

Pengukuran Kapasitansi dan Induktansi

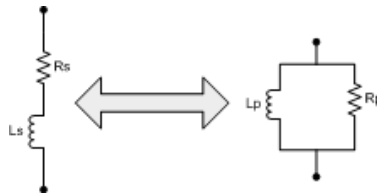
Anhar, MT
anhar19@gmail.com

Pendahuluan

- Induktor dan kapasitor merupakan komponen penting.
- Dapat dikur dng jembatan AC yg merupakan modifikasi jembatan DC.
- Contoh : jembatan kapasitansi seri dan paralel, jembatan pembanding induktansi, jembatan Maxwell-Wien dan jembatan Hay.

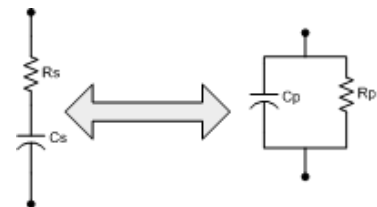
Rangkaian ekuivalen RC

- Kapasitor == C_p dan R_p
- R_p : tahanan dielektrik/tahanan bocor
- Kapasitor elektrolit : tahanan bocor paralel rendah, arus bocor tinggi
- Kapasitor film plastik : tahanan paralel tinggi, arus bocor rendah.



Rangkaian ekuivalen RL

- Induktor : L_s dan R_s
- Idealnya, R_s rendah
- Bila R_s tinggi, rugi-ruginya besar.



Konversi seri ke paralel pd Rangk RC dan RL

- Lihat gambar :

$$Z_s = R_s - jX_s$$

$$Y_p = \frac{1}{R_p} + j\frac{1}{X_p} = G_p + jB_p$$

- Krn kedua rangk ekuivalen maka kedua impedansi juga harus sama :

$$Z_s = Z_p = \frac{1}{Y_p}$$

$$R_s - jX_s = \frac{1}{G_p + jB_p}$$

$$G_p + jB_p = \frac{1}{R_s - jX_s} = \frac{1}{R_s - jX_s} \left(\frac{R_s + jX_s}{R_s + jX_s} \right)$$

$$G_p + jB_p = \frac{R_s + jX_s}{R_s^2 + X_s^2} = \frac{R_s}{R_s^2 + X_s^2} + \frac{jX_s}{R_s^2 + X_s^2}$$

$$G_p = \frac{R_s}{R_s^2 + X_s^2} \qquad G_p = \frac{1}{R_p}$$

$$R_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{R_s} \qquad B_p = \frac{X_s}{R_s^2 + X_s^2}$$

- Dng menyamakan bag imaginer, maka :

$$B_p = \frac{X_s}{R_s^2 + X_s^2}$$

- Karena $B_p = \frac{1}{X_p}$, maka : $X_p = \frac{R_s^2 + X_s^2}{X_s}$

- Utk kapasitor, $X_s = \frac{1}{\omega C_s}$

- Utk induktor, $X_s = \omega L_s$

Konversi paralel ke seri pd rangk ekuivalen RC dan RL

- Rangk RL paralel sering diubah ke seri krn tahanan serinya merepresentasikan kualitas induktor.

$$Z_s = R_s + jX_s$$

$$Y_p = \frac{1}{R_p} - j\frac{1}{X_p} = G_p - jB_p$$

- Krn kedua rangk ekuivalen :

$$Z_s = Z_p = \frac{1}{Y_p}$$

$$R_s + jX_s = \frac{1}{G_p - jB_p} = \frac{1}{G_p - jB_p} \left(\frac{G_p + jB_p}{G_p + jB_p} \right)$$

$$R_s + jX_s = \frac{G_p + jB_p}{G_p^2 + jB_p^2} = \frac{G_p}{G_p^2 + jB_p^2} + \frac{jB_p}{G_p^2 + jB_p^2}$$

- Dng menyamakan bag real : $R_s = \frac{G_p}{G_p^2 + jB_p^2}$

- Krn $G_p = \frac{1}{R_p}$ dan $B_p = \frac{1}{X_p}$ maka :

$$R_s = \frac{1/R_p}{1/R_p^2 + 1/X_p^2} \left(\frac{R_p^2 X_p^2}{R_p^2 X_p^2} \right) \quad R_s = \frac{R_p X_p^2}{R_p^2 + X_p^2}$$

