

エネルギー管理研修

電気の基礎

3. 電気計測

大阪大学 大学院 舟木 剛
平成20年12月15日^{14:40～16:00}

テキストⅡ-66

3.1 電気計測概説

3.1.1 測定

- 測定の種類
 - 直接測定
 - 電圧・電流等を指示計器から直接読み取る
 - 間接測定
 - 測定量から間接的に求める方法(抵抗値=電圧/電流など)
- 測定方法
 - 偏位法
 - 指示計器の指針の振れに変換して読む(アナログメータ)
 - 零位法
 - 同種の標準量と平衡させて、針が零を指すように測定(ブリッジ)
 - 補償法
 - 測定量から一定量を差し引いて測定

3.1 電気計測概説

3.1.1 測定

- 測定値

- 平均値

- 瞬時値の半周期平均値

$$I_m = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} I \sin \omega t dt = \frac{2I}{T} \left[-\frac{1}{\omega} \cos \omega t \right]_0^{\frac{T}{2}} = \frac{2I}{\pi}$$

- 二乗平均値

- 瞬時値の二乗の一周期平均値

$$\begin{aligned} I_{ms} &= \frac{1}{T} \int_0^T (I \sin \omega t)^2 dt = \int_0^T \frac{I^2}{2} (1 - \cos 2\omega t) dt \\ &= \frac{I^2}{2T} \left[t + \frac{1}{2\omega} \sin \omega t \right]_0^T = \frac{I^2}{2} \end{aligned}$$

2008年12月15日

電気計測

3

3.1 電気計測概説

3.1.1 測定

- 測定値

- 実効値

- 瞬時値の二乗の一周期分平均(2乗平均値)の平方根

$$I_{rms} = \sqrt{I_{ms}} = \sqrt{\frac{I^2}{2}} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

- 波高値

- 瞬時値の最大値-最小値(の絶対値)

(peak to peak)

$$I_{pp} = I_{\max} - I_{\min} = I - (-I) = 2I$$

2008年12月15日

電気計測

4

3.1 電気計測概説

3.1.2 実用電気単位

- SI単位系

- 電流A(アンペア)
 - 1 m離れた2本の導体に、1 m当たり 2×10^{-7} Nの力を及ぼす電流を1 A
- 電力W(ワット)
 - 仕事率 $1\text{W} = 1\text{J/sec}$
- 電圧V(ボルト)
 - 1 A流したとき、1 W消費されるときの電圧1 V
- 抵抗Ω(オーム)
 - 1 A流したとき、電圧降下1 Vとなる時1 Ω
- 電荷C(クーロン)
 - 1 Aの電流が一秒間に運ぶ電荷量1 C
- 静電容量F(ファラッド)
 - 1 C充電したとき、1 Vとなる静電容量を1 F
- インダクタンスH(ヘンリー)
 - 1 A/sで変化する電流に対して、1 V生じるインダクタンスを1 H
- 磁束Wb(ウェーバー)
 - 一回巻の閉回路に、一秒の変化で1 Vが生じる磁束 1 Wb

2008年12月15日

電気計測

5

3.1 電気計測概説

3.1.3 電気標準

- 絶対測定

- 単位の定義に従って測定したもの
- これから基礎標準が求まる

- 電気標準器

- 基礎標準を安定に維持するもの

- 電気計測器の構成に用いる
 - 電圧標準器:カドミウム標準電池・ツェナーダイオード
 - 標準抵抗器:マンガニン(Cu-Mn-Ni)巻線抵抗
 - 標準リアクタンス:溶融石英コンデンサ、空気コンデンサetc

- 交流(電圧・電流)は実効値と直流標準を比較して校正

2008年12月15日

電気計測

6

3.1 電気計測概説

3.1.4 測定の誤差

- 測定値は必ずしも真値とならない
- 測定を何度も繰り返し、平均値を真値とする
 - 誤差
 - 測定値と真値の差
 - 誤差率
 - 真値に対する誤差の比率

2008年12月15日

電気計測

7

3.1 電気計測概説

3.1.4 測定の誤差

– 誤差の種類

- 過失誤差
 - 読み取り誤差等
 - 補正可能
- 系統誤差
 - 器具、温度等により発生
 - 補正可能
- 偶然誤差
 - 原因不明
 - 測定毎に異なる値

» 正規分布でばらつく

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x - X_m)^2}{2\sigma^2}\right)$$

測定値x、測定の平均値Xm、ばらつきの程度f(x)、標準偏差σ

2008年12月15日

電気計測

8

テキストⅡ-67

3.1 電気計測概説

3.1.4 測定の誤差

- 平均値

$$X_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

- 標準偏差

- 平均2乗誤差

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_m)^2}{n}}$$

- 測定の精度

- 正確さ

- 測定値と真値の差

- 再現性

- ばらつきの度合いを%で表したもの

2008年12月15日

電気計測

9

テキストⅡ-68

3.1 電気計測概説

3.1.4 測定の誤差

- 測定装置の性能

- 器差

- 計器の指示値－真値
 - 計測器の精度を表す指標(%表示)

