

A3 誘導電動機の変速制御の基礎実験

1 実験の目的および原理

1.1 実験の目的

現在用いられている回転機は、使用する電力の種類によって、図 1 のように分類される。電力が直流であるか交流であるかによって、直流機と交流機に分けられ、交流機はその回転運動がギャップの磁界と同期するか、しないかによって、同期機と非同期機に分けられる。さらに非同期機は誘導機と整流子機に分けられる。これらの回転機による電力と動力の変換はいずれも可逆で、一つの機械が原理的には発電機にも電動機にもなりうる。

本実験では、このうち誘導機に分類される回転機を変速制御するための基礎実験として、誘導機の回転速度変化および効率改善に着目した実験を行い、誘導機の諸特性を理解する。

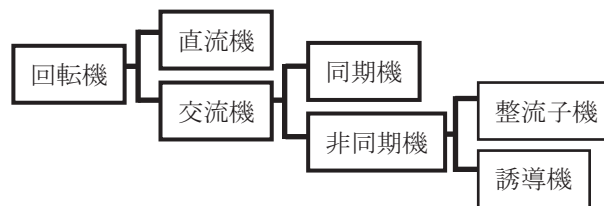


図 1: 回転機の分類

1.2 3 相交流による回転磁界

図 2 に 3 相交流電流の概念図を示す。3 相交流とは、通常の単相電流を 120 度ずつ位相をずらした 3 種類の電流を、3 本の線で送る形式を指す。この 3 相交流を図 3 に示すように空間的にも 120° ずつ異なるように配置する。一般的に電流が流れれば磁界が発生するが、図 3 のように配置された場合、3 相により発生する合成磁界は時間とともに変化（回転）することが知られており、これを回転磁界と呼ぶ。

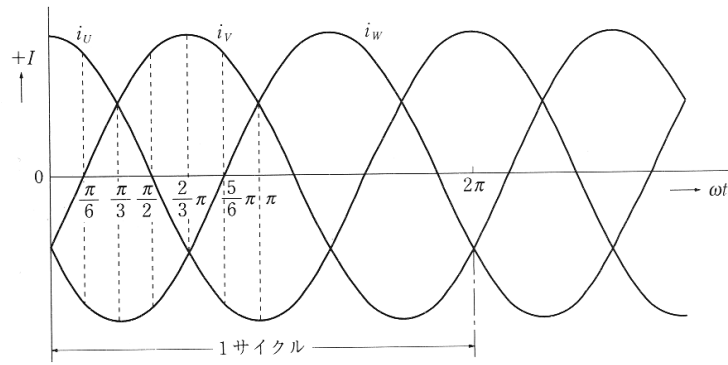


図 2: 3 相交流電流

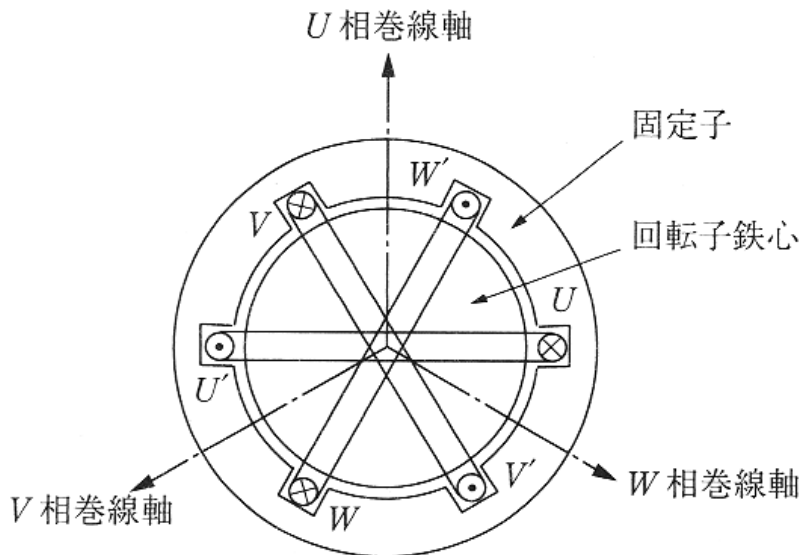


図 3: 固定子 3 相巻線

1.3 誘導電動機の原理

本実験で用いる「かご型誘導電動機」の回転子を図 4 に示す。同図 (b) における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。この様子を表したものが図 5 であり、回転子は回転するトルクを常に得るため、回転磁界よりも遅いスピードで回転することになる。この回転速度の差が「すべり」と呼ばれ、誘導電動機が同期電動機と決定的に異なる点である。

