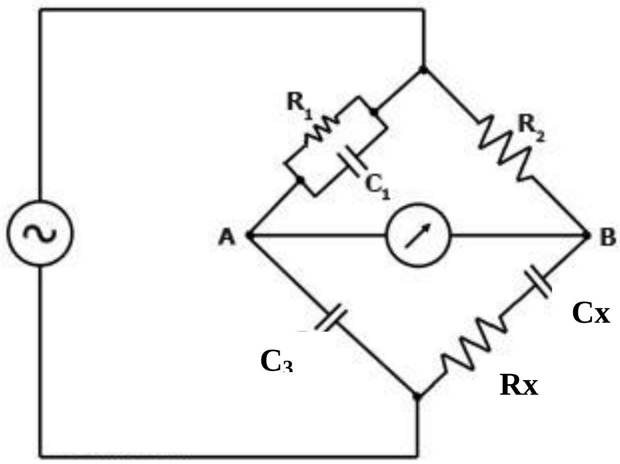
JEMBATAN SCHERING



Jembatan Schering, salah satu jembatan arus bolak-balik yang paling penting, di pakai secara luas untuk pengukuran kapasitor. Dia memberikan beberapa keuntungan nyata atas jembatan pembanding kapasitansi. Walaupun jembatan Schering digunakan untuk pengukuran kapasitansi dalam pengertian yang umum, dia terutama sangat bermanfaat guna mengukur sifat-sifat isolasi yakni pada sudut-sudut fasa yang sangat mendekati 90°.

Susunan rangkaian dasar ditunjukkan pada gambar diatas, dan pemeriksaan rangkaian menunjukkan suatu kemiripan yang kuat terhadap jembatan pembanding. Perhatikan bahwa lengan 1 sekarang mengandung suatu kombinasi parallel dari sebuah tahanan dan sebuah kapasitor, dan lengan standar hanya berisi sebuah kapasitor. Biasanya kapasitor standar adalah sebuah kapasitor mika bermutu tinggi dalam pemakaian pengukuran yang umum, atau sebuah kapasitor udara guna pengukuran isolasi. Sebuah kapasitor mika bermutu tinggi mempunyai kerugian yang sangat rendah (tidak ada tahanan) dan arena itu mempunyai sudut fasa yang mendekati 90°. Sebuah kapasitor udara yang dirancang secara cermat memiliki nilai yang sangat stabil dan medan listrik yang sangat kecil; bahan isolasi yang akan diuji dapat dengan mudah dihindari dari setiap medan yang kuat.

Persyaratan setimbang menginginkan bahwa jumlah sudut fasa lengan 1 dan lengan 4 sama dengan jumlah sudut fasa lengan 2 dan lengan 3. Karena kapasitor standar berada dalam lengan 3, jumlah sudut fasa lengan 2 dan 3 akan menjadi $0^{\circ}+90^{\circ}=90^{\circ}$. Agar menghasilkan sudut fasa 90° yang diperlukan untuk kesetimbangan, jumlah sudut fasa antara lengan 1 dan 4 harus sama dengan 90°. Karena dalam pekerjaan pengukuran yang umum besaran yang tidak diketahui akan memiliki sudut fasa yang lebih kecil dari 90°, maka lengan 1 perlu diberi suatu sudut kapasitif yang kecil dengan menghubungkan kapasitor **C1** paralel terhadap **R1.** Suatu sudut kapasitif yang kecil sangat mudah diperoleh, yakni dengan menghubungkan sebuah kapasitor kecil terhadap **R1**.

Persamaan kesetimbangan diturunkan dengan cara yang biasa dengan memasukkan nilai-nilai impedansi dan admitansi yang memenuhi ke dalam persamaan umum kita peroleh,

$$\mathbf{Zx = Z_2 Z_3 Y_1}$$

$$\mathbf{Rx - j/\omega Cx = R2(-j/\omega C3)(1/R1 + j\omega C1)}$$

Dan dengan menghilangkan tanda kurung,

$$\mathbf{Rx - j/\omega Cx = R2C1/C3 - jR2/\omega C3R1} \qquad \mathbf{(8\text{-}30)}$$

