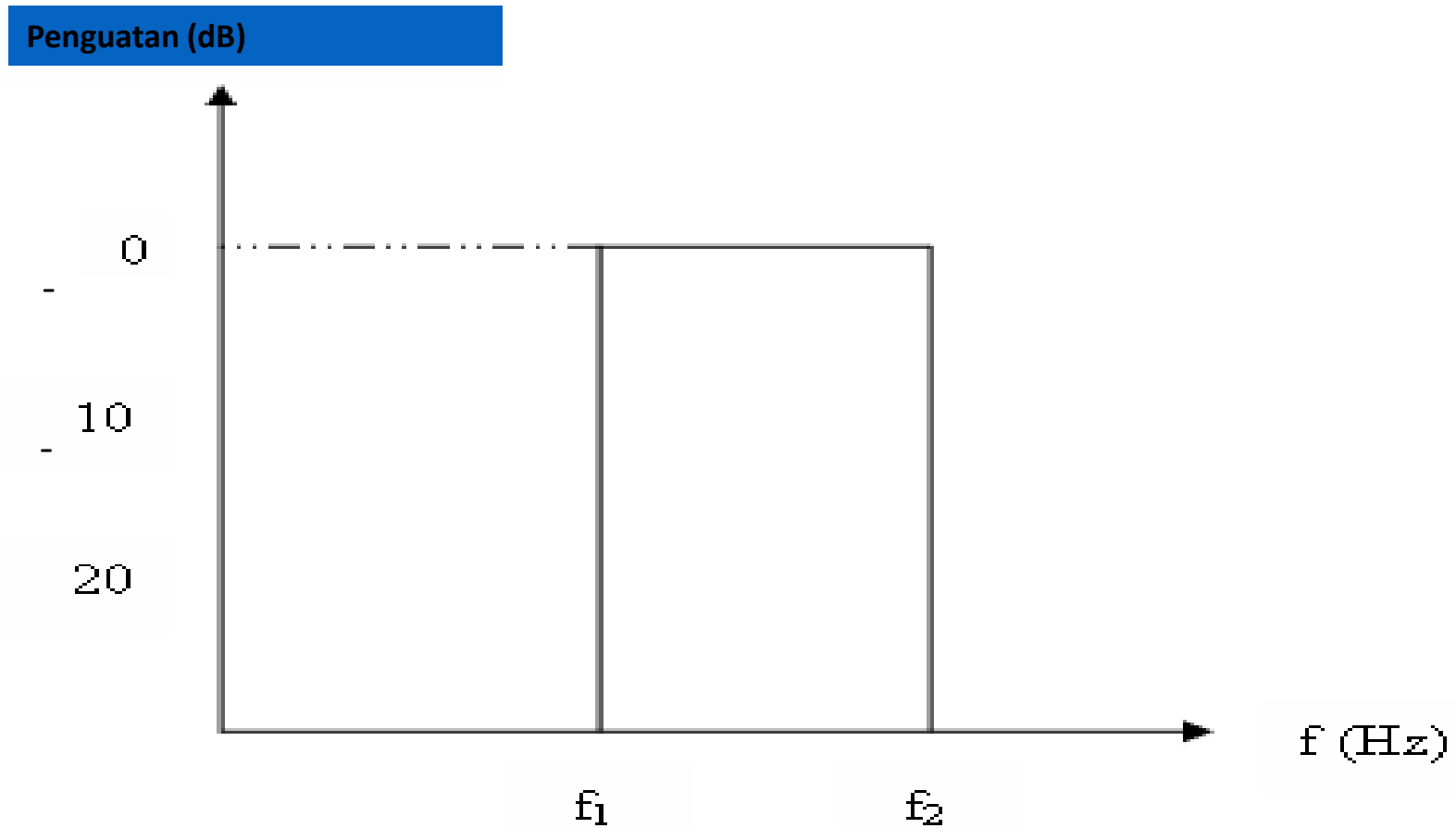
**TTH313**

**Elektronika Telekomunikasi**

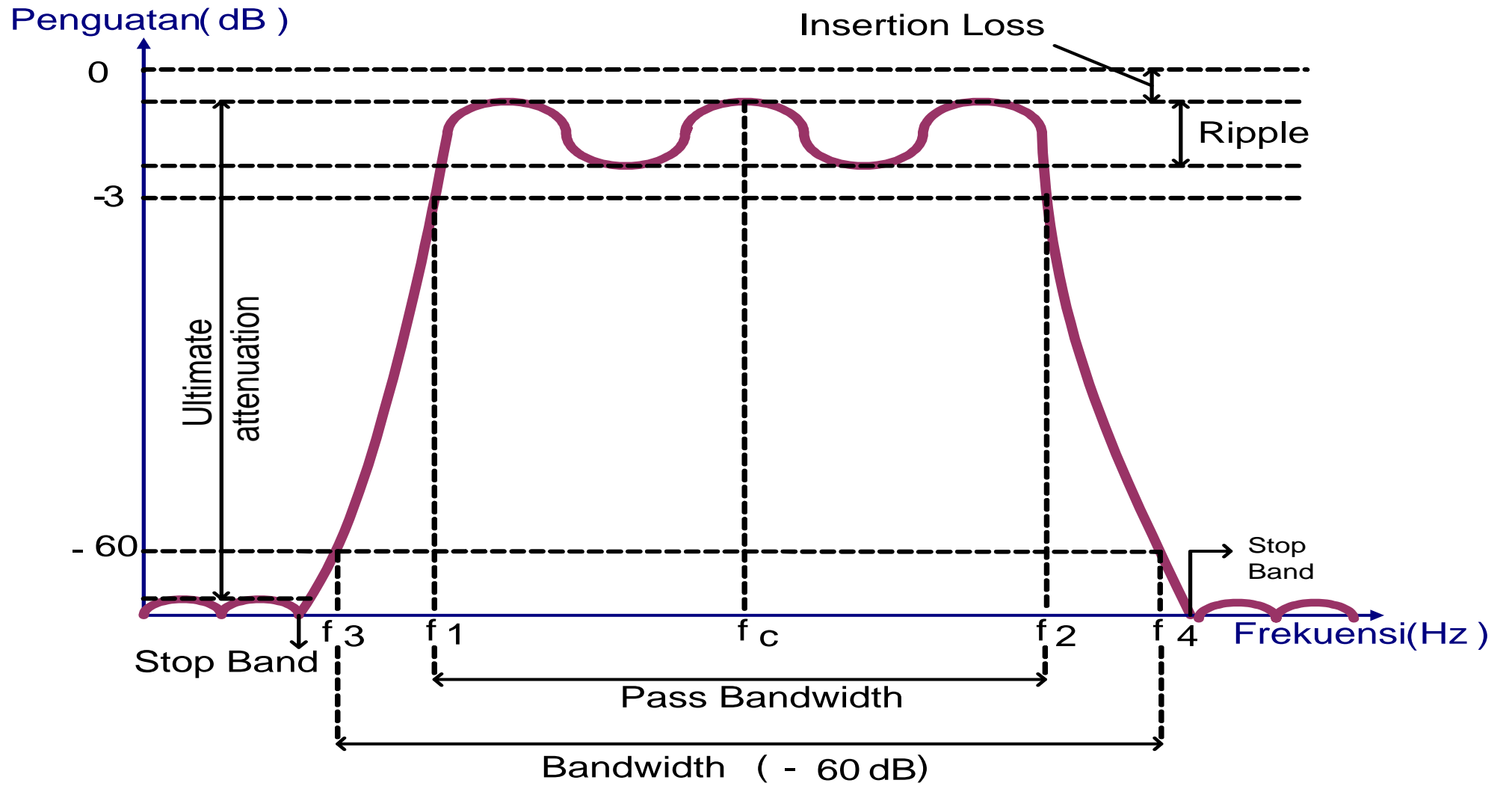
## ❖ Fungsi :

- 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:

- **Resonansi** : kondisi dimana komponen reaktansi dari suatu impedansi berharga nol pada frekuensi tertentu.
- **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.
- **Faktor kualitas (Q)** : parameter untuk mengukur tingkat selektivitas rangkaian.

