

Elektronika Telekomunikasi

Modul 2

RANGKAIAN PENYESUAI IMPEDANSI **(Impedance Matching Circuit)**

Prodi D3 Teknik Telekomunikasi

Yuyun Siti Rohmah, MT

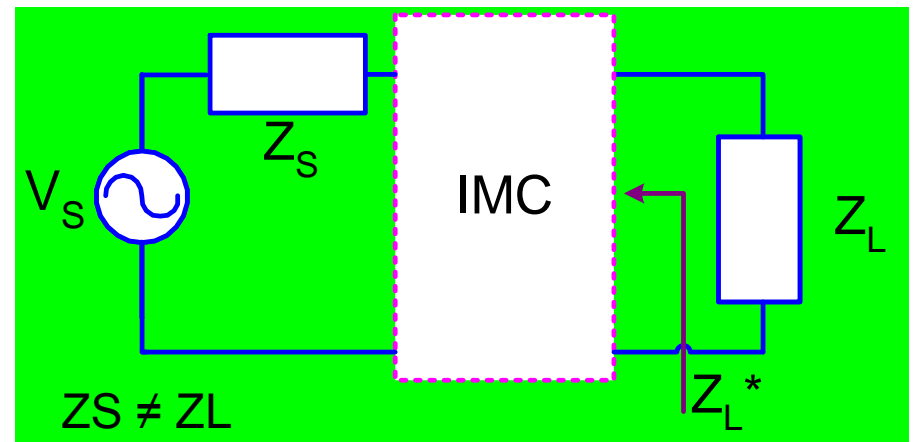
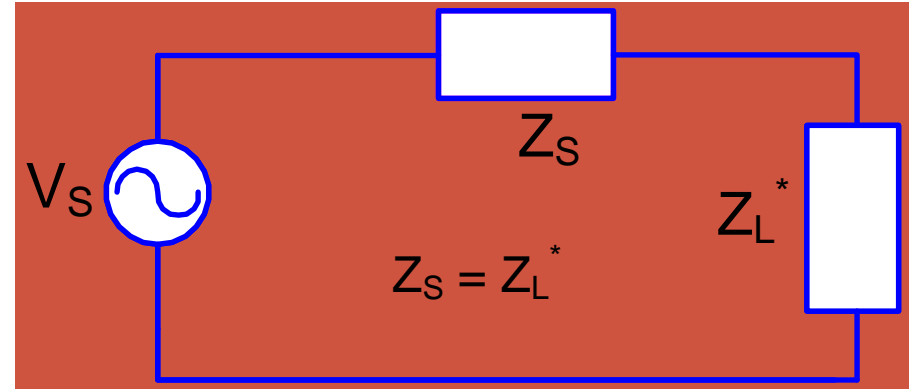
Fungsi :

- Digunakan untuk menghasilkan impedansi yang tampak sama dari impedansi beban maupun impedansi sumber agar terjadi transfer daya maksimum. Penyesuaian impedansi ini hanya dapat diaplikasikan pada rangkaian dengan sumber AC.

Konsep IMC (Impedance Matching Circuits)

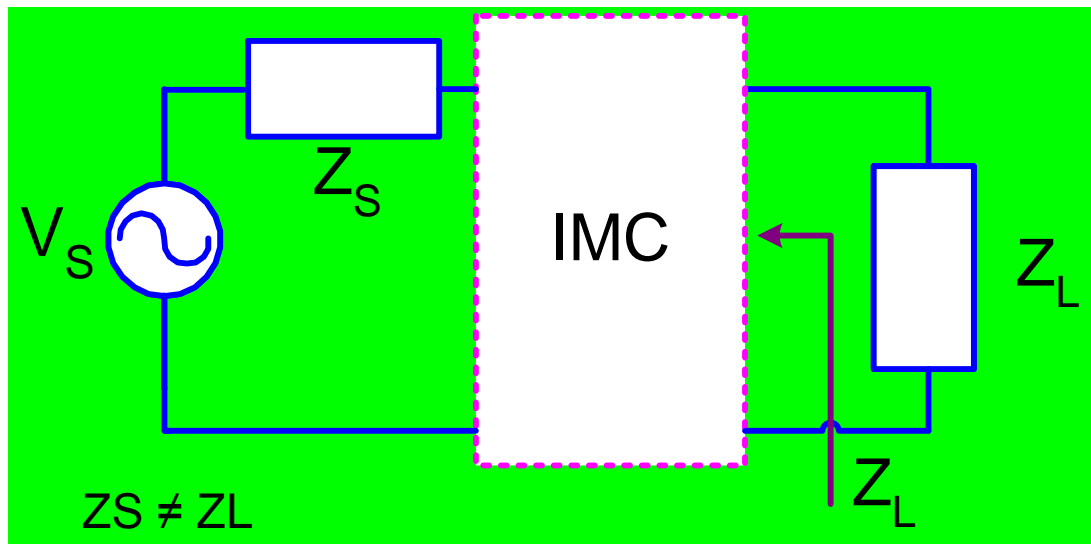
1. Tranfer daya maksimal (konjugate match)

- Daya akan sampai ke Z_L dengan maksimum jika $Z_S = Z_L^*$ atau $Z_L = Z_S^*$
- Dimana : $Z_S = R_S + jX_S$ dan $Z_L = R_L + jX_L$
- Bagaimana jika $Z_S \neq Z_L^*$?
- Maka tidak akan terjadi transfer daya maksimum, sehingga diperlukan rangkaian penyesuai impedansi (Impedance Matching Circuit = IMC).



Konsep IMC (Impedance Matching Circuits)

2. Koefisien pantul $\Gamma=0$, $Z_L = Z_S$



- Sinyal akan sampai ke Z_L tanpa cacat akibat pantulan, jika $Z_S = Z_L$
- IMC disini berfungsi membuat supaya $\Gamma=0$.
- Dalam pembahasan pada bab ini, yang lebih banyak kita diskusikan IMC yang bertujuan agar terjadi transfer daya maksimal (konjugate match)

Berdasarkan bentuk rangkaian dan jumlah elemennya, penyesuai impedansi ini dibagi menjadi 3 :

1. **Penyesuai impedansi bentuk L (2 elemen)**
2. **Penyesuai Impedansi bentuk T atau Π (3 elemen)**
3. **Penyesuai Impedansi multi-elemen (wideband, Low-Q)**

Diselesaikan dengan :

- **Perhitungan matematis**
- **Dengan bantuan Smith Chart**

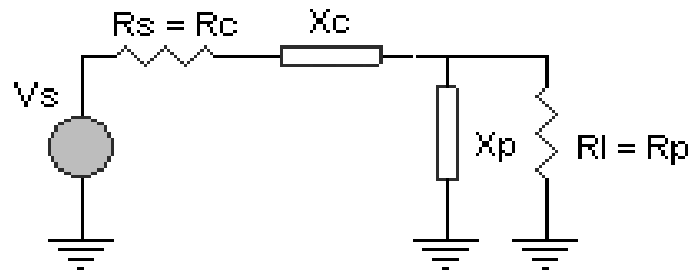
1. Penyesuai impedansi bentuk L

- Penyesuai impedansi ini merupakan bentuk penyesuai yang paling sederhana
- Merupakan dasar dari penyesuai impedansi bentuk T dan bentuk Π

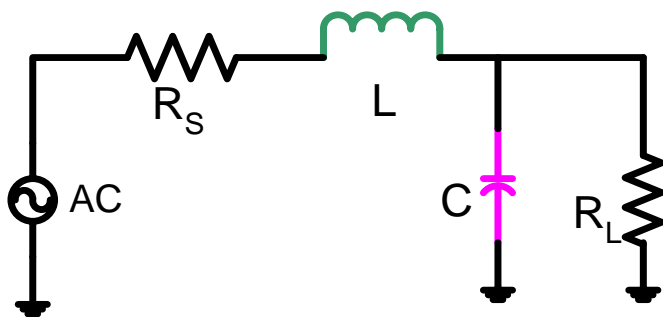
Penyesuai impedansi bentuk L (cont')

a. Impedansi hanya komponen resistif

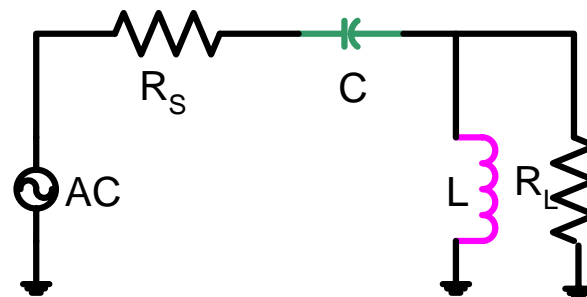
- Bila $R_s < R_p$, maka IMC L kanan



Ada 2 kemungkinan konfigurasi:



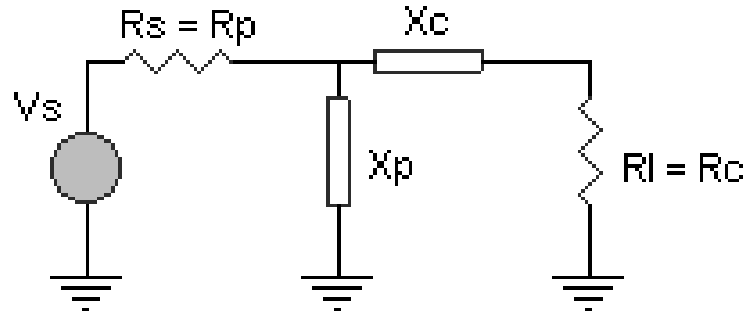
i. Bersifat Low-pass



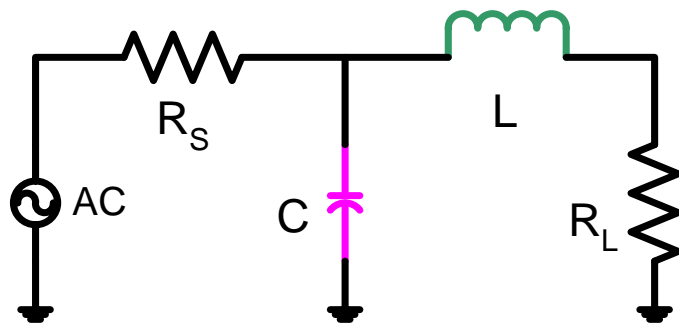
ii. Bersifat high-pass

Penyesuai impedansi bentuk L (cont')

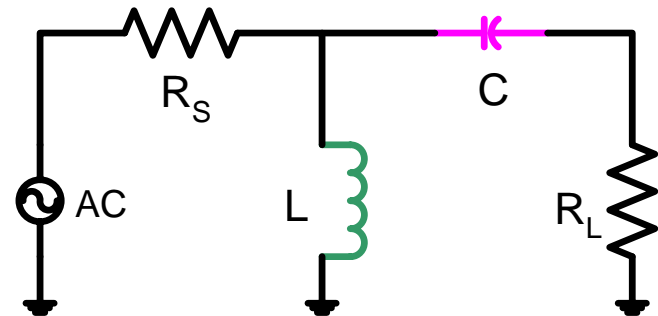
➤ $R_s > R_l$, maka IMC L kiri



Ada 2 kemungkinan konfigurasi:



i. Bersifat Low-pass



ii. Bersifat high-pass

Penyesuai impedansi bentuk L (cont')

➤ Rumus yang dipakai :

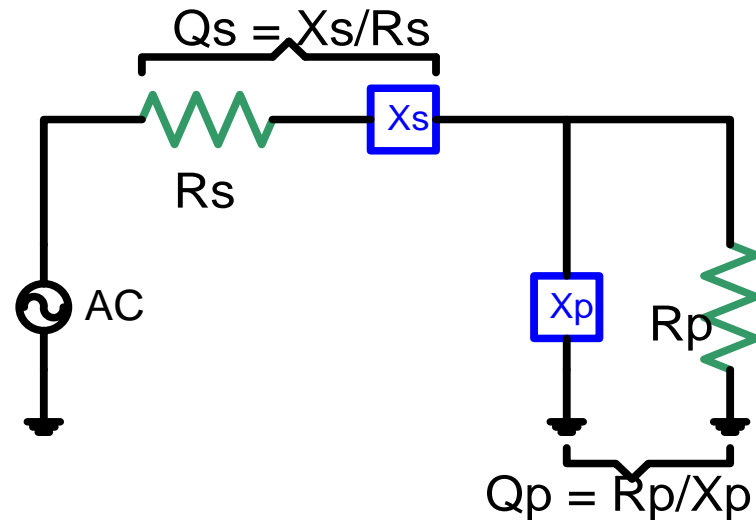
$$Q_S = Q_P = \sqrt{\frac{R_P}{R_S} - 1}$$

$$Q_S = \frac{X_S}{R_S}$$

$$Q_P = \frac{R_P}{X_P}$$

• **Keterangan :**

- Q_S = Faktor kualitas seri
- X_S = Reaktansi Seri = X_C
- X_P = Reaktansi Pararel
- Q_P = Faktor kualitas paralel
- R_P = Resistansi paralel (Resistansi yang lebih besar R_{sumber} atau R_L)
- R_S = Resistansi seri = R_C (Resistansi yang lebih kecil R_{sumber} atau R_L)