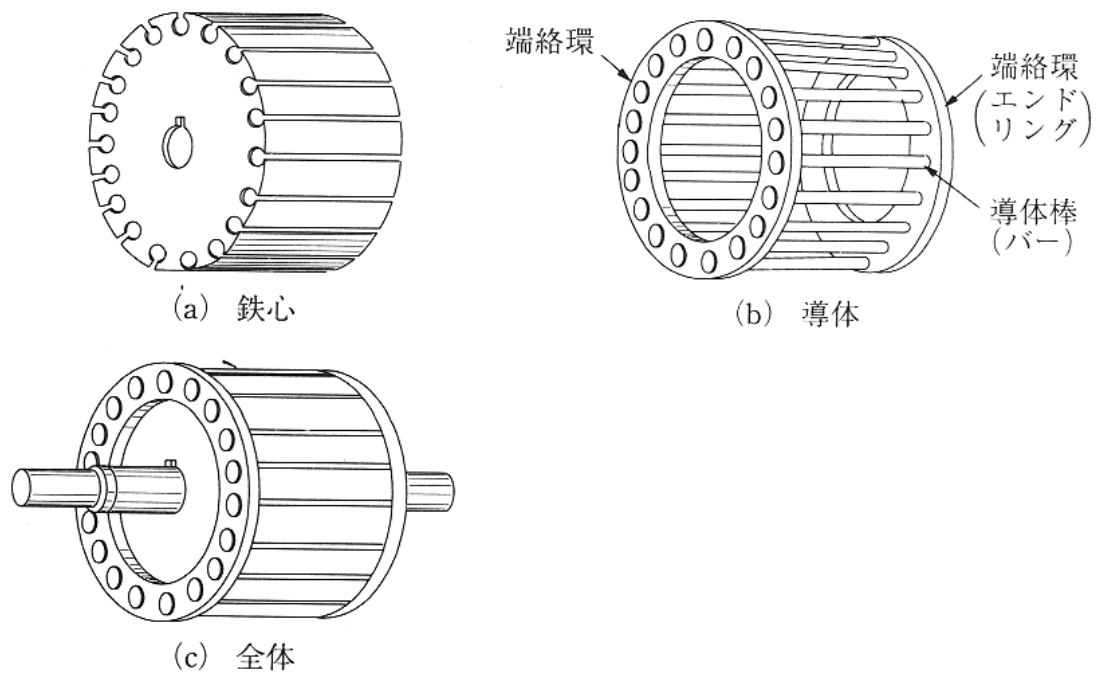


図 4: かご型誘導電動機の回転子

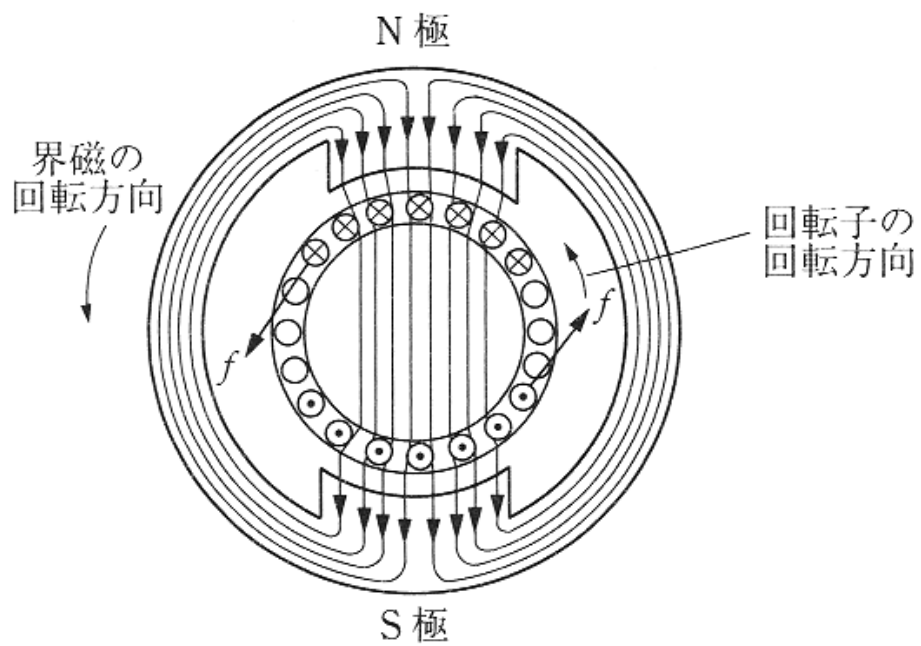


図 5: 誘導電動機の動作原理

2 起動，運転，停止，逆転の実験

2.1 < 注意 >

起動前に行うこと。(図 6 及び補足参照)

1. 電力計の電流コイル選択プラグを，測定レンジ及び，保護用として短絡（穴 S，電力計に明示）に入れておく。
2. スイッチ SA を入れておき，電流計，電力計を保護しておく。
3. 供給電圧 V を少なくとも 150 ~ 170V 程度まで落としておく。

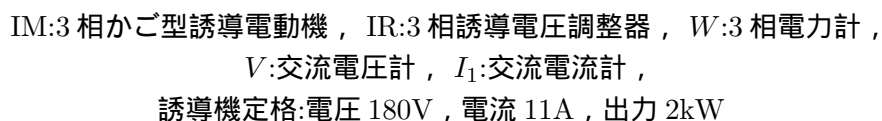
補足

実験に用いる誘導機は小型のかご形であり，直接定格に近い電圧で起動させるので大きな起動電流が流れる。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に接続されている電流計と電力計に流れない様にするため，分路として（図の破線）設けられている。但し，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。SA を入れた状態での電流計と電力計の読みは本実験では無意味である。

実験に用いる回転機は，高速に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。

2.2 < 実験手順 >

1. 図 6 に示すように結線を行う。電動機は無負荷とする。
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。電力計のプラグを測定レンジだけでなく，短絡プラグとなる穴 S（電力計に明示）に入れる。スイッチ S1 と S2 は切り，SA は入れておく。（電力計のプラグによる電流コイル接続状態及び，電圧レンジに注意すること。）
3. S1 を入れる。インバータを起動する。IR のハンドルを回して V を 150 ~ 170V 程度にする。
4. S2 を入れ誘導電動機を起動させる。
