

単相変圧器の特性試験および三相結線

1. 目的

単相変圧器の損失の種類について学び、無負荷試験、短絡試験を実施して、その結果から、電圧変動率および効率を算出し、単相変圧器の諸特性を理解する。また、定格および電圧比の等しい単相変圧器を用いて、各種の三相結線を習得するとともに、線間電圧と相電圧との関係を理解し、角変位についても調べる。

2. 理論

〔1〕無負荷損 二次側を解放して、一次側に定格周波数の定格電圧を加えたときの消費電力 P_0 [W] を無負荷損という。そのほとんどは鉄損 P_c [W] で、このほかに一次巻線内の銅損 $r_1 I_0^2$ および絶縁物の誘電体損 P_d [W] がある。

$$P_0 = P_c + r_1 I_0^2 + P_d \quad [\text{W}] \cdots \textcircled{1}$$

P_d は低電圧の変圧器では考慮しなくてよい。また、 $r_1 I_0^2$ は極めて小さいから、 $P_0 \approx P_c$ としてさしつかえない。この測定は、普通二次側で行われる。

〔2〕負荷損 二次側を短絡して、一次側に定格周波数の低電圧を加え、電流が定格電流に達したときの消費電力 P_s [W] を負荷損といい、銅損 P_c [W] と漂遊負荷損 P_f [W] とからなっており、次式で示される。

$$P_s = P_c + P_f = r_{12} I_{1n}^2 + P_f \quad [\text{W}] \cdots \textcircled{2}$$

ただし、 I_{1n} : 定格一次電流 [A]、 r_{12} : 一次側に換算した巻線抵抗 [Ω]、この式で漂遊負荷損 P_f は極めて小さいので無視して

$$P_s = P_c = r_{12} I_{1n}^2 \quad [\text{W}] \cdots \textcircled{3}$$

と考えてよい。なお、このときに加えられた低電圧をインピーダンス電圧という。

〔3〕電圧変動率

電圧変動率 ε [%] は

$$\varepsilon = p_r \cos \theta + q_x \sin \theta \quad [\%] \cdots \textcircled{4}$$

ただし、 p_r : 百分率抵抗降下 $= \frac{P_{75}}{V_1 I_{1n}} \times 100$ [%] $\cdots \textcircled{5}$

q_x : 百分率リアクタンス降下 $= \frac{\sqrt{V_z^2 - (P_{75}/I_{1n})^2}}{V_1} \times 100$ [%] $\cdots \textcircled{6}$

θ : 力率角 V_z : インピーダンス電圧 [V] V_1 : 定格一次電圧 [V]

I_{1n} : 定格一次電流 [A] なお、 P_{75} [W] は、次のようにして求める。

負荷損は温度によって変化するから、⑦式のように標準温度 (75°C) に換算する。この75 (°C) に換算した負荷損を P_{75} と表し、次式より求められる。

$$P_{75} = r_{12} I_{1n}^2 \left(\frac{234.5 + 75}{234.5 + t} \right) + (P_c - r_{12} I_{1n}^2) \left(\frac{234.5 + t}{234.5 + 75} \right) \quad [\text{W}] \cdots \textcircled{7}$$

ただし、 P_t : t [°C] における負荷損 [W]、 t : P_t を測定したときの巻線温度 [°C]、 I_{1N} : 定格一次電流 [A]

r_{12} : 一次側に換算した t [°C] における巻線の抵抗 [Ω]

〔4〕 効率 無負荷損と負荷損から、各出力に対する効率 η [%] は

$$\eta = \frac{\text{出力[W]}}{\text{出力[W]} + \text{無負荷損[W]} + 75[\text{°C}] \text{における負荷損[W]}} \times 100[\%] \quad \cdot \cdot \cdot \textcircled{8}$$

〔5〕 極性 単相変圧器の極性とは、一次および二次の端子に現れる誘導起電力の方向を示すものである。

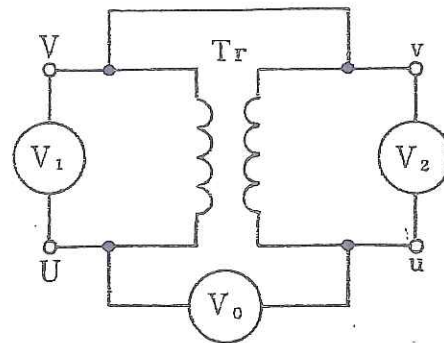
極性を求めるには、図6のように、一次および二次の相対する端子の一方を結び、 V_0, V_1, V_2 を接続する。次に、一次側に適当な電圧を加えたとき、電圧計の読み