- Dng menyamakan bg imajiner :

$$X_s = \frac{B_p}{G_p^2 + B_p^2} = \frac{1/X_p}{1/R_p^2 + 1/X_p^2} \left(\frac{R_p^2 X_p^2}{R_p^2 X_p^2} \right) \quad X_s = \frac{R_p^2 p}{R_p^2 + X_p^2}$$

- Utk kapasitor : $X_s = \frac{1}{\omega C_s}$
- Utk induktor : $X_s = \omega L_s$

Faktor Q dr Induktor

- Kualitas induktor ditunjukkan dr disipasi dayanya.
 - Faktor Q induktor dr rangk ekuivalen seri RL :

$$Q = \frac{X_s}{R_s} = \frac{\omega L_s}{R_s}$$

- Bila $R_s \ll$, Disipasi daya \ll , $Q \gg$.
- Utk rangk ekuivalen RL paralel :

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

- $R_p \gg$, $Q \gg$

Faktor D dr kapasitor

- Kualitas kapasitor dilihat dr besar disipasi daya mell faktor D
- Kapasitor murni memiliki tahanan dielektrik tinggi, sehingga disipasi dayanya mendekati nol.
- Faktor D utk rangk ekuivalen paralel :

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

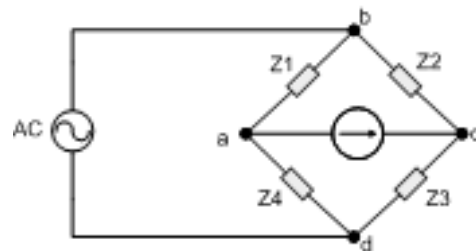
- Tahanan dielektrik \gg , arus bocor \ll , disipasi panas \ll , faktor D \ll yg semakin baik.

- Faktor D utk rangk ekuivalen seri : $D = \frac{R_s}{X_s} = \omega C_s R_s$

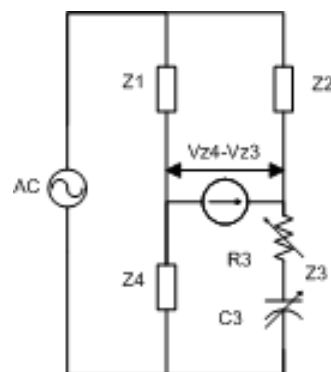
Jembatan AC

- Syarat kesetimbangan :

$$Z_1 Z_2 = Z_3 Z_4$$

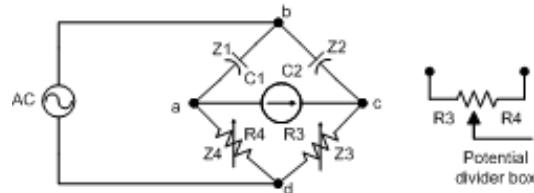


Prosedur penyetimbangan Jembatan AC



Jembatan kapasitansi

1. Jembatan Kapasitansi Sederhana



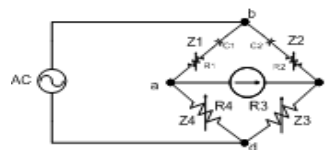
$$Z_1 = \frac{-j}{\omega C_1} \quad ; \quad Z_2 = \frac{-j}{\omega C_x} \quad ; \quad Z_3 = R_3 \quad ; \quad Z_4 = R_4$$

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

$$\frac{-jR_3}{\omega C_1} = \frac{-jR_4}{\omega C_x} \quad \quad C_x = C_1 \frac{R_4}{R_3}$$

Jembatan Kapasitansi

2. Jembatan kapasitansi-resistansi seri



$$Z_1 = R_1 - \frac{j}{\omega C_1} \quad ; \quad Z_2 = R_s - \frac{j}{\omega C_s} \quad ; \quad Z_3 = R_3 \quad ; \quad Z_4 = R_4$$

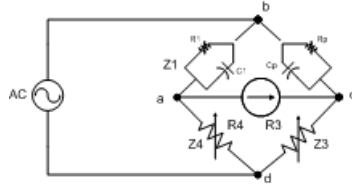
$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \quad R_3 \left(R_1 - \frac{j}{\omega C_1} \right) = \left(R_s - \frac{j}{\omega C_s} \right) R_4$$

$$R_1 R_3 = R_s R_4 \quad R_s = \frac{R_1 R_3}{R_4}$$

$$\frac{R_3}{\omega C_1} = \frac{R_4}{\omega C_s} \quad C_s = \frac{C_1 R_4}{R_3}$$

