

1 回転磁界

第2章で、導体に電流が流れると、その周囲には磁界が発生することを学習した。ここでは、三相交流を用いると、コイルに生じる磁界を回転させることができることを学ぶ。

図1のように、角度を $\frac{2}{3}\pi \text{ rad} (= 120^\circ)$ ずつずらして配置した巻き数の同じ3組のコイルに、それぞれ $i_a, i_b, i_c [\text{A}]$ の三相交流を流すと、みずから回転する合成磁界が生じる。

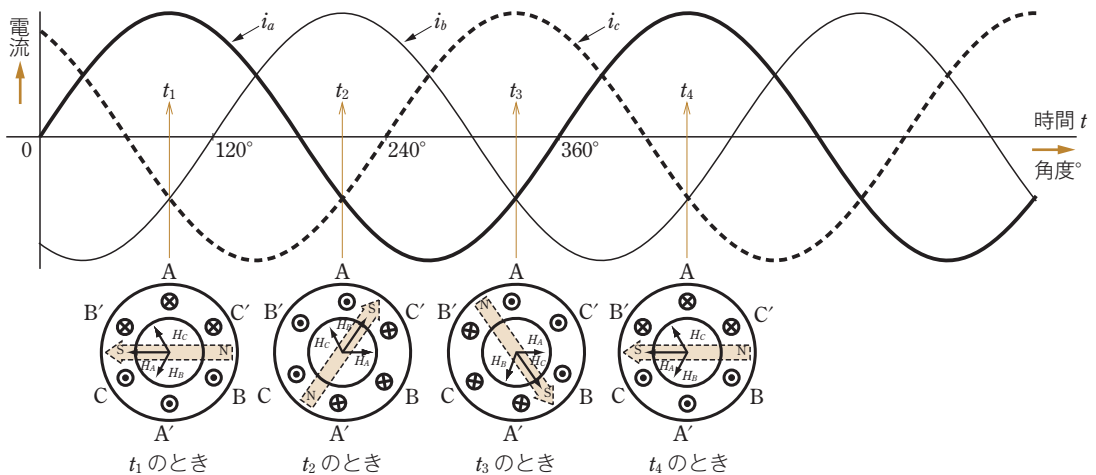


図1 三相交流のつくる回転磁界

回転磁界は、交流の1周期で1回転するので、周波数 $f [\text{Hz}]$ の三相交流が流れると、合成磁界の1分間の回転速度は、次の式で表される。

$$n_s = 60f \text{ } [\text{min}^{-1}] \text{ ①} \quad (1)$$

これを同期速度^②といい、極数によって変化する。極数を P とすると、同期速度 N_s は次の式として表される。

●同期速度
$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ } [\text{min}^{-1}] \quad (2)$$

こうして、時間の経過とともに回転する磁界を回転磁界という。回転磁界は、誘導電動機や同期電動機の動作原理として重要である。

① reciprocal minute

② synchronous speed

2 三相誘導電動機

① three-phase induction motor

三相誘導電動機^①は、構造が比較的単純で、安価で丈夫であり、取り扱いも簡単であるため、工作機械、クレーンの巻上げ機、鉄道の主電動機などに幅広く用いられている。

1 アラゴの円板

図2に示すように、回転できる円形のアルミニウム板の周囲に沿って磁石を動かすと、円板にはフレミングの右手の法則に従う向きに渦電流が流れる。この円板は磁極の真下、すなわち磁界の中にあるので、磁石の移動と同じ向き（フレミングの左手の法則に従う向き）に力を受けて回転する。この円板をアラゴの円板といい、これが誘導電動機の回転の原理である。

