

B A B III

METODA PENGUKURAN LISTRIK

Salah satu metoda pengukuranyang biasa digunakan padateknik listrik adalah metoda jembatan (bridge). Metoda ini merupakan suatu cara untuk mengukur harga tahanan atau impedansi darisuatu rangkaian listrik dengan menggunakan empat buah tahanan atau impedansi dan sumber tegangan yang dihubungkan melalui dua titik diagonal dan pada kedua titik diagonal yang lain ditempatkan sebuah galvanometer.

A. JEMBATAN WHEATSTONE

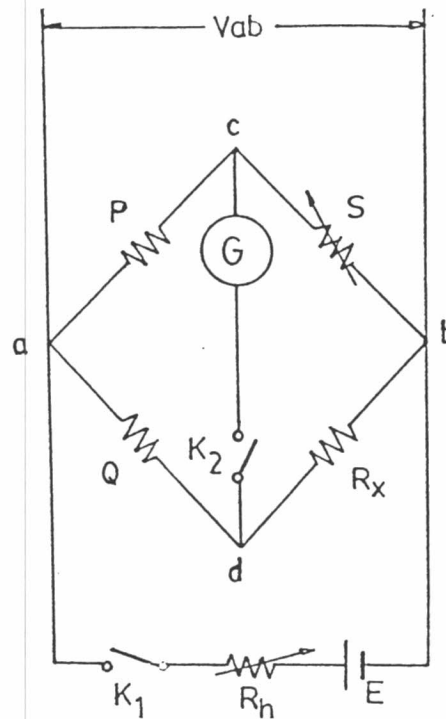
Jembatan Wheatstone merupakan sirkit listrik yang terdiri dari empat tahanan dan sumber tegangan yang dihubungkan melalui dua titik diagonal seperti telah di jelaskan, dan terlihat rangkaiannya pada Gr. 11. Pada saat K_1 menutup dan K_2 membuka, maka tegangan pada terminal a-b = V_{ab} , tegangan terminal c-b = V_{cb} dan tegangan pada terminal d-b = V_{db} masing-masing dinyatakan sebagai berikut :

$$V_{cb} = \frac{S}{P + S} \cdot V_{ab}$$

..... (3-1) 2

$$V_{db} = \frac{R_x}{Q + R_x} \cdot V_{ab}$$

2. DR.Soedjana Sapi'ie dan DR.Osamu Nishino,Pengukuran dan alat-alat ukur listrik.PT Pradnya Paramita,Jakarta,1979,hal 102.



GAMBAR 11 3

JEMBATAN WHEATSTONE

Dengan mengatur S, maka memungkinkan untuk membuat $V_{cb} = V_{db}$. Bila hal ini dipenuhi maka tiada arus yang akan mengalir melalui Galvanometer meskipun K_2 ditutup. Bila Galvanometer tidak memperlihatkan pergeseran meskipun K_2 ditutup maka dikatakan bahwa jembatan dalam keadaan setimbang. Dalam keadaan setimbang maka didapatkan persamaan :

$$P \cdot R_x = Q \cdot S$$

atau (3-2) 3

$$R_x = \frac{Q}{P} \cdot S$$

Jadi harga dari tahanan yang tidak diketahui bisa didapatkan dengan menyeimbangkan jembatan bila rasio dari tahanan-tahanan Q, P dan harga dari

S diketahui. Mengenai keseimbangan dari jembatan ketiga hal di bawah ini adalah penting yaitu :

- Keadaan setimbang tidak dipengaruhi oleh pergantian posisi dari sumber tegangan dan galvanometer.
- Kondisi kesetimbangan tidak dipengaruhi, bila tegangan dari sumber tegangan berubah.
- Galvanometer hanya diperlukan untuk melihat bahwa tidak ada arus yang mengalir melalui sirkuitnya, jadi tidak perlu untuk membaca harga arus pada skala.