5. IR のハンドルをまわして V を定格電圧 (180V) にする。電流計と電力計の読みを有意にする為に，SA を切り電力計の穴 S に入っている短絡プラグを抜く。電流計と電力計の針が振れているのを確認後，再び SA を入れ穴 S に短絡プラグを入れてもとの状態に戻しておく。
6. S2 を切って停止させる。（停止させるには電源を切れば良い）停止直前に回転方向を記録する。
7. S1 を切り，電源から電動機にいたる 3 相の 3 本の結線のうち任意の 2 本を入れ換える。（電動機内の回転磁界の回転方向を逆転させる為）3,4,6 を行い，回転方向が逆になっていることを確認する。（確認後，元の接続状態に戻しておくこと）



3 基本的特性試験（無負荷試験）

無負荷定格電圧で運転する時の入力（無負荷損 W_0 ）、電流（無負荷電流 I_0 ）及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。

1. 図 6 の結線を行い起動させる。(もし、分からなければ 2.2 の実験手順を参照)。
2. 電力計の電流コイル選択プラグを確認し、穴 S に入っている短絡プラグを抜き、SA を切る。(これで電流計と電力計の読みが有意となる)。
3. IR のハンドルを回して厳密に V を定格電圧 $V_0 \equiv V_N$ (180V) にする。この時の I_1 (=無負荷電流 I_0)、 W (=無負荷損 W_0) 及び回転速度 N (= N_0) 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% の 200V とした後、70V まで順次電圧を下降させる毎に I_1 、 W 、 N を記録する。(10V 刻みぐらいが適当)

課題 V を横軸に, $I_1, W, \cos \phi, N$ を縦軸にとって無負荷特性曲線を描く。

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		無負荷損失 $W[W]$	力率 $\cos \phi$	回転数 $N [\text{rpm}]$
		読み W_m	倍率 K			

