

A3 誘導電動機の可変速制御に関する基礎実験

1 目的

誘導電動機は、最も広く用いられている電動機の一つである。本実験では、三相誘導電動機の動作原理を理解するとともに、進相用コンデンサによる力率の変化やインバータを用いた誘導電動機速度制御に着目した実験を通じて、誘導電動機の諸特性に関する理解を深めることを目的とする。

2 誘導電動機の原理

2.1 回転磁界

図 1 に三相交流電流の概念図を示す。三相交流とは、通常の単相電流を 120 度ずつ位相をずらした電流を 3 本の線で送る形式を指す。一般的に電流が流れると磁界が発生するが、この三相交流電流を空間的にも 120 度ずつ異なるように配置することで、三相により発生する合成磁界は時間とともに変化（回転）する。これを回転磁界と呼ぶ。三相誘導電動機は、固定子の三相巻線電流により作られる回転磁界と、回転磁界により回転子に誘導される電流との相互作用で回転する。図 2 に示すように、固定子のスロットに設けた巻線に角周波数 ω の交流電流 $I_0 \cos \omega t$ を流し、磁界を発生させるものとする。ここで、固定子と回転子のギャップ部に生じる磁束密度（動径方向成分）を、巻線軸からの角度 θ を用いて $B(\theta, t)$ と表すものとする。このとき、角度 θ の変化に対する磁束密度の分布が $\sin \theta$ に比例すると考えると、 $B(\theta, t)$ は以下の式 (1) で表される。

$$B(\theta, t) = B_0 \cos \omega t \sin \theta \quad (1)$$

次に、図 3 に示すように三相巻線 (U 相、V 相、W 相) にそれぞれ $I_0 \cos \omega t$ 、 $I_0 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3})$ 、 $I_0 \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3})$ の交流電流を流すとする。それぞれの電流によって生じる磁束密度は、式 (2)～(4) のように表される。

$$B_u(\theta, t) = B_0 \cos \omega t \sin \theta \quad (2)$$

$$B_v(\theta, t) = B_0 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \quad (3)$$

$$B_w(\theta, t) = B_0 \cos(\omega t - \frac{4\pi}{3}) \sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \quad (4)$$

よって、これらの合成磁束密度は、

$$B(\theta, t) = \frac{3}{2} B_0 \sin(\theta - \omega t) \quad (5)$$

で与えられる。ただし、式 (5) は、角速度 ω で回転する回転磁界を表している。

図 3 のように、角度 $\frac{2\pi}{3}$ の回転対称性を示す三相巻線の配置を持つものを 2 極機と呼ぶ。一般に、電動機の極数を $2p$ (p は磁極対数)、電源周波数を $f = \frac{\omega}{2\pi}$ とすると、回転磁界の回転速度 n_s は、

$$n_s = \frac{f}{p} \quad (6)$$

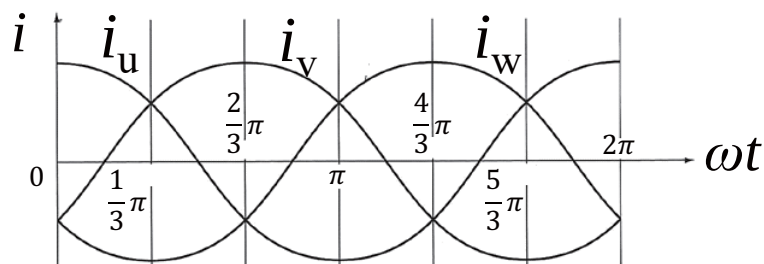


図 1: 三相交流電流

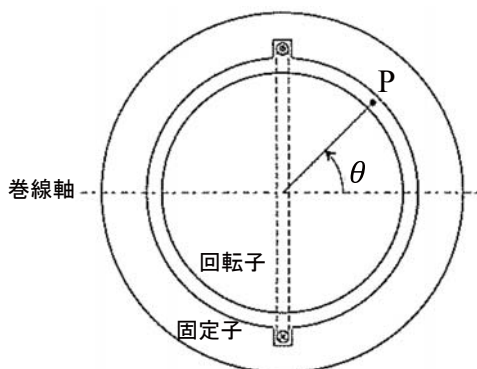


図 2: 固定子巻線

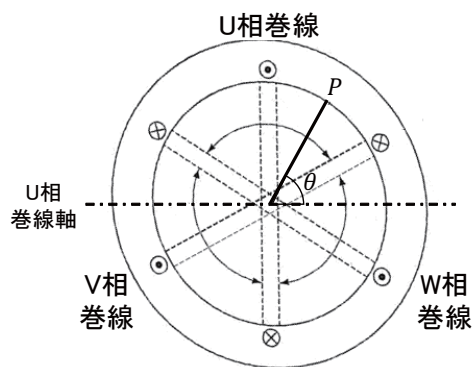


図 3: 三相固定子巻線

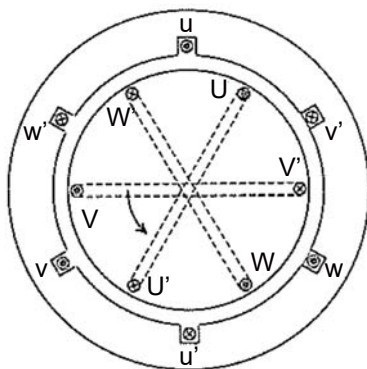


図 4: 三相回転子巻線

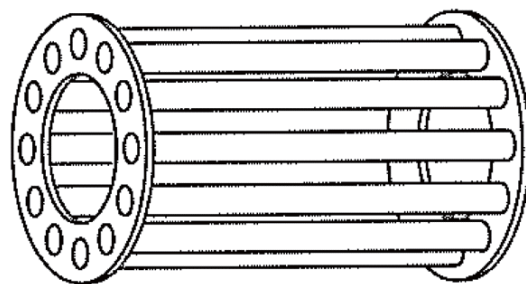


図 5: かご型導体

で与えられる。これを同期速度と呼ぶ。

次に、図 4 のように回転子にも同様な巻線を設ける。すると、前述の回転磁界によって、回転子巻線には誘導電流が流れ、フレミング左手の法則により巻線には電磁力が働く。その結果、磁界の回転方向にトルクが生じて回転子は回転する。これが誘導電動機の原理である。なお、固定子巻線、回転子巻線はそれぞれ一次巻線、二次巻線とも呼ばれる。回転子の誘導電流が流れる導体は巻線である必要はなく、図 5 のようなかご型の導体でもよい。導体棒部分を回転磁界が鎖交すると、速度起電力の法則により導体棒部分に電流が流れ、電磁力の法則により回転する力が生じる。