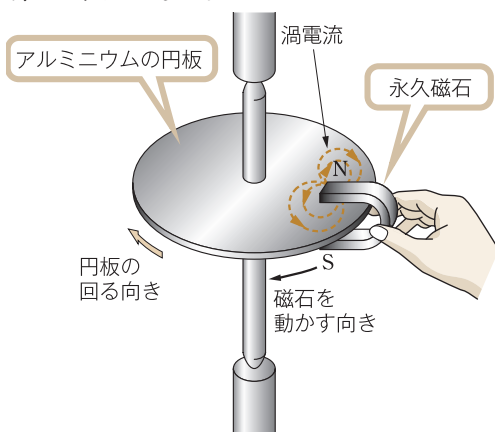


図2 アラゴの円板

磁石で円板をはさみ込むことで、円板に磁界が通る。この磁石を動かすと、磁界も同時に動くため、その磁界の変化をさまたげるように渦電流が円板上に生じる。

磁界の回転速度である同期速度 N_s と、円板の回転速度 N には、必ず速度差が生じる。この同期速度 N_s と、回転速度 N の比をすべり s ^②といい、次の式で表される。

② slip

$s = 4 \sim 10\%$ のものが
多い。

$$\bullet \text{すべり} \quad s = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100 [\%] \quad (3)$$

例題1 周波数60Hz、極数4、すべり5%である三相誘導電動機の回転速度を求めよ。

解答... 誘導電動機の同期速度 N_s は、

$$N_s = 120 \times \frac{f}{P} = 120 \times \frac{60}{4} = 1800 \text{min}^{-1}$$