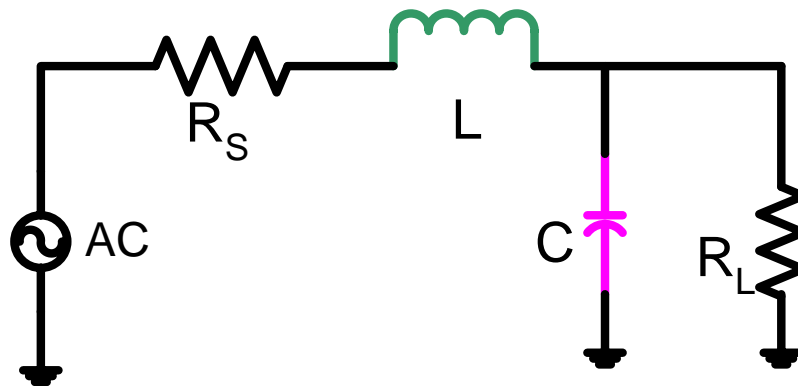


Penyesuai impedansi bentuk L (cont')

- Contoh soal: *(Example 4.1, RF Circuit Design)*

Rancang suatu IMC bentuk “L” yang menyepadankan $R_s = 100\Omega$ dan $R_L = 1K\Omega$ pada $f = 100\text{MHz}$, dengan sifat meloloskan sinyal DC.

Penyelesaian: meloloskan sinyal DC berarti bersifat LPF, $R_s < R_L$, maka rangkaian pengganti yang dipilih Gbr yang sesuai, yaitu:



Penyelesaian: (lanjutan)

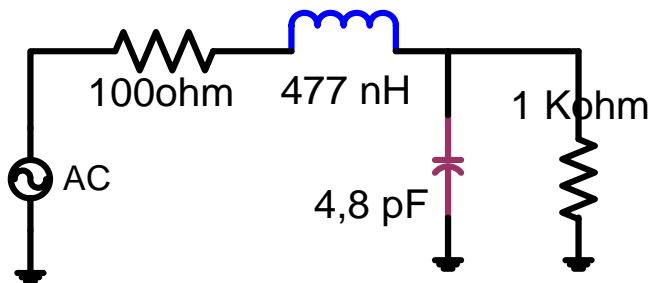
$$Q_S = Q_P = \sqrt{\frac{R_P}{R_S} - 1} = \sqrt{\frac{1000}{100} - 1} = \sqrt{9} = 3$$

$$Q_S = \frac{X_S}{R_S} \quad \text{sehingga} \quad X_S = Q_S \times R_S = 3 \times 100 = 300 \Omega$$

$$X_S = X_L = 2 \pi f L \quad \text{sehingga} \quad L = \frac{X_L}{2 \pi f} = \frac{300}{2 \pi 10^8} = 4.77 \times 10^{-7} \text{ H} = 477 \text{ nH}$$

$$Q_P = \frac{R_P}{X_P} \quad \text{sehingga} \quad X_P = \frac{R_P}{Q_P} = \frac{1000}{3} = 333,3 \Omega$$

$$X_P = X_C = \frac{1}{2 \pi f C} \quad \text{sehingga} \quad C = \frac{1}{2 \pi f X_C} = \frac{1}{2 \pi 10^8 \cdot 333,3} = 4,8 \text{ pF}$$



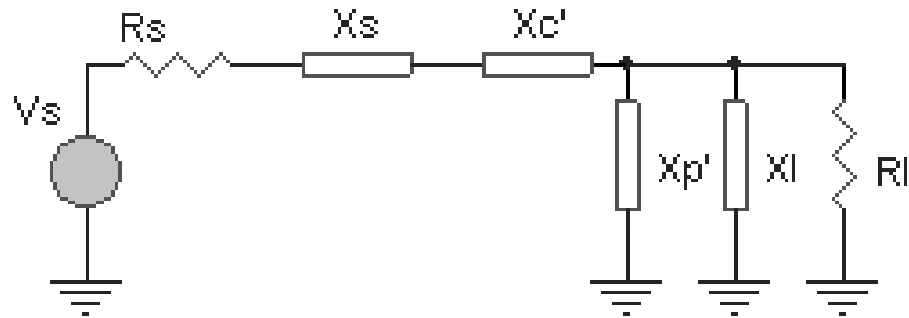
Penyesuai impedansi bentuk L(cont')

b. Bila impedansi sumber atau beban bilangan kompleks:

- Terdapat 2 prinsip dasar yaitu **absorpsi** dan **resonansi**
- Dasar perhitungan masih menggunakan sumber atau beban bilangan riil (resistif saja).

Penyesuai impedansi bentuk L(cont')

➤ Absorbsi :



langkah-langkah :

1. Anggap impedansi beban dan impedansi sumber hanya komponen resistif.
2. Hitung $X_{c\text{-total}}$ (atau $X_{\text{seri total}}$) dan $X_{p\text{-total}}$
3. Lakukan absorpsi sehingga:

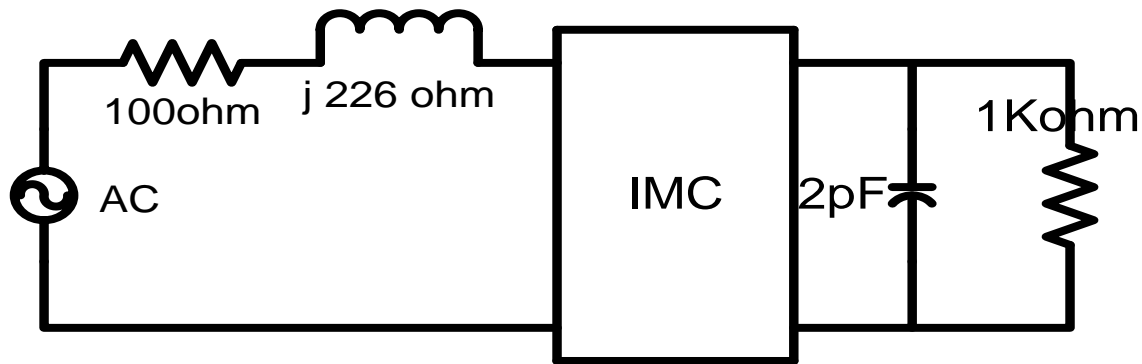
$$j(X_S + X_{C'}) = jX_{\text{seri total}} \text{ (untuk komponen induktif)}$$

$$j(X_L // X_{P'}) = jX_{\text{paralel total}} \text{ (untuk komponen kapasitif)}$$

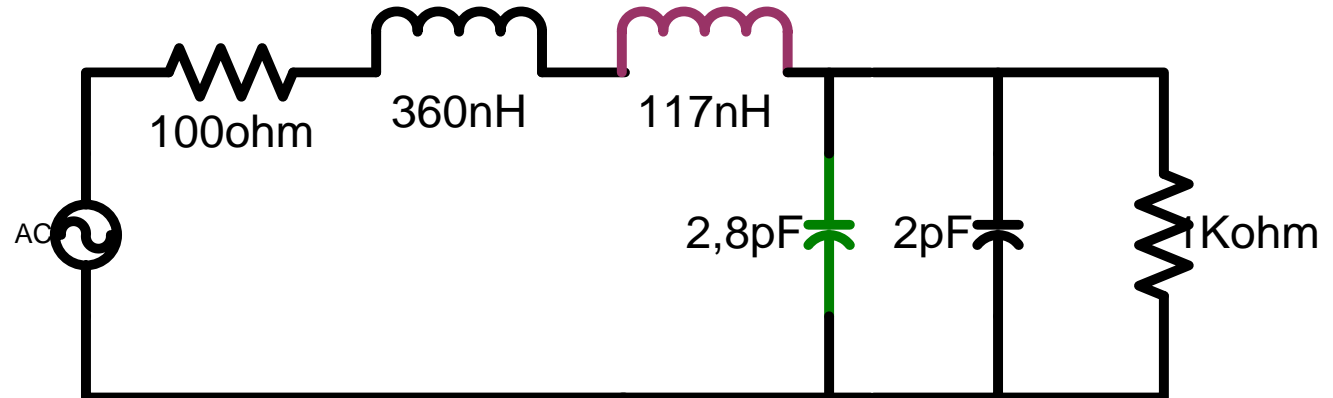
$X_{C'}$ dan $X_{P'}$ adalah hasil yang kita hitung!

Contoh:

- Dengan menggunakan metode absorpsi, rancanglah IMC bentuk “L” pada 100MHz dengan sifat meloloskan sinyal DC pada rangkaian berikut:

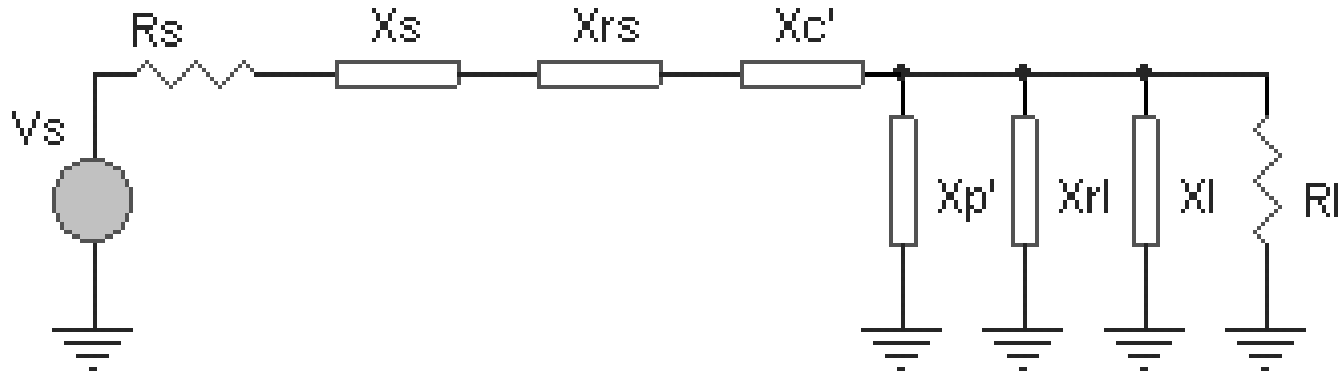


- Solusi:



Penyesuai impedansi bentuk L (cont')

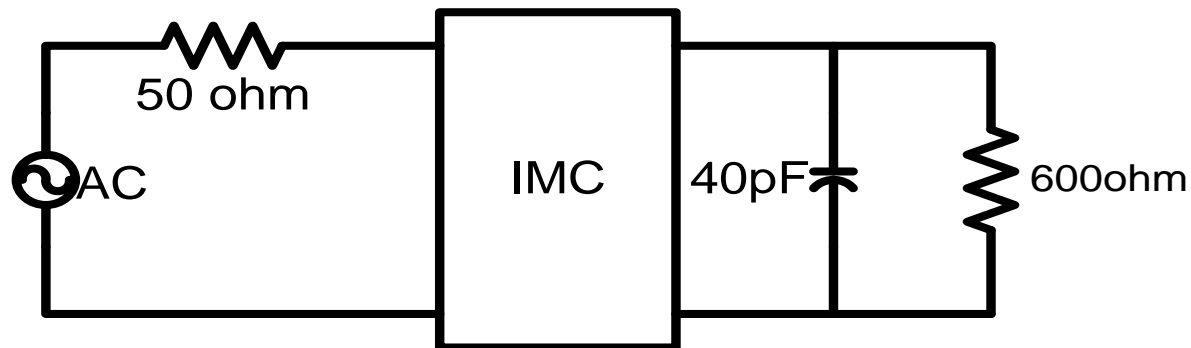
➤ Resonansi :