Cabang P dan Q disebut cabang-cabang rasio dan cabang S disebut cabang pengatur. Untuk cabang-cabang rasio harga tahanan masing-masing tidak perlu teliti tetapi hanya harga rasio antara keduanya yang penting dan harga rasio inilah yang harus didapatkan seteliti mungkin. Dan harga tahanan dari cabang pengatur harus diketahui seteliti mungkin.

Rasio-rasio tahanan pada cabang rasio biasanya diambil sebagai pangkat sepuluh, sehingga harga R_x yang akan diukur akan rendah didapatkan dengan mengatur harga dari S dari hasil ukurnya didapatkan dengan hanya mengalikan dengan rasio kepangkatan dari sepuluh.

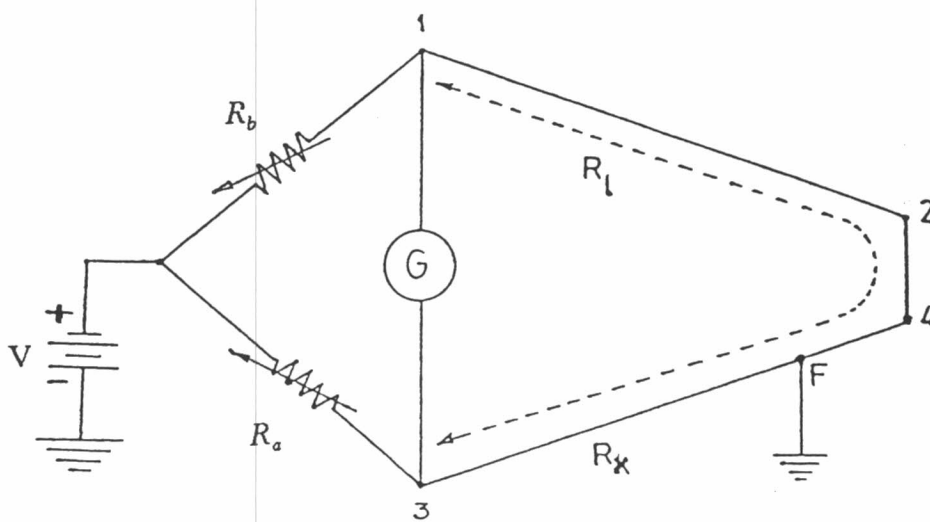
Cara-cara untuk menyeimbangkan jembatan adalah sebagai berikut :

- Pertama-tama sirkit dari sumber energi ditutup kemudian sirkit Galvanometer ditutup sesaat untuk melihat arah ketidak seimbangan dan S diatur untuk mengkompensasinya. Setelah

itu k_2 ditutup pula sesaat, maka dengan cara demikian keseimbangan akhir akan didapat.

B. JEMBATAN MURRAY

Jembatan Murray pada prinsipnya adalah sama dengan jembatan wheatstone. Dalam pengukuran disamping konduktor yang rusak juga diperlukan sebuah konduktor yang baik. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 12 pada halaman berikut ini.



GAMBAR 12

JEMBATAN MURRAY

Dimana pada saluran 3-4 terjadi suatu gangguan pada titik F dan ujung saluran ini dihubungkan dengan ujung saluran yang baik yaitu ujung saluran 1-2. Kemudian rangkaian diberi sumber baterai dimana positif baterai

dihubungkan dengan titik antara R_a dan R_b sedangkan negatif baterai dihubungkan dengan titik gangguan.

R_1 adalah jumlah tahanan salurandari titik 1-2-4-3 dan

R_x adalah tahanan saluran dari titik 3 ke titik gangguan F.