- 感度

- 指示量の変化分／測定量の変化分

- 分解能

- 検出可能な出力変化を与える入力の最小値

2008年12月15日

電気計測

10

テキスト II -68

3.1 電気計測概説

3.1.4 測定の誤差

• 正規分布

– 標準正規分布

$$z = \frac{x - x_m}{\sigma} \quad f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$$

• 累積密度で確率求める

$$\phi(z) = \int_0^z f(z) dz$$

– 平均値を中心として

» $\pm 1\sigma \rightarrow 68.2\%$ の確率

» $\pm 2\sigma \rightarrow 95.44\%$ の確率

» $\pm 3\sigma \rightarrow 99.74\%$ の確率

2008年12月15日

電気計測

11

テキスト II -68

3.1 電気計測概説

3.1.5 計器の精度と許容誤差

• 計器の精度

– 許容誤差

- 器差(=計器の指示-基準入力)の%値

- 5階級に分類

– 測定誤差の低減法

- 基底値(定格値)に近い範囲で測定

– 誤差の絶対値は、許容誤差 × 定格で決まるため

– 温度変化が器差に与える影響

- 可動コイルの電気抵抗 r

– 正の温度係数

– 温度が上がると抵抗増加

- 温度補償

– 温度係数極小のマンガニン線(高抵抗 R_c)を直列接続

» 合成抵抗($r+R_c$)の温度係数が小さくなる

– 温度係数が負のサーミスタで、温度係数を相殺する

2008年12月15日

電気計測

12

テキスト II -68

3.1 電気計測概説

3.1.5 計器の精度と許容誤差

計器の階級と許容誤差

階級	基底値に対する許容誤差[%]	主な用途
0.2級	±0.2%	副標準器:校正用基準器, 高精密測定
0.5級	±0.5%	精密測定:一般的な測定(精密)
1.0級	±1.0%	通常の測定:簡易測定(携帯形機器)
1.5級	±1.5%	工業計器:配電盤等のパネル用計器
2.5級	±2.5%	概略値測定

2008年12月15日

電気計測

13

テキスト II -69

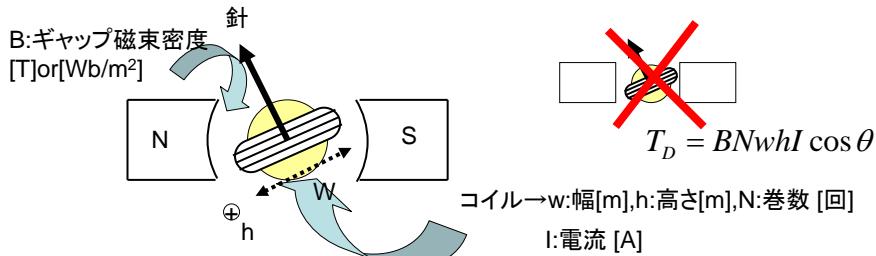
3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

- 可動コイル形

- 電圧・電流の測定に用いる
 - 数 μ A～100A, 10mV～1kV
- 永久磁石の界磁とコイルに流れる電流の相互作用
 - フレミングの左手の法則

$$T_D = BNwhI \quad [N \cdot m]$$



2008年12月15日

電気計測

14

テキスト II -69

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

• 可動コイル形

- 渦巻きバネの制動トルク T_C

$$T_C = k\theta \quad [N \cdot m] \quad \theta: \text{回転角}[rad], k: \text{比例定数}[Nm/rad]$$

- 両トルクが釣合う所で止まる

$$T_C = k\theta = T_D = BNwhI$$

- 回転角

$$\theta = BNwhI/k = KI \quad [rad] \quad K: \text{感度係数}$$

- コイルに流れる電流に比例
- コイルの抵抗が小さい
- 高抵抗を直列に入れて電圧計
- 分流器を並列に入れて電流計

- 数kA, 数十kVまで測定範囲の拡大可能

2008年12月15日

電気計測

15

テキスト II -69

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

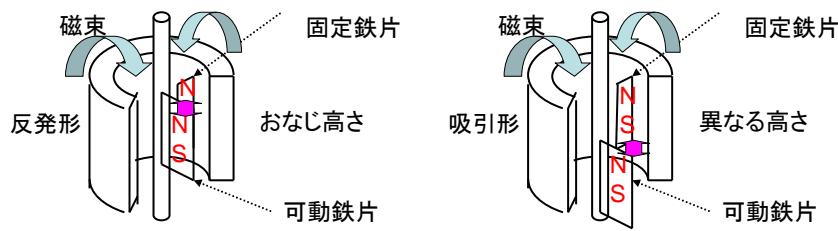
• 可動鉄片形

- 500Hz程度以下の交流電圧・電流測定用

- 10mA～100A, 10V～1kV

- 磁化された鉄片間の吸引・反発力を利用

- 反発形・吸引形・吸引反発形がある
- 固定コイルに測定電流を流し、発生した磁界で固定鉄片と可動鉄片を同時に磁化する
- 両鉄片は同じ向きに磁化されるので、同じ高さに配置すると反発、ずらして配置すると吸引する