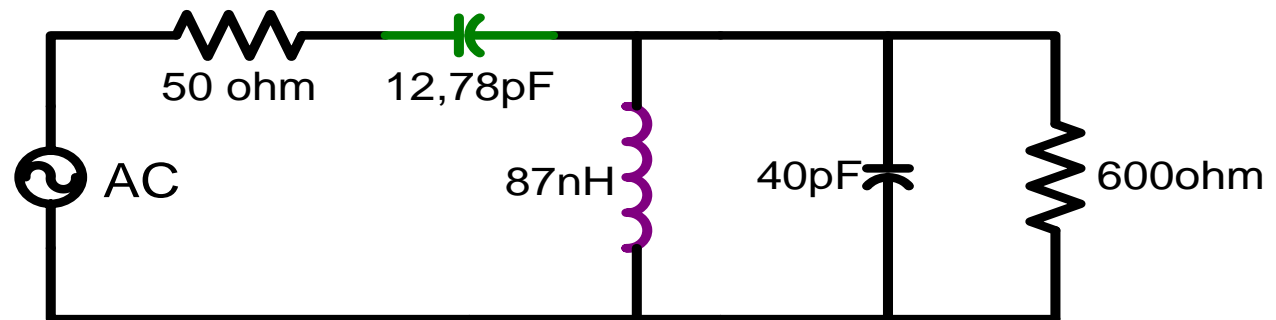
1. Hitung harga X_{rl} dan X_{rs} agar pada beban dan sumber terjadi resonansi (**menghilangkan komponen imajiner pada beban dan sumber**).
2. Setelah terjadi resonansi pada beban dan sumber, hitung $X_{p'}$ dan $X_{c'}$. (gunakan: impedansi beban = R_l dan impedansi sumber = R_s)
3. Hitung **$X_{c'}$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

Contoh:

- Rancanglah suatu IMC yang dapat memblock sinyal DC antara beban-sumber rangkaian dibawah ini, pada frekuensi operasi 75 MHz. Gunakan metode resonansi.

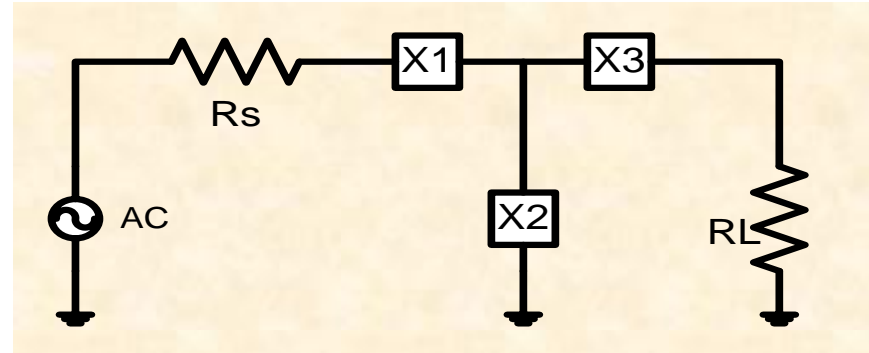


- Solusi:

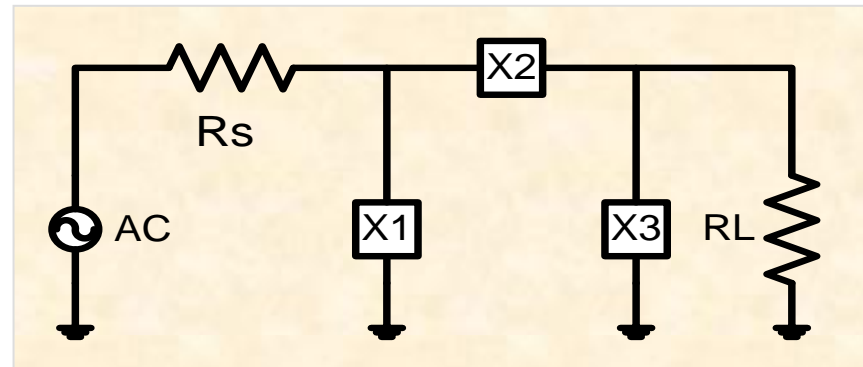


2. Penyesuai Impendansi 3 Elemen: (sumber dan beban resistif)

- **Bentuk T:**

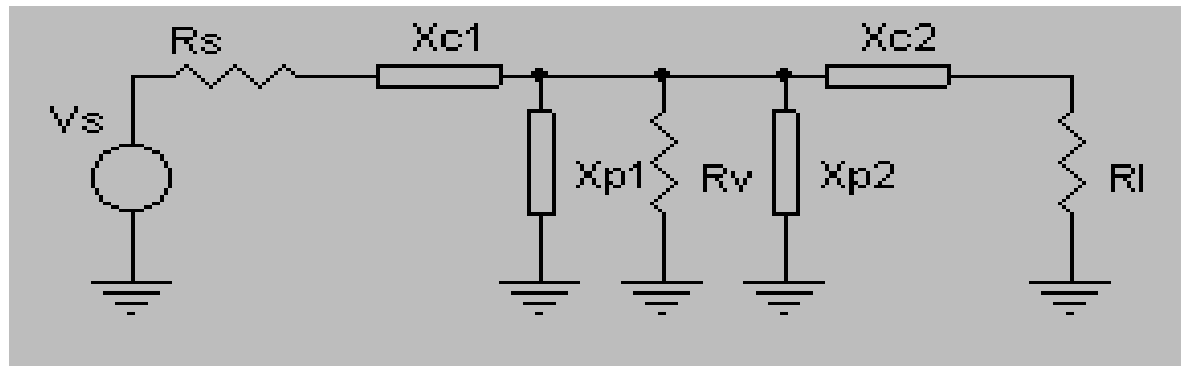


- **Bentuk Π**



- Digunakan untuk memperoleh Bandwidth yang lebar (Q yang rendah)
- Merupakan penggabungan dari IMC L kiri dan IMC L kanan

1. IMC 'T'

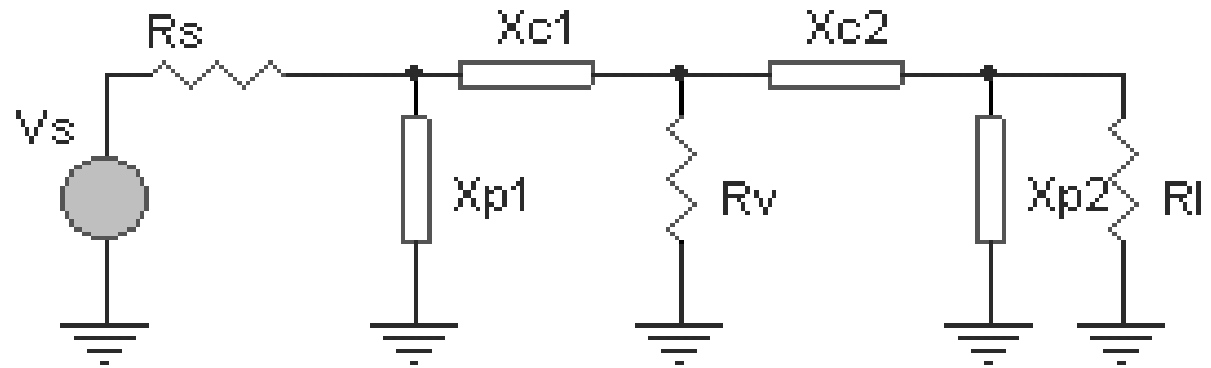


- R_v (R_{virtual}) ditentukan harus lebih besar dari R_s maupun R_l dan dihitung berdasarkan Q yang diinginkan.

- $$Q = \sqrt{\frac{R_v}{R_{\text{kecil}}} - 1} \quad R_{\text{kecil}} = \text{Pilih yg kecil } [R_s, R_l]$$

- X_{c1} dan X_{p1} menyepadankan R_s dengan R_v ; X_{c2} dan X_{p2} menyepadankan R_v dengan R_l
- X_{p1} dan X_{p2} dapat digabungkan menjadi satu komponen.

2. IMC 'Π'



- R_v (R_{virtual}) ditentukan harus lebih kecil dari R_s maupun R_1 dan dihitung berdasarkan Q yang diinginkan.

- $$Q = \sqrt{\frac{R_{\text{besar}}}{R_v} - 1} \quad R_{\text{besar}} = \text{Pilih yg besar } [R_s, R_1]$$

- X_{c1} dan X_{p1} menyepadankan R_s dengan R_v
- X_{c2} dan X_{p2} menyepadankan R_v dengan R_1
- X_{c1} dan X_{c2} dapat digabungkan menjadi satu komponen.

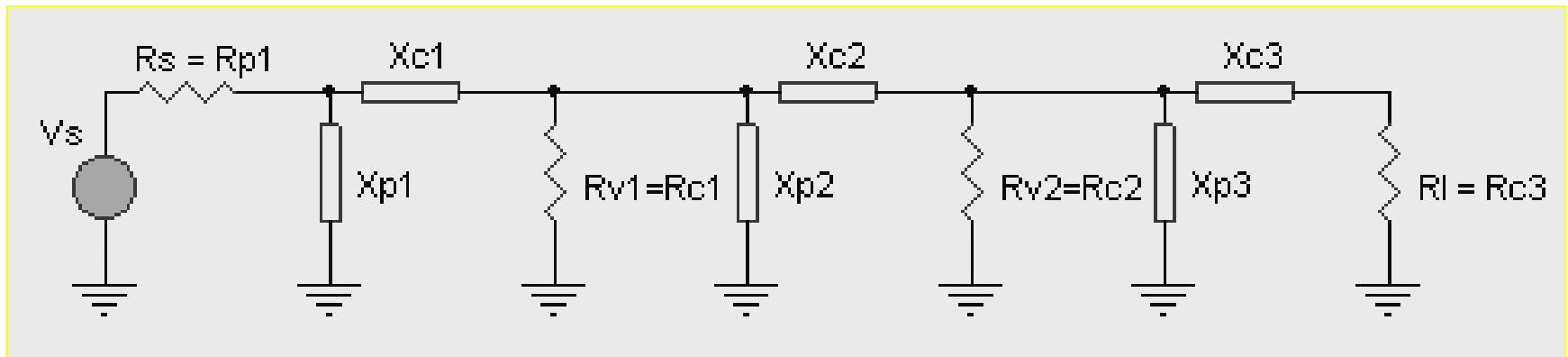
Kerjakan !

- Rancanglah 4 kemungkinan konfigurasi IMC bentuk “T” untuk menyepadankan $R_S=10\Omega$ dan $R_L=50\Omega$ dengan $Q=10$, pada frekuensi operasi 100 MHz.
- Rancanglah 4 kemungkinan konfigurasi IMC bentuk “ π ” yang menyepadankan $R_S=100\Omega$, $R_L=1000\Omega$, dengan faktor kualitas $Q = 15$, pada frekuensi operasi 100 MHz.