Pada saat kesetimbangan :

$$\frac{R_b}{R_a} = \frac{R_1 - R_x}{R_x} \quad \dots\dots\dots (3-3)$$

$$R_x = \frac{R_a \cdot R_1}{R_a + R_b} \quad \dots\dots\dots (3-4)$$

Dimana :

R_a = Tahanan pembanding (Ω)

R_b = Tahanan pembanding (Ω)

R_1 = Tahanan saluran (Ω)

R_x = Tahanan dari titik 3 ke titik gangguan F (Ω)

Dan apabila panjang saluran (L) diketahui maka jarak ke tempat gangguan

(X) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{R_b}{R_a} = \frac{L - X}{X} \quad \dots\dots\dots (3-5)$$

$$X = \left(\frac{R_a}{R_a + R_b} \right) \cdot L \quad \dots\dots\dots (3-6)$$

Dimana :

R_a = Tahanan pembanding (Ω)

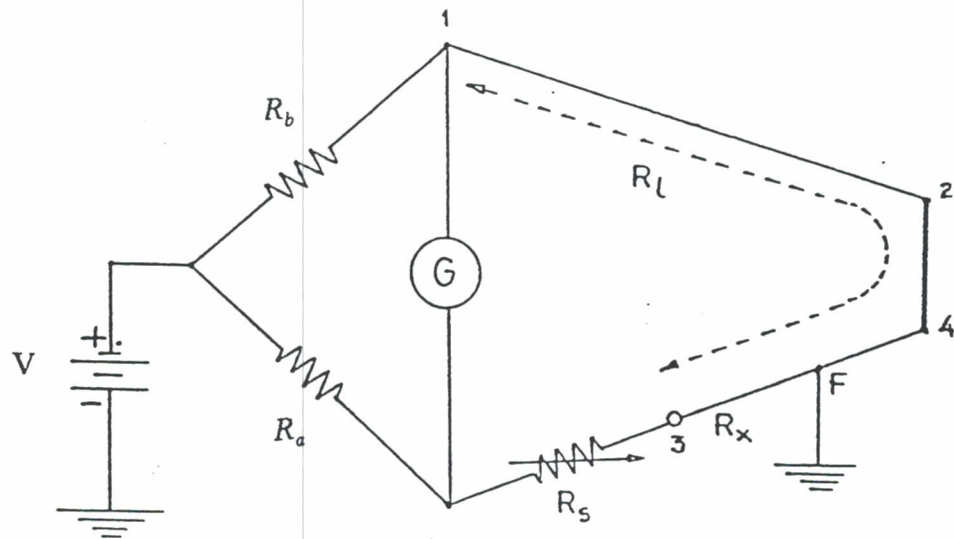
R_b = Tahanan pembanding (Ω)

L = Panjang saluran (m)

X = Jarak gangguan (m)

C. JEMBATAN VARLEY

Jembatan Varley mempunyai perbandingan 1:1 antara kedua lengannya dan digunakan untuk tujuan pemeliharaan saluran.



GAMBAR 13

JEMBATAN VARLEY

Dimana sebuah saluran terjadi kerusakan dan sebuah saluran lagi dalam keadaan baik yaitu saluran 1 - 2 dalam keadaan baik dan pada saluran 3 - 4 terjadi suatu kerusakan. Kemudian kedua ujung saluran dihubungkan menjadi satu antara ujung saluran yang baik dengan ujung saluran yang terjadi suatu kerusakan. Perbandingan antara R_a dengan R_b adalah tetap dan sebuah tahanan variabel (R_s) yang dihubungkan seri dengan saluran yang terjadi

suatu kerusakan. Maka untuk mencapai suatu kesetimbangan adalah dengan mengatur variabel R_s .

Pada kedua ujung diagonal antara R_a dan R_b diberi sumber baterai dan pada kedua ujung yang lain ditempatkan sebuah Galvanometer untuk mendeteksi kesetimbangan rangkaian.