2008年12月15日

電気計測

16

テキスト II -69

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

- 可動鉄片形

- 駆動トルク T_D

- 電流 I の二乗と、可動鉄片と固定鉄片の角度差(振れ角) θ による関数 $f(\theta)$ の積 $I^2 f(\theta)$ に比例

- 磁化の強さは電流に比例

- 吸引・反発力は両鉄片の磁化の強さの積に比例

- » 指針を動かすトルク τ は固定コイル電流の二乗の時間平均に比例

$$\tau = k \frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt \quad [N \cdot m]$$

$$T_c = k_c \theta \quad [N \cdot m]$$

2008年12月15日

電気計測

17

テキスト II -69

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

- 電流力計形

- 1kHz以下交流・直流、電流、電圧・電力測定

- 10mA~20A, 1V~1kV

- 固定コイル(FC)と可動コイル(MC)で構成される

- 駆動トルク $\tau_d = k I_f I_m \cos(\alpha - \theta)$
 I_f : 固定コイル電流, I_m : 可動コイル電流,

- 固定コイルと可動コイルを直列接続すると、トルクは電流の2乗に比例

$$I_f = i_f \sin(\omega t - \phi)$$

- 固定コイル電流 $V_m = v_m \sin \omega t$ \Rightarrow 電流 I_m に比例,

- I_f と i_m の積に比例、即ち負荷の平均電力に駆動トルクは比例

$$P = V_m I_m \sin(\omega t - \phi) \sin \omega t = \frac{V_m I_m}{2} \{ \cos \phi - \cos(2\omega t - \phi) \}$$

2008年12月15日 可動鉄片形と同様に $P = \frac{V_m I_m}{2} \cos \phi$ (直流成分)
 ϕ : 力率角

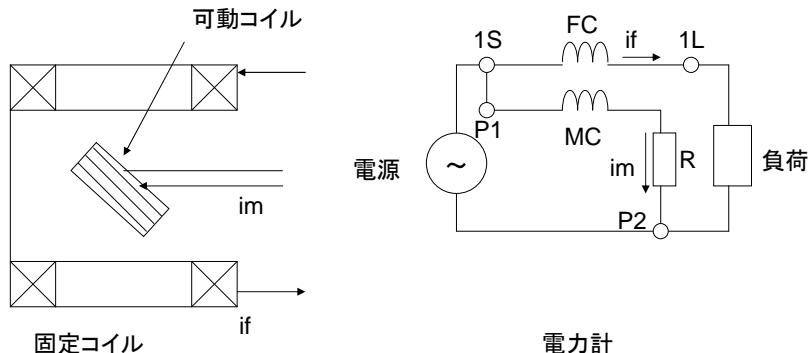
18

テキスト II-70

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

• 電流力計形



2008年12月15日

電気計測

19

テキスト II-70

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

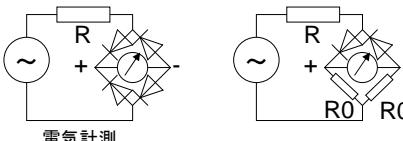
• 热電形

- 100MHz以下の交流・直流、電流・電圧
- 測定電流を熱線に流し、熱線の温度上昇を熱電対と可動コイル形計器で測定。
- 熱量は電流の二乗に比例→実効値の二乗に比例

• 整流形

- 10~1MHz, $100\mu \sim 0.1A$, $1 \sim 1kV$
- 整流器を内蔵した可動コイル形計器
- 整流された脈流波形の平均値を指示。正弦波で校正して実効値で目盛る
- 歪波では誤差大

2008年12月15日



電気計測

20

テキスト II-71

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

• 誘導形

- 10~500Hz, 交流電流, 電圧, 電力量, 0.1~100A, 1~100V
- 交流電流・電圧・電力量を測る
- 移動磁界・回転磁界及びそれが誘導する渦電流の相互作用
 - 回転磁界形
 - 二つのコイルに、測定電圧と同相と $\pi/2$ 位相が遅れた電流を流す→両コイルが回転磁界を形成
 - 回転磁界が回転子に渦電流を流し、トルクを発生→回転
 - 駆動トルクは V^2 に比例→実効値を示す
 - 励磁コイルに測定電流を流すと、くまとりコイルの付いた極の磁束は $30\sim60^\circ$ 遅れるようにして移動磁界を作る。

