

【問題】

三相誘導電動機があり、負荷を負って滑り5[%]で運転している。一相あたりの二次電流が12[A]のとき、電動機一次入力[W]の値を答えよ。ただし、この電動機の二次抵抗は0.08[Ω]、鉄損は30[W]であり、機械損は無視するものとする。また、一次銅損は二次銅損の2倍とする。

【解答】

電動機の滑りを s 、二次巻線抵抗を r_2 [Ω]、二次電流を I_2 [A]とすると、二次入力 P_2 [W]及び二次銅損 P_{c2} [W]は、

$$P_2 = 3I_2^2 \frac{r_2}{s} = 3 \times 12^2 \times \frac{0.08}{0.05} = 691.2 \text{ [W]}$$

$$P_{c2} = sP_2 = 0.05 \times 691.2 = 34.56 \text{ [W]}$$

一次入力 P_1 [W]は、題意より機械損は無視できるため、一次銅損を P_{c1} [W]、鉄損 P_i [W]とすると、 $P_1 = P_i + P_{c1} + P_2$ [W]となる。また、 $P_{c1} = 2P_{c2}$ なので、

$$\begin{aligned} P_1 &= P_i + P_{c1} + P_2 \\ &= P_i + 2P_{c2} + P_2 \\ &= 30 + 2 \times 34.56 + 691.2 \\ &= 790.32 \rightarrow 790 \text{ [W]} \quad (\text{答}) \end{aligned}$$

◆二次入力・二次銅損・機械的出力の関係

1. 誘導機の原理

誘導機は、三相巻線した固定子と回転子から構成されており固定子に三相交流電流を流すことによって、固定子に回転磁界が生じる。この回転磁界によって回転子が回転する。ここで注意しなければならないのは、回転子の回転速度 N [min^{-1}]は回転磁界の回転速度（同期速度 N_s [min^{-1}])より少し遅い速度で同期速度 N_s と同方向に回転する点である。

なぜなら、同期速度 N_s と回転速度 N に速度差がないと回転子に磁束の変化は生じない

ため、フレミングの左手の法則に従い回転子にトルクが生じない。誘導機は、固定子に生じる回転磁界が回転子鉄心上の導体と鎖交し、ファラデーの電磁誘導の法則により誘導起電力が発生して、回転子鉄心上の導体に電流が流れる（渦電流）。このため、回転子にトルクが生じることになる。

以上のことから、誘導機は鉄心間に空隙のある回転式の変圧器と考えることができる。（図1）

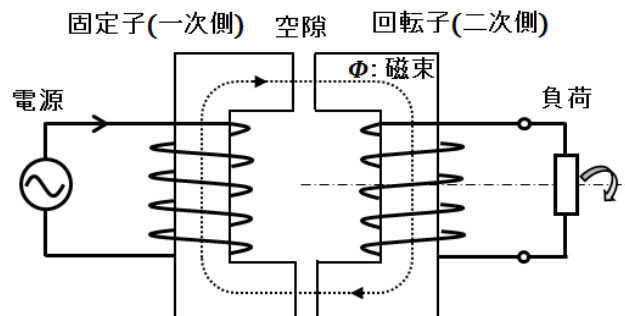


図1: 変圧器のモデル

また、同期速度 N_s に対する同期速度と回転速度の速度差 $(N_s - N)$ の割合を滑り s といい、次式で定義する。

$$s = \frac{N_s - N}{N_s} \quad (\text{無名数})$$

滑り s は、誘導機の特性を理解するための重要な量の一つである。（図2）

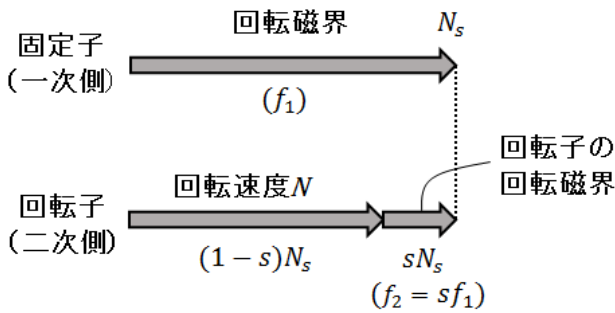


図2: 同期速度と回転速度

(f_1 [Hz]: 商用周波数、 f_2 [Hz]: 滑り周波数)

2. 誘導機の等価回路

誘導電動機一相分の等価回路は、図3のように励磁回路、巻線インピーダンス、理想変圧器から構成される。

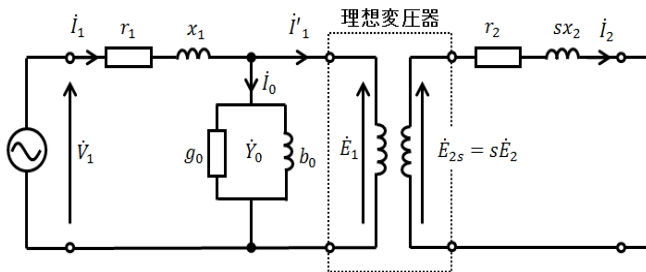


図3: 誘導機の等価回路(滑り s)