Dengan menyamakan bagian nyata dari bagian khayal kita peroleh bahwa

$$\mathbf{Rx = R2C1/C3} \qquad \mathbf{(8\text{-}31)}$$

$$\mathbf{Cx = C3R1/R2} \qquad \mathbf{(8\text{-}32)}$$

Factor daya (power factor, PF) dari sebuah kombinasi seri RC didefinisikan sebagai cosinus sudut fasa rangkaian. Dengan demikian factor daya yang tidak diketahui sama dengan PF = Rx/Zx . Untuk sudut-sudut fasa yang sangat mendekati 90°, reaktansi hampir sama dengan impedansi dan kita dapat mendekati factor daya menjadi :

$$\mathbf{PF \approx Rx/Xx = \omega CxRx} \qquad \mathbf{(8\text{-}33)}$$

Factor disipasi dari sebuah rangkaian seri RC didefinisikan sebagai cotangent sudut fasa dan arena itu, menurut definisi, factor disipasi adalah

$$\mathbf{D = Rx/Xx = \omega CxRx} \qquad \mathbf{(8\text{-}34)}$$

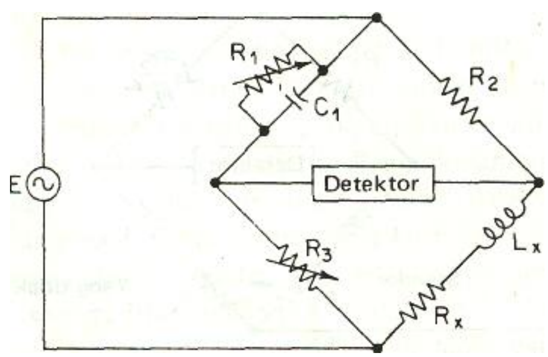
Di samping itu karena kualitas sebuah kumparan didefinisikan oleh Q = XL/RL, kita peroleh bahwa factor disipasi D adalah kebalikan dari factor kualitas Q, dan berarti D = 1/Q. Faktor disispasi memberitahukan kita sesuatu mengenai kualitas sebuah kapasitor, yakni bagaimana dekatnya sudut fasa kapasitor tersebut ke nilai idealnya 90°. Dengan memasukkan nilai Cx dalam persamaan (8-32) dan Rx dalam persamaan (8-31) kedalam bentuk factor disipasi diperoleh

$$D = \omega R1C1 \qquad (8\text{-}35)$$

Jika tahanan R1 dalam jembatan Schering pada gambar diatas mempunyai suatu nilai yang tetap, piringan (dial) kapasitor C1 dapat dikalibrasi langsung dalam factor disipasi D. ini merupakan hal yang biasa didalam sebuah jembatan Schering. Perhatikan bahwa suku ω muncul dalam pernyataan factor disipasi (persamaan 8-35). Tentunya ini berarti bahwa kalibrasi piringan C1 hanya berlaku untuk satu frekuensi tertentu pada mana piringan di kalibrasi. Frekuensi yang berbeda dapat digunakan asalkan dilakukan suatu koreksi, yakni dengan mengalikan pembacaan piringan C1 terhadap perbandingan dari kedua frekuensi tersebut.

JEMBATAN MAXWELL

Jembatan Maxwell yang diagram skemanya ditunjukkan pada Gambar 5-1, mengukur sebuah *induktansi* yang tidak diketahui dinyatakan dalam *kapasitansi* yang diketahui. Salah satu lengan perbandingan mempunyai sebuah tahanan dan sebuah kapasitansi dalam hubungan *paralel,* dan untuk hal ini adalah lebih mudah untuk menuliskan persamaan kesetimbangan dengan menggunakan *admitansi* lengan 1 sebagai pengganti impedansi.



Gambar 5-1. Jembatan Maxwell Untuk Pengukuran Induktansi.

Dengan menyusun kembali persamaan umum kesetimbangan jembatan, diperoleh :

$$Z_x = Z_2 Z_3 Y_1$$

di mana Y_1 adalah admitansi lengan 1. Dengan melihat kembali ke Gambar 5-1 ditunjukkan bahwa :

$Z_2 = R_2$; $Z_3 = R_3$;   dan $Y_1 = (1/R_1) + jwC_1$

Substitusi harga-harga ini ke dalam persamaan $Z_x = Z_2 Z_3 Y_1$ memberikan :

Zx = Rx +*jwLx* = $R_2R_3(1/R + jwC_1)$

Pemisahan bagian nyata dan bagian khayal memberikan

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad \text{dan} \quad L_x = R_2 R_3 C_1$$

dimana tahanan dinyatakan dalam ohm, induktansi dalam henry, dan kapasitansi dalam farad.