2008年12月15日

電気計測

21

テキスト II-71

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

• 誘導形

- 積算電力計
 - 電圧コイル
 - » 卷数大(L大)負荷電圧に比例した磁束 Φ_B
 - » 電圧に対して 90° 位相が遅れる
 - 電流コイル
 - » 卷数小(L小)負荷電流に比例した磁束 Φ_I
 - » 電流と同相
 - 電流コイルから電圧コイルの磁束方向に移動磁界が発生

$$\phi_B \Leftrightarrow \phi_I \Leftrightarrow -\phi_I$$

2008年12月15日

電気計測

22

テキスト II-71

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

• 誘導形

• 積算電力計

- 回転トルク

$$\tau_1 = K_1 EI \cos \phi \quad E: 電圧, I: 電流, \phi: 位相差$$

- 制動トルク

$$\tau_2 = K_2 nB \quad B: 制動磁石の磁束, n: 回転速度$$

- 回転子は、回転トルク・制動トルクが平衡する回転速度で回転

$$\tau_1 = K_1 EI \cos \phi = \tau_2 = K_2 nB$$

$$n = \frac{K_1}{K_2 B} EI \cos \phi = K_c P$$

- 回転速度nは負荷電力Pに比例

- 時間tの回転子の回転数N=ntよりN=KcPt

- 回転数を数えることで、消費電力量が求まる。

2008年12月15日

電気計測

23

テキスト II-71

3.2 計測機器

3.2.1 アナログ計器

• 静電形

- 100kHz以下の交流・直流でんあつ、1~100V

- 二つの帯電された電極間に働く静電力を利用(コンデンサ)

- 一方の電極板を固定、他方の電極板を可動としてバネと指針をつける

- 蓄えられる静電エネルギー

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \quad C: 電極間の静電容量, V: 測定電圧$$

- 電極間に働く吸引力

$$F = K_s \frac{dW}{dx} = \frac{1}{2} K_s V^2 \frac{dC}{dx}$$

電圧の二乗に比例する

2008年12月15日

電気計測

24

テキスト II-71

3.2 計測機器

3.2.2 デジタル計器

- デジタルマルチメータ、デジタルテスタ等
- 機器構成
 - AD変換器
 - 2重積分形
 - ノイズに強い
 - 変換速度は低速
 - 入力増幅器
 - 分圧器
 - 各種トランステューサ

2008年12月15日

電気計測

25

テキスト II-71

3.2 計測機器

3.2.2 デジタル計器

- 二重積分形AD変換器

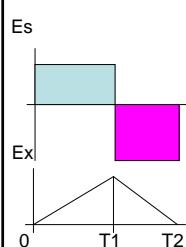


- 入力Exを一定時間(T1)積分する
- Exの逆極性の基準電圧Esを積分。積分器出力電圧が零になるまでの時間(T2)をコンパレータで検出

$$\frac{1}{CR} \int_{t_0}^{t_1} E_x dt + \frac{1}{CR} \int_{t_1}^{t_2} (-E_s) dt = \frac{1}{CR} (E_x T_1 - E_s T_2) = 0$$

- T2よりExが求まる。周波数fのクロックパルスTで、T2期間カウントしたnを用いる

$$E_x = E_s \frac{T_2}{T_1} = \frac{E_s}{T} \frac{n}{f} = k_C n$$



2008年12月15日

電気計測

26

テキスト II-72

3.2 計測機器

3.2.3 記録計器

- 測定値を紙に記録する

- 直動式

- 測定信号でペンを動かす

- 自動平衡式

- 別電源からエネルギーを供給。

- 入力と帰還信号が等しくなるようにサーボモータでペンを駆動

- 高精度

- 記録紙

- 感熱紙

- 放電記録紙等

- 円形

- 帯状

- 記録機構

- 連続記録

- 打点記録

- 最近はペーパーレス(液晶表示等)もあり

2008年12月15日

電気計測

27

テキスト II-72

3.2 計測機器

3.2.4 オシロスコープ[°]

- 電圧(電流)の波形をブラウン管(CRT, Cathode Ray Tube陰極線管)に投影して、水平軸に時間・垂直軸に振幅を描く

- 波形・周波数・位相が見られる

- 入力信号に管面の時間を同期させることからシンクロスコープと呼ぶ

- X軸に時間信号の代わりに、別の信号を入れると垂直軸信号との合成波形が得られる

- リサージュ图形。X-y位相面図が描ける。

- ストレージオシロスコープ

- 波形観測が難しい場合に使用

- 繰り返し周波数が数Hz以下の遅い現象

- 一回限りの早い現象

- 古くは管面に長い間像が残るアナログ方式

- AD変換し、メモリ上に記録するデジタル方式

- サンプリングオシロスコープ

- 信号の周波数が高い場合(500MHz以上, 10GHz程度まで)に用いる

- 入力信号の周期Tからずれた周期T+ΔTでサンプルし蓄積して表示

2008年12月15日

電気計測

28

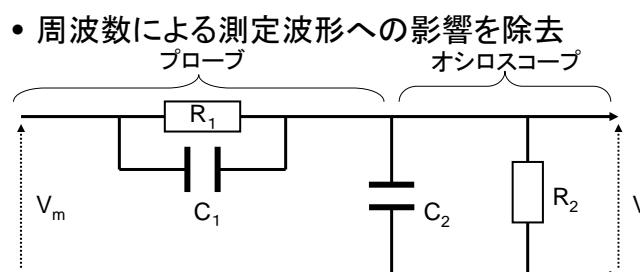
テキスト II-73

3.2 計測機器

3.2.4 オシロスコープ

- 測定用高インピーダンスプローブ等価回路

- R₁, C₁: プローブのインピーダンス
- R₂, C₂: オシロスコープの入力インピーダンス + 調整インピーダンス + ケーブルインピーダンス



2008年12月15日

電気計測

29

テキスト II-73

3.3 測定法

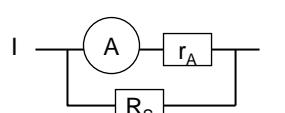
3.3.1 電圧・電流の測定

- 直流電流・電圧

- 可動コイル計器を用いる

- 大電流測定

- 分流抵抗R_Sを用いる(電流計の内部抵抗R_A)