すべりが5% = 0.05であるから、回転速度は次のように求めることができる。

$$N = N_s \times (1 - s) = 1800 \times (1 - 0.05) = 1710 \text{min}^{-1}$$

問 1 周波数50Hz, 極数4の三相誘導電動機の負荷時における回転速度が 1410min^{-1} であった。すべり[%]を求めよ。

2 三相誘導電動機の構造

図3に三相誘導電動機の外観と構造を示す。三相に組まれたコイルに三相

5 交流を流すと回転磁界が生じ、アラゴの円板に相当する回転子が回転する。

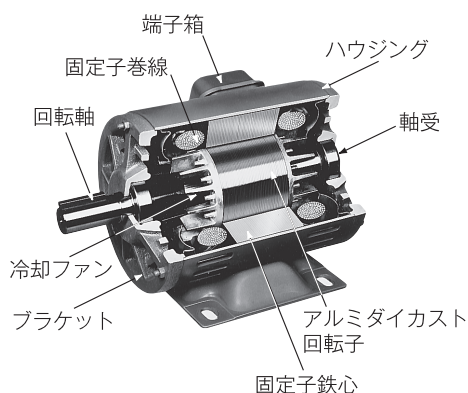


図3 三相誘導電動機の構造

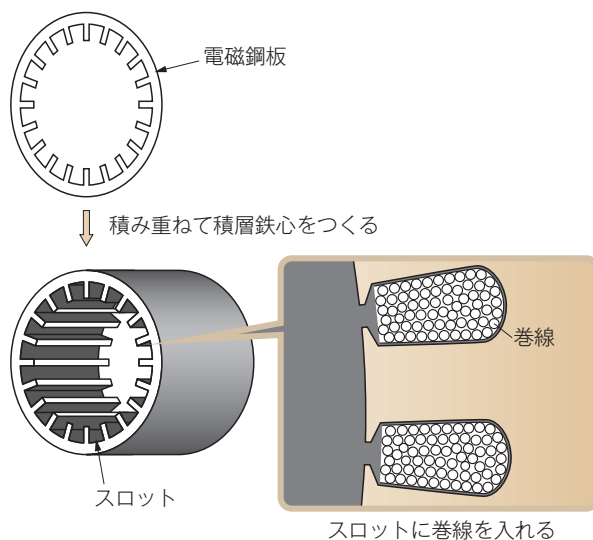


図4 誘導電動機の固定子

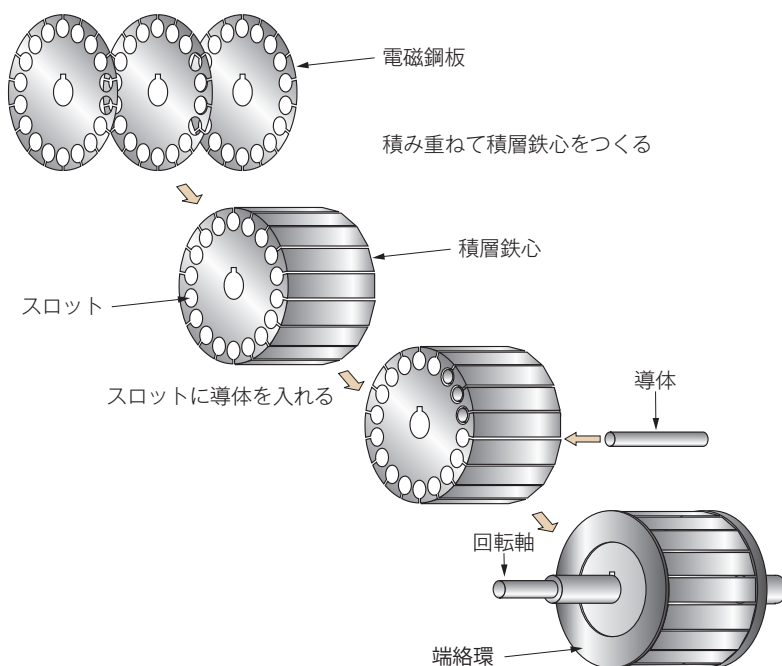


図5 かご形回転子の構造

3 三相誘導電動機の始動法

三相誘導電動機の始動時には、定格電流の数倍もの始動電流が流れる。大容量の三相誘導電動機では、過電流によるコイルの焼損を防ぐため始動時の電流を抑制し、コイルを保護する始動法がとられる。一般に三相誘導電動機の始動電流は、全負荷電流の5～8倍程度となる。

(a) 全電圧始動法（直入れ始動法） 小容量（3.7kw以下）の三相誘導電動機は、配電線に対する影響や

コイルの焼損のおそれも低いいため、電源電圧を直接加えて始動する。この始動法を直入れ始動ともいう。

(b) Y-Δ始動法 始動時は、コイルをY結線にすることで、コイルに加わる電圧を運転時の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍として、始動電流を抑制する。

回転速度が安定したらコイルをΔ結線に切り替え、全電圧を加える方法である。

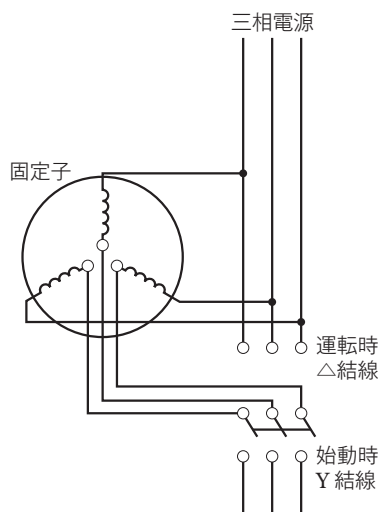


図6 Y-Δ始動法

4 回転の逆転

三相誘導電動機の回転を逆転させるには、コイルで生じる回転磁界の回転方向を逆にしなければならない。実際には、三相電源からコイルにいたる3本の電源線のうち、2本を入れ替えると、回転磁界の方向が変わり回転子は逆転する。

