

1. 直流電動機の速度制御

1. 目的

直流電動機の原理と構造を学び、直流電動機の手度制御のうち、電圧制御法と界磁制御法についてその原理と実際を理解する。

2. 直流電動機の原理、構造、および手度制御の理論

2. 1 直流電動機の原理と構造

磁界中に導体をおき、電流を流すとその導体に力が作用する。この力を電磁力とよび、その方向はフレミングの左手の法則にしたがう（図1）。これがすべての電動機において、トルク（回転させる力）を発生する原理である。磁界を発生させるためには、電磁石をもちいる。すなわち、図2のように固定子と回轉子を配置し、界磁コイルに界磁電流 I_f を流すと、図のようにN極からS極へ向かう磁束 Φ が発生する。同じ界磁電流 I_f にたいして多くの磁束が発生するように、磁束の通路となる回轉子と、帰り道の継鉄の部分は強磁性体（鉄）でつくられている。界磁抵抗 R_f を変えて界磁電流 I_f を増減することによって磁束 Φ の量を調整することができる。

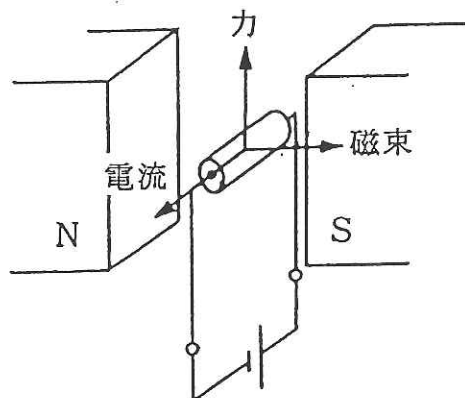


図1 電磁力の発生

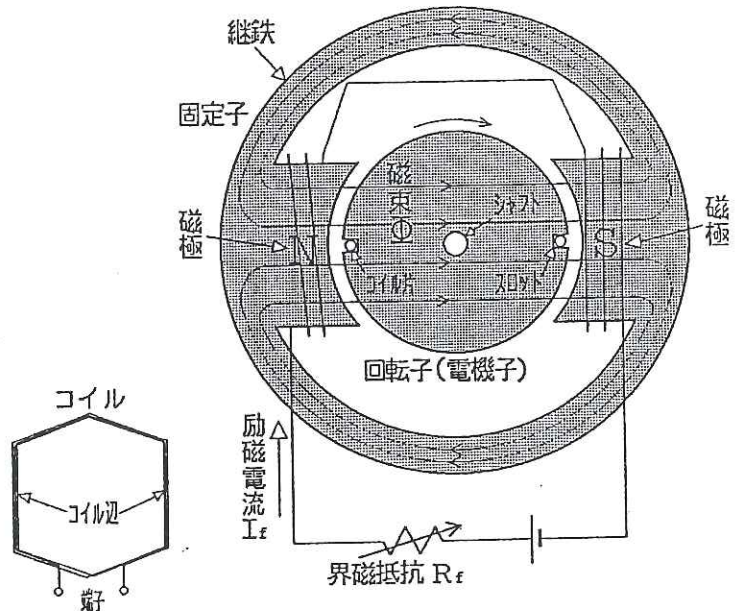


図2 磁束の発生と磁路

つぎに、このようにしてつくられた磁界中に導線を配置し電流を流すために、回轉子に溝（スロットとよぶ）をつくり、コイルをうめこむ（図2）。コイルの端子は（図3参照）、整流子片（ C_1 、 C_2 ）とよばれる半円弧状の導体に接続され、固定子に固定されたブラシ B_1 、 B_2 をととして外部の直流電源に接続される。

図3において、

電源→ブラシ B_2 →整流子 C_2 →コイル→整流子 C_1 →ブラシ B_1 →電源 (1)

の閉回路に電流 I_a を流すと、左側のコイル辺には上向きの、右側のコイル辺では電流の向きが反対なので下向きの力が働き、回転力が発生する。コイルが半回転して、整流子 C_1 がブラシ B_2 と、整流子 C_2 がブラシ B_1 と接触しても、前と同様に、N極の前にあるコイル辺には上向きの、S極の前にあるコイル辺には下向きの力が働き、結局、コイルが回転してもつねに同じ方向にトルクが発生する。これが直流電動機の原理である。