Pada saat hubungan setimbang antara R_1 dengan R_s maka tahanan dari pada gangguan R_x dapat diperoleh dari :

$$\frac{R_b}{R_a} = \frac{R_1 - R_x}{R_a + R_x} \dots\dots\dots (3-7)$$

$$R_x = \frac{R_a \cdot R_1 - R_b \cdot R_s}{R_a + R_b} \dots\dots\dots (3-8)$$

Perbandingan antara R_b dengan R_a adalah 1 (satu) maka :

$$R_x = \frac{R_1 - R_s}{2} \dots\dots\dots (3-9)$$

$$R_s = R_1 - 2R_x \dots\dots\dots (3-10)$$

Dimana :

$$R_a = \text{Tahanan pembanding } (\Omega)$$

$$R_b = \text{Tahanan pembanding } (\Omega)$$

$$R_1 = \text{Tahanan saluran } (\Omega)$$

$$R_s = \text{Tahanan variabel } (\Omega)$$

$$R_x = \text{Tahanan saluran } (\Omega)$$

Dan apabila panjang saluran (L) diketahui maka jarak gangguan (d) dari titik rangkaian akhir ke titik gangguan (F) dapat dituliskan sebagai berikut :

$$d = \frac{R_s}{R_1} \cdot L \dots\dots\dots (3-11)$$

Dimana :

R_s = Tahanan variabel (Ω)

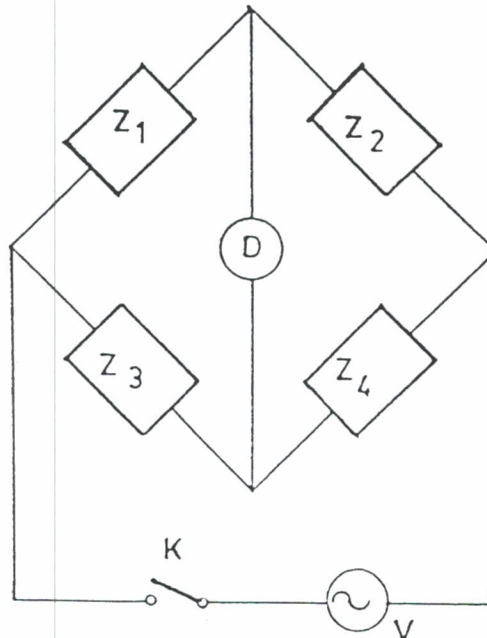
R_1 = Tahanan saluran (Ω)

d = Jarak dari titik 4 ke titik gangguan F (m)

L = Panjang (m)

D. JEMBATAN ARUS BOLAK-BALIK

Jembatan arus bolak balik pada prinsipnya adalah sama dengan jembatan arus searah hanya saja tahanan-tahanan yang terdapat pada empat cabangnya diganti dengan impedansi-impedansi.



GAMBAR 14 4

JEMBATAN ARUS BOLAK-BALIK

Hukum Ohm berlaku untuk arus bolak balik, maka kondisi untuk kesetimbangan didapat sebagai berikut :

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3 \quad \dots\dots\dots (3-12) \quad 5$$

Bila kondisi kesetimbangan tersebut ditulis dengan suatu persamaan yang memperlihatkan hubungan-hubungan antara bagian-bagian nyata dan bagian-bagian imajinairnya, maka didapat hubungan kesetimbangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Z_2 \cdot Z_3 &= (R_2 + jX_2) \cdot (R_3 + jX_3) \\ &= R_2 \cdot R_3 + jR_2 \cdot X_3 + jR_3 X_2 + j^2 X_2 \cdot X_3 \\ &= R_2 \cdot R_3 - X_2 \cdot X_3 + j(R_2 \cdot X_3 + R_3 \cdot X_2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_1 \cdot Z_4 &= R_1 \cdot R_4 - X_1 \cdot X_4 + j(R_1 \cdot X_4 + R_4 \cdot X_1) \\ &= R_2 \cdot R_3 - X_2 \cdot X_3 + j(R_2 \cdot X_3 + R_3 \cdot X_2) \end{aligned}$$

$$R_1 \cdot R_4 - X_1 \cdot X_4 = R_2 \cdot R_3 - X_2 \cdot X_3$$

$$R_1 \cdot X_4 + R_4 \cdot X_1 = R_2 \cdot X_3 + R_3 \cdot X_2 \quad \dots\dots\dots (3-13) \quad 5$$