$V_0 = V_1 - V_2$ すなわち $V_0 < V_1$

の場合を減極性といい、 $V_0 =$

$V_1 + V_2$ すなわち $V_0 > V_1$ の

場合を加極性という。端子記号は高圧側がUとV、低圧側がuとvであり、極性は減極性である。また、U端子は高圧側端子から変圧器を見て外箱の右側にあるものとする。



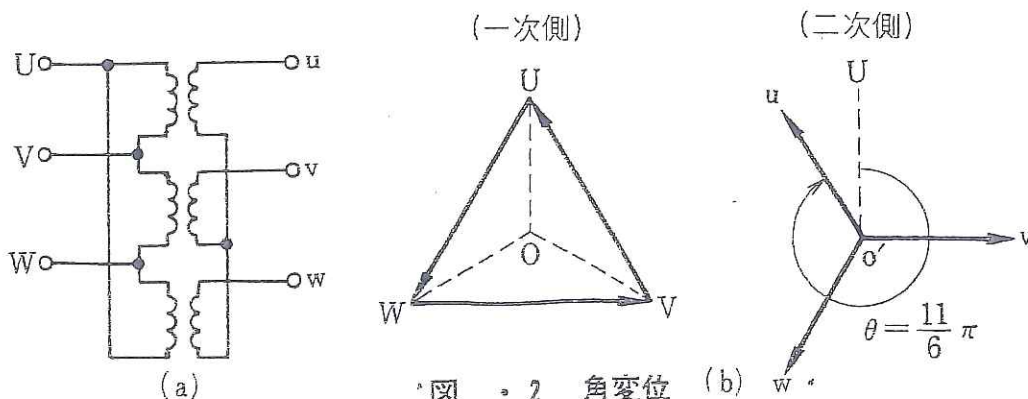
図・1 極性試験

〔6〕 三相結線 単相変圧器の三相結線には、Y- Δ 、 Δ -Y、Y-Y、

Δ - Δ 、V-V結線などがあり、結線で極性を誤ると使用に耐えないから注意しなければならない。

〔7〕 角変位 図・2は、 Δ -Y結線の結線図と電圧のベクトル図である。

図(b)の一次・二次両電圧のベクトル図の中性点O、 O' から同一端子記号U、uに引いた二つの直線OU、 $O'u$ のなす角をOUを基準として時計方向に計った角を角変位という。三相変圧器群の並行運転に必要である。



