

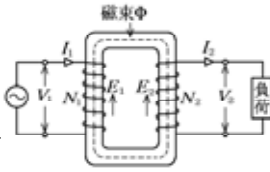
4-1「電気機器」

1. 変圧器の原理・タップ電圧

(1) 巻数比(電圧比)と電流比

$$\text{巻数比} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\text{電流比} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1} = 1$$



(2) 電力の伝達

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \quad (\text{変圧器の励磁電流と損失を無視})$$

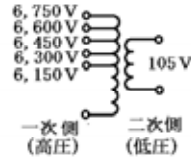
(3) 変圧器のタップによる電圧調整

タップ値 E_1 = 一次側の巻数 N_1

二次側の巻数 N_2 = 定格二次電圧値 E_2

求めるタップ電圧 $E_1 =$

$$\text{変圧器の定格二次電圧 } E_2 \times \frac{\text{変圧器一次側の線路電圧 } V_1}{\text{変圧器二次側の端子電圧 } V_2}$$



2. 変圧器の結線

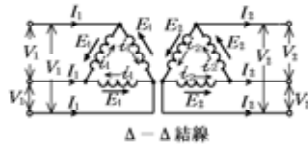
(1) Δ-Δ結線

- ・線間電圧 = 相電圧
- ・線電流 = $\sqrt{3}$ × 相電流
- ・三相出力
- ・三相出力

$$P = \sqrt{3} V_2 I_2 \times 10^{-3} = \sqrt{3} E_2 \times \sqrt{3} i_2 \times 10^{-3}$$

$$= 3 E_2 i_2 \times 10^{-3} = 3 S \text{ [kVA]} \quad S: 1 \text{ 台の容量}$$

・特長: 1台故障してもV結線で運転できる.



(2) Y-Y結線

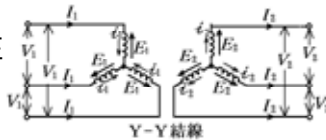
- ・線間電圧 = $\sqrt{3}$ × 相電圧
- ・線電流 = 相電流
- ・三相出力

$$P_Y = \sqrt{3} V_2 I_2 \times 10^{-3} = \sqrt{3} \times \sqrt{3} E_2 \times i_2 \times 10^{-3}$$

$$= 3 E_2 i_2 \times 10^{-3} = 3 S \text{ [kVA]} \quad S: 1 \text{ 台の容量}$$

・特長と欠点: 中性点の接地ができ、対地電圧が線間電圧の $1/\sqrt{3}$ で、絶縁が容易である.

* 第3調波を生じ誘導障害を与える.



(3) V-V結線

(1) 電圧と電流の関係

・一次側

$$V_1 = E_1 \quad I_1 = i_1$$

・二次側 $V_2 = E_2 \quad I_2 = i_2$

・三相出力

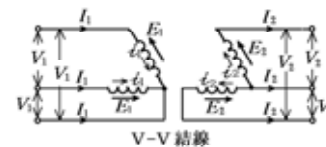
$$P_V = \sqrt{3} V_2 I_2 \times 10^{-3} = \sqrt{3} \times E_2 \times i_2 \times 10^{-3}$$

$$= \sqrt{3} E_2 i_2 \times 10^{-3} = \sqrt{3} S \text{ [kVA]} \quad S: 1 \text{ 台の容量}$$

・特長と欠点

負荷増加の場合、1台増設して Δ-Δ結線できる.

* 2台で(1台容量 S)の $\sqrt{3}$ 倍しか使用できないので利用率は $\sqrt{3}/2$ と悪い.