Jembatan Kapasitansi

3. Jembatan kapasitansi-resistansi paralel



$$\frac{1}{Z_1} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{1/j\omega C_1} = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1$$

$$Z_1 = \frac{1}{1/R_1 + j\omega C_1}$$

$$Z_2 = \frac{1}{1/R_p + j\omega C_p}$$

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

$$\frac{R_3}{1/R_1 + j\omega C_1} = \frac{R_4}{1/R_p + j\omega C_p}$$

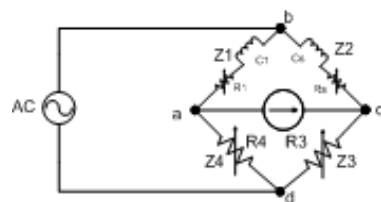
$$R_3 \left(\frac{1}{R_1} + j\omega C_1 \right) = R_4 \left(\frac{1}{R_p} + j\omega C_p \right)$$

$$\frac{R_4}{R_1} = \frac{R_3}{R_p} \Rightarrow R_p = \frac{R_3 R_1}{R_4}$$

$$\omega C_1 R_4 = \omega C_p R_3 \Rightarrow C_p = \frac{C_1 R_4}{R_3}$$

Jembatan Induktansi

1. Jembatan Pembanding Induktansi



$$Z_1 = R_1 + j\omega L_1$$

$$Z_s = R_s + j\omega L_s$$

$$Z_3 = R_3$$

$$Z_4 = R_4$$

$$(R_1 + j\omega L_1)R_3 = (R_s + j\omega L_s)R_4$$

$$R_1 R_3 = R_s R_4$$

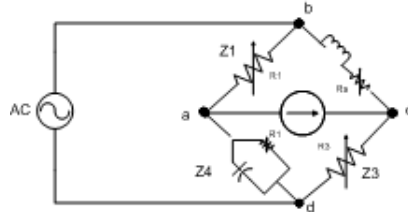
$$\omega L_1 R_3 = \omega L_s R_4$$

$$R_s = \frac{R_1 R_3}{R_4}$$

$$L_s = \frac{L_1 R_3}{R_4}$$

Jembatan Induktansi

2. Jembatan Maxwell-Wien



$$Z_1 = R_1 \dots Z_2 = R_s + j\omega L_s$$

$$Z_3 = R_3 \dots \frac{1}{Z_4} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{1/j\omega C_4}$$

$$Z_4 = \frac{1}{1/R_4 + j\omega C_4}$$

$$R_1 R_3 = \frac{R_s + j\omega L_s}{1/R_4 + j\omega C_4}$$

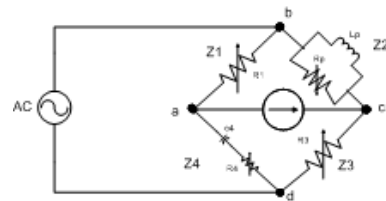
$$\frac{R_1 R_3}{R_4} + j\omega R_1 R_3 C_4 = R_s + j\omega L_s$$

$$R_s = \frac{R_1 R_3}{R_4}$$

$$L_s = C_4 R_1 R_3$$

Jembatan Induktansi

3. Jembatan Hay



$$Z_1 = R_1 \dots Z_3 = R_3$$

$$\frac{1}{Z_2} = \frac{1}{R_p} - \frac{j}{\omega L_p}$$

$$Z_2 = \frac{1}{1/R_p - j/\omega L_p}$$

$$Z_4 = R_4 - j/\omega C_4$$

$$R_1 R_3 = \frac{R_4 - j/\omega C_4}{1/R_p - j/\omega L_p}$$

$$\frac{R_1 R_3}{R_p} - j \frac{R_1 R_3}{\omega L_p} = R_s - j \frac{1}{\omega C_4}$$