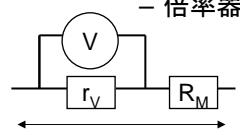


$$I = \frac{r_A + R_S}{R_S} I_A = m_A I_A$$

mAは電流計の倍率

- 高電圧測定

- 倍率器(分圧抵抗)Rmを用いる(内部抵抗R_V)



$$V = \frac{r_V + R_M}{r_V} V_V = m_V V$$

mVは電圧計の倍率

2008年12月15日

電気計測

30

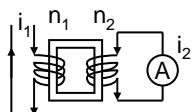
テキスト II-74

3.3 測定法

3.3.1 電圧・電流の測定

- 交流電流・電圧の測定

- 交流電圧・電流計は通常実効値で表す
- 高電圧・大電流の計測
 - 積層鉄心を持つ計器用変成器を用いる
 - 変流器(CT)
 - 直列接続
 - 一次側に電流が流れている状態で二次側を開放すると、磁束増加による温度上昇・二次端子に高電圧発生
 - 卷線比($n_1:n_2$)で測定範囲が拡大



$$i_1 = \frac{n_2}{n_1} i_2$$

i_1 :測定電流, i_2 :指示電流,
 n_1 :一次巻線数, n_2 :二次巻線数

2008年12月15日

電気計測

31

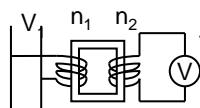
テキスト II-74

3.3 測定法

3.3.1 電圧・電流の測定

- 交流電流・電圧

- 計器用変成器(PT)
 - 並列接続
 - 卷線比($n_1:n_2$)で測定範囲が拡大



$$v_1 = \frac{n_1}{n_2} v_2$$

v_1 :測定電圧, v_2 :指示電圧,
 n_1 :一次巻線数, n_2 :二次巻線数

- 変流器の使用時は、変流比の誤差及び位相角の比誤差を補正する必要有
 - 卷数の多い方の巻数を1%程度巻き戻して補正
- クランプ式電流計
 - 変流器の原理を利用

2008年12月15日

電気計測

32

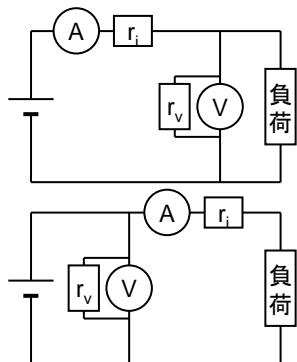
テキスト II-74

3.3 測定法

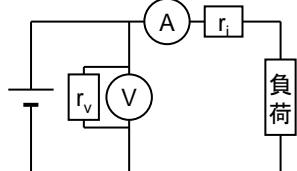
3.3.2 電力の測定

- 直流電力の測定

- 電圧計、電流計の指示値 V, I に対する内部抵抗 r_v, r_i を考慮した電力



$$P = VI - \frac{V^2}{r_v}$$



$$P = VI - r_i I^2$$

$r_v \approx \infty, r_i \approx 0$ の時 $P=VI$ となる

2008年12月15日

電気計測

33

テキスト II-75

3.3 測定法

3.3.2 電力の測定

- 単相交流電力の測定

- 有効電力 $VI\cos\phi$ の測定

- 電流力計形電力計の固定子コイルに電流 I , 可動コイルに電圧 V を加える

- 力率が低い時は誤差大となるので、低力率電力計を用いる

- 無効電力 $VI\sin\phi$ の測定

- 電圧又は、電流を 90° 移相した無効電力計を用いる

2008年12月15日

電気計測

34

テキスト II-75

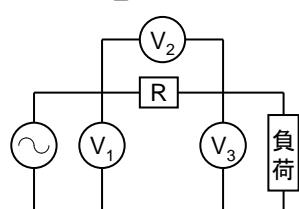
3.3 測定法

3.3.2 電力の測定

• 単相交流電力

– 3電圧計法

無誘導抵抗Rを用いて、平均電力Paを求める



$$P_a = \frac{1}{2R} (V_1^2 - V_2^2 - V_3^2)$$

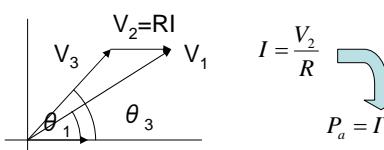
$$\begin{cases} V_1 \cos \theta_1 = V_3 \cos \theta_3 + V_2 \\ V_1 \sin \theta_1 = V_3 \sin \theta_3 \end{cases}$$