誘導電動機における回転子の回転速度は、回転磁界の速度（同期速度）より遅くなる。もし回転磁界と同じ速度で回転子が回転すると、両者の間の相対速度がゼロとなって回転子と鎖交する磁束数が時間的に変化しなくなるため、回転子に誘導電流が流れず回転トルクが得られなくなる。回転磁界と回転子の回転速度の差は、すべり (slip) と呼ばれるパラメータ s で表される。

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (7)$$

ただし、 n は回転子の回転速度である。

式 (6)、式 (7) より、回転数は

$$n = \frac{(1 - s)f}{p} \quad (8)$$

で与えられるため、電源周波数 f を変化せることにより誘導電動機の回転数を変化させることができる。このように、印加する周波数を制御することにより誘導電動機を速度を制御する方法を一次周波数制御方式と呼ぶ。

2.2 ベクトル図と等価回路

巻線型誘導電動機のベクトル図は、図 6 に示すようになる。一次巻線（固定子巻線）に三相交流電流を流して発生した回転磁界（磁束） $\dot{\Phi}$ によって、一次巻線にはこれより $\frac{\pi}{2}$ だけ位相の遅れた反抗誘導起電力 $\dot{E}'_1$ が誘起され、二次巻線（回転子巻線）には $s\dot{E}_2$ が誘起される。

二次電圧 $s\dot{E}_2$ により、二次回路に流れる電流 $\dot{I}_2$ は、回転子インピーダンス $\dot{Z}_2 (= r_2 + jx_2)$ （ x_2 は周波数 f における値）を用いて、式 (9) で与えられる。

$$\dot{I}_2 = \frac{s\dot{E}_2}{\sqrt{r_2^2 + s^2 x_2^2}} \quad (9)$$

また、二次側電圧との位相角 θ_2 は、 $\tan^{-1}(\frac{s x_2}{r_2})$ である。この $\dot{I}_2$ による起磁力を相殺するために一次巻線に補償電流 $\dot{I}'_1$ が流れる。この $\dot{I}'_1$ による実効アンペアターンと、二次電流 $\dot{I}_2$ の実効アンペアターンとが、互いに大きさが等しく方向が反対、すなわち、

$$\dot{I}'_1 k_{w1} W_1 = -\dot{I}_2 k_{w2} W_2 \quad (10)$$

であることから、補償電流 $\dot{I}'_1$ は

$$\dot{I}'_1 = -\frac{k_{w2} W_2}{k_{w1} W_1} \dot{I}_2 = -\frac{\dot{I}_2}{a} \quad (11)$$

で与えられる。ただし、一次側および二次側の相数はどちらも三相とする。 k_{w1} 、 k_{w2} はそれぞれ一次、二次巻線の巻線係数であり、 W_1 と W_2 はそれぞれ一次、二次一相に直列に接続された巻線である。したがって、 $a = \frac{k_{w1} W_1}{k_{w2} W_2}$ は、回転子が静止状態にある場合の一次、二次の変圧比に相当する量である。なお、図 6 から分かるように、式 (11) で求めた補償電流 $\dot{I}'_1$ と無負荷電流 $\dot{I}_0$ との合成電流 $\dot{I}_1$ が、一次全電流となる。また、一次側反抗誘導起電力と平衡すべき電圧 $\dot{E}_1 = -\dot{E}'_1$ と、一次巻線の抵抗 r_1 、リアクタンス x_1 による電圧降下 $r_1 \dot{I}_1 + jx_1 \dot{I}_1$ とのベクトル和が、一次端子に加えるべき電源電圧 $\dot{V}_1$ となる。

次に、巻線型誘導電動機の等価回路について考える。図 6 のベクトル図における一次電流 $\dot{I}_1$ について、次のように表される。

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}'_1 = \dot{I}_0 + \left(-\frac{\dot{I}_2}{a} \right) = \dot{I}_0 + \left(-\frac{1}{a} \frac{s\dot{E}_2}{r_2 + jsx_2} \right) = \dot{I}_0 + \frac{s\dot{E}_1}{a^2(r_2 + jsx_2)} = \dot{E}_1 \left[\frac{1}{\dot{Z}_0 + \frac{1}{a^2(\frac{r_2}{s} + jx_2)}} \right] \quad (12)$$

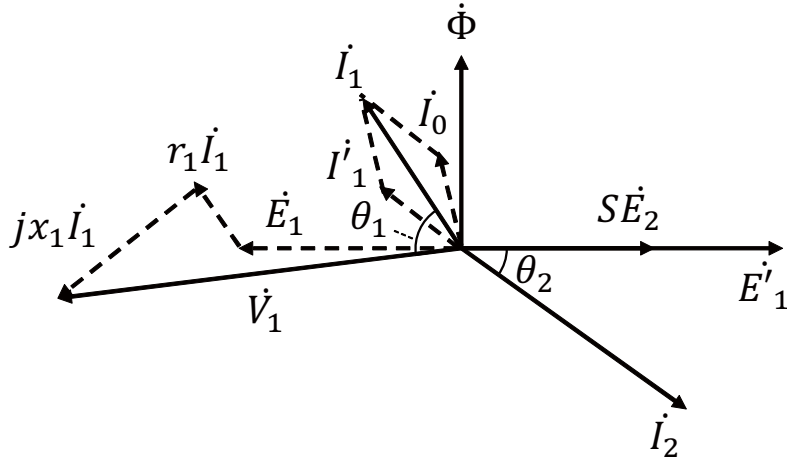


図 6: 誘導電動機のベクトル図

ここで、 $\dot{Z}_0 = \frac{\dot{E}_1}{\dot{I}_0}$ は励磁インピーダンスである。端子電圧 $\dot{V}_1 = \dot{Z}_1 \dot{I}_1 + \dot{E}_1$ であることに着目すれば、誘導電動機の実効インピーダンス $\dot{Z}$ は次式で与えられる。