図・2 角変位

3. 結線図

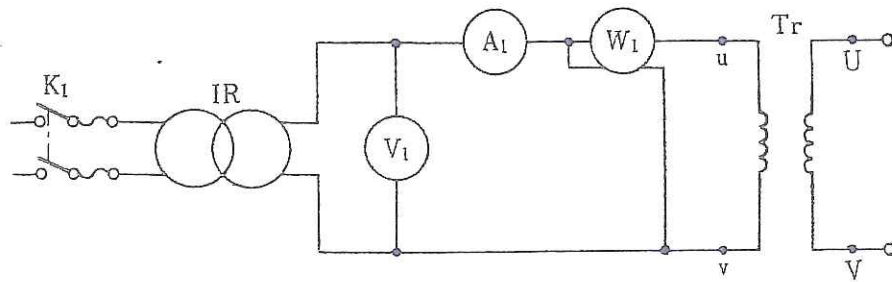


図 ・ 1 無負荷試験結線図

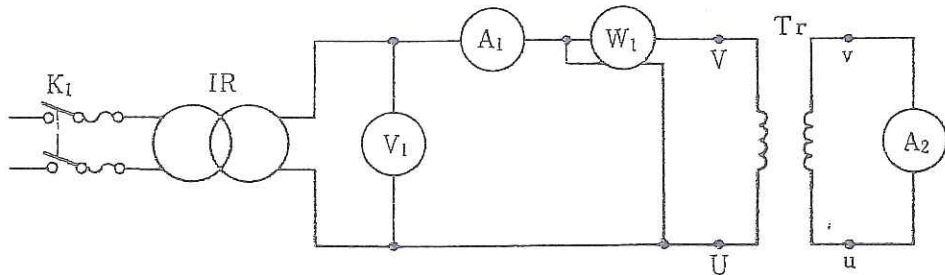


図 ・ 2 短絡試験結線図

4. 使用機器

- | | | |
|--------------------|---------------|----------------|
| ① 交流電流計 A_1, A_2 | ② 交流電圧計 V_1 | ③ 单相誘導電圧調整器 IR |
| ④ 单相電力計 W_1 | ⑤ 供試変圧器 T_r | ⑥ スイッチ K_1 |

5. 実験方法

a. 無負荷試験

- (1) 電圧降下法により、一次側および二次側の巻線抵抗を測定する。電流は定格電流の20〔%〕以下で数回測定して平均をとる。
- (2) 図 ・ 1のように結線する。
- (3) 单相誘導電圧調整器IRが最低位置にあることを確かめて K_1 を閉じる。
- (4) IRによって、定格電圧の75〔%〕から125〔%〕まで変化し、そのときの各計器の指示を記録する。

b. 短絡試験

- (1) 図 ・ 2のように結線する。
- (2) 実験方法 a の(3)と同様に行う。
- (3) IRによって、電流計 A_2 の指示を最小値から定格電流の125〔%〕まで変化し、そのときの各計器の指示を記録する。

6. 実験結果

供試変圧器 容量：_____ [kVA]，電圧：_____ [V]，周波数：_____ [Hz]

一次電流：_____ [A]，二次電流：_____ [A]

a. 無負荷試験

巻線抵抗 一次側 r_1 ：_____ [Ω]，二次側 r_2 ：_____ [Ω]

電圧 V_0 [V]	電流 I_0 [A]	無負荷損 P_0 [W]	無負荷力率[%] $P_0/(V_0 I_0) \times 100$	無負荷銅損 $P_{0c} = I_0^2 r_2$ [W]	鉄損[W] $P_i = P_0 - P_{0c}$

b. 短絡試験

二次電流 I_s [A]	一次電流 I_1 [A]	インピー ダンス電圧 V_z [V]	負 荷 損		インピー ダンス[Ω] $Z = V_z/I_1$	力率[%] $\frac{P_t}{V_z I_1} \times 100$
			測定値 P_t [W]	換算値 P_{75} [W]		

7. 結果の整理

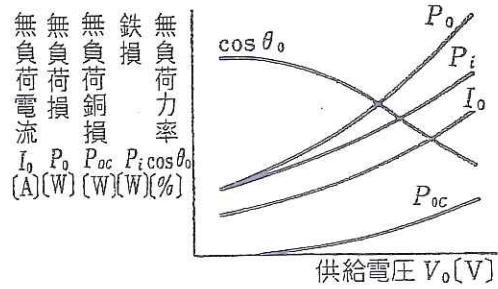
(1) 実験結果から，次表を作成して負荷力率100[%]における効率を求める。

二次電圧 V_2 [V]	二次電流 I_2 [A]	無負荷損 P_0 [W]	負荷損 P_{75} [W]	全損失[W] $P = P_0 + P_{75}$	出力[W] $P_2 = V_2 I_2$	入力[W] $P_1 = P_2 + P$	効率[%] $P_2/P_1 \times 100$

(2) (・5) (・6) 式より p_r ， q_x を求め，(・4) 式より ϵ を求める。

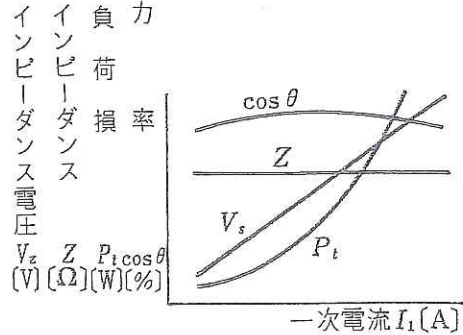
力 率 $\cos \theta$	無 効 率 $\sin \theta$	百分率抵抗降下 p_r [%]	百分率リアクタンス降下 q_x [%]	電圧変動率 ϵ [%]
1	0			
遅れ0.8	0.6			
遅れ0.6	0.8			
進み0.8	0.6			