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

## ❖ Beberapa definisi yang perlu diketahui:

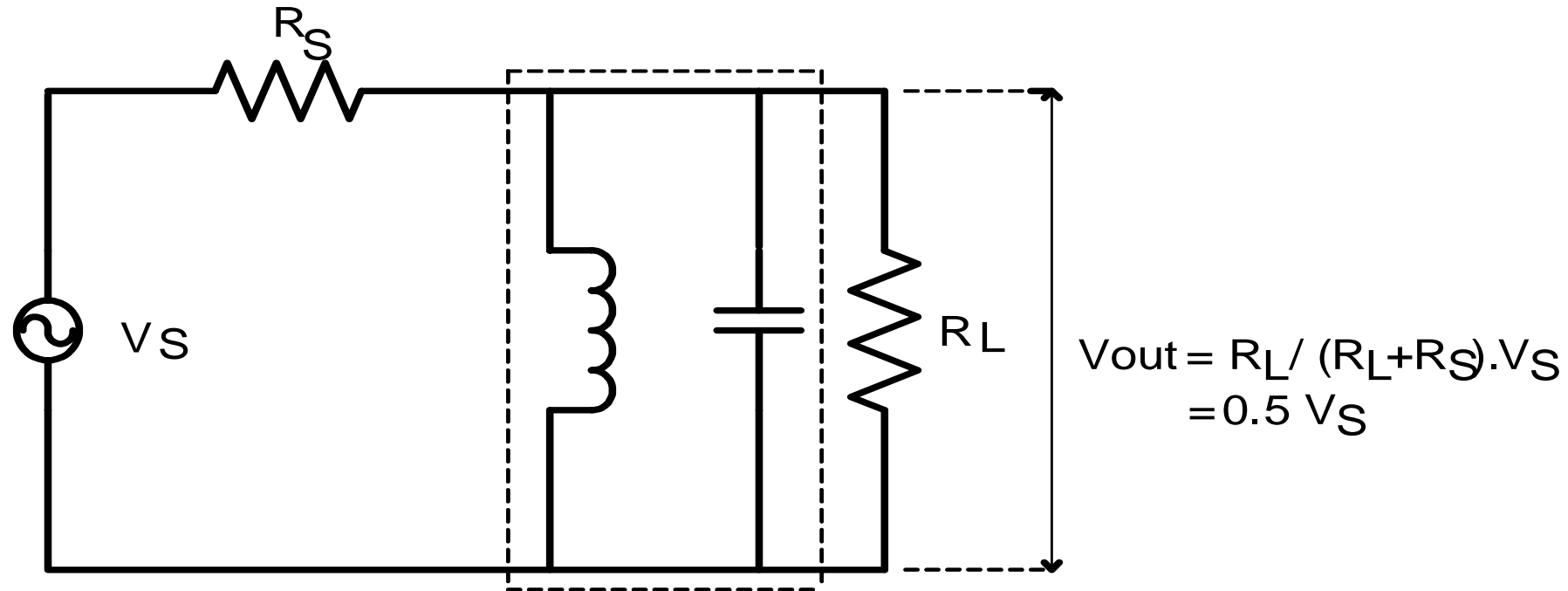
- **Faktor bentuk** ( Shape Factor = SF ) : Perbandingan BW 60dB (redaman besar) terhadap BW 3 dB (redaman kecil ) pada rangkaian resonator (seberapa miring terhadap ideal).

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

- **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:

- **Insertion Loss** : loss yang ditimbulkan oleh pemasangan suatu rangkaian antara sumber tegangan dan suatu beban.



- **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

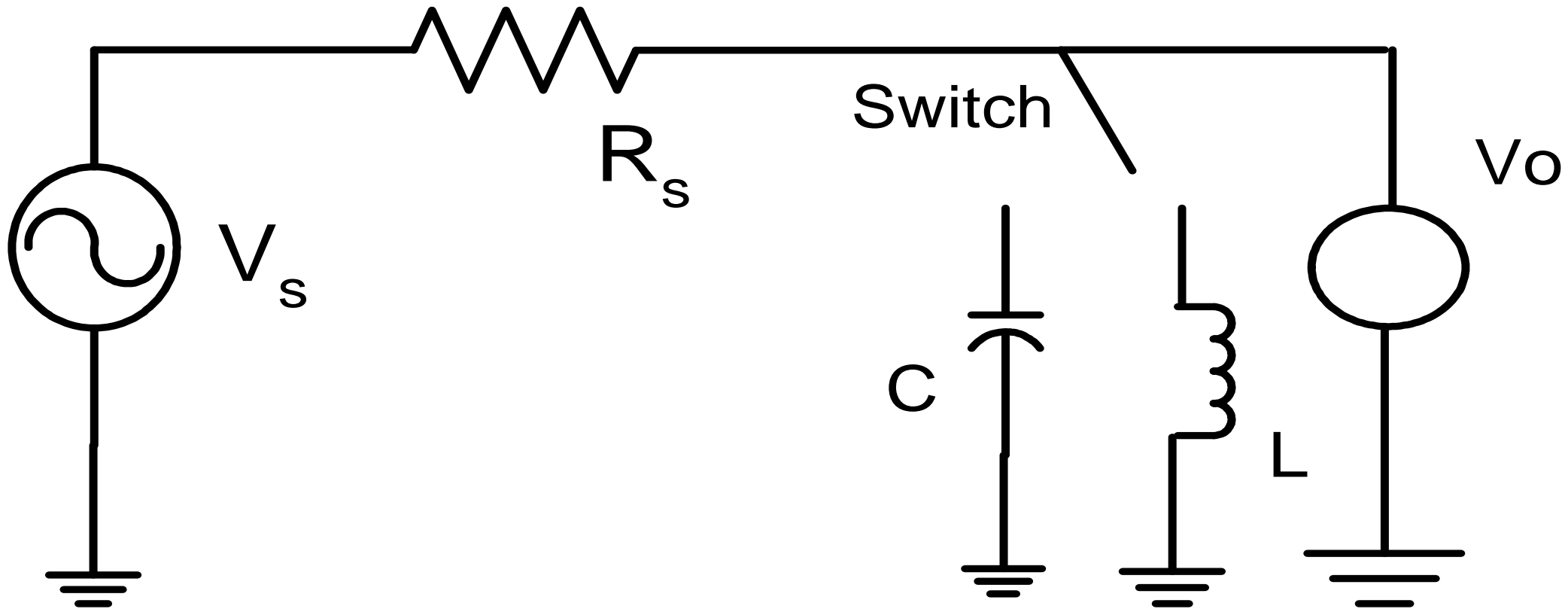


# 1.1 Rangkaian resonator paralel ( Loss less components)

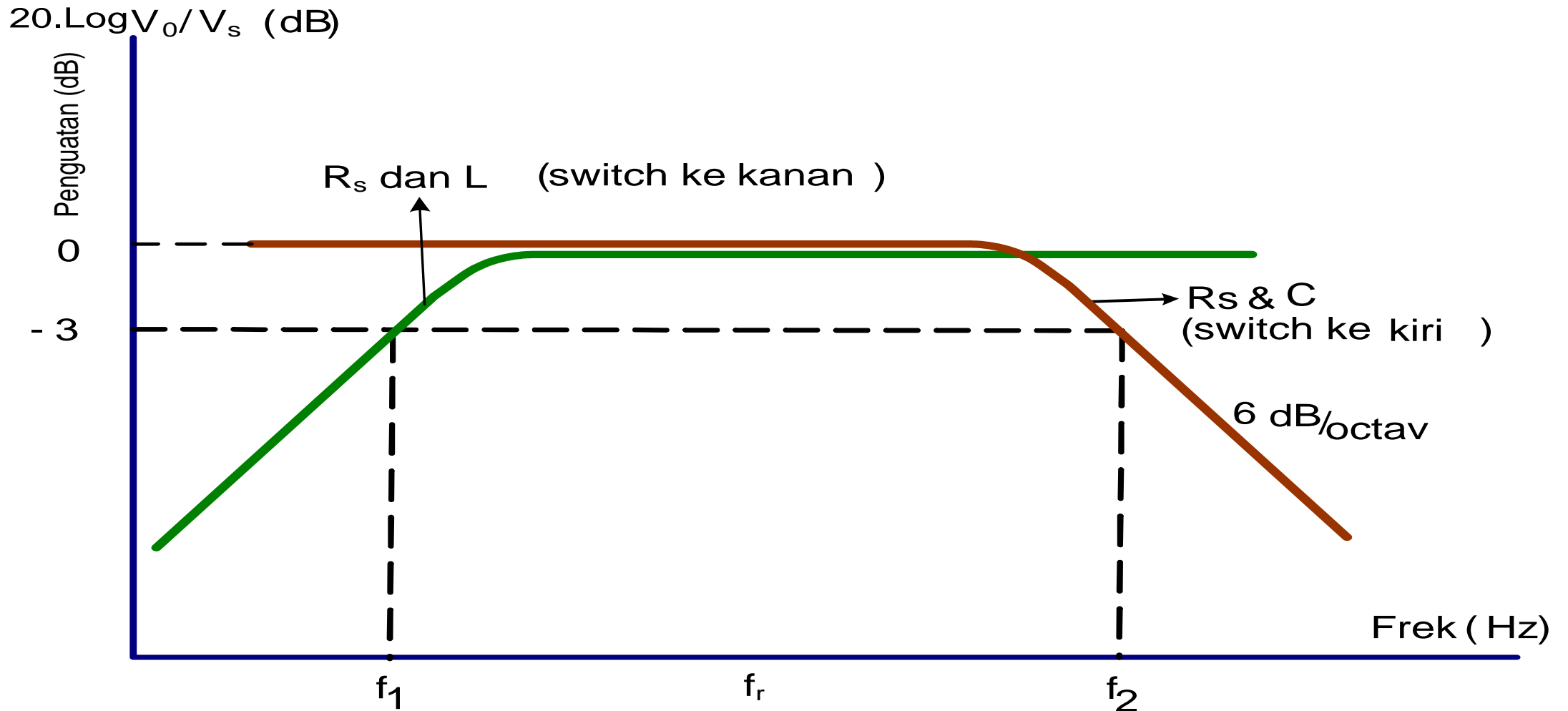
❖ **Rangkaian LC parallel dapat dimodelkan sebagai ideal band pass filter, dimana :**