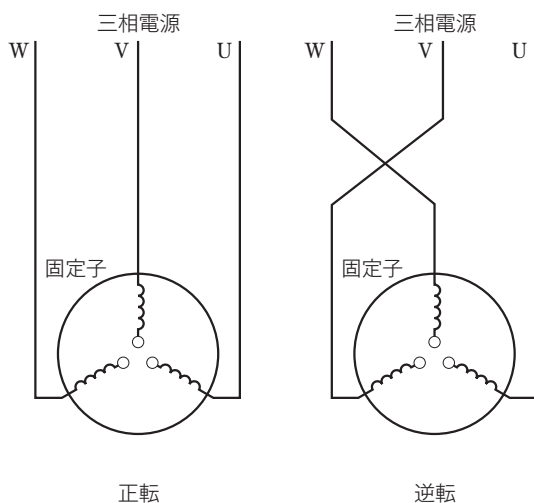


図7 正転および逆転の例

5 三相誘導電動機の故障と対策

三相誘導電動機の故障は、機械的故障と電氣的故障に分けられる。機械的故障

故障事例でよく見られるものは、軸受けにかかわる故障である。また電氣的故障事例でよく見られるものは、コイルの焼損である。電動機はつねに回転しているため、他の電気機器に比べ機械的な損傷を受けやすく、振動や異音に注意を払わなければならない。

(a) 機械的な故障と対策 運転中の振動や異音の原因として、軸受け部分の潤滑油の不足や劣化、据え付け不良などによる軸のぶれなどが考えられる。これらを放置すると、ベアリングの摩耗や軸の摩減が生じたり、運転中に軸受け部が焼き付くこともある。また最悪の場合、回転部分と固定部分が接触することになる。

これらの対策として、運転中に通常とは異なる音や振動を感じたら早期に潤滑油の注油を行うことで、重大な故障が回避できることが多い。定期的な潤滑油の管理が重要である。

(b) 電氣的な故障と対策 電氣的な故障として多く見られるのは、コイルの焼損である。原因としては配管などから雨水が浸入し絶縁が低下して短絡する場合や、ヒューズなどの保護装置が不適切で過負荷運転となり焼損することが多い。また、機械的な損傷により内部で短絡するような故障もある。

これらの対策として、雨水の浸入防止や吸湿に注意すること、適切な保護装置を設置すること、および機械的な故障を起こさない管理も重要である。

(c) 単相運転 電動機内外の配線の断線や、1相分のヒューズ熔断により、運転中に単相運転になることがある。運転中は単相誘導電動機として回転を続けるが、すべりや電流が増加して焼損することがある。

また、単相の状態では三相誘導電動機は始動できない。始動不能の場合は、最も疑わしい原因としてあげられる。

インバータ制御

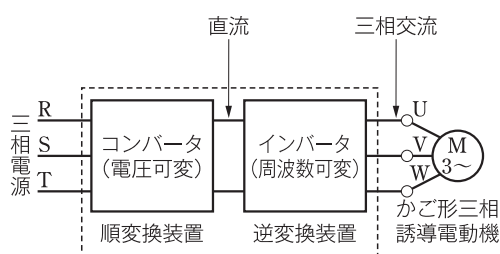
誘導電動機の回転速度を制御するには、①極数を変える、②周波数を変える、③電圧と周波数を同時に変えるという方法がある。

極数を変える場合は、電動機の構造が複雑になるほか、連続的な速度制御ができない。連続的に制御するために、インバータ装置を用いて周波数制御を行っている。

商用電源周波数は、50Hzまたは60Hzであるため、一度コンバータを用いて交流を直流に変換する。次に、その直流をインバータで擬似的な交流を発生させ、必要な周波数を得ることができる。

インバータは、連続的にむだの少ない制御が可能であるため、空調設備や照明器具に利用されている。

また、電気鉄道など、大きな駆動力を必要とする場合には、電圧と周波数の比率を一定に保つよう同時に制御を行うことで、速度制御を行う。



(a) 構成図



(b) 外観例

図8 VVVFインバータ電源装置の例

- * コンバータ 半導体素子を用いて、交流を直流に変換する装置
- * インバータ 半導体素子を用いて、電圧・電流・周波数を、連続的に可変制御できる擬似的な交流を発生させる装置