3. Penyesuai impedansi multi elemen (Q rendah)

➤ Bila ingin memperlebar Bandwidth

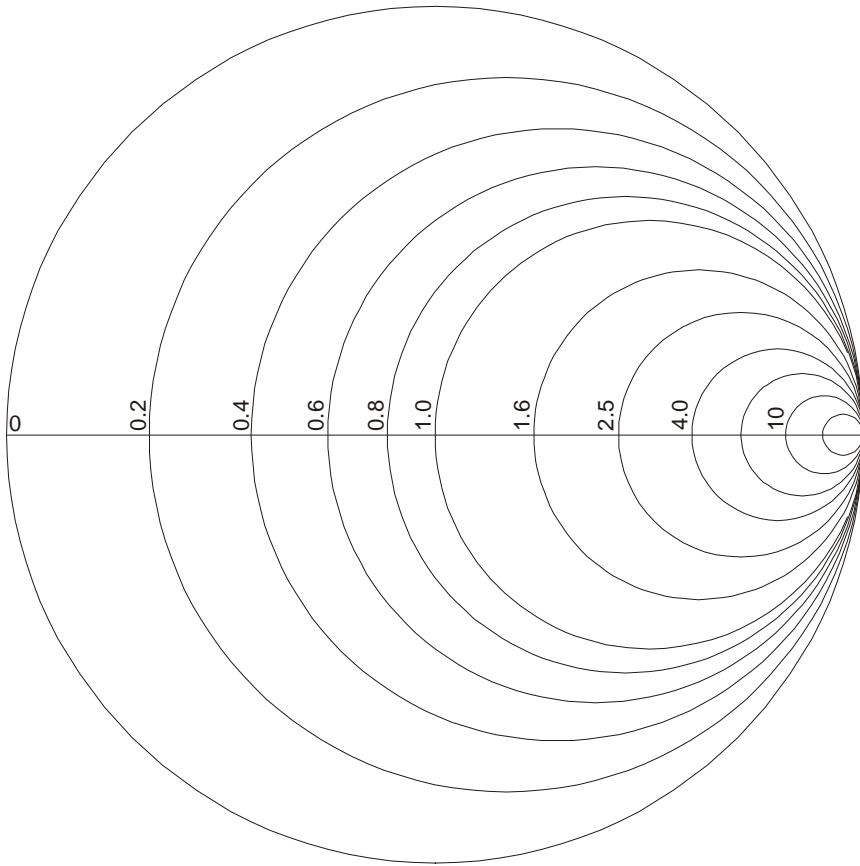
- ✓ Dilakukan dengan cara mengkaskadekan beberapa buah IMC L-section.
- ✓ Contoh : L kanan tiga tingkat ($R_S > R_L$)



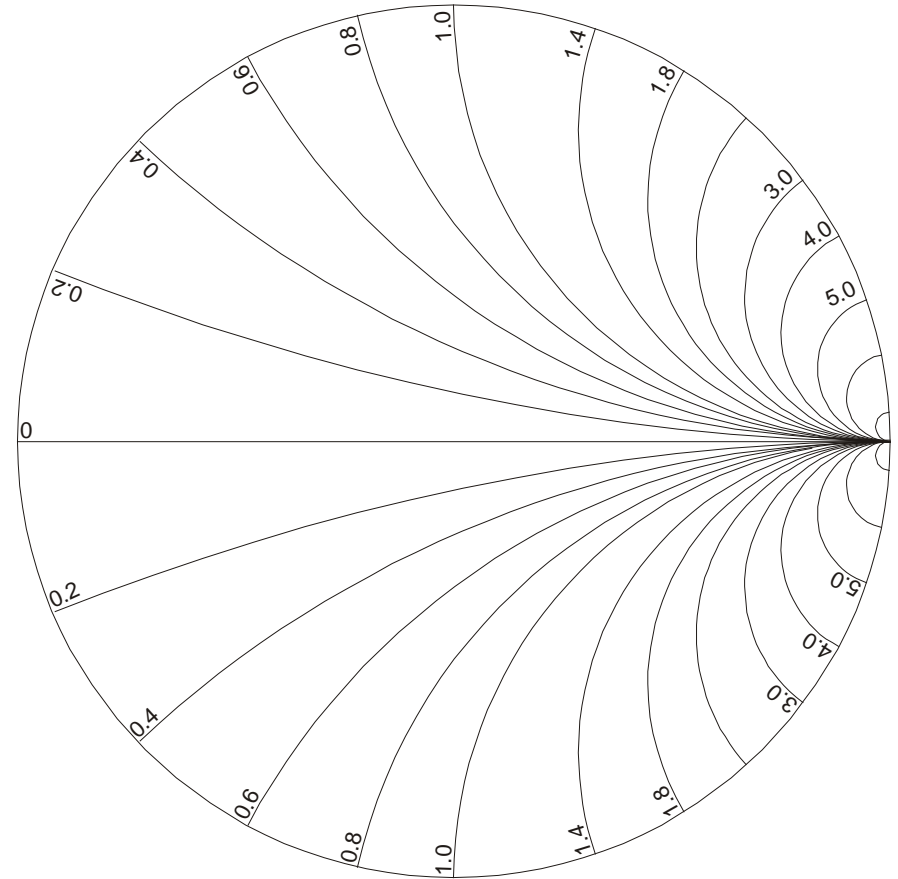
$$\frac{R_S}{R_{V1}} = \frac{R_{V1}}{R_{V2}} = \frac{R_{V2}}{R_L}$$

$$Q = \sqrt{\frac{R_v}{R_{kecil}} - 1} = \sqrt{\frac{R_{besar}}{R_v} - 1}$$

PEMAKAIAN SMITH CHART PADA RANGKAIAN PENYESUAI IMPEDANSI (IMC)



Lingkaran Resistansi konstan



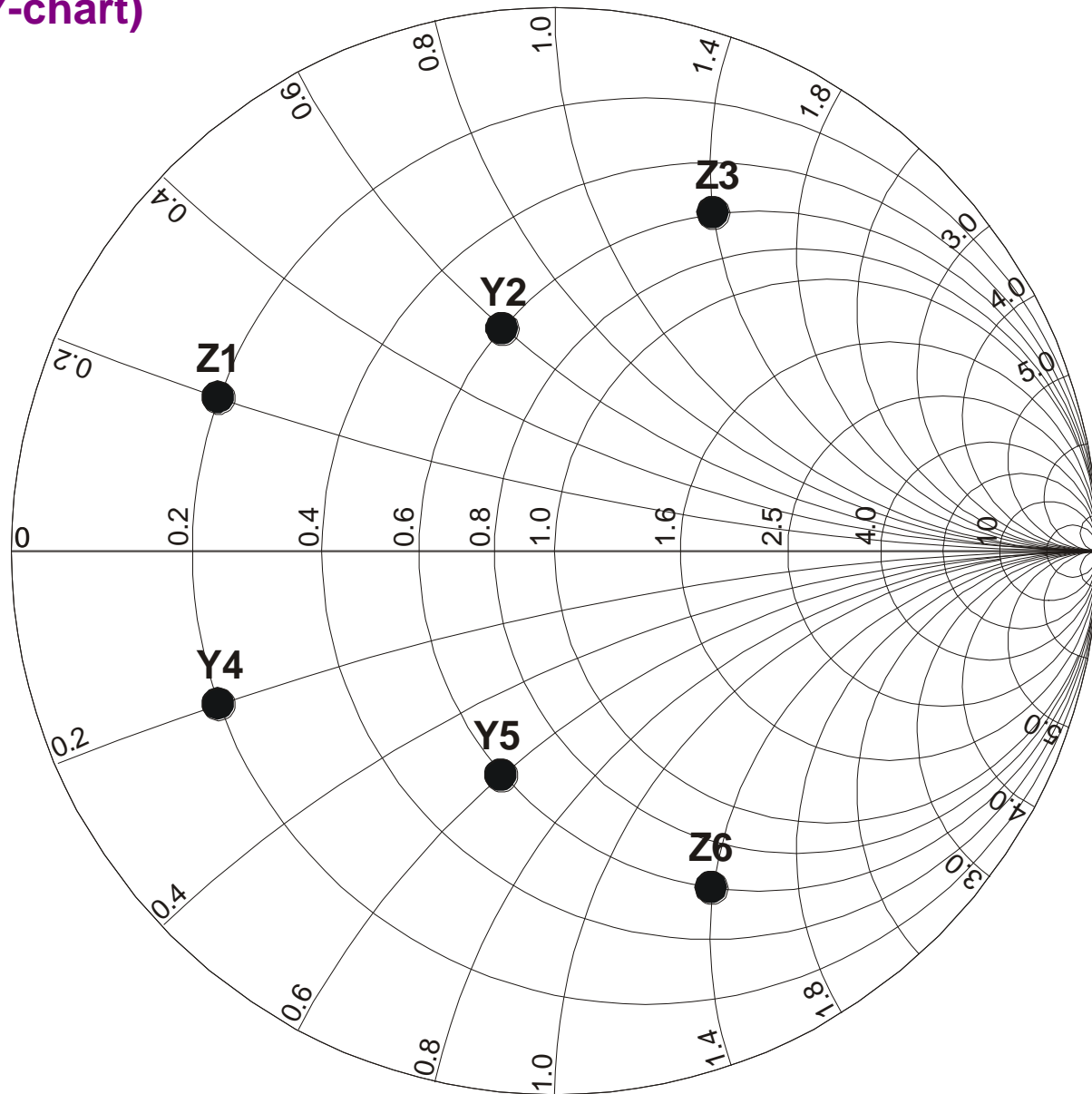
Lingkaran Reaktansi konstan

1. Penggambaran Harga Impedansi dan Admittansi

- Contoh :
 - penentuan titik impedansi dan admittansi yaitu:
 - $Z1 = (0,2 + j 0,2) \text{ ohm}$
 - $Y2 = (0,6 + j 0,6) \text{ mho}$
 - $Z3 = (0,6 + j 1,4) \text{ ohm}$
 - $Y4 = (0,2 - j 0,2) \text{ mho}$
 - $Y5 = (0,6 - j 0,6) \text{ mho}$
 - $Z6 = (0,6 - j 1,4) \text{ ohm}$

Z dan Y pada Smith Chart

(Z-chart dan Y-chart)



2. Normalisasi Impedansi Pada Smith Chart

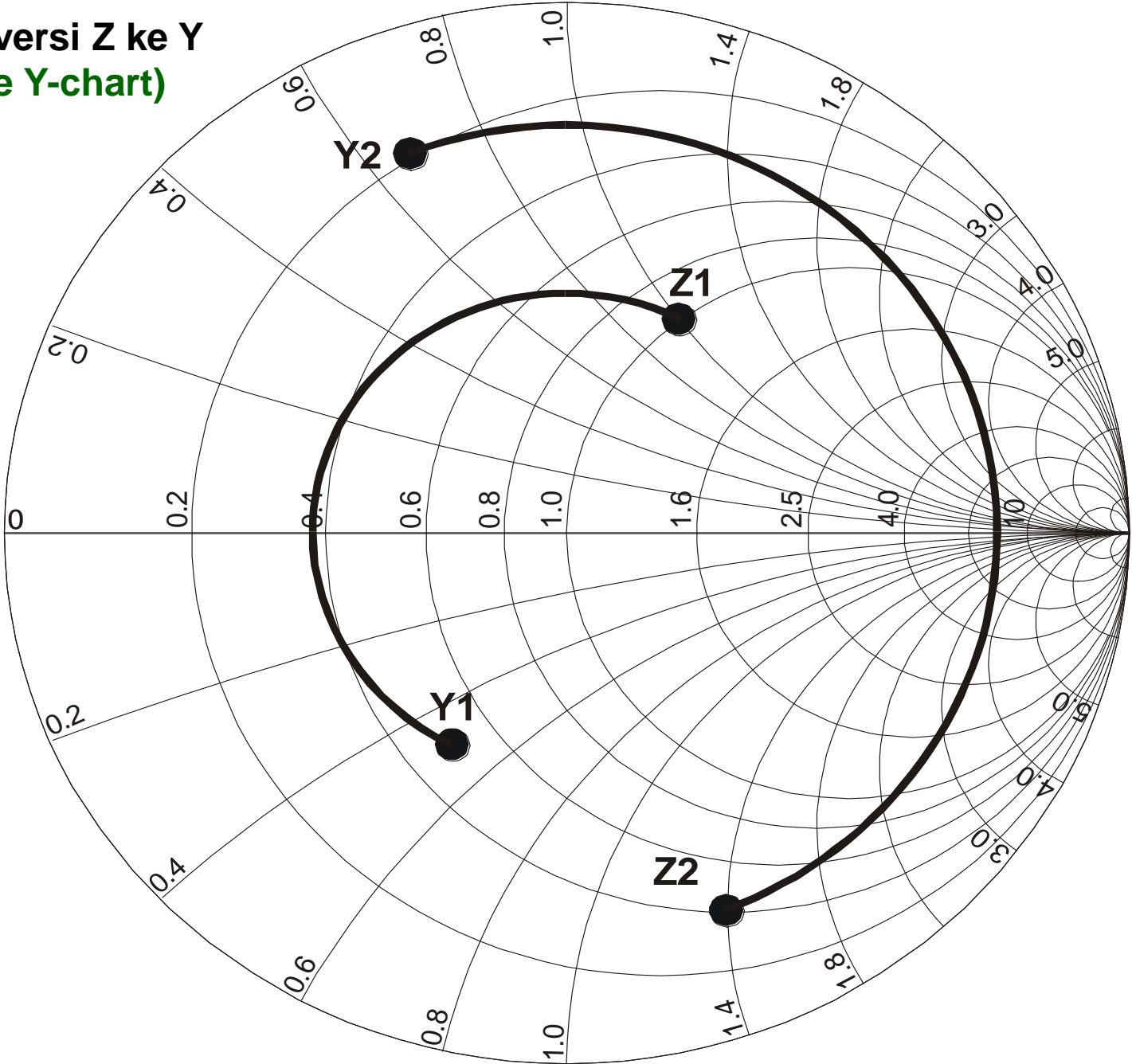
- Jika Z cukup besar untuk harga resistansi dan reaktansi :
 - maka titik tersebut pada Smith Chart akan berada di daerah lingkaran kecil sehingga diperlukan **normalisasi/pembagi tertentu**.
- Contoh :
 - $Z = 100 + j150 \text{ ohm}$, maka angka pembagi yang dapat dipakai, misalkan $N=100$,
 - Z ternormalisasi: $Z_n = 1 + j1,5 \text{ ohm}$