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

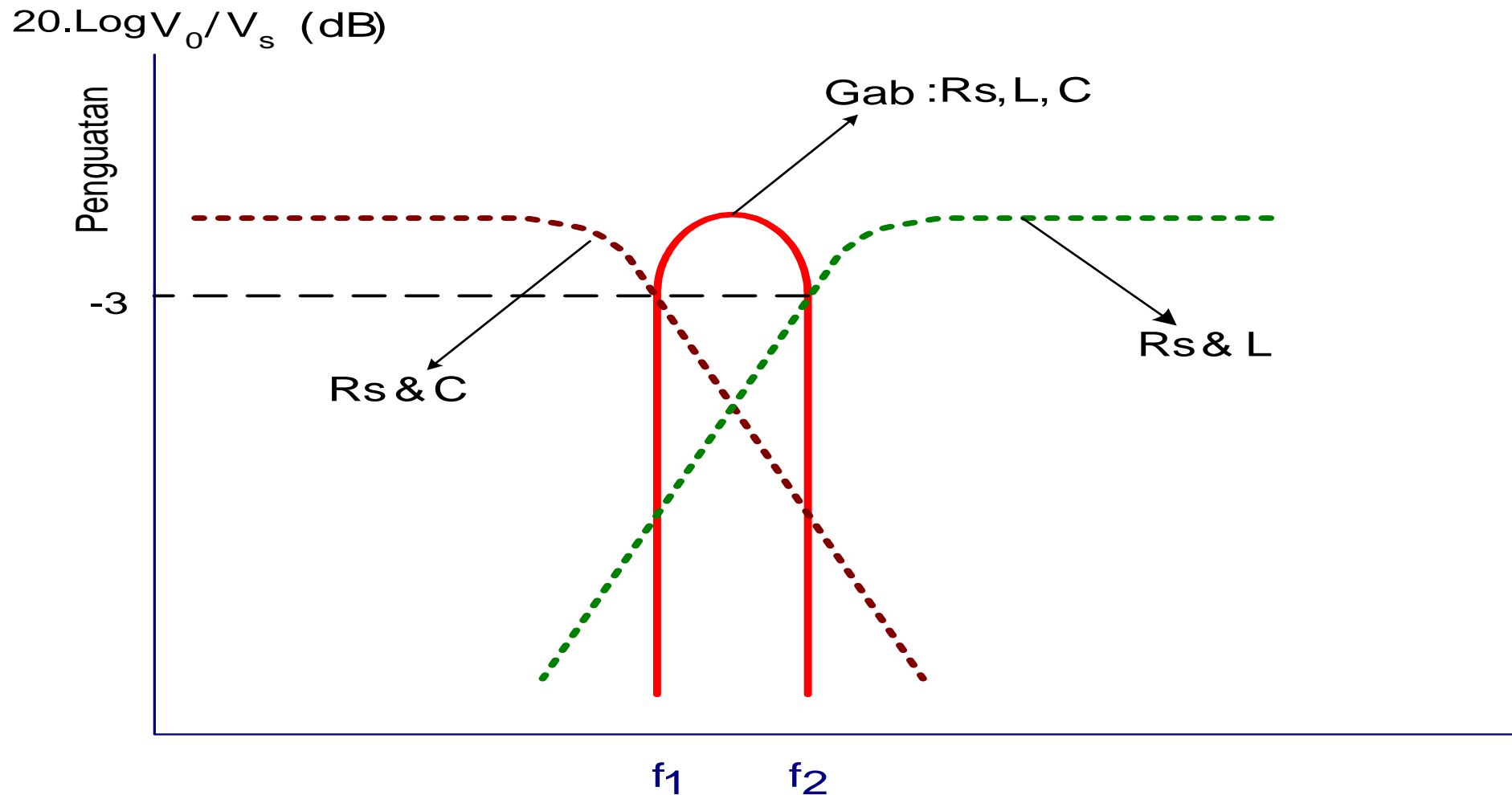
## ❖ Rangkaian Paralel single-pole BPF



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



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

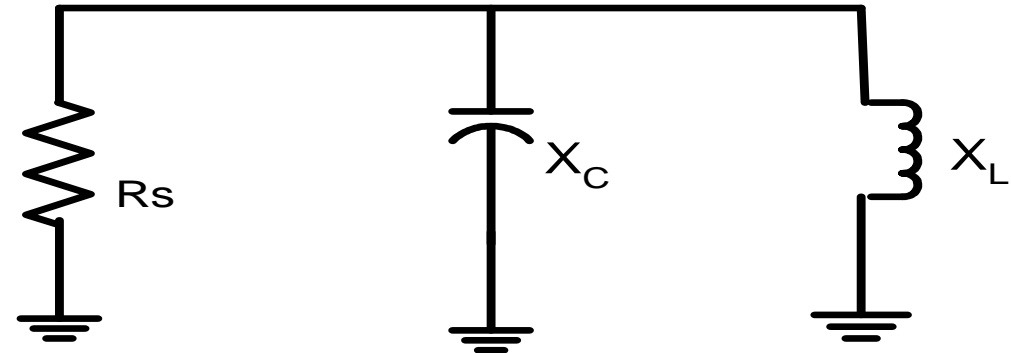


## ❖ Rangkaian resonator jika Vs short

Saat rangkaian resonansi

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

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

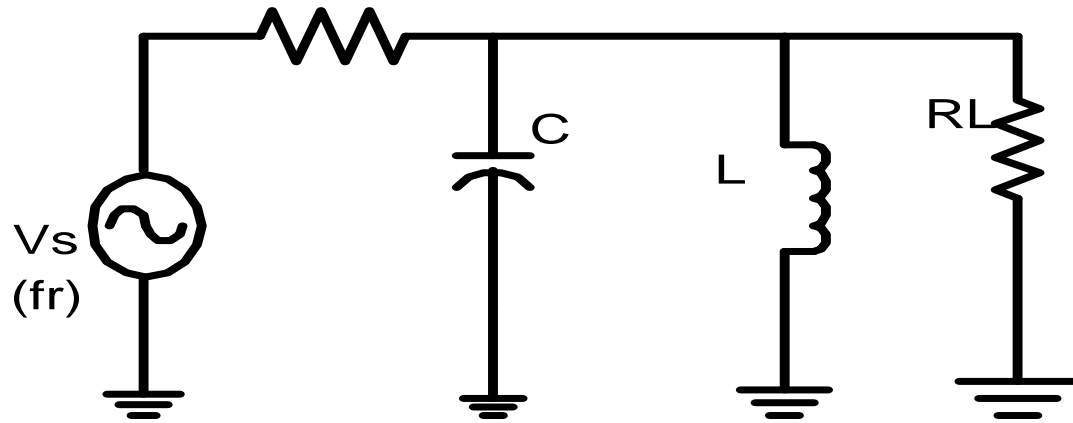


Sehingga  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

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

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

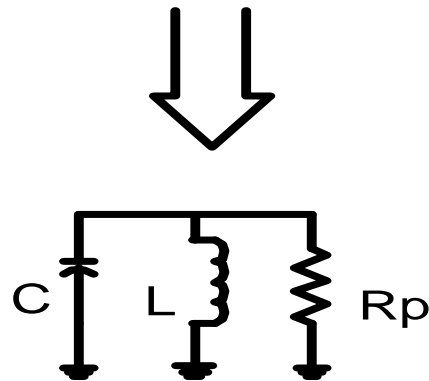
## ❖ Beban RL ( $< \sim$ ), L dan C ideal