- V_1 [V]: 電源電圧
- E_1 [V]: 一次誘導起電力
- E_{2s} [V]: 滑り s 時の二次誘導起電力
- E_2 [V]: 二次誘導起電力
- I_1 [A]: 一次電流
- I_1' [A]: 一次負荷電流
- I_2 [A]: 二次電流
- I_0 [A]: 励磁電流
- Y_0 [S]: 励磁アドミタンス
- g_0 [S]: 励磁コンダクタンス
- b_0 [S]: 励磁サセプタンス
- r_1 [Ω]: 一次巻線抵抗
- r_2 [Ω]: 二次巻線抵抗
- x_1 [Ω]: 一次漏れリアクタンス
- x_2 [Ω]: 二次漏れリアクタンス
- s : 滑り

図3は滑り s の時の等価回路である。回転子の速度により二次周波数(滑り周波数) f_2 が変化するので x_2 および E_2 の値が変化する。

図3より二次電流 i_2 は、

$$i_2 = \frac{sE_2}{r_2 + jsx_2} = \frac{E_2}{(r_2/s) + jx_2} [A]$$

となり、 x_2 の周波数換算が不要となる。

ここで、二次抵抗 r_2/s [Ω]は、次のように分解できる。

$$\frac{r_2}{s} = r_2 + R$$

$$R = \frac{r_2}{s} - r_2 = \frac{1-s}{s} r_2 [\Omega]$$

この R は等価負荷抵抗といい、滑り s により変化する。停止時($s = 1$)で $R = 0$ 、運転時は s の減少(速度の増加)とともに R も増加する。よって、 R は機械的出力 P_0 [W]を表すと言える。

ここで、変圧器の場合と同様に、二次インピーダンスを一次側に換算し、励磁回路を電源側に移す。合わせて、負荷抵抗を考慮した時の等価回路を図4で示すことができる。

(二次側の諸量には'をつける)

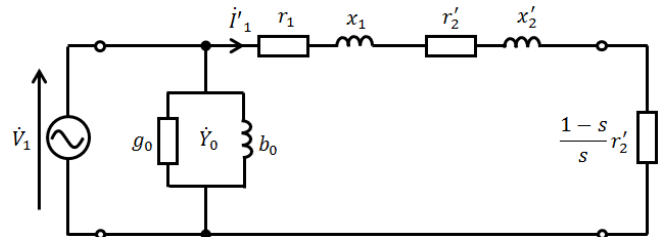


図4: L形等価回路

3. 誘導機の入力、出力

図4のL形等価回路から入力、出力等は次式で示すことができる。

- 二次入力 $P_2 = 3I_2'^2 \frac{r_2'}{s} [W]$
- 二次銅損 $P_{c2} = 3I_2'^2 r_2' [W]$
- 機械的出力 $P_0 = 3I_2'^2 \frac{1-s}{s} r_2' [W]$
- 一次銅損 $P_{c1} = 3I_1'^2 r_1 [W]$
- 鉄損 $P_i = 3g_0 V_1^2 [W]$
- 一次入力 $P_1 = P_i + P_{c1} + P_2 [W]$

上記の関係は、図5のエネルギーフローで示すことができる。

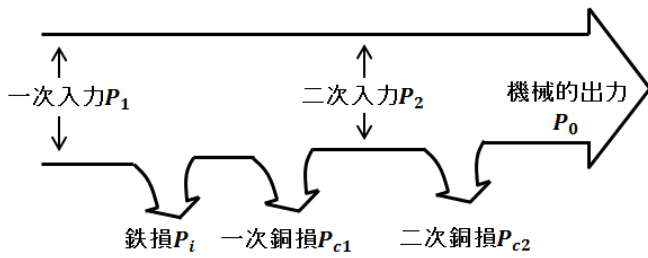


図5: 誘導機のエネルギーフロー

また、二次入力 P_2 [W]、二次銅損 P_{c2} [W]、
機械的出力 P_0 [W]の関係は、

$$\begin{aligned}
 P_2 : P_{c2} : P_0 &= 3I_1'^2 \frac{r_2'}{s} : 3I_1'^2 r_2' : 3I_1'^2 \frac{1-s}{s} r_2' \\
 &= \frac{1}{s} : 1 : \frac{1-s}{s} \\
 &= 1 : s : (1-s)
 \end{aligned}$$

以上が、誘導機を知る上で重要な
関係式である。

<ポイント>

- ・ 誘導機が回転する原理は、「アラゴの円板」(*)によって説明される。理論科目の電磁気で学んだ電磁力(フレミングの左手の法則)やファラデーの電磁誘導の法則がベースにあり、その理解が誘導機の学習のスタートである。
- ・ 誘導機に限らず、変圧器、直流機、同期機においても図5に示すエネルギーフローをイメージすることが重要である。
- ・ 二次入力・二次銅損・機械的出力の関係 $P_2 : P_{c2} : P_0 = 1 : s : (1-s)$ は誘導機の重要項目であり、滑りの変化(回転速度の変化)が出力や損失に大きく影響する。等価回路からスタートしてこの関係式を導出できるようになることが望ましい。

※ 導電性の円板の表面に沿って磁石を回転させると、円板は磁石の回転速度より少し遅い速度で磁石と同方向に回転する。