但し，無負荷損失: $W = W_m \times K$ ，力率: $\cos \phi = \frac{W}{\sqrt{3}VI_1}$ より求める。

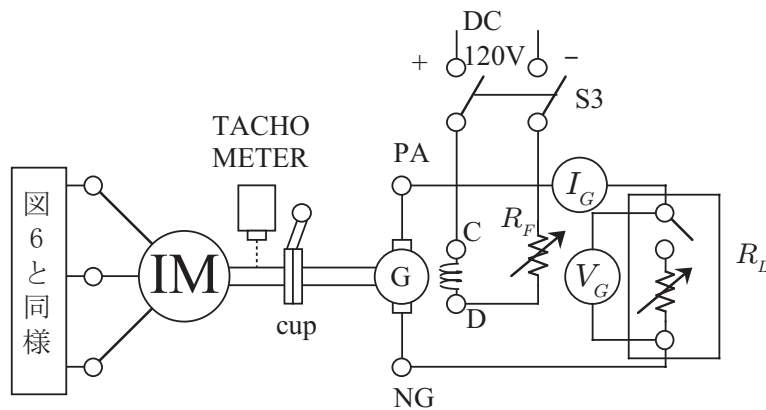
4 実負荷試験

4.1 < 内容 >

供給電圧を定格値に保ち，負荷を変化させる毎に入力，電流，回転数を測定する。

4.2 < 方法 >

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。



V_G : 直流電圧計， I_G : 直流電流計， R_L : 負荷抵抗

IM から電源側は図 6 と同様，また、発電機は表面に明示している矢印の方向に回転させること。

図 7: 3 相誘導電動機の実負荷試験

4.3 < 手順 >

1. [準備]

(a) 図 7 のように結線する。誘導電動機と直流発電機をクラッチで結合する。

(b) 電動機側 S1, S2 を切り, SA を入れ電力計の電流コイル選択プラグを測定プラグにセットしたまま, 短絡プラグを穴 S に入れておく。

(c) 負荷側 S3 は切り, R_F は MAX としておく。 R_L のダイヤルを OFF の位置とする。

2. [起動]

(a) S1 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。

(b) S2 を入れて起動させる。

(c) SA を切り電力計の短絡プラグを抜く。

(d) S3 を入れ R_F により $V_G \approx 100V$ に調整する。

3. [測定]

(a) 負荷 R_L のダイヤルを OFF, 1, 2, 3, ... と順次変えていく毎に IR のハンドルを回して V を厳密に定格電圧 $V_N(180V)$, R_F により $V_G \approx 100V$ に調節しておいて I , W , N を測定する。 I が定格電流 (11A) になるまでこれを行う。なお, 全ての測定が終了したら R_L のダイヤルを逆に回して負荷を軽くした後 S1, S2 を切る。次に S3 を切り, SA を入れ IR を min の位置に戻しておく。

< 注意 > 電力計の指示が, 測定範囲をオーバーしそうになったら, 測定レンジを変更すること。

表 2: 実負荷試験結果

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

	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
負荷 R_L	供給電圧	負荷電流	電力計		入力	回転数	直流電圧	直流電流	すべり	出力	効率	力率	トルク
ダイヤル	V [V]	I_1 [A]	読み W_m	倍率 K	P_i [W]	N [rpm]	V_G [V]	I_G [A]	S [%]	P_o [W]	η [%]	$\cos \phi$ [%]	T [kgm]
OFF ↓													

< 補足 > (8) ~ (12) は, 持ち帰って計算し, 記入せよ。計算式を下に示す。

(4) 入力: $P_i = W_m \times K$ [W]

(8) すべり: $S = 100 \times (N_S - N)/N_S$ [%]

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

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

(12) トルク: $T = 0.975 \times P_o/N$ [kgm]

但し 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 1 相分抵抗値 (0.625[Ω])。 N_S は 1800[rpm]