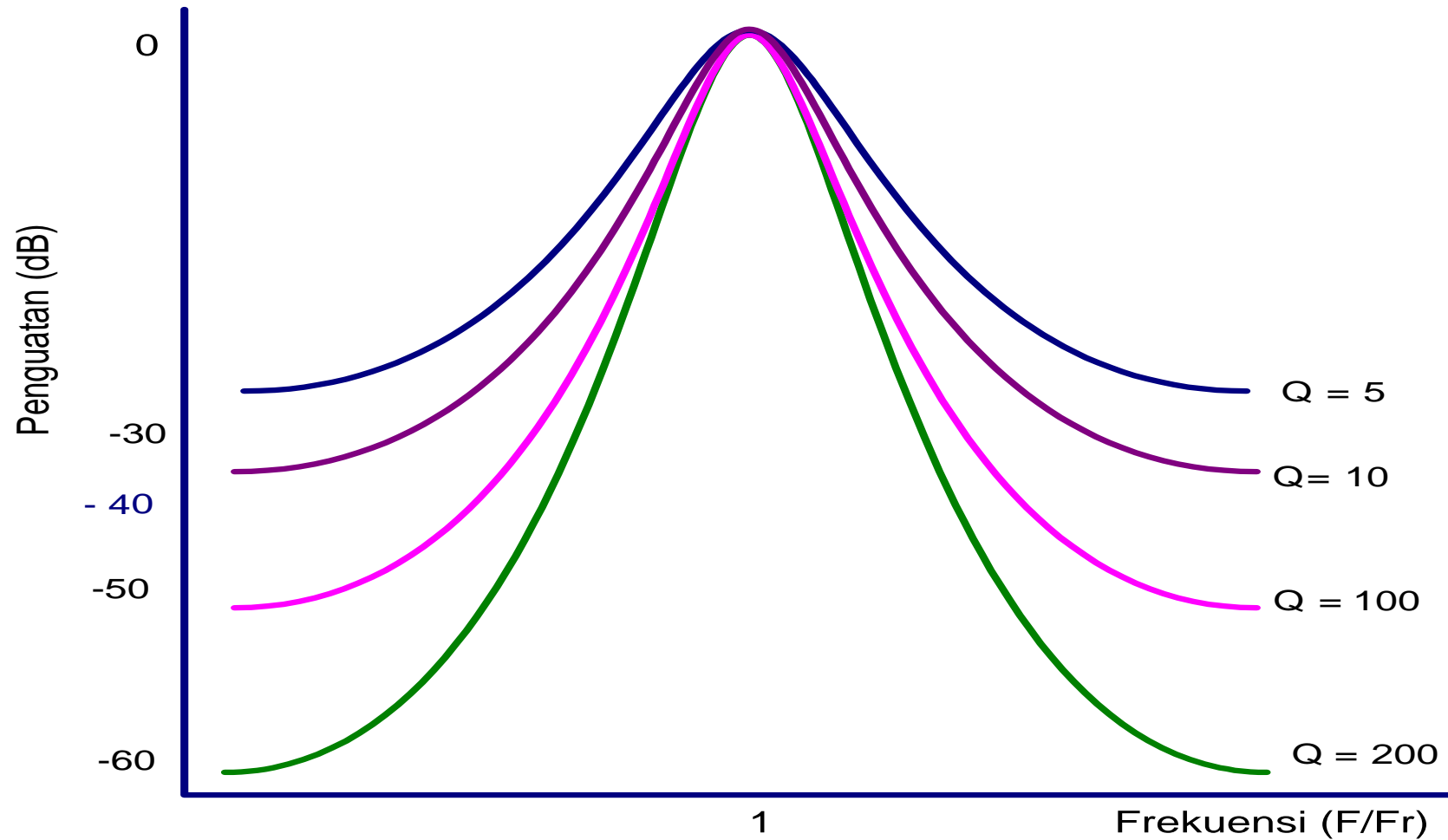
$$R_p = R_s // R_L = \frac{R_s \cdot R_L}{R_s + R_L}$$

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

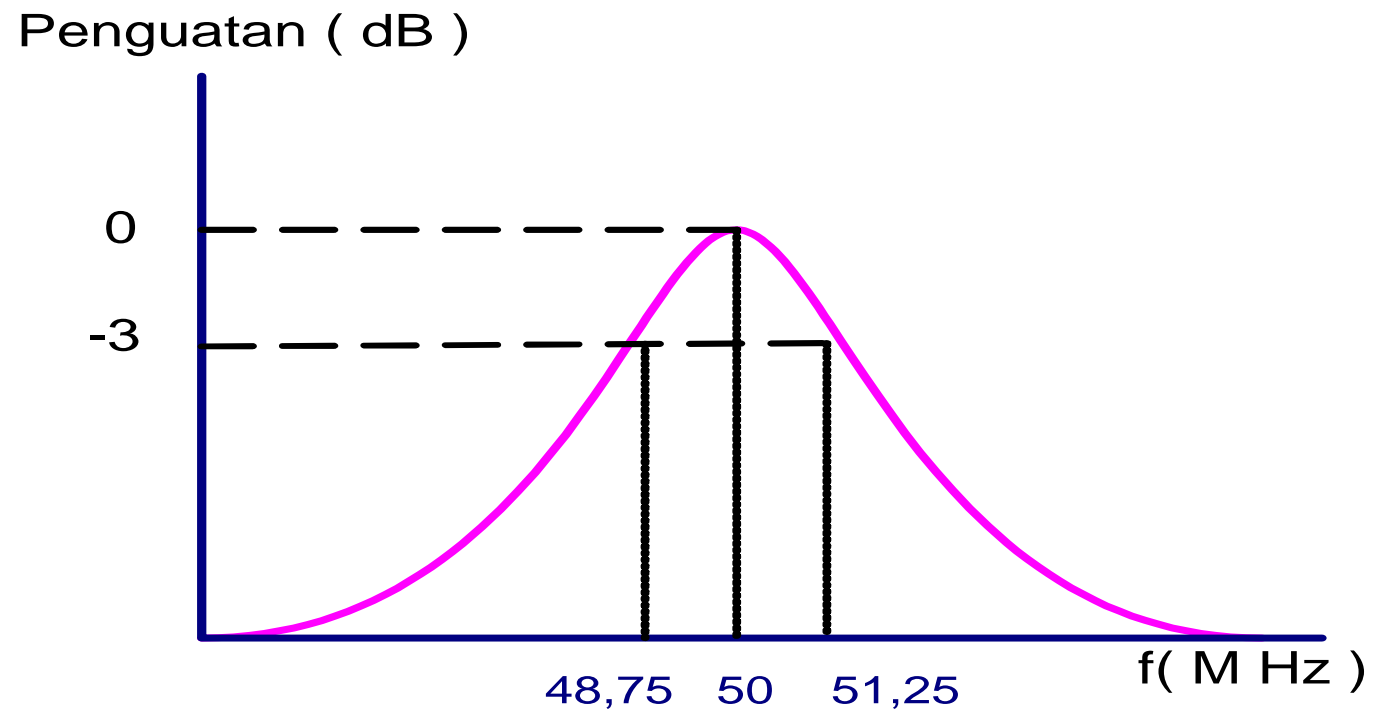
1. Suatu generator dengan  $R_s = 50 \text{ } \Omega$  , C dan L tanpa rugi-rugi .  $C = 25 \text{ pF}$  dan  $L = 0,05 \text{ } \mu\text{H}$  ,  $R_L = \text{open circuit}$ . Tentukanlah nilai :
  - a.  $f_c = \dots?$
  - b.  $Q = \dots?$
  - c.  $B_w \text{ 3dB}..?$
2.
  - a. jika soal no.1 diatas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

## ❖ Contoh soal

3. Rancanglah suatu rangkaian resonator yang mempunyai spesifikasi sbb :



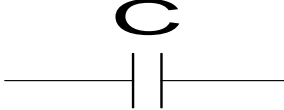

$R_s = 150 \Omega$  ;  $R_L = 1 \text{ k} \Omega$  ; C dan L ideal

Respon sbb :



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

❖ Pengertian dan Model L dan C dengan rugi-rugi :