3. Konversi Impedansi ke Admitansi

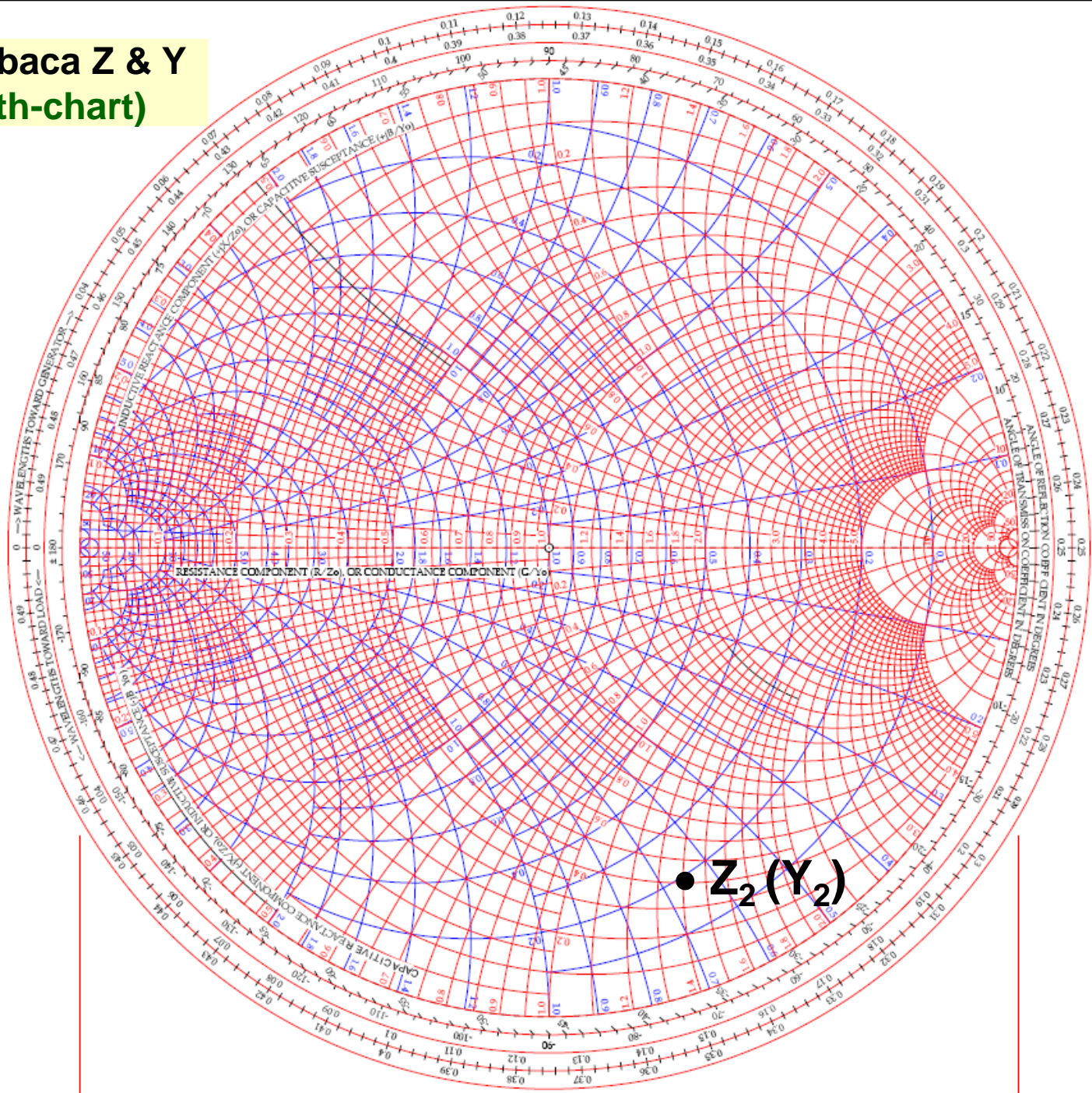
$$Y = \frac{1}{Z} = G \pm jB$$

- Keterangan :
 - G = konduktansi dalam mho
 - B = suseptansi dalam mho
 - Dengan bantuan Smith Chart, untuk mengkonversi Z ke Y dan sebaliknya dapat dilakukan dengan membuat titik Z dan Y yang memiliki jarak sama ke pusat lingkaran ($R = 1\Omega$) dan keduanya berbeda 180° satu sama lain.

**Contoh konversi Z ke Y
(Z-chart ke Y-chart)**



Contoh membaca Z & Y (doble smith-chart)



Y_1

4. Manipulasi Impedansi Pada Smith Chart

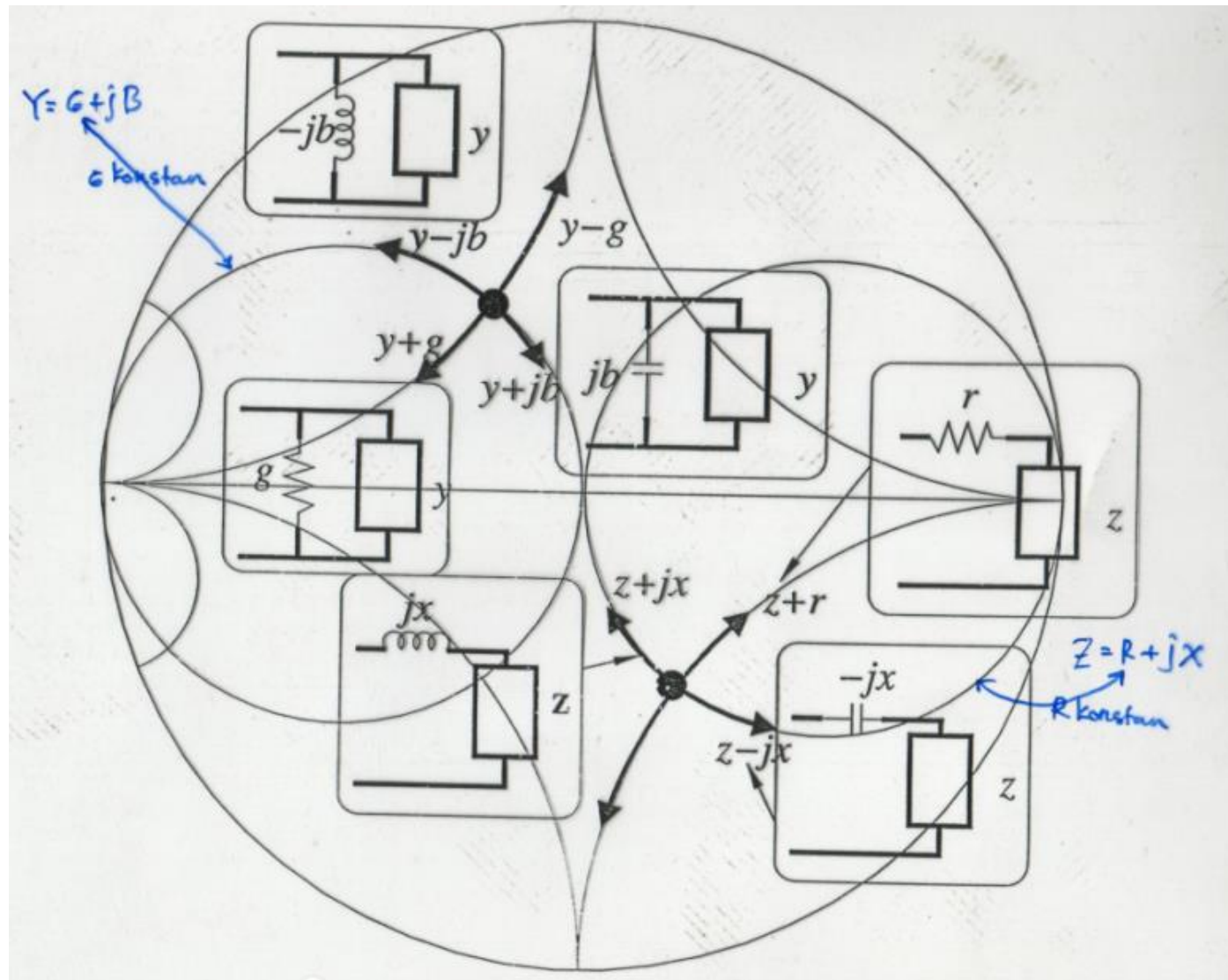
- penambahan **kapasitor seri** menyebabkan **perputaran Z berlawanan arah dengan perputaran jarum jam pada lingkaran resistansi konstan**
- penambahan **induktor seri** menyebabkan **perputaran Z searah perputaran jarum jam pada lingkaran resistansi konstan**
- Contoh :
 - impedansi $Z = 0,5 + j0,8$ ohm diseri dengan reaktansi $-j1,0$ ohm (berupa C) maka $Z' = 0,5 + j0,8 - j1,0 = 0,5 - j0,2$ ohm.
 - Z baru ini merepresentasikan harga R seri dengan C.
 - 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 Admitansi Pada Smith Chart

- Jika menggunakan **“double smith chart”** berlaku:
 - ❑ penambahan **induktor paralel** menyebabkan **perputaran Y berlawanan arah dengan perputaran jarum jam pada lingkaran konduktansi konstan**
 - ❑ penambahan **kapasitor paralel** menyebabkan **perputaran Y searah perputaran jarum jam pada lingkaran konduktansi konstan.**
- Jika menggunakan **“single smith chart”**, **Z-chart** dikonversikan ke **Y-chart**, kemudian berlaku aturan di atas:
 - ✓ penambahan **induktor paralel** menyebabkan **perputaran Y berlawanan arah dengan perputaran jarum jam pada lingkaran konduktansi konstan.**
 - ✓ penambahan **kapasitor paralel** menyebabkan **perputaran Y searah perputaran jarum jam pada lingkaran konduktansi konstan.**

Kesimpulan manipulasi impedansi dan admitansi pada SC

(double SC)