課題 以上の結果より, 図 8 のような特性グラフを描く。

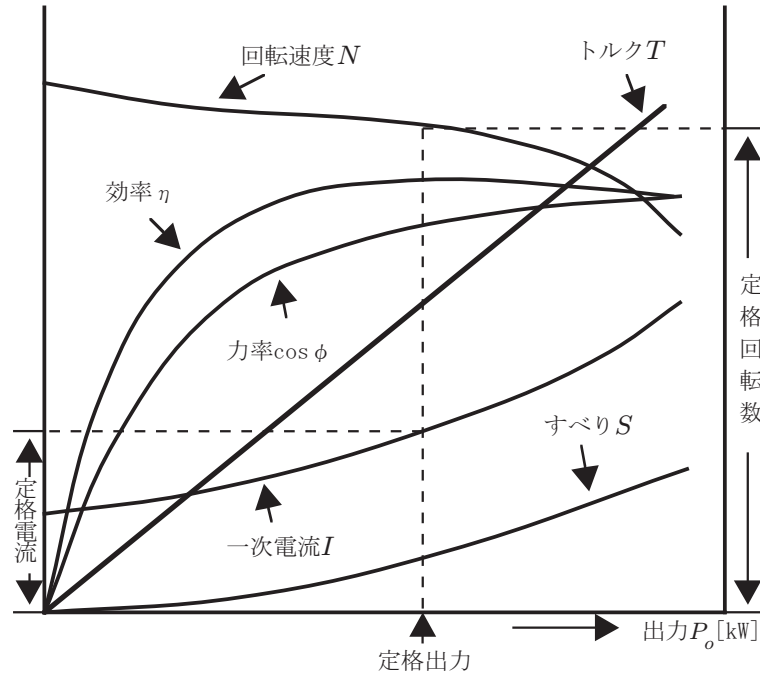


図 8: 負荷特性曲線

5 コンデンサによる力率改善

5.1 <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、総合力率が改善されることを確かめる。図 10 の様にコンデンサを接続してその容量を順次増加していくと線路電流 I_1 が減少し、最小値を経て増加するに至る（図 9 参照）。力率改善効果を明確にするため、実験では常に $I_2 = \text{定格電流}/2$ で一定に保ったまま行う。

<注意> 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。

5.2 <手順>

1. [準備]

- (a) 図 10 の様に接続する（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）。
- (b) コンデンサの S4 を全部 OFF にする。
- (c) 直流発電機側の R_L のダイヤル目盛りを OFF, R_F を MAX にする。
- (d) 電動機を回転させる。
 - i. S2 切, SA 入, 電力計短絡プラグ入にする。
 - ii. S1 を入れてインバータを起動した後、V を IR により 150 ~ 170V 程度にする。