$$\dot{Z} = \frac{\dot{V}_1}{\dot{I}_1} = \dot{Z}_1 + \frac{\dot{E}_1}{\dot{I}_1} = \dot{Z}_1 + \left[\frac{1}{\dot{Z}_0} + \frac{1}{a^2 \left(\frac{r_2}{s} + jx_2 \right)} \right]^{-1} \quad (13)$$

式 (13) で、 $\frac{1}{s} = 1 + \frac{(1-s)}{s}$ とおいて整理すると、等価回路は図 7 のようになる。この等価回路から、誘導電動機はこれを一次側より見れば、 $\frac{a^2 r_2 (1-s)}{s}$ で表される無誘導負荷抵抗を接続した変圧器と等価であることがわかる。

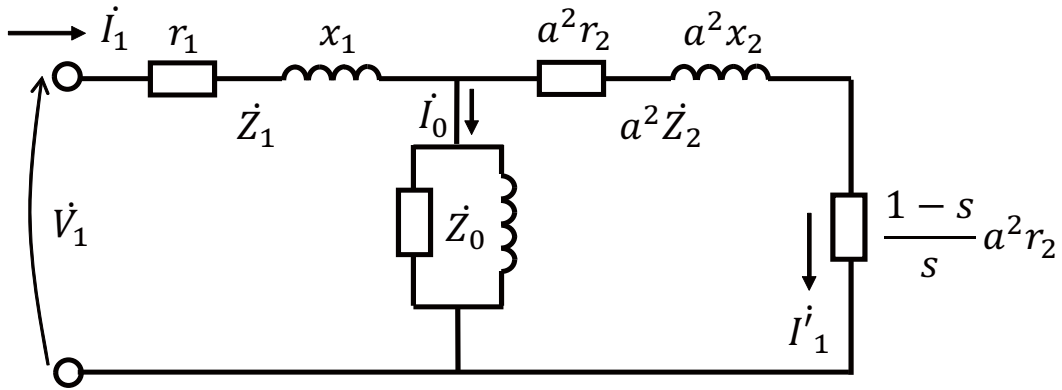


図 7: 誘導電動機の等価回路（一相分）

2.3 一次入力

図 6 に示したベクトル図において、一次皮相電力は各相 $V_1 I_1$ であり、一次力率は $\cos \theta_1$ であるから、各相あたりの一次入力 P_1 は、

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (14)$$

である。この P_1 のうち、 $I_1^2 r_1$ は一次巻線抵抗中で銅損として失われるので、その残りは $E_1 I_1 \cos \theta'_1$ （ただし、 θ'_1 は E_1 と I_1 の位相角）となる。このうち、励磁電流 $\dot{I}_0$ の有効分 I_c と E_1 の積は、無負荷損のために費やされる電力であるから、この分を差し引いた残りの電力が固定子入力から電磁誘導で伝達される回転子入力（二次入力）となる。

2.4 二次入力および機械的入力

二次入力 P_2 の大きさは、 $\dot{E}_1 = -a\dot{E}_2$ と、 $\dot{I}'_1 = -\frac{I_2}{a}$ の関係を用いて次のように求められる。

$$P_2 = E_1 I'_1 \cos \theta_2 = E_2 I_2 \cos \theta_2 \quad (15)$$

一方、誘導電動機から取り出せる機械的出力 P_m は、回転子入力 P_2 から二次巻線内で消費される銅損分 $SE_2 I_2 \cos \theta_2$ を差し引いたものとなる。

$$P_m = (1 - S)E_2 I_2 \cos \theta_2 = (1 - S)P_2 \quad (16)$$

以上より、（二次入力）：（二次銅損）：（機械的出力）＝ $1 : S : (1 - S)$ の関係が成り立つことがわかる。またこの関係から、 $S = \frac{(\text{二次銅損})}{(\text{二次入力})}$ および、 $\frac{n}{n_s} = 1 - S = \frac{P_m}{P_2}$ であることも分かる。

2.5 二次入力と回転トルクとの関係

誘導電動機の回転トルクを T とすると、この大きさは機械的出力 P_m と回転子の回転速度 n の関係として、次式で与えられる。

$$T = \frac{P_m}{\omega} = \frac{P_m}{2\pi n} \quad (17)$$

ただし、 $\omega = 2\pi n$ は回転子の角速度である。ここで、 $\frac{n}{n_s} = \frac{P_m}{P_2}$ より、

$$T = \frac{P_2}{2\pi n_s} \quad (18)$$

となる。

3 インバータ

3.1 インバータの基本原理

インバータはスイッチ動作により直流電力を交流電力に変換する装置である。ここでは、多くのインバータに用いられる PWM(Pulse Width Modulation) 方式について説明する。

図 8 は単相インバータの回路構成を示したものである。パワーエレクトロニクス回路においてはパワー半導体デバイスのスイッチング動作を用いて電力変換動作を行う。一般的には、三角波搬送信号と正弦波とを比較することによりスイッチの on-off を制御する正弦波 PWM 方式がよく用いられる。図 9(a) に三角搬送波と変調用の正弦波の例を示す。正弦波の値が三角波の値より上回る場合にはスイッチ (A,D) を on、(B,C) を off とし、下回る場合にはスイッチ (A,D) を off、(B,C) を on とする。この動作により、図 9(b) に示すようなインバータ出力電圧が得られる。比較用の正弦波信号の振幅と周波数をそれぞれ変えることにより、出力電圧の