3. V結線変圧器の各種計算

(1) V結線変圧器の利用率

$$\text{利用率} = \frac{V \text{ 結線の出力}}{2 \text{ 台の容量の和}} = \frac{\sqrt{3} S}{2S} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 (86.6\%)$$

(2) V結線 結線にしたときの増加できる出力比

$$\text{出力比} = \frac{\text{結線の出力}}{V \text{ 結線の出力}} = \frac{3S}{\sqrt{3}S} = \frac{3}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} (1.73 \text{ 倍})$$

(3) 結線 V結線にしたときの減少する出力比

$$\text{出力比} = \frac{V \text{ 結線の出力}}{\text{結線の出力}} = \frac{\sqrt{3}S}{3S} = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0.577 (57.7\%)$$

(4) V結線変圧器1台の所要容量

$$1 \text{ 台の所要容量 } S = \frac{P}{\sqrt{3} \cos} \text{ [kVA]}$$

P : 三相負荷の消費電力 [kW] \cos : 負荷の力率

4. 変圧器の損失

(1) 無負荷損

鉄損 + 励磁電流による巻線の抵抗損 + 誘電体損
鉄損(ヒステリシス損 + うず電流損)

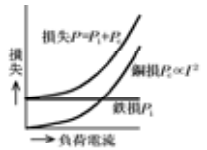
ヒステリシス損: 電圧の2乗に比例し、周波数に反比例する
うず電流損: 電圧の2乗に比例し、周波数に無関係である

(2) 負荷損

銅損 + 漂遊負荷損(負荷電流による漏れ磁束により生じる損失)

銅損(負荷電流による巻線の抵抗損)

銅損は負荷電流の2乗に比例する



5. 変圧器の効率

(1) 全負荷時の効率

$$\text{全負荷時の効率} = \frac{S \cos}{S \cos + P_i + P_c} \times 100[\%]$$

変圧器の定格容量: S [kVA], 鉄損: P_i [kW]

全負荷時の銅損: P_c [kW] 負荷力率: \cos

(2) 負荷時の効率

$$\text{負荷時の効率} = \frac{S \cos}{S \cos + P_i + I^2 P_c} \times 100[\%]$$

$$= \frac{\text{負荷容量[kVA]}}{\text{定格容量[kVA]}}$$

(3) 効率が最大になる条件

$$P_i = I^2 P_c \text{ より、} I = \sqrt{\frac{P_i}{P_c}}$$

(4) 全日効率

$$\text{全日効率 } \eta = \frac{W}{W + W_i + W_c} \times 100[\%]$$

1日中の全出力電力量: W [kWh]

1日中の鉄損電力量: W_i [kWh]

1日中の銅損電力量: W_c [kWh]

6. 変圧器のパーセントインピーダンス

(1) パーセントインピーダンス(%Z)

$$\%Z = \frac{\text{インピーダンス電圧 } I_{1n} Z_1}{\text{定格一次電圧 } V_{1n}} \times 100[\%]$$

(2) 二次側の短絡電流 I_{2s}

$$I_{2s} = \text{定格二次電流 } I_{2n} \times \frac{100}{\%Z} [\text{A}]$$

7. 変圧器の平行運転

(1) 平行運転の条件

- ・各変圧器の極性が等しいこと。
 - ・各変圧器の変圧比が等しいこと。
 - ・各変圧器の抵抗とリアクタンスの比が等しいこと
- 三相変圧器ではこの他に相順と各変位が等しいこと

8. 三相誘導電動機の特性格算

(1) 回転速度とすべり

・同期速度 $N_s = \frac{120f}{p} [\text{min}^{-1}]$ f : 周波数
 p : 極数

・すべり $s = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100[\%]$

・回転速度 $N = N_s(1 - s/100) [\text{min}^{-1}]$

(2) 電動機出力 P

$$P = \text{電動機入力} (\sqrt{3} V I \cos \theta) \times \text{効率} (\eta)$$

$$= \sqrt{3} V I \cos \theta \cdot \eta \quad [\text{W}]$$

(3) 出力とトルク

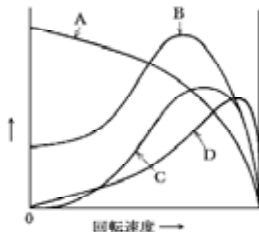
・出力 $P = T = \frac{2}{60} \frac{N}{N} T [\text{W}]$ T : 回転子導体の角速度 $[\text{rad/s}]$