<p style="text-align: center;"><b>L – Ideal</b></p>  <p style="text-align: center;">Menyimpan <b>seluruh energi</b> dalam Medan Magnet</p>	<p style="text-align: center;"><b>L praktis dengan rugi-rugi</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Ada energi yang</b> dibuang / dilepas berupa panas di resistor</p>
<p style="text-align: center;"><b>C – Ideal</b></p>  <p style="text-align: center;">Menyimpan <b>seluruh energi</b> dalam Medan Listrik</p>	<p style="text-align: center;"><b>C praktis dengan rugi-rugi</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Ada sebagian energi yang dilepas</b> berupa panas di resistor</p>

- ❖ 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 :

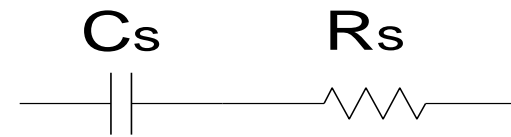
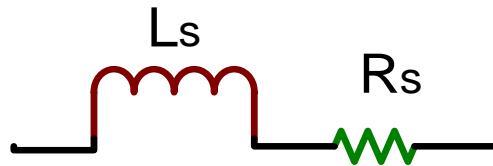
$$R_{\text{seri}} \approx R_s$$

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

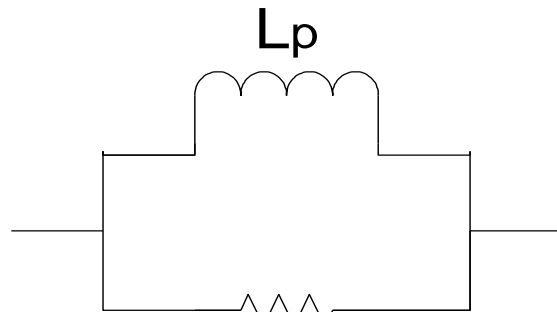
$$Q \cong \frac{X_s}{R_s}$$

$$X_s =$$

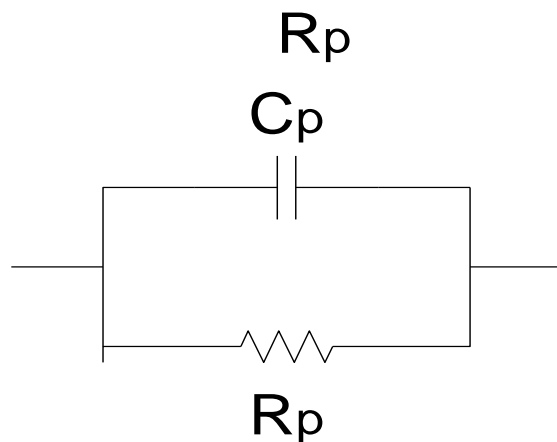
$$\frac{1}{2 \pi f C_s}$$



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



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



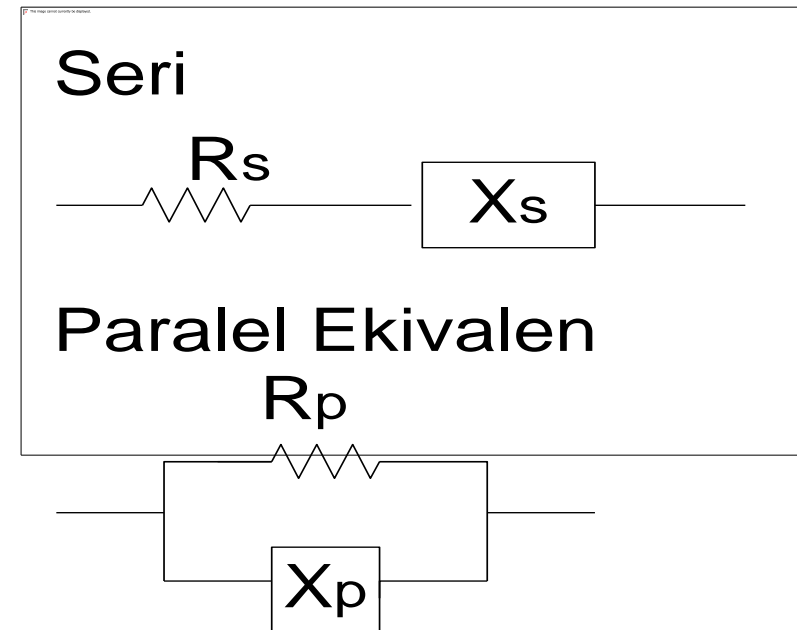
$$X_p = 2\pi f L_p \text{ atau } X_p = \frac{1}{2\pi f C_p}$$