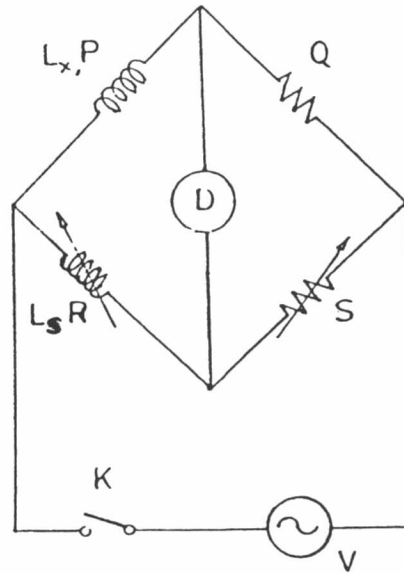
Jembatan arus bolak-balik beraneka ragamnya dan beberapa contoh dibawah ini adalah yang bisa ditemukan.

a. JEMBATAN MAXWELL

Jembatan Maxwell dipergunakan untuk mengukur induktansi (L_x)

yang diukur dengan mempersamakan induktansi yang diketahui (L_s).

P dan R dalam gambar tersebut adalah tahanan seri dari pada L_x dan L_s masing-masing.



GAMBAR 15 6

JEMBATAN MAXWELL

Kondisi untuk kesetimbangan dari jembatan adalah :

$$(P + jWL_x)S = (R + jWL_s)Q \dots\dots\dots (3-14) \text{ 6}$$

Dimana W adalah frekwensi putar yang besarnya sama dengan $W = 2\pi f$ dan dinyatakan dalam radius/detik. W lebih sering dipakai dalam formula-formula daripada f , tidak hanya karena membuat notasi lebih mudah akan tetapi W adalah suatu besaran yang berhubungan secara langsung terhadap perubahan dari sudut fasa dengan waktu.

Untuk bagian nyata dan bagian imaginair maka bagian tahanan dan bagian induktansi harus sama pada kedua sisi persamaan tersebut.

Maka dengan demikian kondisi kesetimbangan didapat sebagai berikut :

$$P \cdot S = R \cdot Q$$

atau (3-15) 6

$$L_x \cdot S = L_s \cdot Q$$

Bila kondisi tersebut ditulis bersamaan maka akan didapat :

$$\frac{L_X}{L_S} = \frac{P}{R} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (3-16) \quad 7$$

Jika kesetimbangan ini tidak tergantung pada frekwensi. Untuk mencapai kesetimbangan L_S dan S dibuat sebagai suatu besaran yang dapat diatur dan pengaturannya seperti pada gambar.

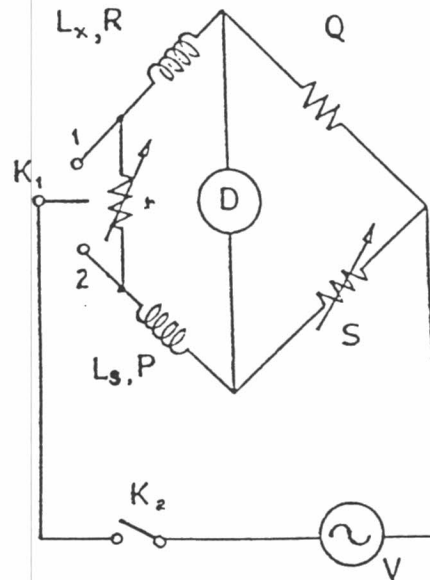
Bila Q/S , L_S dan R diketahui maka L_X dan P bisa didapat dari :

$$L_X = \frac{Q}{S} \cdot L_S \dots\dots\dots (3-17) \quad 7$$

$$P = \frac{Q}{S} \cdot R$$

Pada gambar diatas menunjukkan suatu induktansi variable atau induktometer yang diperlukan untuk pengaturan kesetimbangan.