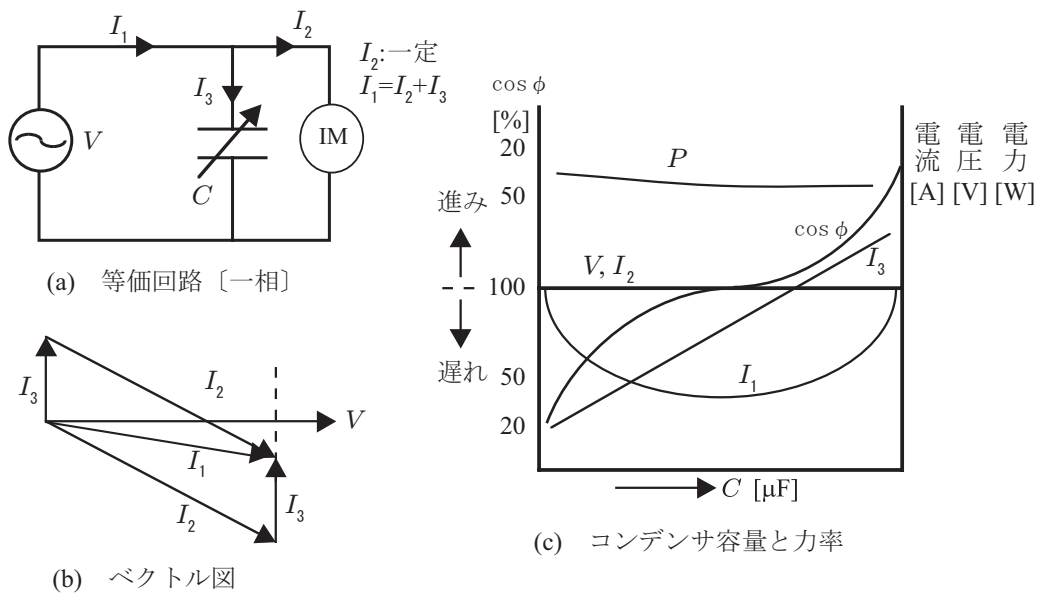
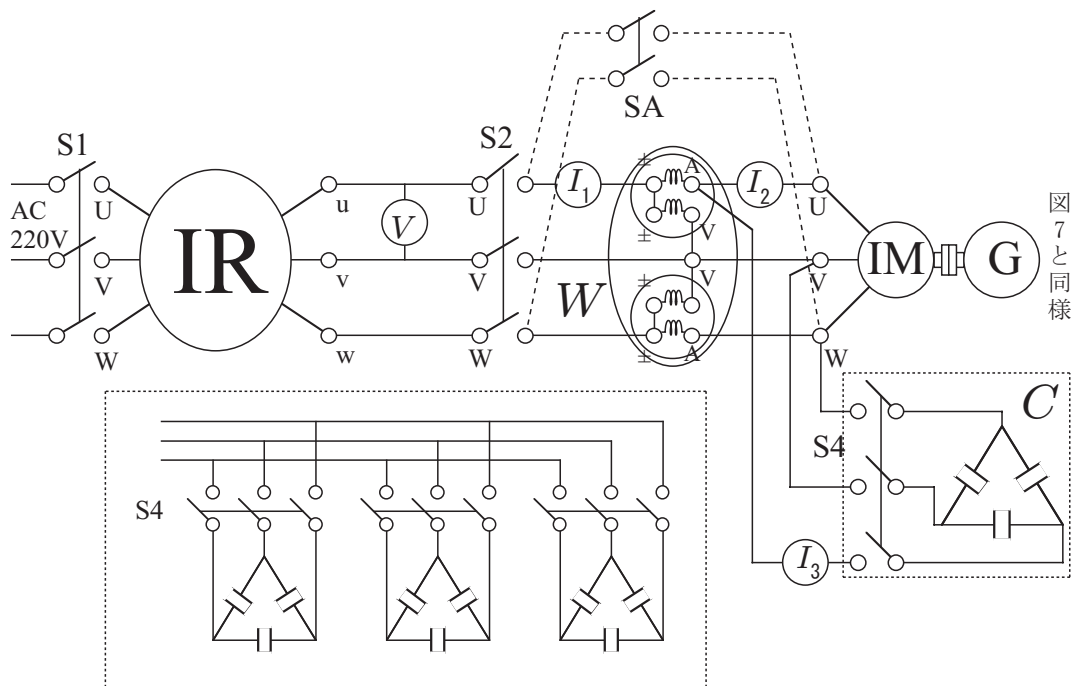


図 9: コンデンサによる力率改善



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 10: 3 相誘導電動機のコンデンサによる力率改善

- iii. S2 を入れて起動。
 - iv. SA 切，電力計短絡プラグを抜く。
 - (e) S3 を入れて R_F により V_G を 120V 程度にしておく（これで 1/2 負荷時に 100V 程度になる）。
2. [測定（1/2 負荷： I_2 = 定格電流の 50% 値一定）]
- (a) IR により供給電圧 V を定格電圧一定（180V）に保ちながら，コンデンサの容量を $0\mu\text{F}$ から $140\mu\text{F}$ まで $10\mu\text{F}$ ずつ順次増やしていく。その都度電動機電流 I_2 が定格電流の 50% 値（5.5A）になるよう，負荷 R_L を調節（粗調整はダイヤル，微調整はスライドツマミによる）して（必要なら R_F も調節して） I_1, I_2, I_3, W を測定する。
 - (b) 結果を表 3 の様に整理し，図 10 の (a),(b) を考えながら (c) の様なグラフを描く。

表 3: コンデンサの効果（ V =定格電圧一定=180V）

コンデンサの容量 $C [\mu\text{F}]$	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		

6 課題

1. 同期電動機と誘導電動機の違いをまとめよ。
2. 実際に誘導電動機が利用されている例を取り上げ、その用途に採用されている理由を述べよ。また、その用途では実際にどのような制御方法により、誘導電動機が制御されているかについて分かり易く述べよ。

参考文献

- [1] 西村正太郎他著「現代 電気機器学」，オーム社（平成 14 年）
- [2] 佐藤則明著「電気機器工学」，丸善（平成 8 年）