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

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

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

$$Q = Q_s = Q_p$$

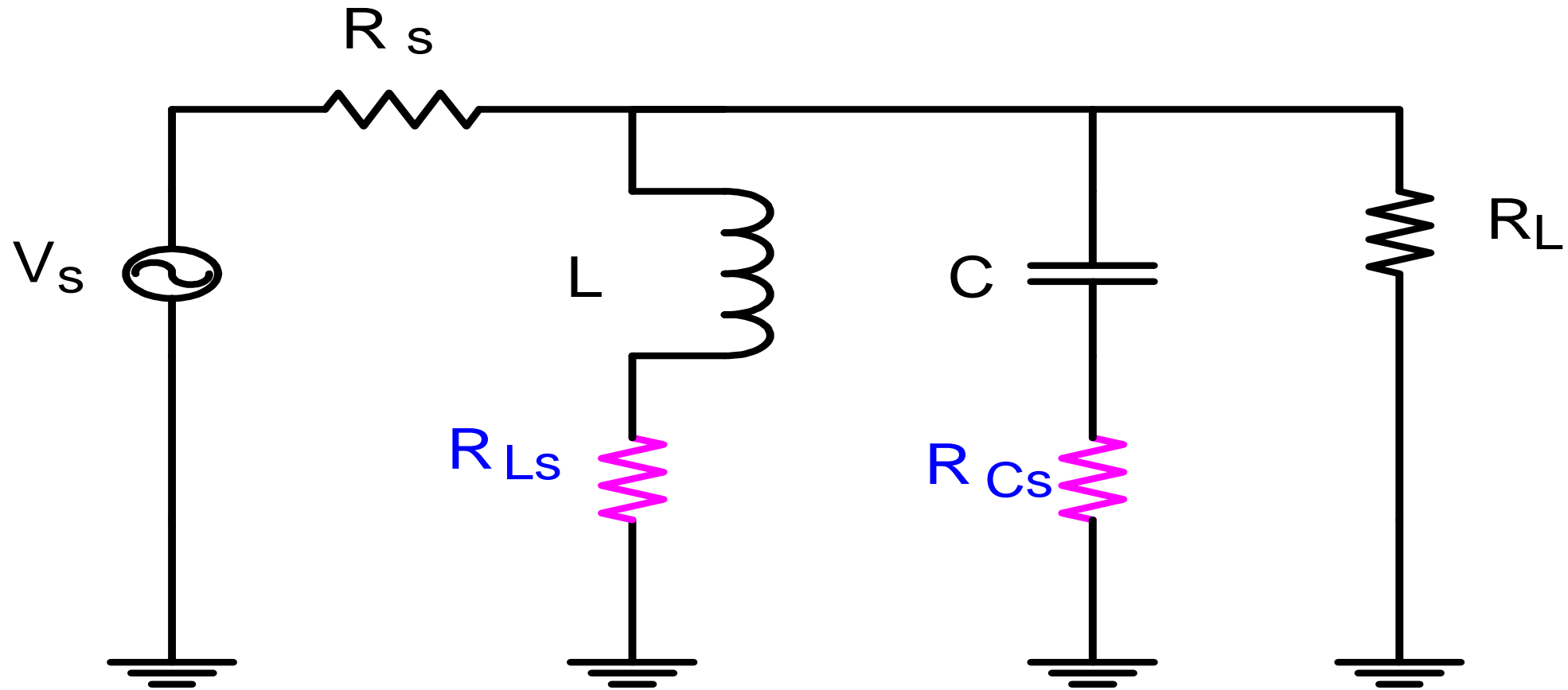


dimana

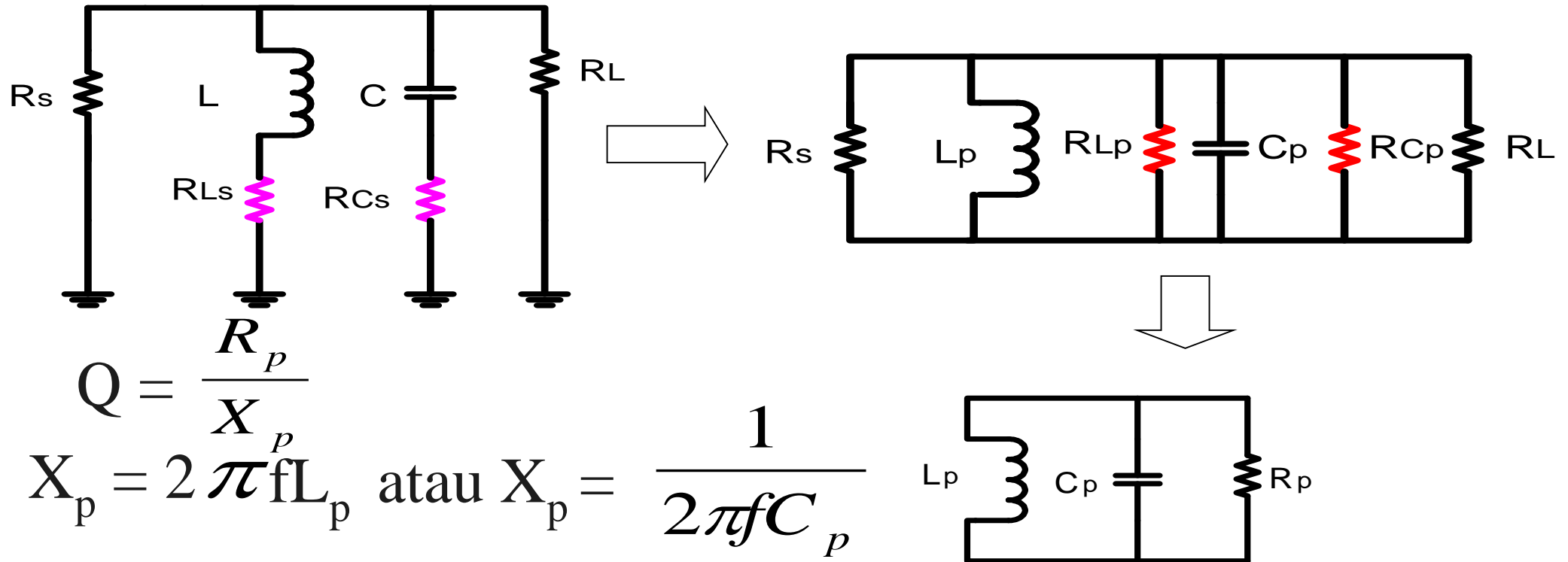
Jika  $Q > 10 \rightarrow R_p \approx Q^2$



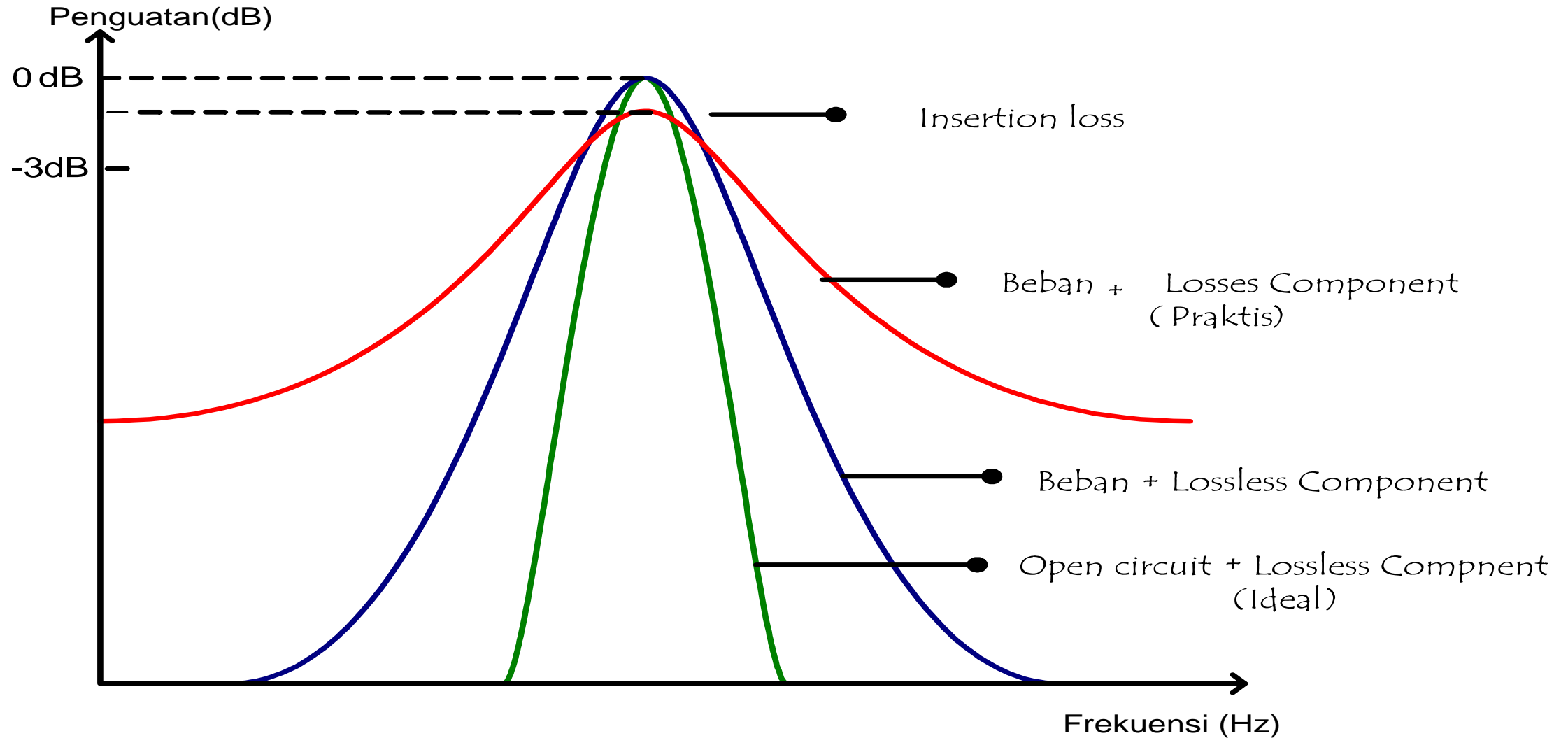
❖ Rangkaian Resonator menggunakan L dan C dengan rugi-rugi



❖ Rangkaian Ekvivalen untuk menentukan Q (Vs short):



# ❖ Perbandingan Respon LC untuk 3 kondisi:



## ❖ Contoh Soal:

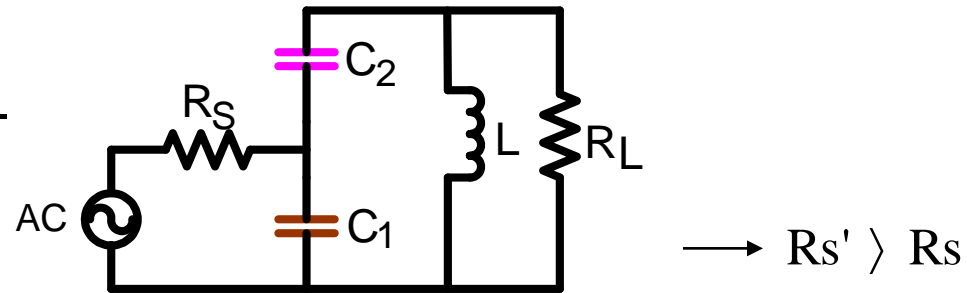
1. Suatu inductor 50 nH dengan hambatan rugi-rugi yang disusun secara **seri** sebesar  $10 \Omega$ . Pada  $f = 100 \text{ MHz}$ . Carilah besarnya L dan R **baru** jika ditransformasikan ke rangkaian ekivalen **Paralelnya** !!
2. Rancanglah rangkaian resonansi sederhana supaya menghasilkan  $BW_{3dB} = 10 \text{ MHz}$  pada frekuensi tengah 100 MHz!! Komponen yang dipakai sebagai berikut:
  - a. Hambatan sumber dan beban masing-masing 1000 Kapasitor yang digunakan Ideal (Lossless C)
  - b. Sedangkan Induktor mempunyai factor  $Q = 85$
- Carilah besarnya “**Insertion Loss**” rangkaian tersebut!!