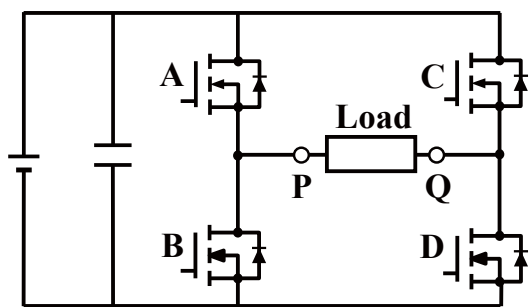


図 8: 単相インバータ

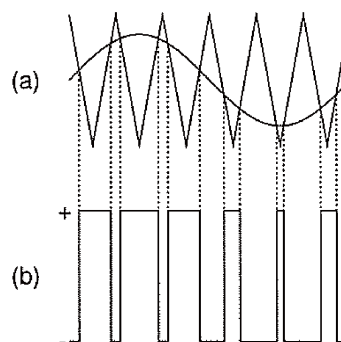


図 9: 正弦波 PWM 方式の一例

基本波振幅と周波数を制御することができる。図 9(b) の電圧波形は、正弦波とは異なるように見えるが、三角波の周波数以上の高周波成分を取り除くことで単一周波数の正弦波に近い波形となる。三角波の周波数が正弦波の周波数と比較して十分に高い場合、正弦波の周波数を基本周波数として、低次の高調波成分は非常に小さい。

電圧型 PWM インバータは、電動機速度制御に用いられることが多い。電動機のインピーダンスはインダクタンス成分が支配的であり、電流の高次高調波成分は流れにくくなる。従って、電圧型正弦波 PWM インバータにより電動機を駆動する場合、電流波形は正弦波に近くなり、高調波に起因するトルクの脈動を小さくできる。

3.2 三相正弦波 PWM インバータ

図 10 は三相電圧型 PWM インバータの基本構成回路を示したものである。図 10 では、インバータの直流入力電力を得るために、整流回路部をあわせて示している。このように、入力された三相交流電圧を全波整流し、さらに平滑回路を経てインバータの入力直流電圧を得ている。

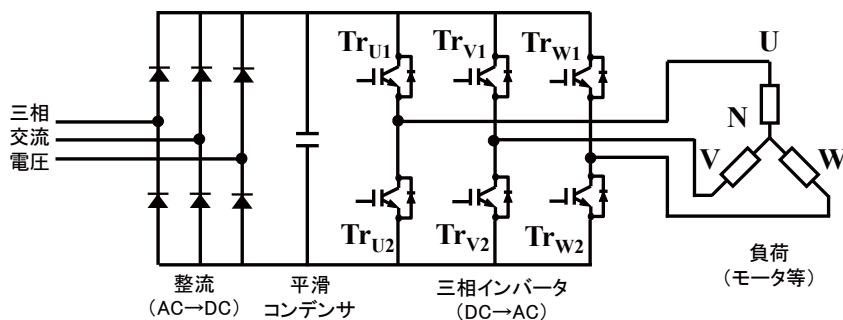


図 10: 三相 PWM インバータ

次にインバータ部にて、三角波搬送信号と三相正弦波とを比較することにより、スイッチの on-off を制御して交流電圧を得る。図 11(a) に三角搬送波と比較用の三相正弦波の例を示す。正弦波 s_U の値が三角波より上回る場合にはスイッチ Tr_{U1} 、 Tr_{U2} をそれぞれ on, off とし、下回る場合にはそれぞれ off, on とする。同様に、正弦波 s_V との比較により Tr_{V1} 、 Tr_{V2} を on-off 動作させ、また s_W との比較により Tr_{W1} 、 Tr_{W2} を on-off

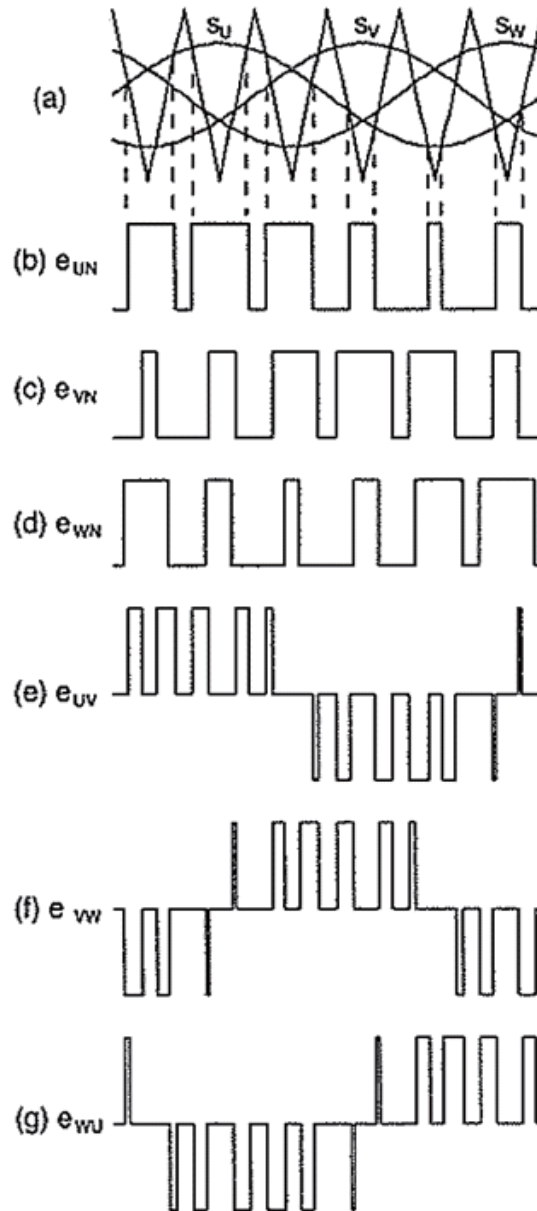


図 11: 三相正弦波 PWM 方式

動作させると、図 11(e)～(g) のような波形を示すインバータ出力電圧（線間電圧）が得られる。このとき、各スイッチ対 $Tr_{U1}-Tr_{U2}$ 、 $Tr_{V1}-Tr_{V2}$ 、 $Tr_{W1}-Tr_{W2}$ の on-off 動作に応じて、各相の電圧波形は、図 11(b)～(d) のようになる。比較用の正弦波信号の振幅と周波数をそれぞれ変化させることにより、出力電圧の基本波振幅と周波数を制御することができる。