辺々二乗して加算

$$V_1^2 (\cos^2 \theta_1 + \sin^2 \theta_1) = V_3^2 (\cos^2 \theta_3 + \sin^2 \theta_3) + 2V_2 V_3 \cos \theta_3 + V_2^2$$

負荷電流Iの位相を基準した電圧ベクトル

$$V_1^2 = V_3^2 + 2V_2 V_3 \cos \theta_3 + V_2^2$$



$$V_2 = \frac{V_3}{R} \cos \theta_3 = \frac{1}{2} (V_1^2 - V_2^2 - V_3^2)$$

$$P_a = IV_3 \cos \theta_3 = \frac{V_2}{R} V_3 \cos \theta_3 = \frac{1}{2R} (V_1^2 - V_2^2 - V_3^2)$$

2008年12月15日

電気計測

35

テキスト II-75

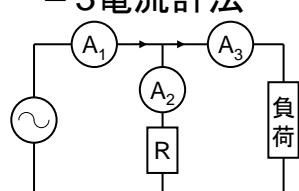
3.3 測定法

3.3.2 電力の測定

• 単相交流電力

– 3電流計法

無誘導抵抗Rを用いて、平均電力Paを求める



$$P_a = \frac{R}{2} (I_1^2 - I_2^2 - I_3^2)$$

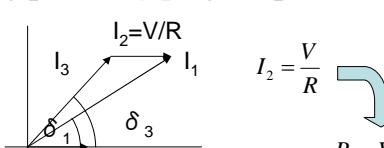
$$\begin{cases} I_1 \cos \delta_1 = I_3 \cos \delta_3 + I_2 \\ I_1 \sin \delta_1 = I_3 \sin \delta_3 \end{cases}$$

辺々二乗して加算

$$I_1^2 (\cos^2 \delta_1 + \sin^2 \delta_1) = I_3^2 (\cos^2 \delta_3 + \sin^2 \delta_3) + 2I_2 I_3 \cos \delta_3 + I_2^2$$

負荷電圧Vの位相を基準した電圧ベクトル

$$I_1^2 = I_3^2 + 2I_2 I_3 \cos \delta_3 + I_2^2$$



$$I_2 I_3 \cos \delta_3 = \frac{1}{2} (I_1^2 - I_2^2 - I_3^2)$$

$$P_a = VI_3 \cos \theta_3 = RI_2 I_3 \cos \theta_3 = \frac{R}{2} (I_1^2 - I_2^2 - I_3^2)$$

2008年12月15日

電気計測

36

テキスト II-75

3.3 測定法

3.3.2 電力の測定

- 三相交流電力の測定

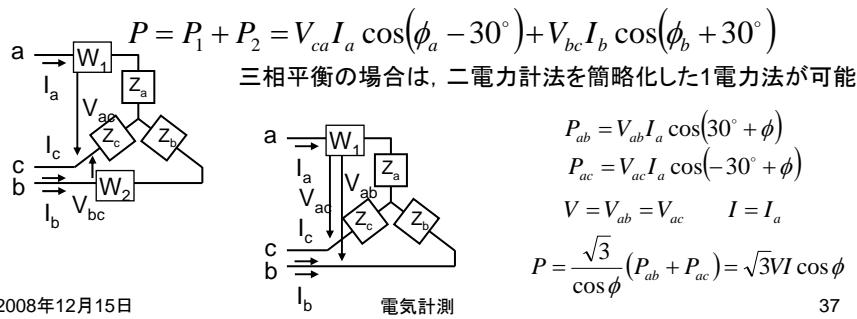
- 2電力計法(ブロンデルの定理)