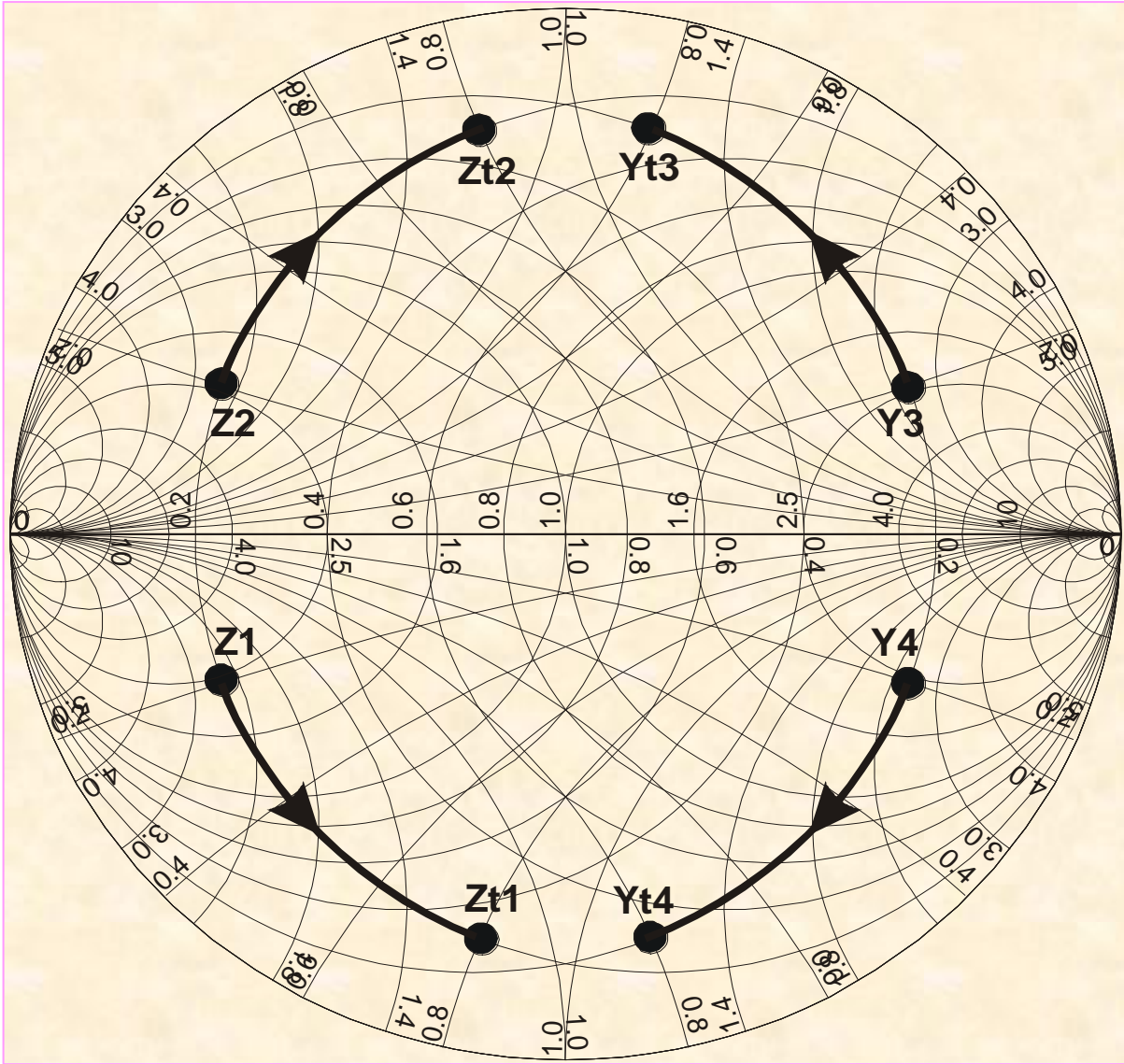


Contoh : Manipulasi Impedansi dan Admitansi Pada Smith Chart

pada **Double Smith Chart** :

- $Z_1 = (0,2 - j 0,2) \Omega$ seri dengan **C** ($-j 0,6 \Omega$) menjadi $Z_{t_1} = (0,2 - j 0,8) \Omega$.
- $Z_2 = (0,2 + j 0,2) \Omega$ seri dengan **L** ($+j 0,6 \Omega$) menjadi $Z_{t_2} = (0,2 + j 0,8) \Omega$.
- $Y_3 = (0,2 - j 0,2) \text{ mho}$ paralel dengan **L** ($-j 0,6 \text{ mho}$) menjadi $Y_{t_3} = (0,2 - j 0,8) \text{ mho}$.
- $Y_4 = (0,2 + j 0,2) \text{ mho}$ paralel dengan **C** ($+j 0,6 \text{ mho}$) menjadi $Y_{t_4} = (0,2 + j 0,8) \text{ mho}$.

Double SC

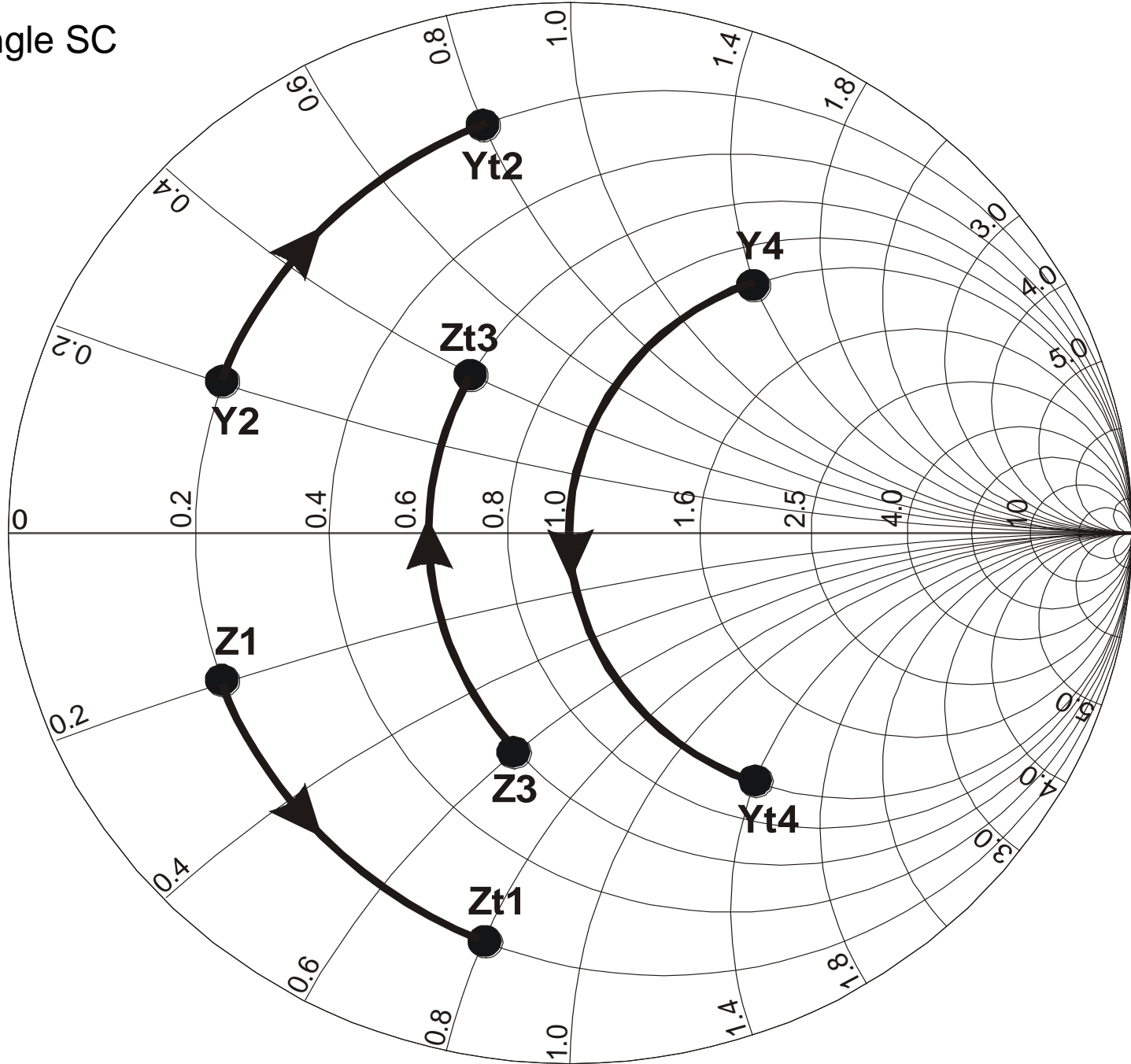


Contoh : Manipulasi Impedansi dan Admitansi Pada Smith Chart

pada **Single Smith Chart** :

- $Z_1 = (0,2 - j 0,2) \Omega$ seri dengan **C** ($-j0,6 \Omega$) menjadi $Z_{t_1} = (0,2 - j 0,8) \Omega$
- $Y_2 = (0,2 + j 0,2) \text{ mho}$ paralel dengan **C** ($+j0.6$) mho menjadi $Y_{t_2} = (0,2 + j 0,8) \text{ mho}$
- $Z_3 = (0,6 - j 0,6) \Omega$ seri dengan **L** ($+j1,0 \Omega$) menjadi $Z_{t_3} = (0,6 + j 0,4) \Omega$
- $Y_4 = (1 + j 1,4) \text{ mho}$ paralel dengan **L** ($-j2,8 \text{ mho}$) menjadi $Y_{t_4} = (1 - j 1,4) \text{ mho}$

Single SC



6. Penyesuai Impedansi Pada Smith Chart

a. Penyesuai impedansi 2 elemen.

- Prosedur pemakaian Smith Chart untuk desain penyesuai impedansi 2 elemen:
 - Tentukan titik $Z_{\text{beban}} (R_L)$ dan $Z_{\text{sumber}} \textit{konjugate} (R_S^*)$ atau $Z_{\text{sumber}} (R_S)$ dan $Z_{\text{beban}} \textit{konjugate} (R_L^*)$.
 - Tentukan titik **X** yang merupakan pertemuan **2 titik**: [$Z_{\text{beban}} (R_L)$ dan $Z_{\text{sumber}} \textit{konjugate} (R_S^*)$] atau [$Z_{\text{sumber}} (R_S)$ dan $Z_{\text{beban}} \textit{konjugate} (R_L^*)$] yang sudah diputar pada Resistansi (R) dan lingkaran Konduktansi (G) yang konstan.
 - Jarak pemutaran titik $Z_{\text{beban}} (R_L)$ dan $Z_{\text{sumber}} \textit{konjugate} (R_S^*)$ atau [$Z_{\text{sumber}} (R_S)$ dan $Z_{\text{beban}} \textit{konjugate} (R_L^*)$] menentukan harga dan jenis komponen reaktif yang digunakan sebagai penyesuai impedansi.

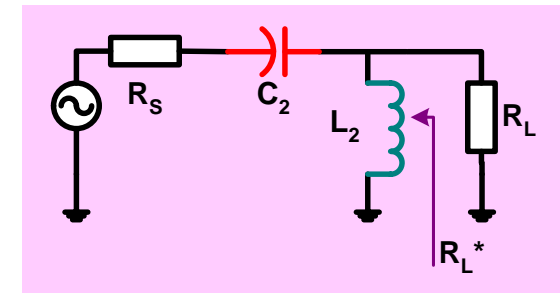
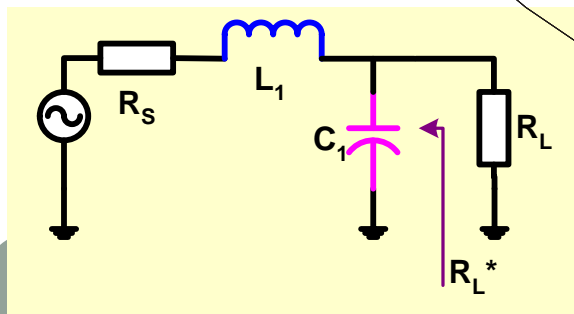
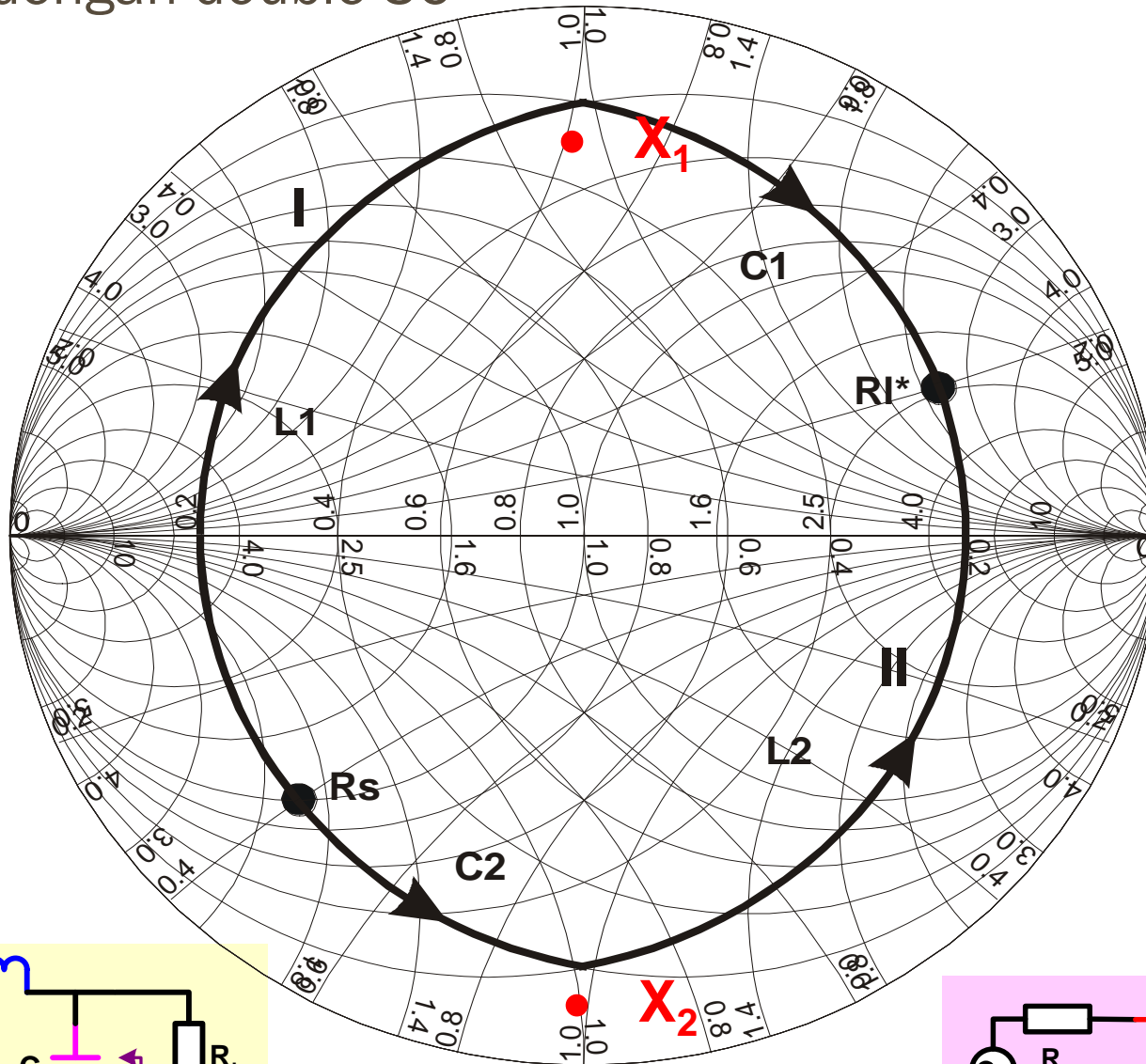
Penyesuai Impedansi Pada Smith Chart (cont')