4 起動, 運転, 停止の実験

4.1 諸注意

誘導電動機の起動前 (S2 を入れる前) に、必ず以下を確認すること。

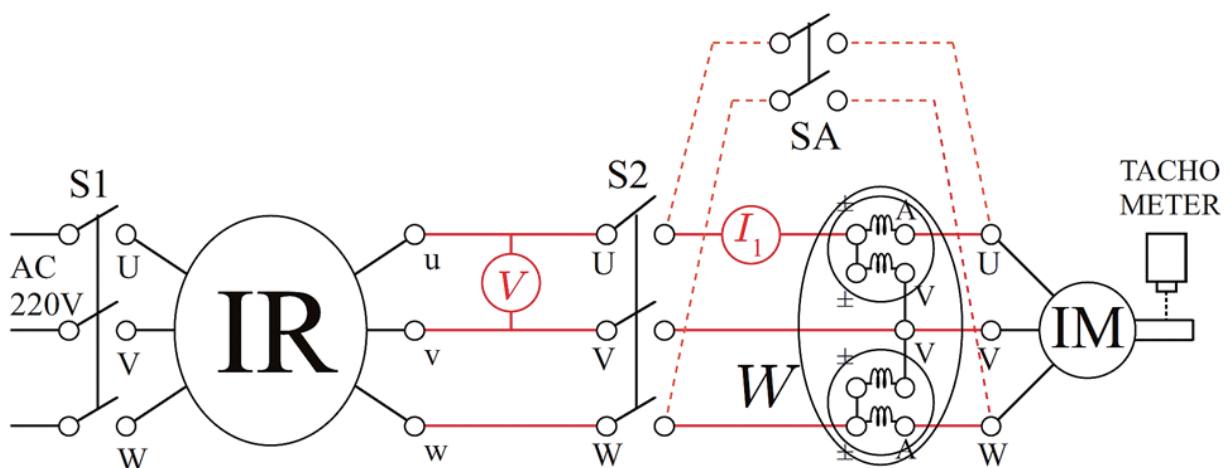
1. 配線に間違いがないか、また接続端子の緩み等がないかよく確認する。
2. 電圧計、電流計、電力計の測定レンジを適切な設定にする。
3. スイッチ SA を入れておき、電流計、電力計を保護する。

実験に用いる誘導電動機は小型のかご形であり、定格に近い電圧で直接起動させるので大きな突入電流が流れる。上の注意を守って、計器を保護し電源への悪影響を軽減する。スイッチ SA は、起動時の過大電流が回路に直列接続されている電流計と電力計に流れないようにするため、分路 (図 12 の破線) として設けられている。ただし、計器を読む際にはスイッチ SA を切ることを忘れないように注意する。SA を入れた状態で電流計や電力計の値を読んだとしても、本実験では無意味である。

※ 実験に用いる回転機は、高速回転する回転軸が露出している。衣服等が巻き込まれないよう注意すること。

※ 電力計の接続は、電力計に指示されているとおりに行うこと。

※ インバータは S1 を切ると自動的に OFF になる。S1 を入れた後は必ずインバータを ON にする。



IM:3 相かご型誘導電動機, IR:3 相誘導電圧調整器, W:3 相電力計,
V:交流電圧計, I_1 :交流電流計, S_1 :3 相スイッチ, S_2 :3 相スイッチ, SA:单相スイッチ,
誘導電動機定格:電圧 180V, 電流 11A, 出力 2kW

図 12: 三相誘導電動機の無負荷試験

4.2 実験手順

1. 図 12 に示すように結線を行う。電動機は無負荷、すなわち電動機と発電機が連結されていないことを確認する。
2. IR のハンドルを回して min (IR の回転目盛り盤に明示) の位置に設定する。スイッチ S1 と S2 は切り、SA は入れておく。
3. S1 を入れる。
4. インバータを起動する。
5. IR のハンドルを回して V を 150~170V 程度にする。
6. S2 を入れ誘導電動機を起動させる。
7. IR のハンドルを回して V を 180V (定格電圧) にする。電流計と電力計の読みを有効にするために、SA を切る。
8. 電流計と電力計の針が振れていることを確認する。
9. 停止させるときは、S1 を切る。S1 を切った後、直ちに IR のハンドルを回して min (IR の回転目盛り盤に明示) の位置に設定する。スイッチ S2 は切り、SA は入れる。すなわち、起動前の状態に戻す。

5 無負荷試験

5.1 内容

無負荷定格電圧で運転するときの入力 (無負荷損 W_0)、電流 (無負荷電流 I_0) および回転数を測定する。また供給電圧を広い範囲に変えて、供給電圧に対する無負荷損と無負荷電流の関係を調べる。

5.2 実験手順

1. 図 12 の結線を行い、4.2 の実験手順に従って誘導電動機を起動させる。
2. SA を切ることで、電流計と電力計の値を有効にする。
3. IR のハンドルを回して厳密に入力電圧 V を定格電圧 $V_0 = V_N(180V)$ にする。この時の I_1 、 W 、および回転速度 N を測定する。
4. IR のハンドルを回して V を定格電圧の約 110% とした後、70V まで 10V 刻みで順次電圧を降下させ、各供給電圧に対する I_1 、 W 、 N を記録する。なお、電圧が低い領域では回転数が安定するまで待つてから記録を取ること。