## 1.3 Transformator Impedansi

Tujuan: Meningkatkan  $Q$  dengan meningkatkan  $R_s$

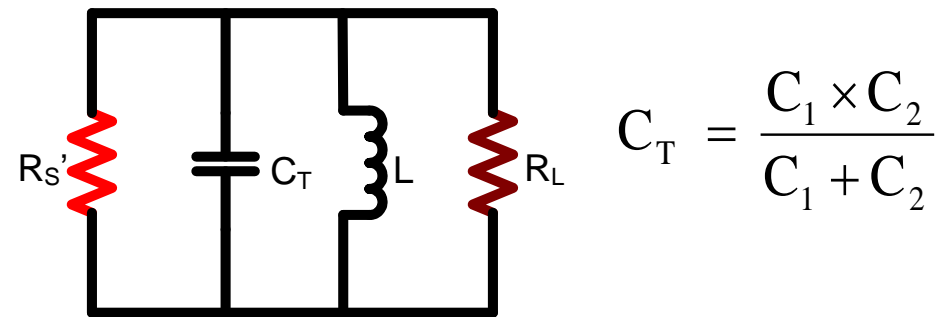
## ❖ TRANSFORMATOR IMPEDANSI

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



- Rangkaian ekuivalen untuk mencari Q

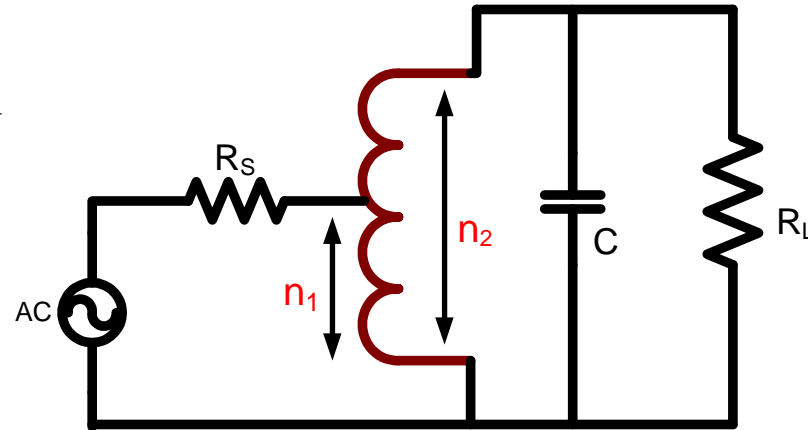
- $R_{s'} = R_L \rightarrow$  transfer daya maximum



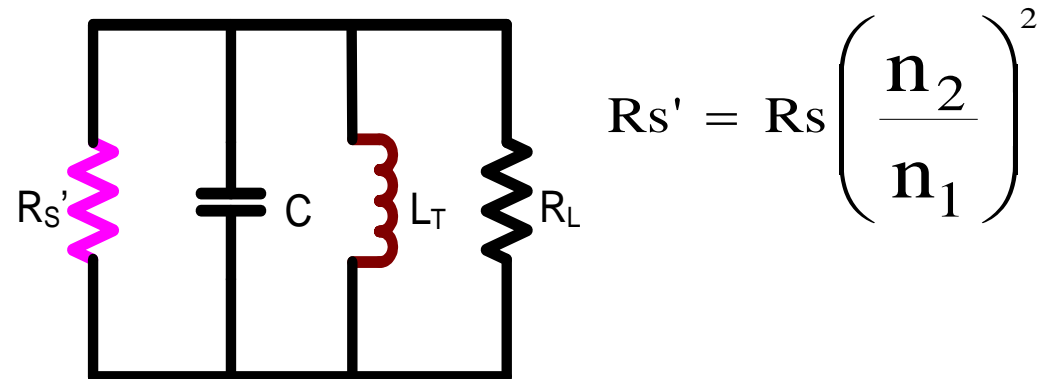
$$R_{s'} = R_s \left( 1 + \frac{C_1}{C_2} \right) \rightarrow Q_L > 10$$

# ❖ TRANSFORMATOR IMPEDANSI

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



➤ Rangkaian ekivalennya



$$R_s' = R_s \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2$$

## ❖ Contoh Soal:

➤ Rancang suatu Resonator dengan spesifikasi sbb:

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

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

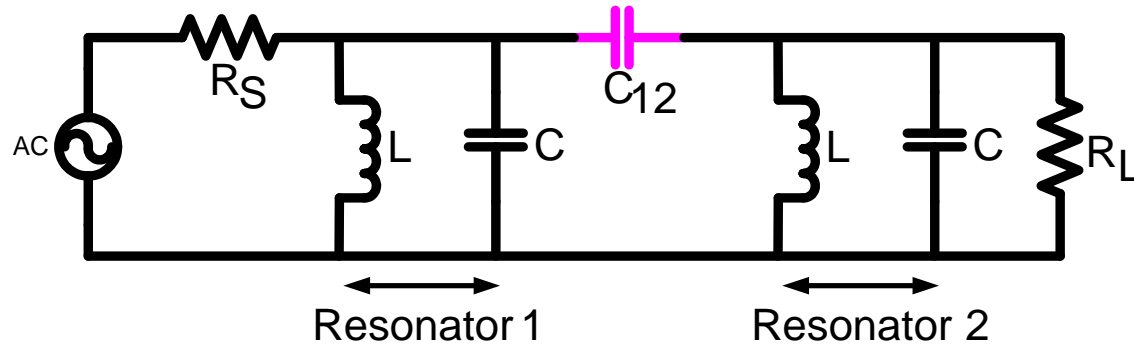
Gunakan rangkaian transformasi impedansi C tapped dengan asumsi  $Q_L = 100$  pada 100 MHz



# 1.4 Rangkaian Resonator paralel ganda

Tujuan: Untuk memperbaiki shape faktor:

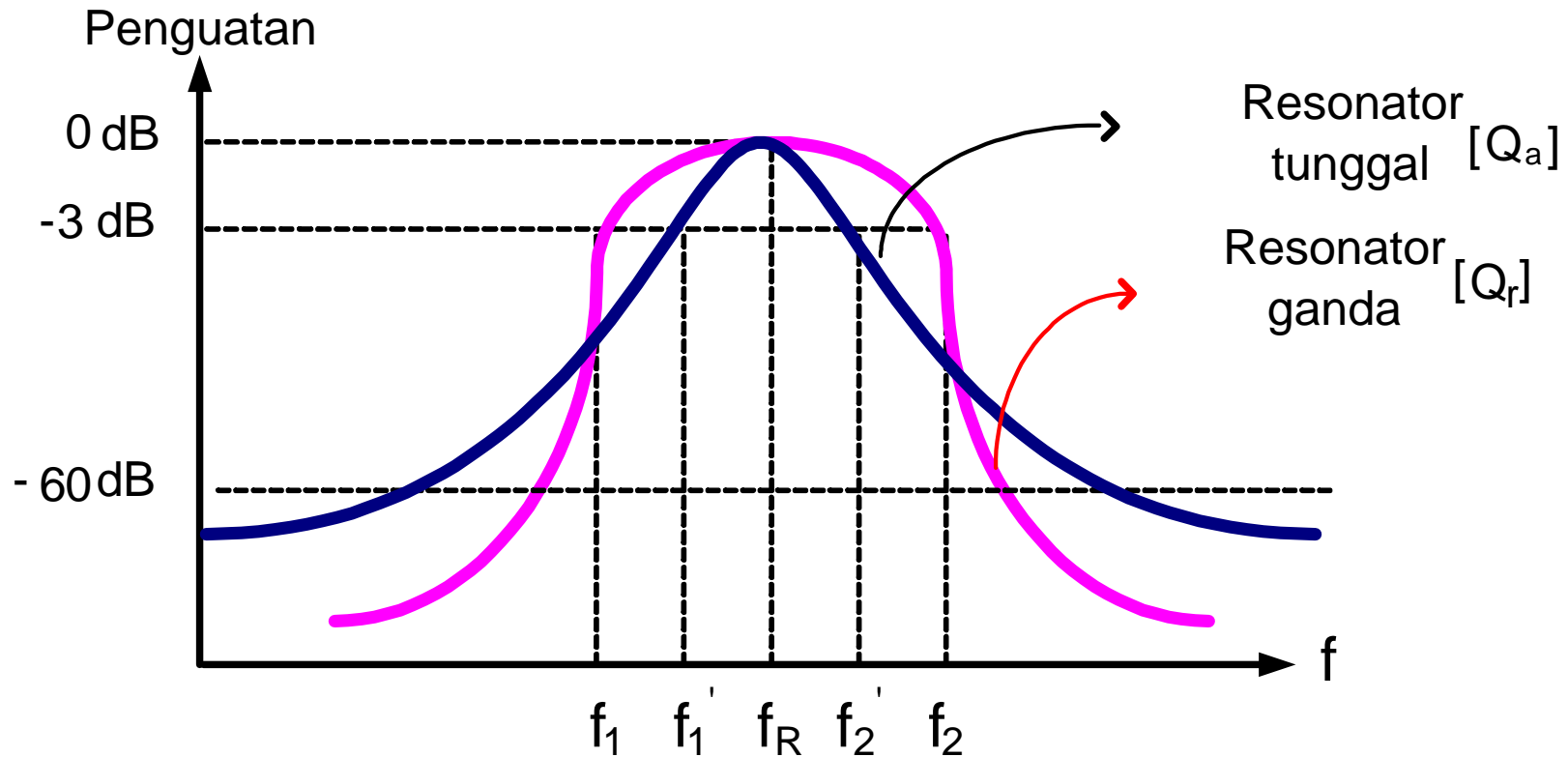
- ❖ Tujuan: Untuk memperbaiki shape faktor:
  - a. Hubungan seri dikopling kapasitor