- Contoh pemakaian Smith Chart pada penyesuai impedansi tipe L dengan :

$$R_S = (0,2 - j 0,4) \Omega \text{ dan } R_L = (2,5 - j 2,5) \Omega \text{ atau } Y_L = (0,2 + j 0,2) \text{ mho}$$

- Sehingga diperoleh dua kemungkinan pemakaian komponen yang digunakan:
- (solusi I), L1 dengan reaktansi (+j) 1,4 ohm dan C1 dengan susceptansi (+j) 0,8 mho
- (solusi II), C2 dengan reaktansi (-j) 0,6 ohm dan L2 dengan susceptansi (-j) 1,2 mho

Plot dengan double SC



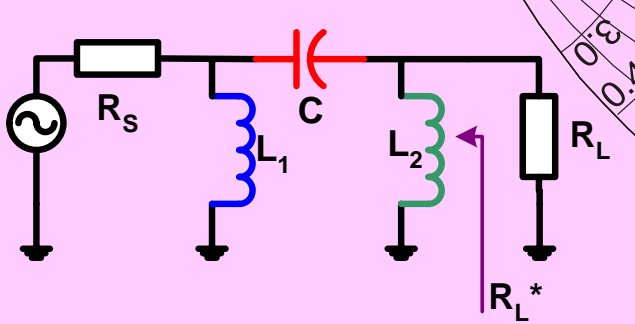
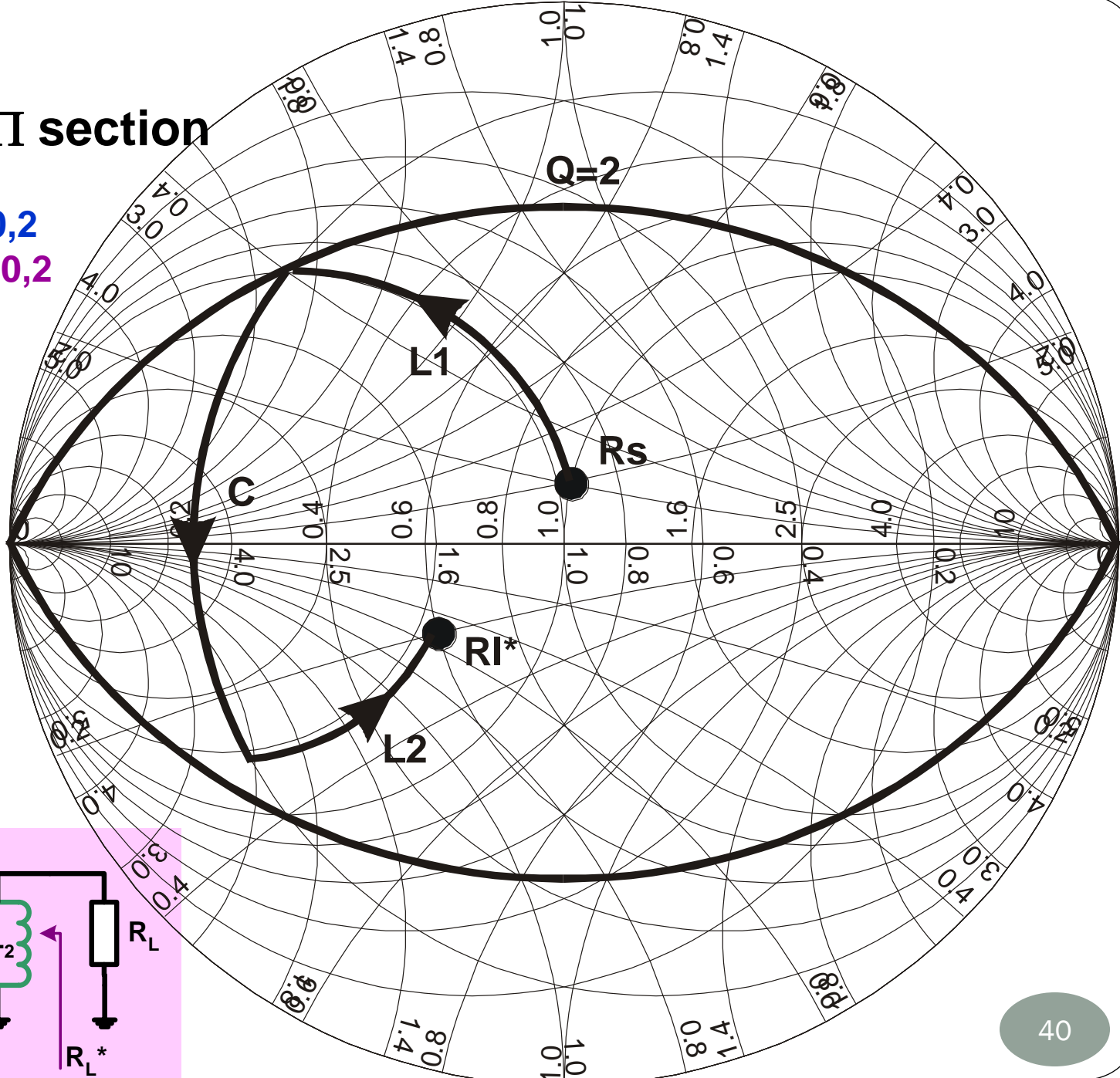
b. Penyesuai impedansi 3 elemen

Prosedur desain IMC 3 elemen (T atau Π section):

- Gambar lengkungan Q konstan pada Q tertentu.
(Titik-titik Q pada Smith Chart didefinisikan sama dengan Q pada impedansi seri yaitu rasio reaktansi terhadap resistansi)
- Gambar titik $Z_{\text{beban}} (R_L)$ dan $Z_{\text{sumber}} \textit{konjugate} (R_S^*)$ atau $Z_{\text{sumber}} (R_S)$ dan $Z_{\text{beban}} \textit{konjugate} (R_L^*)$.
- Putar salah satu titik dengan 3 kali pemutaran pada lingkaran Resistansi (R) dan lingkaran Konduktansi (G) konstan sehingga bertemu pada titik lainnya. Pemutaran titik dilakukan di dalam lengkung Q yang sudah diplot.
- Jarak pemutaran titik ke titik lainnya merupakan harga komponen reaktif yang digunakan sebagai rangkaian IMC.

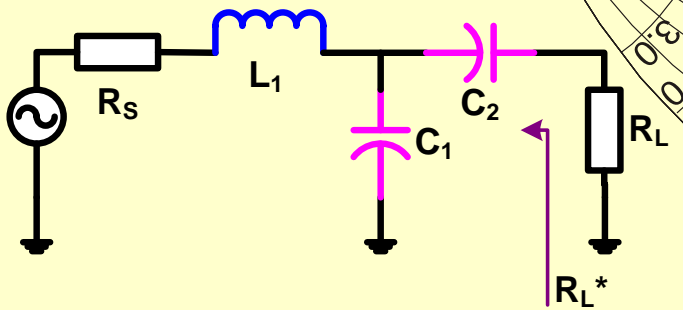
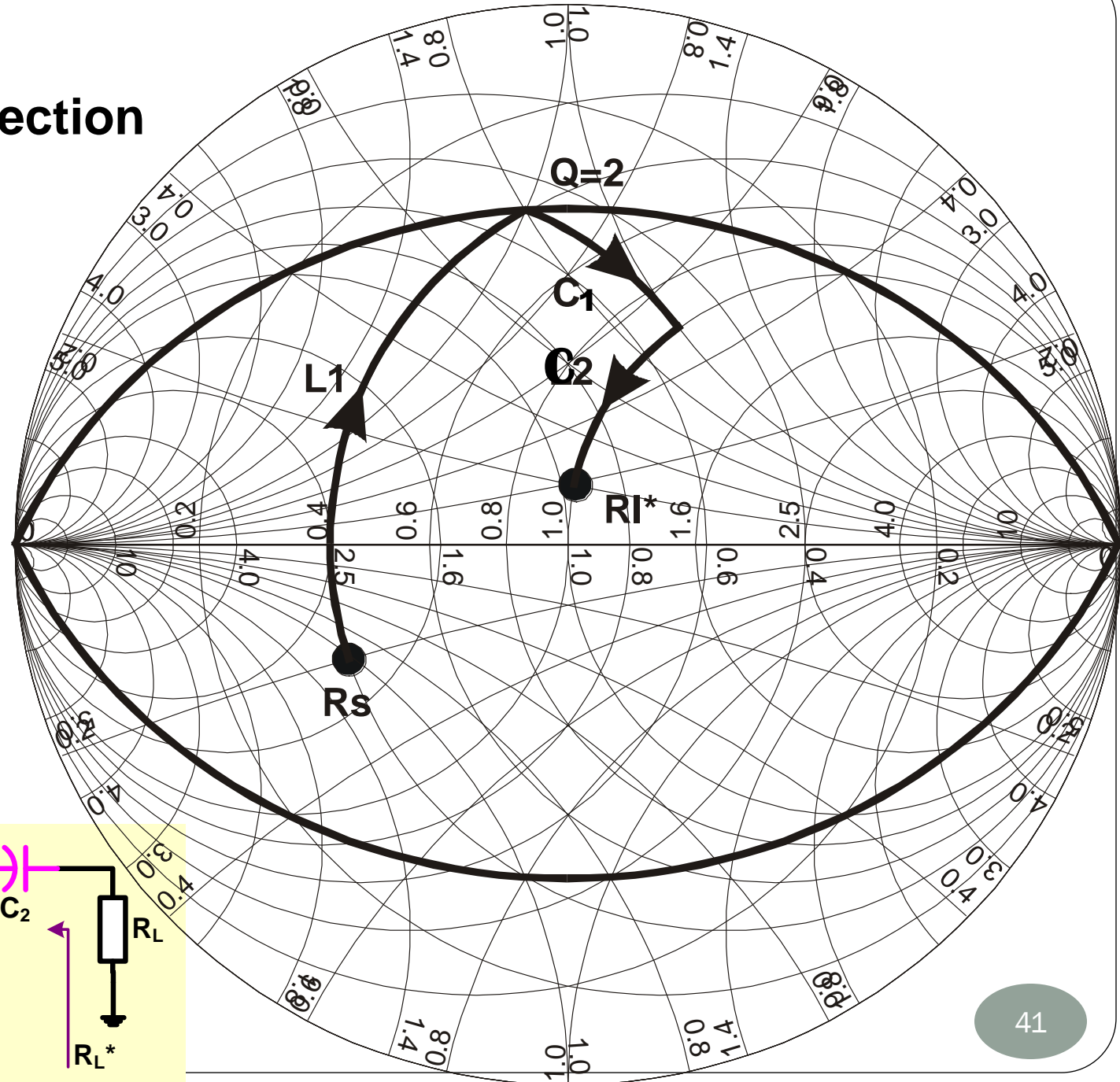
Contoh IMC Π section