課題：結果を表 1 のようにまとめた上で、 V を横軸に、 I_1 、 W 、 $\cos \phi$ 、 N のグラフを描くこと。ただし、1 つの図にまとめて書く必要はない。また得られた結果に対する評価・考察をあわせて示すこと。ただし、無負荷損失 W は、 $W = W_m \times K$ 、力率 $\cos \phi$ は $\cos \phi = \frac{W}{\sqrt{3}V I_1}$ よりそれぞれ求めよ。

表 1: 無負荷試験結果

供給電圧 V [V]	無負荷電流 I_1 [A]	電力計			力率 $\cos \phi$	回転数 N [min^{-1}]
		読み W_m	倍率 K	無負荷損失 W [W]		

6 実負荷試験

6.1 内容

負荷抵抗の接続された直流発電機を誘導電動機に結合し、負荷抵抗の値を変えることにより誘導電動機の負荷の大きさを変える。供給電圧を定格値に保ち、負荷を変化させるごとに入力、電流、回転数を記録する。

6.2 実験手順

1. 図 13 のように結線する。また誘導電動機と直流発電機をクラッチで結合する。
2. スイッチ S_1 、 S_2 は切れていること、スイッチ SA は入っていること、また IR は min の位置に戻っていることをそれぞれ確認する。
3. スイッチ S_3 は切り、励磁電流制御用可変抵抗 R_F は MAX としておく。また負荷 R_L のダイヤルを OFF の位置にしておく。
4. S_1 を入れ、インバータを起動した後、 IR のハンドルを回して V を 150~170V 程度にする。
5. S_2 を入れて電動機を起動させる。起動後は SA を切る。

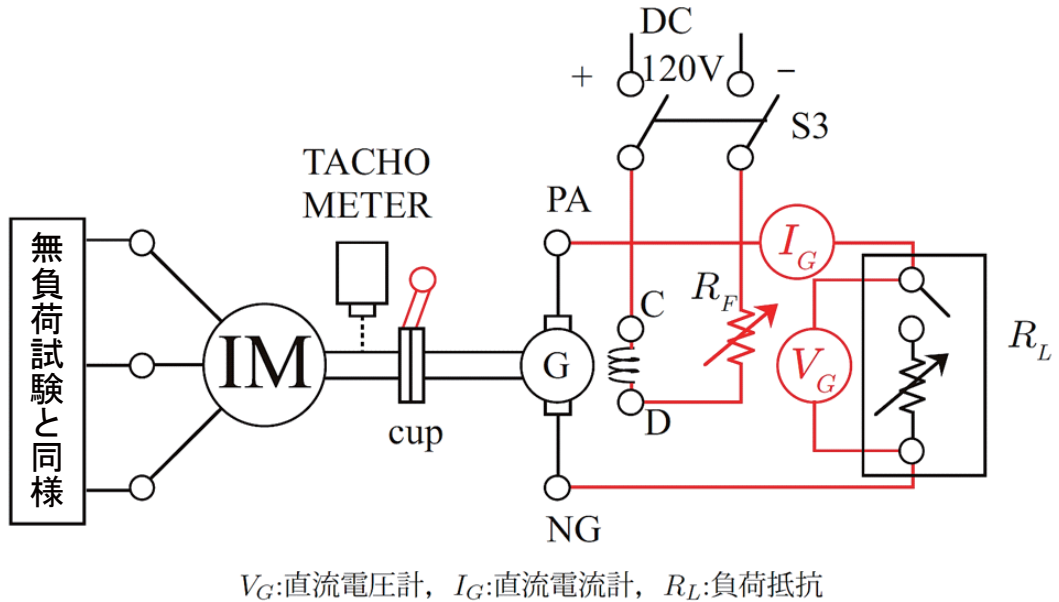


図 13: 三相誘導電動機の実負荷試験

6. S3 を入れ、 R_F により $V_G = 100V$ に調整する。
7. IR のハンドルを回して V を厳密に定格電圧 $V_0 = V_N(180V)$ にするとともに、 R_F により $V_G = 100V$ に調整しておいて、 I_1 、 W 、 N 、 I_G を測定する。
8. 負荷 R_L のダイヤルを OFF、1、2、3... と順次変えていき、手順 7 により各項目を測定する。この手順を、 I_1 が定格電流 (11A) になるまで繰り返し行う。なお、電力計の指示が測定範囲をオーバーしそうになった場合、SA を入れ測定レンジを変更すること。活線作業であるため、十分に注意して手早く行うこと。
9. 全ての測定が終了したら、 R_L のダイヤルを元の OFF に戻して負荷を軽くし、スイッチ SA を入れた後、S1 を切る。S2、S3 を切り、IR を min の位置に戻しておく。

課題：結果を表 2、表 3 のようにまとめた上で、図 14 のような特性グラフを描くこと。ただし、1 つの図にまとめて書く必要はない。また得られた結果に対する評価・考察をあわせて示すこと。

表 2: 実負荷試験実験結果

(供給電圧 $V = 180V$ [定格電圧一定], 直流電圧 $V_G = 100V$ [定格電圧一定])

	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)
負荷 R_L ダイヤル	供給電圧 V [V]	負荷電流 I_1 [A]	電力計		入力 P_i [W]	回転数 N [min^{-1}]	直流電圧 V_G [V]	直流電流 I_G [A]
			読み W_m	倍率 K				
OFF								
1								
↓								

<補足> (4) 入力: $P_i = W_m \times K$ [W]

表 3: 実負荷試験評価結果

(供給電圧 $V = 180V$ [定格電圧一定], 直流電圧 $V_G = 100V$ [定格電圧一定])

	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
負荷 R_L ダイヤル	すべり s	出力 P_o [W]	効率 η [%]	力率 $\cos \phi$	トルク T [Nm]
OFF					
1					
↓					

<補足>

(8) すべり: $s = \frac{(N_s - N)}{N_s}$

(9) 出力: $P_o = (1 - s) \times \{P_i - (W_0 - 3I_0^2 r) - 3I_1^2 r\}$ [W]

(10) 効率: $\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$ [%]

(12) トルク: $T = \frac{P_o}{(N \times \frac{2\pi}{60})}$ [Nm]