- n相n線式のn相交流電力はn-1台の単相電力計の和となる

- 三相平衡, 不平衡に関わらず適用可能

- 電力(瞬時値) $P = V_{ca}i_a + V_{bc}i_b$

- 相電圧と線間電圧には 30° の位相差があるため



2008年12月15日

37

テキスト II-76

3.3 測定法

3.3.3 周波数の測定

- オシロスコープを用いた方法

- リサージュ波形

- 水平軸に既知の基準周波数を入力
- 垂直軸に測定対象の正弦波を入力
- $\omega_1 = \omega_2$ の時橜円となる

$$x(t) = A \sin(\omega_1 t + \theta_1)$$

$$y(t) = B \sin(\omega_2 t + \theta_2)$$

- 周波数カウンタ

- 一定時間中のパルスを数える

- ゲート回路を通過したパルス数を計数する。
- 計数回路には、FF(双安定マルチバイブレータ)を用いる

- ヘテロダイン周波数計

- ブリッジ平衡法

- FFT

2008年12月15日

電気計測

38

テキスト II-77

3.3 測定法

3.3.4 位相の測定

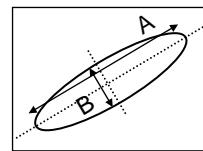
- リサーチュ図による方法

- オシロスコープに同じ周波数の正弦波基準信号を入力し、リサーチュ図を用いて計測する

- 水平軸入力 $x(t) = A \sin \omega t$
- 垂直軸入力 $y(t) = B \sin(\omega t + \theta)$

- 楕円の長軸A・短軸Bの関係

$$\theta = 2 \tan^{-1} \frac{B}{A}$$

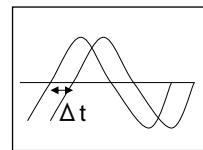


- 2chオシロスコープの零点通過時間差による方法

$$\theta = 2\pi \frac{\Delta T}{T}$$

2008年12月15日

電気計測



39

テキスト II-77

3.3 測定法

3.3.5 抵抗の測定

- 1Ω以下

- 電位差計
- ケルビン・ダブルブリッジの平衡

- 1Ω～1MΩ

- 電圧・電流法(オームの法則)
- 簡易測定:テスター
- 精密測定:ホイートストーン・ブリッジ

- 1MΩ以上

- メガー(絶縁抵抗計)

- 接地抵抗

- 接地電極と2個の測定電極で、電圧が平衡する条件の電流比により
接地導体と大地との抵抗を求める

2008年12月15日

電気計測

40

テキスト II-77

3.3 測定法

3.3.6 インピーダンスの測定

- 直流回路

- 電気抵抗は、電圧・電流比で決まる
- インピーダンス=抵抗

- 交流回路

- インピーダンスの構成要素
 - 抵抗R
 - インダクタンスL
 - キャパシタンスC

- 各周波数 ω [rad/sec] の交流

- Lの端子電圧に対して、電流の位相は90° 遅れる
 - インピーダンス $j\omega L$
 - Cの端子電圧に対して、電流の位相は90° 進む
 - インピーダンス $1/j\omega C$

- 実数で表す抵抗成分(レジスタンス)R

- インピーダンスの複素表示

- 実部:レジスタンス
 - 虚部:リアクタンス

$$\dot{Z} = R + jX$$

2008年12月15日

電気計測

41

テキスト II-77

3.3 測定法

3.3.6 インピーダンスの測定

- インピーダンスの精密測定

- 交流ブリッジ

- 交流4辺ブリッジ、変成器ブリッジ

- 交流4辺ブリッジ

- 構成要素

- 交流電源E、検流計G、インピーダンス $Z_1 \sim Z_4$

- 検流計出力が0となるよう調整

- インピーダンス比が一致

- 三つを既知、一つを未知

$$\dot{Z}_1 \dot{Z}_3 = \dot{Z}_2 \dot{Z}_4$$

$$\begin{cases} \dot{Z}_1 \dot{Z}_3 = x_1 + jy_1 \\ \dot{Z}_2 \dot{Z}_4 = x_2 + jy_2 \end{cases}$$

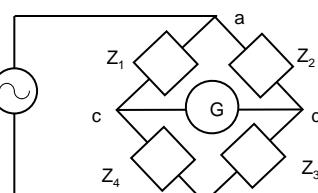
対地静電容量が平衡条件に影響を与える場合

CD間を大地電位となるようにする → ワグナー接地

電気計測

2008年12月15日

42

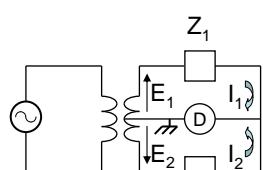


テキスト II-78

3.3 測定法

3.3.6 インピーダンスの測定

- 静電誘導により交流電源が影響を及ぼす時
– 変成器ブリッジを用いる



$$\text{平衡条件} \quad I_1 = I_2$$

$$\text{KVL} \quad \begin{cases} \dot{E}_1 = \dot{Z}_1 I_1 \\ \dot{E}_2 = \dot{Z}_2 I_2 \end{cases}$$

但し、 E_1, E_2 は変成器の巻数 n_1, n_2 に比例

$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1} \\ \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_2}{\dot{Z}_2} \end{cases} \Rightarrow \frac{\dot{E}_1}{\dot{Z}_1} = \frac{\dot{E}_2}{\dot{Z}_2} \Rightarrow \frac{\dot{E}_1}{\dot{E}_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\dot{Z}_1}{\dot{Z}_2}$$

E_1, E_2 は同相、従って Z_1, Z_2 も同相。よって、 Z_1, Z_2 の一方が分れば他方が分る。

2008年12月15日

電気計測

43

テキスト II-78

3.3 測定法

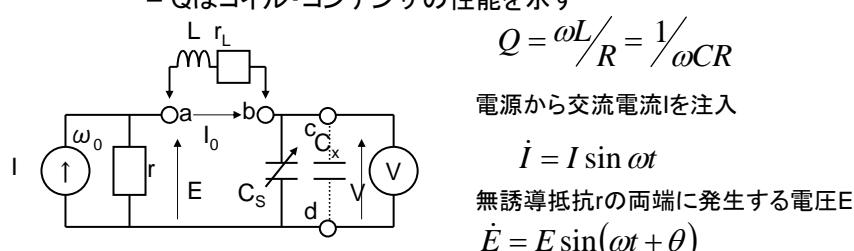
3.3.6 インピーダンスの測定

- 高周波インピーダンス

- 測定回路を共振させ、共振条件からインピーダンスを求める

- リアクタンスと実効抵抗の比をQメータで計測

- Qはコイル・コンデンサの性能を示す



$$Q = \omega L / R = 1 / \omega C R$$

電源から交流電流Iを注入

$$\dot{I} = I \sin \omega t$$

無誘導抵抗rの両端に発生する電圧E
 $\dot{E} = E \sin(\omega t + \theta)$

端子ab間に測定するインダクタンスLを接続(内部抵抗 r_L)