(3) 横軸に供給電圧 V_0 [V] をとり、縦軸に無負荷電流 I_0 [A], 無負荷損 P_0 [W], 無負荷銅損 P_{0c} [W], 鉄損 P_i [W], 無負荷力率 $\cos \theta_0$ [%] をとって、図・3 のようにグラフを描く。



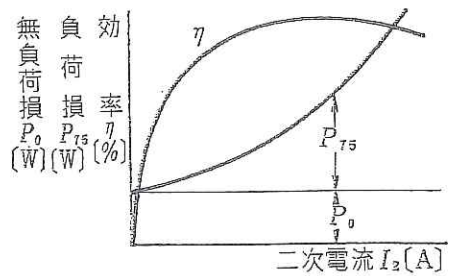
図・3 無負荷特性

(4) 横軸に一次電流 I_1 [A] をとり、縦軸にインピーダンス電圧 V_z [V], インピーダンス Z [Ω], 負荷損 P_i [W], 力率 $\cos \theta$ [%] をとって、図・4 のようにグラフを描く。



図・4 短絡特性

(5) 横軸に二次電流 I_2 [A] をとり、縦軸に無負荷損 P_0 [W], 負荷損 P_{T5} [W], 効率 η [%] をとって、図・5 のようにグラフを描く。



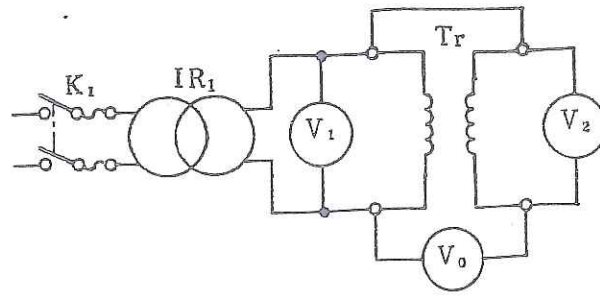
図・5 効率特性

8. その他

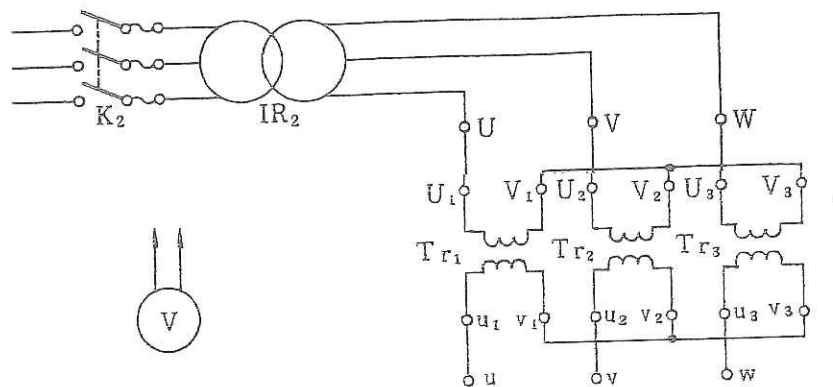
- (1) 図・3, 図・4, 図・5 と比較して、実験によって得たグラフとどのように違っているかを記せ。
- (2) 結果の整理より得た効率および電圧変動率と教科書その他より得た値と比較せよ。