・トルク $T = \frac{60}{2} \frac{P}{N} [\text{N}\cdot\text{m}]$ $T = k V^2$

9. 三相誘導電動機の特性格

(1) 速度特性曲線

- A: 一次電流曲線
- B: トルク特性曲線
- C: 出力曲線
- D: 効率曲線



(2) 電源異常時の特性格化

・電圧の降下

電動機のトルクは電圧の2乗に比例するから、始動トルクは著しく減少する。また、負荷トルクが一定であると、負荷電流が増えて回転子抵抗損は大きくなり効率が低下する。さらに電動機は過熱され、すべりは大きくなって速度は低下する。

・周波数の低下

回転速度は周波数に比例するから、周波数が低下すると、回転速度は減少する。力率も悪くなる。

・単相運転

運転中に1相が欠相した場合、単相誘導電動機として回転を続けるが、同一の負荷に対するすべり、電流ともに増大して電動機は過熱され、焼損のおそれがある。

10. 三相誘導電動機の始動法

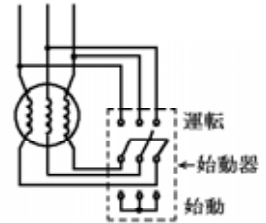
(1) かご形誘導電動機の始動法

・全電圧始動(じか入れ始動)

電源電圧を直接加えて始動するため、始動電流は大きくなる。そのため定格出力5[kW]以下の電動機に適用される。始動電流は定格電流の5~8倍程度となる。

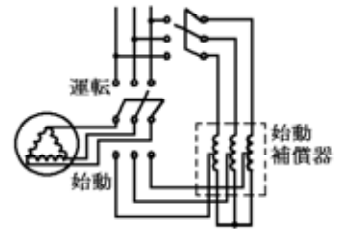
・Y-始動

電動機の固定子巻線をY結線にして始動し、全負荷速度近くになったとき結線に切り換える。始動時には固定子各相の巻線に定格電圧の $1/\sqrt{3}$ 倍の電圧が加わるので、結線で全電圧始動した場合に比べ、始動電流、始動トルクともに $1/3$ に低下する。



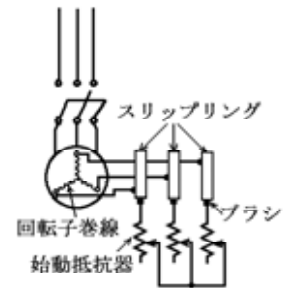
・始動補償器法

始動時に、定格電圧の40~80%の低電圧で始動させる。15[kW]以上に適用される。始動電流、始動トルクともに電圧の2乗に比例して低下する。



(2) 巻線形誘導電動機の始動法

巻線形誘導電動機の回転子巻線に始動抵抗器を接続し、始動時には抵抗を最大にして始動電流を抑制し、全負荷速度付近に達したとき、短絡装置によってスリップリングを短絡し、ブラシを引き上げて運転状態にはいる。

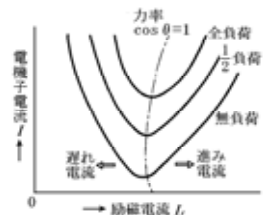


始動電流の大きさは、定格電流の1.1~1.5に制限している。

11. 同期機

(1) 同期電動機のV曲線

端子電圧および負荷を一定にした場合の励磁電流と電機子電流との関係を示す位相特性曲線である。励磁電流を加減することにより電機子電流を可変でき力率1で運転すると電機子電流が最小となり、効率がよくなる。



(2) 同期電動機の始動法

自己始動法: 制動巻線を利用して誘導電動機として始動する。

始動電動機法: 誘導電動機等を始動用電動機として利用する。

(3) 同期発電機の平行運転に必要な条件

- 起電力の大きさ、波形が等しいこと。
- 起電力の位相が等しいこと。
- 起電力の周波数、相順が等しいこと。