2008年12月15日

電気計測

44

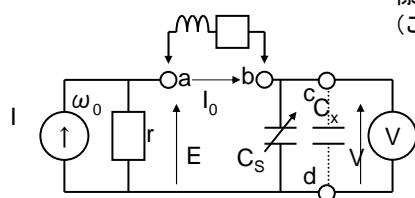
テキスト II-78

3.3 測定法

3.3.6 インピーダンスの測定

- 高周波インピーダンス

- Lの測定



標準可変コンデンサCsを調整、直列共振状態とする
(この時、電圧計の指示は最大となる)

$$\text{共振周波数において } \omega_0 = 1/\sqrt{LC_s}$$

$$C_s = 1/L\omega_0^2$$

Csの端子電圧は

$$V = \frac{I}{\omega_0 C_s} = \frac{1}{\omega_0 C_s r_L} E = \frac{L\omega_0}{r_L} E = QE$$

電圧Eを一定に保ち、Vを測定するとコイルのQが求まる
最大電圧VとQの対応と、 ω_0 とCsからLとrLを求める

- Cの測定

- ab間にあるLを接続する

- LとCsを共振させた後、cd間に被測定Cxを接続する

- Csを調整して共振状態にするCs'

$$C_x' = C_s - C_s$$

2008年12月15日

電気計測

45

テキスト II-79

3.4 電気応用計測とセンサ

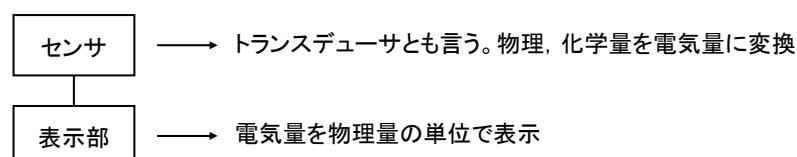
- 電気応用計測

- 物理量、力学量、化学量(力、温度、濃度)を電気信号に変換・計測する

- 特長

- 精度の良い電気計測技術を利用できる
- 増幅、伝送、記録が容易
- デジタル変換し、計算機により処理可能

- 構成 (センサ形[トランスデューサ形]計器)



2008年12月15日

電気計測

46

テキスト II-79

3.4 電気応用計測とセンサ

• 電気応用計測

- 物理量、力学量、化学量を電気量信号に変換・計測

- 利点

- 精度良い電気計測が可能
- 増幅・伝送・記録が容易
- デジタル変換による信号処理が適用可能

• センサ

- 測定量を変換する系の最初の要素(JIS)

- 光センサ

• 光導電セル	CdS等。光照射による伝導率増加を利用
• 光起電力セル	半導体pn接合(太陽電池)の光起電力を利用
• 光電管	光電子放出効果を利用
• 焦電体	LiTaO ₃ 等電磁波吸収の際に温度上昇 分極電荷を利用
• 光ファイバセンサ	光磁気効果、電気光学効果、光干渉を利用

2008年12月15日

電気計測

47

テキスト II-79

3.4 電気応用計測とセンサ

• センサ

- 温度センサ

• 热電対	異種金属で作った閉回路で、一方の接続点と他方の接続点温度が異なると起電力が発生 (ゼーベック効果)
• 測温抵抗体	金属・半導体の電気抵抗が温度で変化 (半導体を使用したものがサーミスタ)
• 放射温度計	物体から放射されるエネルギーの波長分布と強度の関係
• 光高温計	物体温度と放射電磁波波長の関係

- 力学センサ

• ストレインゲージ	マンガニン合金線等。応力による電気抵抗値の変化
• 変位センサ	変位を静電容量、インダクタンスの変化で検出

2008年12月15日

電気計測

48

テキストⅡ-80

3.4 電気応用計測とセンサ

• センサ

- 流量センサ

- 体積流量 単位時間当たりに流れる体積
- 質量流量 単位時間当たりに流れる質量

測定量	名称	原理	液体	気体	蒸気	
体 積 流 量	差圧式	オリフィス前後の圧力差	○	○	○	圧損大。安価。
	面積式	流量に応じた浮子高さ	○	○	○	圧損大。安価。
	電磁式	流体による電磁誘導	○	×	×	圧損無。導電性流体。
	超音波式	ドップラー効果	○	○	△	圧損無。
体 積 算 流 量	容積式	歯車の回転	○	○	×	圧損大。精度良。
	渦式	流速に比例した周波数の渦	○	○	○	圧損小。安価。
	タービン式	羽根車の回転数	○	○	△	高精度。寿命有。

2008年12月15日

電気計測

49