ただし、 W_0 、 I_0 は無負荷試験における定格電圧時の値、 r は固定子巻線一相分の抵抗値 ($0.58 [\Omega]$)、 $N_s = 1800 [\text{min}^{-1}]$ とする。

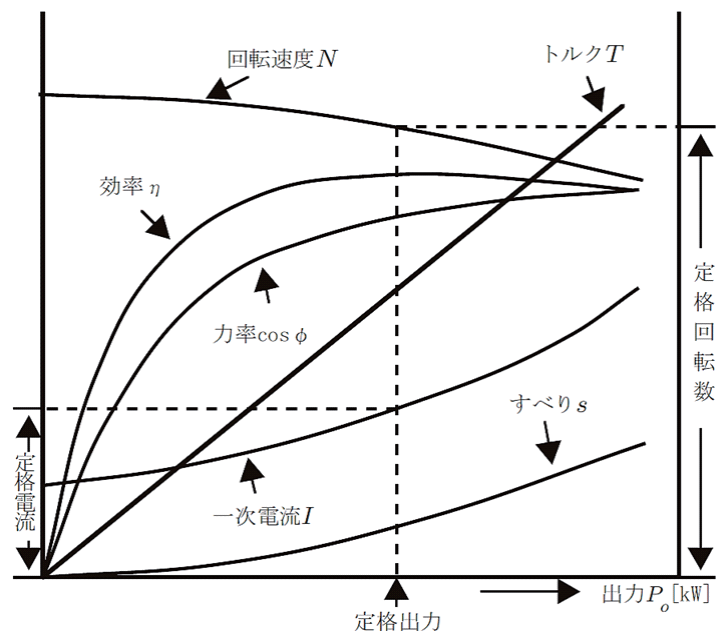


図 14: 負荷特性曲線

7 コンデンサによる力率改善

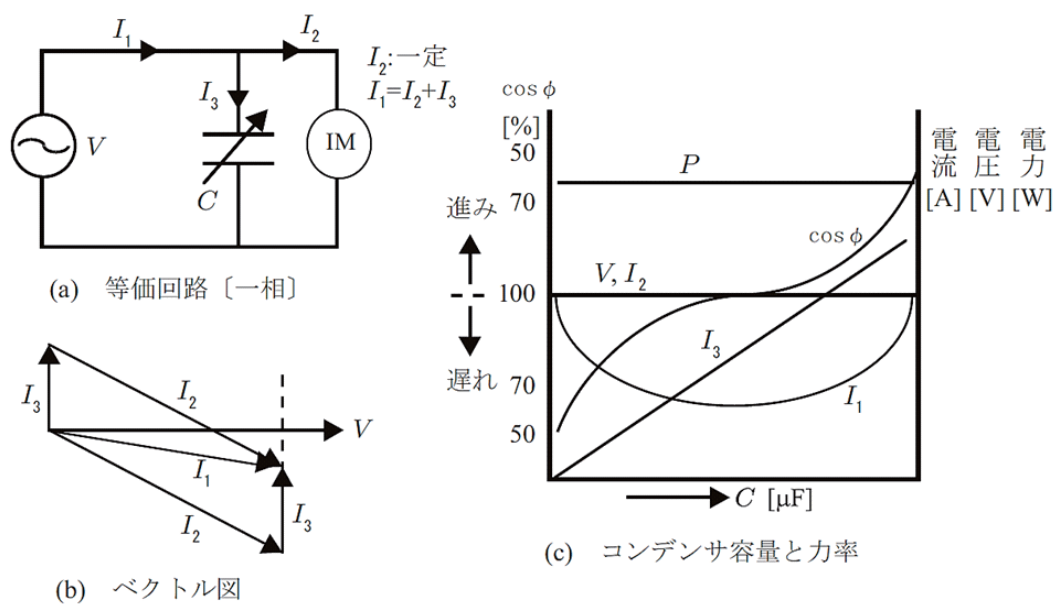
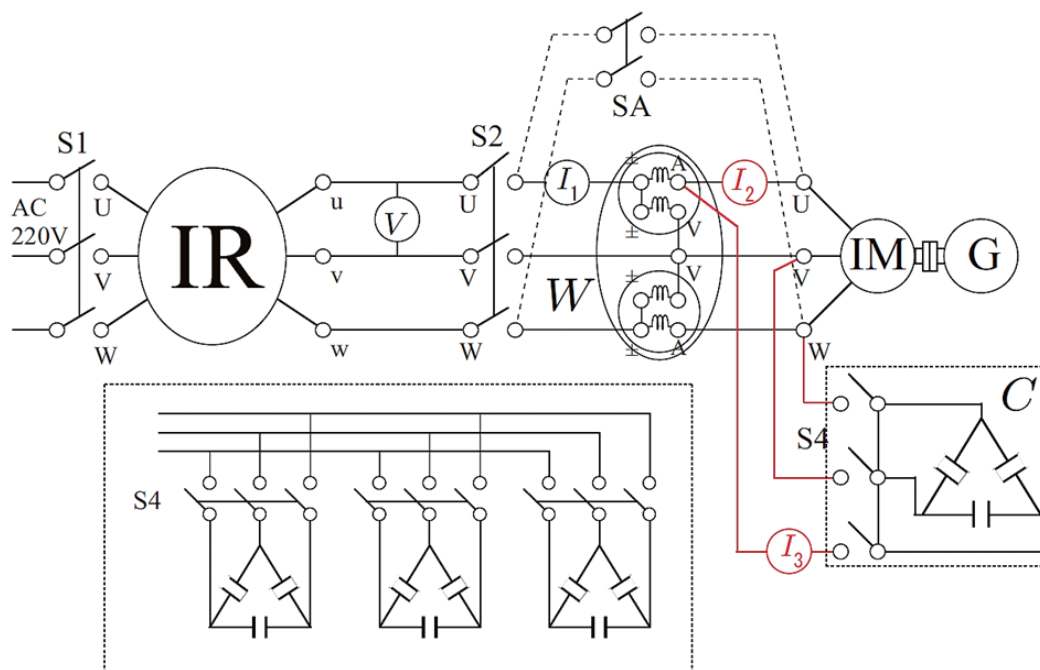