Dan apabila hal ini tidak didapat maka sirkit seperti gambar dibawah ini dapat dipergunakan.



GAMBAR 16 8

JEMBATAN MAXWELL

Bila jembatan tersebut diseimbangkan dengan mengatur s dengan k_1 pada posisi 1 maka :

$$\frac{L_x}{L_s} = \frac{R}{P+r} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (3-18) 8$$

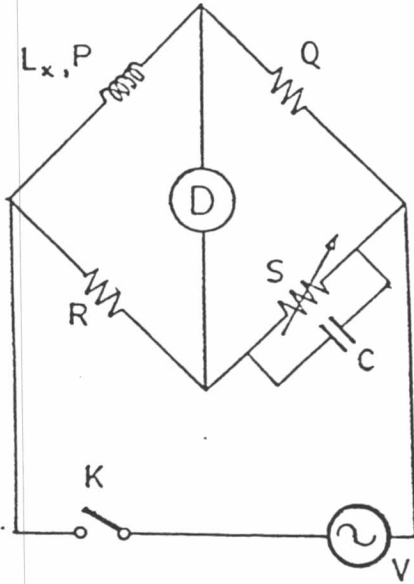
Atau sebaliknya bila diseimbangkan pada posisi 2 ,

$$\frac{L_x}{L_s} = \frac{R+r}{P} = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (3-19) 8$$

b. JEMBATAN MAXWELL-WIEN

Jembatan Maxwell-wien dipakai untuk mengukur L_x (atau C) bila

C atau (L_x) diketahui :



GAMBAR 17 9

JEMBATAN MAXWELL-WIEN

Tahanan-tahanan R dan S harus diketahui karena harga-harga dari tahanan dapat ditentukan jauh lebih mudah dari pada L dan C, maka pengukuran tahanan-tahanan murni tidak dimasukkan sebagai suatu obyek pengukuran dengan mempergunakan jembatan-jembatan arus bolak-balik, kecuali hal itu memang dihauskan demikian pengukurannya.

Sebaliknya tahanan seri yang menjadi bagian tahanan dari suatu induktor atau tahanan paralelnya dari suatu kondensator, dianggap sebagai obyekdaripengukuran.

$$P \cdot S = Q \cdot R$$

atau (3-20) 9

$$L_x = CQR$$

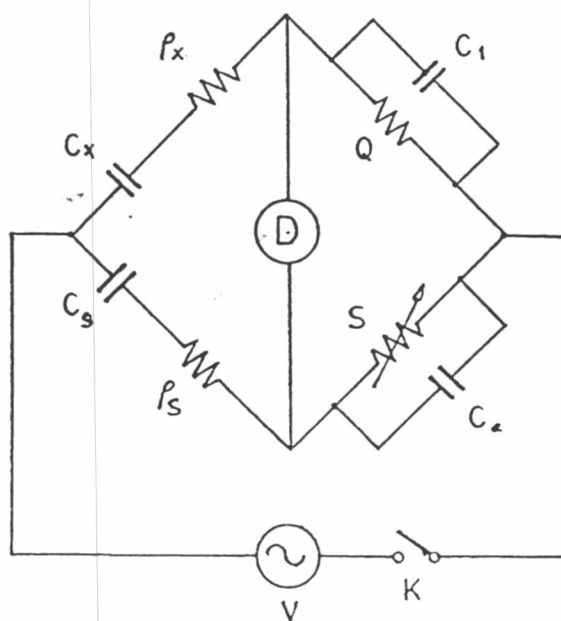
9. DR.Soedjana Sapl'ie dan DR.Osamu Nishino,Pengukuran dan alat-alat ukur listrik.PT Pradnya Paramita,Jakarta,1979,hal 125.

Bagian yang pertama adalah yang berhubungan dengan tahanan (bagian nyata) dan yang terakhir dengan induktansi (bagian imaginair). Untuk membuat keseimbangan, maka pengaturan diadakan pada S dan C (L_x).