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

$Q_a$  = faktor kualitas rangkaian single resonator

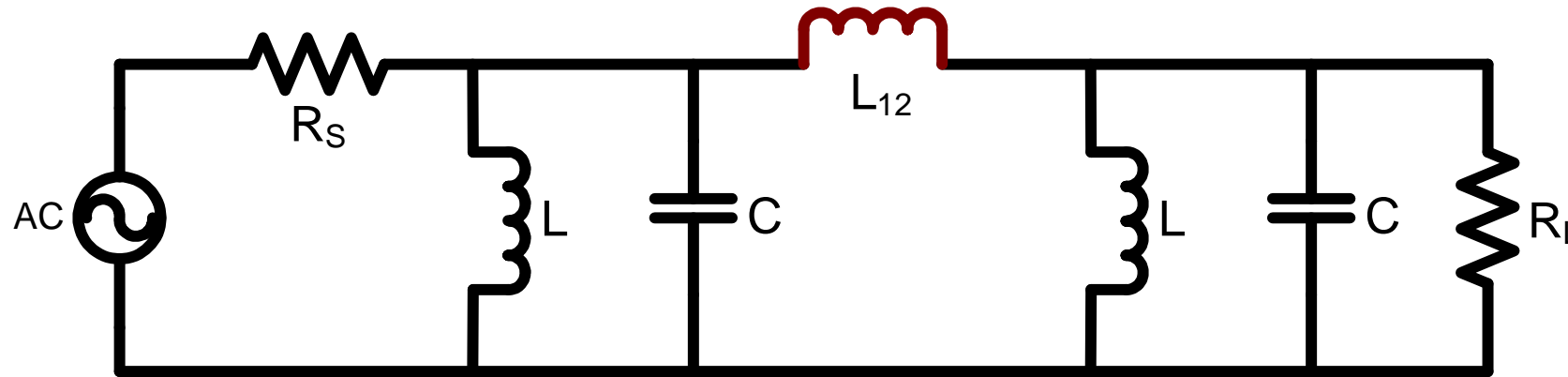
## ❖ Respon ‘Resonator ganda’



Pada kondisi critical coupling

$$Q_r = 0,707 \times Q_a$$

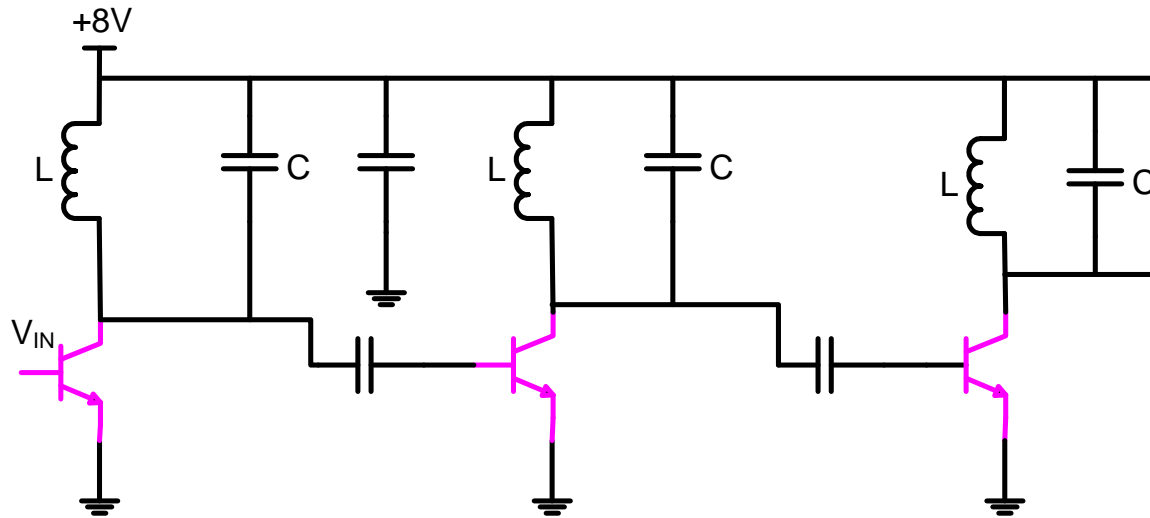
## b. Hubungan seri dikopling Induktor



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

$Q_a$  = faktor kualitas rangkaian single resonator

## ❖ Hubungan seri dikopling aktif



$Q_1$  : faktor kualitas resonator tunggal

$n$  : banyaknya rangkaian resonator kaskade

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

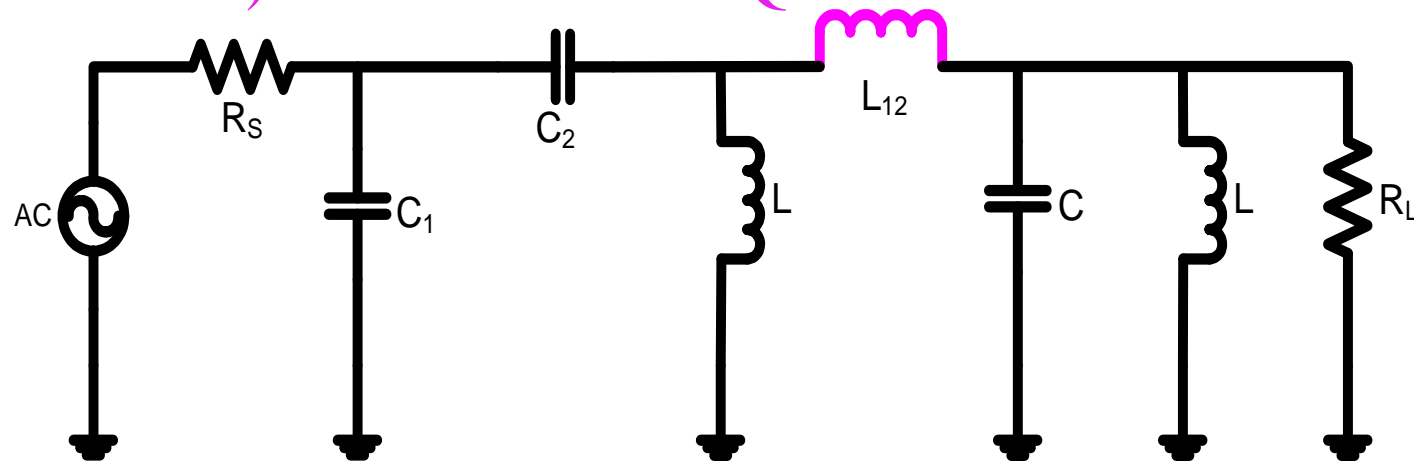
## ❖ Contoh Soal:

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

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

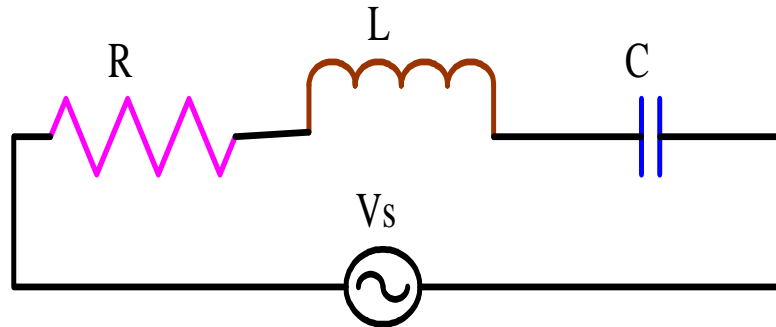
$$R_L = 1000 \text{ ohm} ; \text{Asumsikan } Q_L = 85 \text{ pada } f_c$$

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



# 1.5 Rangkaian Resonator seri

## ❖ Resonansi RLC seri



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

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



- ❖ **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