図 15: コンデンサによる力率改善

7.1 内容

進相用コンデンサを電動機に並列に接続することにより、電源から見た総合力率が改善されることを確かめる。コンデンサは複数個あり、それぞれのスイッチを入れると並列接続される。図 16 のようにコンデンサを接続してその容量を順次増加させていくと、線路電流 I_1 が減少し、最小値を経て再び増加に至る（図 15(c) 参照）。力率改善効果を明確にするため、本実験では常に $I_2 = \text{定格電流}/2$ で一定に保ったままで行う。



I_1 : 交流電流計, I_2 : 交流電流計, I_3 : 交流電流計, C: 進相用コンデンサ

図 16: 三相誘導電動機のコンデンサによる力率改善

7.2 実験手順

1. 図 16 のように接続する（実負荷試験の結線にコンデンサと電流計 2 個を追加する）。
2. コンデンサの切り替えスイッチを全て OFF とする。
3. 直流発電機の負荷 R_L のダイヤルを OFF、励磁電流制御用の可変抵抗 R_F を MAX にする。
4. S1 を入れた後、インバータを起動する。V を IR により 150~170V 程度にし、S2 を入れて電動機を回転させる。起動後は SA を切る。
5. S3 を入れ、 R_F により、 V_G を 120V 程度にしておく（これにより、1/2 負荷時に 100V 程度となる）。
6. IR により、供給電圧 V を定格電圧（180V）一定に保ちながら、コンデンサの容量を $0\mu F$ から $290\mu F$ まで $10\mu F$ ずつ順次増やしていく。その都度、電動機電流 $I_2 = 5.5A$ （1/2 負荷： $I_2 = \text{定格電流の } 50\%$ 値一定）になるよう、負荷 R_L を調節（粗調整はダイヤル、微調整はスライドつまみ、必要であれば R_F も調整）して、 I_1 、 I_2 、 I_3 、W を測定する。

課題：結果を表 4 のようにまとめた上で、図 15(c) のような特性グラフを描く。ただし、1 つの図にまとめて書く必要はない。また得られた結果に対する評価・考察をあわせて示すこと。

表 4: 進相用コンデンサの効果（供給電圧 $V = 180\text{V}$ [定格電圧一定]）

コンデンサ 容量 $C [\mu\text{F}]$	供給電圧 $V [\text{V}]$	線路電流 $I_1 [\text{A}]$	電動機 電流 $I_2 [\text{A}]$	コンデンサ 電流 $I_3 [\text{A}]$	電力計		電力 $P_i [\text{W}]$	力率 $\cos \phi$
					読み W_m	倍率 K		

8 インバータによる誘導電動機の可変速制御

8.1 内容

電動機の入力周波数を制御するインバータの機能（ V/f 一定制御）を活用し、電動機の回転速度が制御できることを確認する。また無負荷時において、入力電圧と誘導電動機の回転数の関係を確認する。

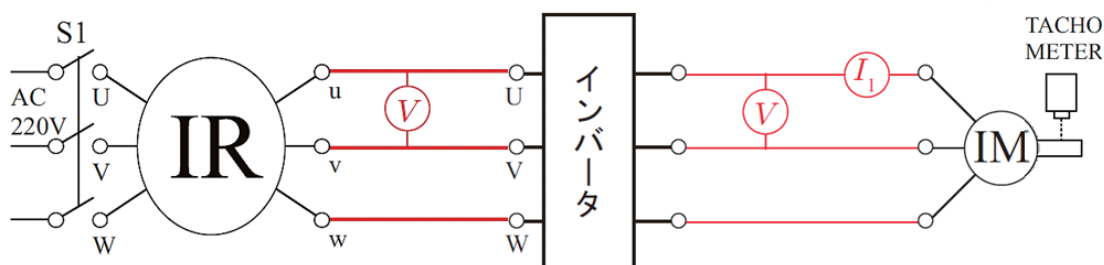


図 17: インバータによる速度制御実験

8.2 実験手順

- 図 17 のように接続する。電動機と発電機間のクラッチを外しておく。
- S1 を入れ、IR の出力電圧を 180V に調整した後、インバータの機能を「 V/f 」に設定し、インバータを起動する。
- インバータの制御盤で電動機の変速を変化させ、回転数を 500 min^{-1} から 1600 min^{-1} まで 100 min^{-1} 刻みで順次増やしていく。その都度、インバータの制御盤に表示されている電圧 V 、電流 I 、および回転数 N を測定する。ただし、回転数はきっちりとあわせる必要はない。またあわせて、インバータ出力の線間電圧および電流の時間応答をオシロスコープにより測定する。
なお、 500 min^{-1} 、 1000 min^{-1} 、 1500 min^{-1} の 3 条件については、オシロスコープに表示されている電動機入力の線間電圧および相電流が示す時間応答の画面コピーをあわせて記録する。

課題：結果を表にまとめ、特性のグラフを描く。 500 min^{-1} 、 1000 min^{-1} 、 1500 min^{-1} の各条件における電流の周波数をオシロスコープ画面より読み取り、回転数、周波数、電圧の関係について図示し、考察を示すこと。

9 課題

1. 誘導電動機と同期電動機の違いを述べよ。
2. 式 (2)～(4) より、式 (5) を導出せよ。
3. 本実験では、いずれも一方向にのみ誘導電動機を回転させている。回転方向を逆にするためにはどのようなすれば良いか、その原理とともに説明せよ。
4. 誘導電動機が利用されている例を挙げ、その用途に採用されている理由を述べよ。
5. インバータが利用されている例を挙げ、その用途に採用されている理由を述べよ。

10 参考文献

1. 西村正太郎 他 著, 「現代 電気機器学」, オーム社 (2002)
2. 佐藤則明 著, 「電気機器工学」, 丸善 (1996)