单相変圧器の各種三相結線

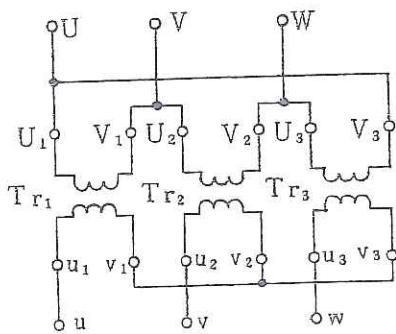
3. 結線図



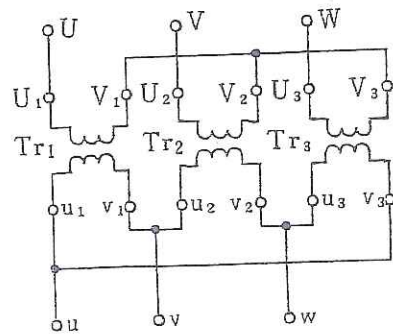
図・3 極性試験結線図



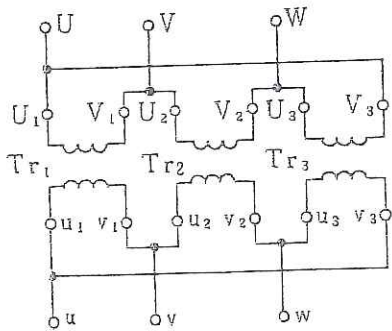
図・4 Y-Y結線



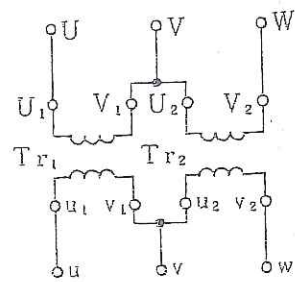
図・5 Δ-Y結線



図・6 Y-Δ結線



図・7 Δ-Δ結線



図・8 V-V結線

4. 使用機器

- | | | | |
|-------------|--------------------|-------------|--------------------------|
| ① 交流電圧計 | V_1, V_2, V_0, V | ② 供試変圧器 | T_{r1}, T_{r2}, T_{r3} |
| ③ 単相誘導電圧調整器 | IR_1 | ④ 三相誘導電圧調整器 | IR_2 |
| ⑤ 二極スイッチ | K_1 | ⑥ 三極スイッチ | K_2 |

5. 実験方法

a. 極性試験

- (1) 図・3のように結線する。
- (2) 単相誘導電圧調整器 IR_1 が最低電圧の位置にあることを確かめてから、スイッチ K_1 を閉じる。
- (3) IR_1 によって、一次電圧 V_1 を適当な値として、そのときの電圧計 V_2, V_0 の指示を記録する。
その結果で変圧器 T_{r1}, T_{r2}, T_{r3} の極性を判定する。

b. Y-Y結線

- (1) 極性に注意して、図・4のように結線する。
- (2) 三相誘導電圧調整器 IR_2 が最低電圧の位置にあることを確かめてから、スイッチ K_2 を閉じ IR_2 を調整して定格電圧にする。
- (3) テスターリードをつけた電圧計 V で、一次側、二次側の各相電圧および線間電圧を測定する。

c. Δ-Y結線

図・5のように結線し、実験方法bと同様に実験する。

d. Y-Δ結線

図・6のように結線し、実験方法bと同様に実験する。

e. Δ-Δ結線

図・7のように結線し、実験方法bと同様に実験する。

f. V-V結線

図・8のように結線し、実験方法bと同様に実験する。

6. 実験結果

a. 極性試験

供試変圧器	一次電圧 $V_1[V]$	二次電圧 $V_2[V]$	$V_0 = V_1 + V_2[V]$	極性判定

b. 各種三相結線

供試変圧器 T_{r1} の定格：_____ [kVA], 番号：_____
 T_{r2} の定格：_____ [kVA], 番号：_____
 T_{r3} の定格：_____ [kVA], 番号：_____

結線		角変位	一 次 側						二 次 側						
一 次	二 次		相電圧[V]			線間電圧[V]			相電圧[V]			線間電圧[V]			
			E_U	E_V	E_W	V_{UV}	V_{VW}	V_{WU}	E_u	E_v	E_w	V_{uv}	V_{vw}	V_{wu}	
Y	Y														
Δ	Y														
Y	Δ														
Δ	Δ														
V	V														

7. 結果の整理

実験結果より、次表に各種三相結線に対する電圧比を求める。

結線法		電 圧 比			
一次	二次	$\frac{V_{UV}}{E_U}$	$\frac{E_U}{E_u}$	$\frac{V_{uv}}{E_u}$	$\frac{V_{UV}}{V_{uv}}$
Y	Y				
Δ	Y				
Y	Δ				
Δ	Δ				
V	V				

8. その他

- (1) 各結線における一次側、二次側の相電圧と線間電圧のベクトル図を描き、実験結果と比較せよ。
- (2) 結果の整理より得た電圧比と供試変圧器の銘板値とを比較せよ。