Jembatan Maxwell terbatas pada pengukuran *kumparan dengan Q menengah* ($1 < Q < 10$). Ini dapat ditunjukkan dengan memperhatikan syarat setimbang kedua yang menyatakan bahwa jumlah sudut fasa satu pasang lengan yang berhadapan hams sama dengan jumlah sudut-sudut fasa pasangan lainnya. Karena sudut fasa dari elemen-elemen resistif dalam lengan 2 dan lengan 3 berjumlah 0°, jumlah sudut-sudut lengan 1 dan lengan 4 juga hams berjumlah 0°. Sudut fasa sebuah komponen dengan *Q tinggi* akan sangat mendekati 90° (positif), yang menghendaki bahwa sudut fasa lengan kapasitif juga harus sangat mendekati 90° (negatif). Ini selanjutnya berarti bahwa tahanan *R* i harus sungguh-sungguh sangat tinggi, yang bisa sangat tidak praktis. Dengan demikian kumparan-kumparan *Q* tinggi umumnya diukur dalam jembatan Hay.

Jembatan Maxwell juga tidak sesuai untuk pengukuran kumparan dengan nilai *Q* yang sangat rendah *($Q < 1$)* karena masalah pemusatan kesetimbangan. Sebagai contoh nilai *Q* yang sangat rendah terdapat dalam tahanan induktif atau dalam kumparan frekuensi radio (RF) jika diukur pada frekuensi rendah. Sebagaimana dapat dilihat dari persamaan *Rx* dan Lx, pengaturan kesetimbangan induktif oleh R_3 akan mengganggu kesetimbangan resistif sebesar R_1 dan menghasilkan efek yang disebut *setimbang bergeser (sliding balance).* Setimbang bergeser menjelaskan interaksi antara pengontrolan-pengon-trolan, sehingga bila kita menyetimbangkan dengan R_1 dan kemudian dengan R_3 dan kembali lagi ke R_1, kita mendapatkan titik setimbang yang baru. Titik setimbang nam-paknya bergerak atau *bergeser* menuju titik akhirnya melalui banyak pengaturan. Interaksi tidak terjadi dengan menggunakan R_1 dan C_1 sebagai pengatur kesetimbangan, tetapi sebuah kapasitor variabel tidak selalu memenuhi. Prosedur yang biasa untuk menyetimbangkan jembatan Maxwell adalah dengan pertama-tama mengatur R_3 untuk kesetimbangan induktif dan kemudian mengatur R_1 untuk

Impedansi lengan 1 adalah $Z_1 = R_1 - j/\omega C_1$. Admitansi lengan 3 adalah $Y_3 = 1/R_3 + j\omega C_3$. Dengan menggunakan persamaan dasar untuk kesetimbangan jembatan dan memasukkan nilai-nilai yang tepat diperoleh

$$R_2 = (R_1 - \frac{j}{\omega C_1})R_4(\frac{1}{R_3} + j\omega C_3)$$

Dengan menguraikan bentuk ini diperoleh

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} + (J\omega c_3 R_1 R_4) - \frac{jR_4}{\omega C_1 R_3} + \frac{R_4 C_3}{C_1}$$

Dengan menyamakan bagian-bagian *nyata* diperoleh

$$R_2 = \frac{R_1 R_4}{R_3} + \frac{R_4 C_3}{C_1}$$

yang berubah menjadi

$$\frac{R_2}{R_4} = \frac{R_1}{R_3} + \frac{C_3}{C_1}$$

Dengan menyamakan bagian-bagian *khayal* diperoleh

$$\omega C_3 R_1 R_4 = \frac{R_4}{\omega C_1 R_3}$$

di mana $\omega = 2\pi f$, dan penyelesaian bagi f diperoleh

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 C_3 R_1 R_3}}$$

Perhatikan bahwa kedua persyaratan bagi kesetimbangan jembatan sekarang menghasilkan sebuah persamaan yang menentukan perbandingan tahanan R_2/R_4 yang diperlukan, dan sebuah persamaan lain yang menentukan frekuensi tegangan yang dimasukkan. Dengan perkataan lain, jika kita memenuhi persamaan $\frac{R_2}{R_4} = \frac{R_1}{R_3} = \frac{C_3}{C_1}$ dan juga menghidupkan (mengeksitasi) jembatan dengan suatu frekuensi yang diberikan oleh persamaan $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 C_3 R_1 R_3}}$, maka jembatan tersebut akan setimbang.