$$R_4 = \frac{R_1 R_3}{R_p}$$

$$\frac{1}{\omega C_4} = \frac{R_1 R_3}{\omega L_p}$$

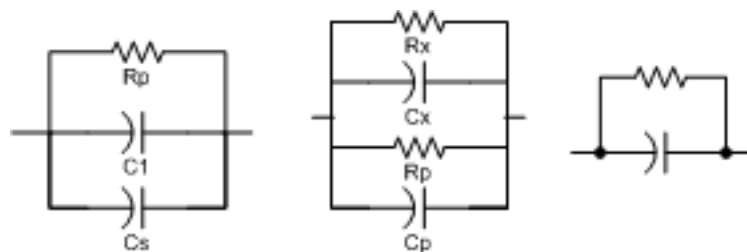
$$R_p = \frac{R_1 R_3}{R_4}$$

$$L_p = R_1 R_3 C_4$$

Pengukuran RLC yg memiliki nilai kecil

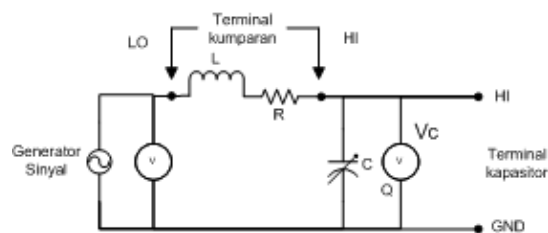
- Kalau mengukur RLC yg kecil, kawat penghubung harus diperhatikan yg dpt menyebabkan faktor tahanan, induktansi dan kapasitansi stray.
- Dpt diminimal dng metode substitusi.
- Caranya :
 1. Jembatan disetimbangkan dng kapasitansi besar C1
 2. Kapasitor C1 dihub paralel dng kapasitor Cx
 3. Ketika jembatan setimbang, diperoleh dr $C1+Cx+C_s$
 4. Cx dpt dihitung dng mengurangkan $(C1+Cx+C_s)$ dng $(C1+C_s)$

Rangk Pengukuran RLC



Q-Meter

- Induktor, kapasitor dan resistor yg beroperasi pd frek RF, tdk dpt diukur dng tepat pd frek rendah.
- Jadi, gunakan metode resonansi.
- Pake Q-Meter.



Q-Meter

- Pd saat resonansi :

$$V_c = V_L \dots \text{dan} \dots I = \frac{E}{R}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \dots \text{atau} \dots \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{1}{\omega C R}$$

- Karena $V_L = I\omega L$ dan $Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{V_L / I}{E / I}$ maka :

$$Q = \frac{V_L}{E} = \frac{V_C}{E}$$

Latihan

1. Sebuah jembatan kapasitansi sederhana dng kapasitor standar $C1=0,1\mu\text{F}$, rasio $R4/R3$ dpt diset antara 100:1 sampai 1:100. hitung range kapasitansi Cx yg dpt diukur oleh jembatan ini.
2. Jembatan kapasitansi-resistansi seri memiliki kapasitor standar $C1=0,1\mu\text{F}$. Kesetimbangan tercapai pd frekuensi supply 100Hz ketika $R1=125\Omega$, $R3=14,7\text{k}\Omega$ dan $R4=10\text{k}\Omega$. Hitung komponen tahanan dan kapasitansi dari kapasitor yg diukur beserta faktor D dr kapasitor.
3. Jembatan kapasitansi-resistansi paralel memiliki kapasitor standar $C1=0,1\mu\text{F}$. Kesetimbangan tercapai pd frekuensi supply 100Hz ketika $R1=375\Omega$, $R3=14,7\text{k}\Omega$ dan $R4=10\text{k}\Omega$. Hitung komponen tahanan dan kapasitansi dari kapasitor yg diukur beserta faktor D dr kapasitor.

4. Suatu induktor bertanda 500mH akan dicek dng jembatan pembanding induktansi yg memiliki $L1=100\text{mH}$ dan $R3=5\text{k}\Omega$. Tahanan induktor 500mH diukur sebesar 270Ω . Hitung tahanan $R1$ dan $R4$ yang sekiranya dpt membuat jembatan seimbang.
5. Jembatan Maxwell-Wien menggunakan kapasitor $C4=0,1\mu\text{F}$. Kesetimbangan tercapai pd frekuensi supply 100Hz ketika $R1=1,26\text{k}\Omega$, $R3=500\Omega$ dan $R4=470\Omega$. Hitung R_s dan L_s serta faktor Q dr induktor.

6. Jembatan Hay dng $C_4=0,1\mu\text{F}$. Kesetimbangan tercapai pd frekuensi supply 100Hz ketika $R_1=1,26\text{k}\Omega$, $R_3=500\Omega$ dan $R_4=75\Omega$. Hitung induktansi dan tahanan dalam rangk RL serta faktor Q dr induktor.