Bila L_x dan C ditentukan atau tertentu, S dan Q atau R dapat diatur.

c. JEMBATAN SCHERING

Jembatan ini dipakai untuk mempersamakan kapasitas dan tahanan dalam dari kondensator dengan kapasitas dan tahanan dalam dari suatu kondensator standart.



GAMBAR 18 10

JEMBATAN SCHERING

Bila sumber energi dihubungkan didalam cara seperti yang diperlihatkan pada gambar, maka arus yang diambil dari sumber energi adalah kecil.

Hal ini disebabkan kapasitansi yang akan menimbulkan impedansi yang tinggi, terutama pada frekwensi-frekwensi yang biasanya dipergunakan

10. DR. Soedjana Sap'le dan DR. Osamu Nishino, Pengukuran dan alat-alat ukur listrik. PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1979, hal 127.

untuk jembatan ini, yaitu 50 sampai 1000 Hertz. Cara menghubungkan ini disebut cara penghubungan tegangan tinggi dan bila hubungan tersebut dirubah dengan pemindahan tempat antara detektor dan sumber, maka hubungan-hubungan tersebut dinyatakan sebagai hubungan tegangan rendah. Didalam gambar ρ_x dan ρ_s adalah kerugian-kerugian dielektrik yang didapat pada C_x dan C_s masing-masing dan digambarkan dalam bentuk sebagai tahanan-tahanan seri. Bila masing-masing sudut kerugian dielektrik dinyatakan sebagai ϕ_x dan ϕ_s maka akan didapat :

$$\tan \phi_x = W \cdot C_x \cdot \rho_x \quad \dots\dots\dots (3-21) \quad 11$$

$$\tan \phi_s = W \cdot C_s \cdot \rho_s$$

Kondisi kesetimbangan adalah :

$$\rho_x + \frac{1}{jWC_x} = \frac{1}{Q} + jWC_1 \quad \dots\dots\dots (3-22) \quad 11$$

$$P_s + \frac{1}{jWC_s} = \frac{1}{S} + jWC_2$$

Jadi dengan demikian maka :

$$\frac{C_s}{C_x} = \frac{S(1 - W^2 C_x \cdot C_1 \cdot \rho_x \cdot Q)}{Q(1 - W^2 C_s \cdot C_2 \cdot \rho_s \cdot S)} = \frac{S(C_x \rho_x + C_1 \cdot Q)}{Q(C_s \rho_s + C_2 \cdot S)} \quad \dots\dots\dots (3-23) \quad 11$$

Pada umumnya rugi dielektris adalah kecil dalam tingkat kebesaran 10^{-3} atau lebih rendah. Jadi didalam penggunaan adalah menjadi suatu kebiasaan untuk membuat jembatan pada syarat-syarat $W \cdot C_1 \cdot Q$ dan

$W \cdot C_2 \cdot S$ jauh lebih kecil dari 1, sehingga syarat-syarat kesetimbangan menjadi :

$$C_x = C_s \cdot \frac{Q}{S} \dots\dots\dots (3-24) \quad 12$$

$$\tan \phi_x - \tan \phi_s = W(C_1 \cdot Q - C_2 \cdot S) \dots\dots\dots (3-25) \quad 12$$

Sehingga dengan demikian adalah mungkin untuk mempersamakan C_x dengan C_s dan $\tan \phi_x$ dengan $\tan \phi_s$.

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa kondisi-kondisi kesetimbangan tergantung dari frekwensi, akan tetapi dalam prakteknya karena frekwensi adalah tetap maka tidak tergantung dari padanya.

Pengukuran-pengukuran biasanya hanya dibuat pada satu frekwensi akan tetapi sudut rugi dielektris akan tergantung dari frekwensi seperti dapat dilihat dalam persamaan (3-21).

Jadi hasil pengukuran harus menyatakan dengan tegas bahwa pengukuran tersebut dibuat pada suatu frekwensi yang tertentu.