$Q=2$
 $R_s=1+j0,2$
 $R_L=0,6+j0,2$



Contoh IMC T section

$Q=2$
 $R_s=0,4-j0,2$
 $R_L=1-j0,2$



Persamaan-persamaan untuk **denormalisasi**:

- Komponen C seri:

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X \cdot N}$$

- Komponen L seri:

$$L = \frac{X \cdot N}{\omega}$$

- Komponen C paralel:

$$C = \frac{B}{\omega \cdot N}$$

- Komponen L paralel:

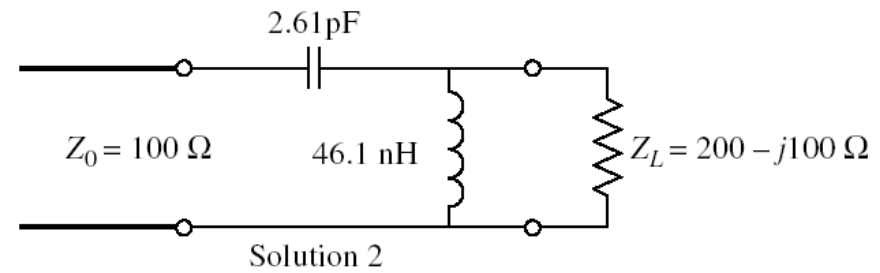
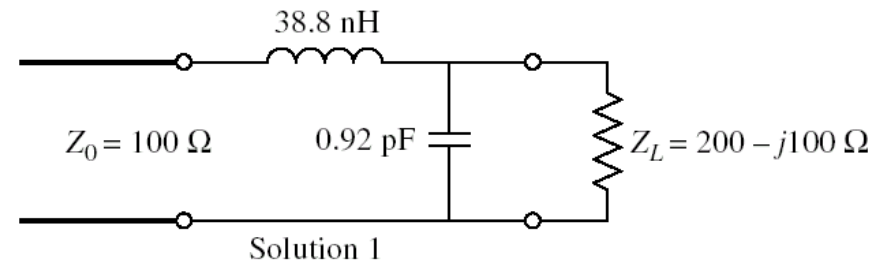
$$L = \frac{N}{\omega \cdot B}$$

- X = reaktansi yang terbaca dari Smith Chart
- B = susceptansi (jarak 2 titik) yang terbaca dari Smith Chart
- N = angka penormalisasi impedansi sumber dan beban
- $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

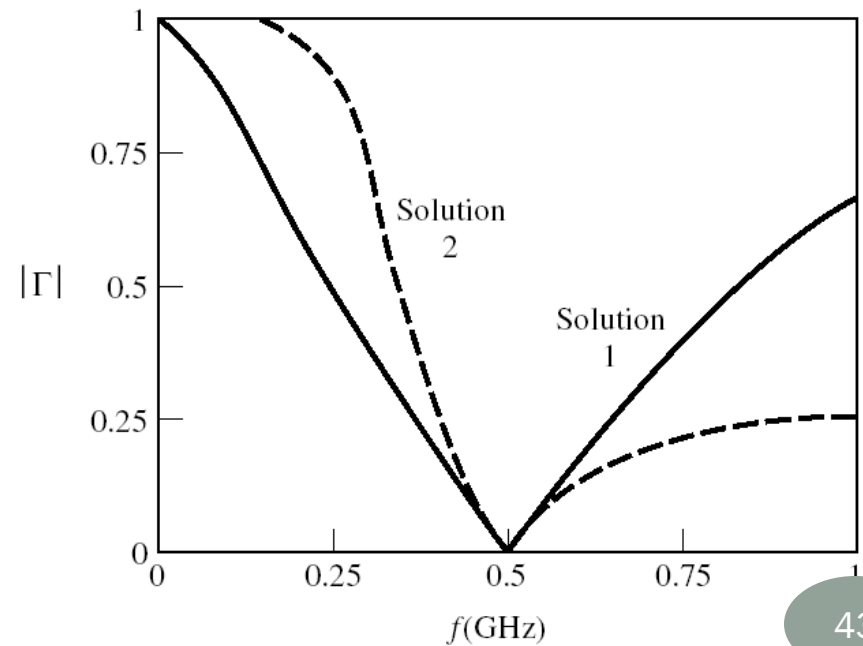
Buktikan solusi:

1. Rancanglah suatu IMC dua elemen yang menyepadankan beban $Z_L = 200 - j100 \Omega$ dan saluran transmisi dengan $Z_0 = 100 \Omega$ ($\rightarrow Z_s$) pada frekuensi kerja 500 MHz

Solusi:



(b)

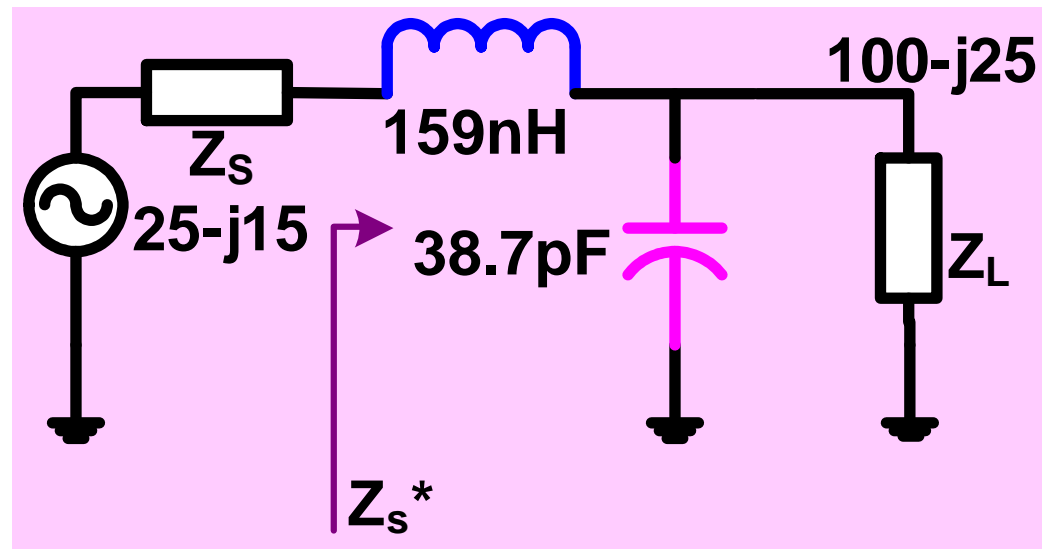


(c)

Buktikan solusi:

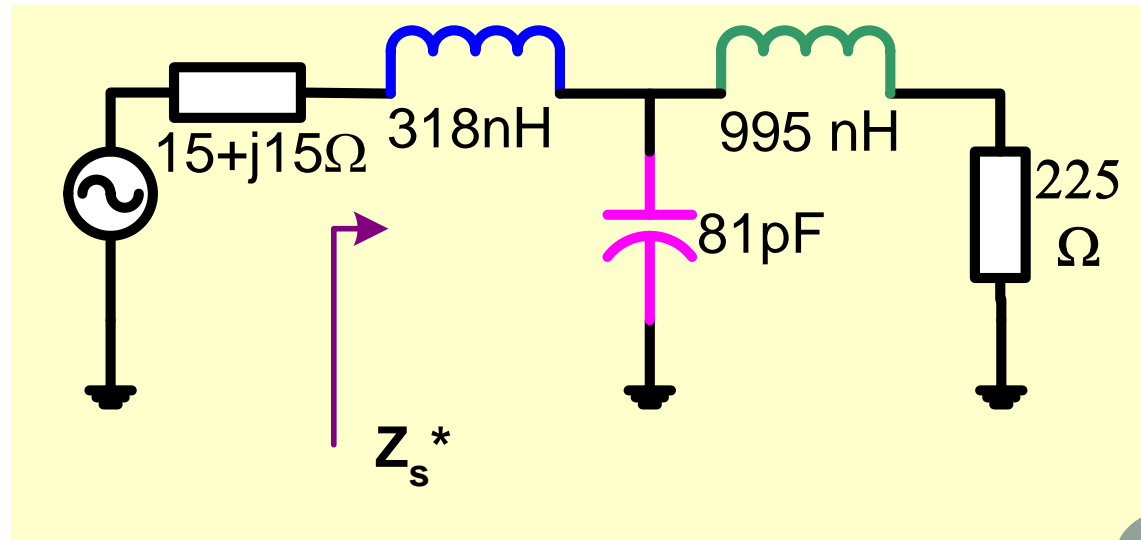
- Rancanglah IMC 2-elemen dengan Smith Chart yang bisa menyepadankan sumber sebesar $25 - j15$ ohm dengan beban $100 - j25$ ohm pada 60 MHz dan IMC harus bersifat LPF

- Solusi:



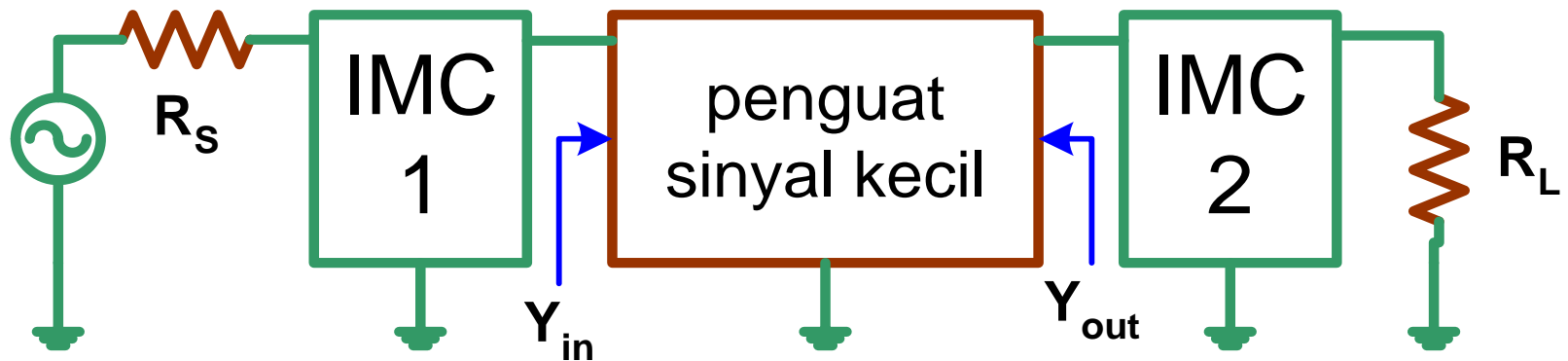
Contoh soal:

3. Rancanglah IMC T-section dengan Smith Chart yang menyepadankan sumber sebesar $15 + j15 \Omega$ dengan beban 225Ω pada frekuensi 30 MHz dengan faktor kualitas $Q = 5$!
- Solusi (dengan rangkaian bersifat LPF):



Latihan soal:

- Rancanglah dua buah **IMC-2 elemen** yang berfungsi untuk menyesuaikan **penguat sinyal kecil** dengan spesifikasi $Y_{in} = 40 + j12$ **milli mhos** dan $Y_{out} = 0.4 + j1.4$ **milli mhos**, jika digunakan impedansi sumber sebesar $= 50\Omega$ dan impedansi beban sebesar 50Ω ! Rangkaian bekerja pada frekuensi **100 MHz** bersifat **menghambat sinyal DC**.



THANK U