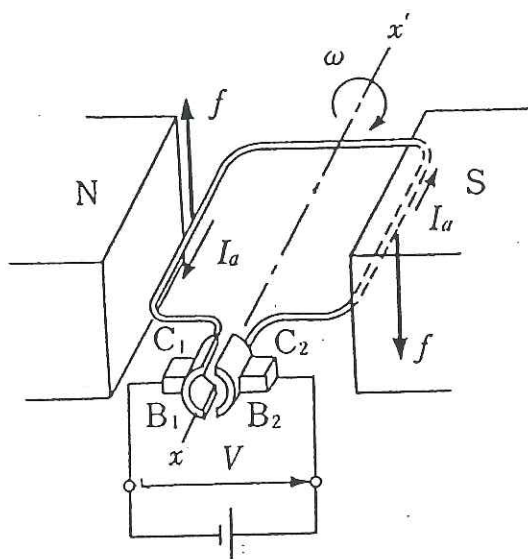


図3 直流電動機の原理

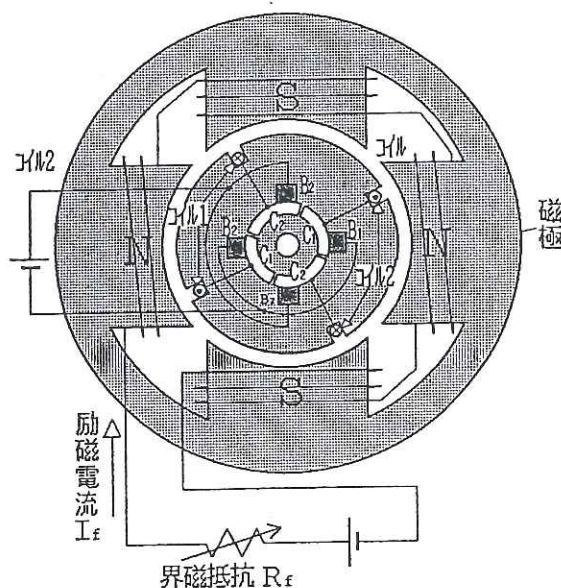


図4 4極、整流子片数4の直流機

ここではもっとも単純な極数2、コイル数1、整流子片2個の場合について原理を説明したが、図4ではもう少し複雑な、極数4、コイル数2、整流子片4 ($C_1 \times 2$ 、 $C_2 \times 2$)、ブラシ4 ($B_1 \times 2$ 、 $B_2 \times 2$) 個の場合を図示している。この場合でも、各ブラシに接触する整流子片が 90° 回転するごとに順次切りかわり、つねに上記(1)の閉回路に電流が流れ、回転してもN極の前のコイル辺とS極の前のコイル辺にはつねに同じ方向に電磁力がはたらいて回転力を発生している。

実際の直流電動機は、もっとたくさんのコイル、スロットおよび整流子片をもっていて、よりなめらかで一定に近いトルクを発生するように設計、製作されている。

一方、磁界中を導体が動くと、その導体に起電力が発生する。その方向はフレミングの右手の法則にしたがい、この場合は電流 I_a と逆方向である。この逆方向の起電力にさからって電流 I_a を流しつづけると、電動機はトルクを発生しながら回転をつづける。このとき直流電源はその電圧と電流 I_a の積に相当するエネルギー(電力)を放出していて、電動機はトルクと回転角速度の積に相当するエネルギーを外部の機器に送り出している。損失を無視すれば、当然、両方のエネルギーは等しい。電動機はこのようにして電気エネルギーを機械エネルギーに変換している。

2. 2 直流電動機の理論

直流機が発生するトルク T は、1つの磁極から出てゆく（または入ってくる）磁束 Φ に比例し、また磁界中を流れる電流 I_a にも比例する。したがって比例定数を K_a とすればつぎの式であらわされる。

$$T = K_a \Phi I_a \quad (2)$$

ここで K_a は電機子定数とよばれる。

一方、直流機が発生する誘導起電力 E_a は、磁束 Φ と磁束を切る速度に、したがって回転速度に比例するので、

$$E_a = K_a \Phi \omega \quad (3)$$

とあらわされる。ここで ω は回転角速度、 K_a は (2) 式の K_a と同じ定数であることが知られている。

直流機は、記号的には図4のようにあらわされる。図4で R_a は電機子コイルの抵抗で、実際には上下のブラシ $B_2 B_1$ 間に存在するのであるが、ここでは外部に出して描いている。この回路になりたつ電圧バランスの方程式は、直流電源電圧を V とすると、電機子コイルの誘導起電力 E_a は流れ込む電流 I_a とは逆方向であるから

$$V = E_a + R_a I_a \quad (4)$$

となる。この式に (3) 式を代入し、 ω について解くと、定常運転状態における直流電動機の回転角速度 ω [rad/s] はつぎのようにえられる。

$$\omega = \frac{V - I_a R_a}{K_a \Phi} \quad [\text{rad/s}] \quad (5)$$

また1分間の回転数 n [r. p. m] と回転角速度 ω との関係はつぎの式であらわされる。

$$\omega = (2\pi / 60) \cdot n \quad [\text{rad/s}] \quad (6)$$

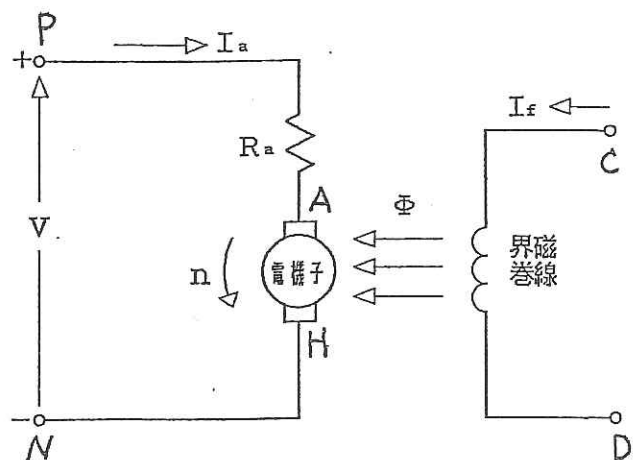


図4 直流電動機の記号と回路構成

ここで、電機子電圧 V_a を調整すると V_a にほぼ比例して n を変化させることができる（電圧制御）。また磁束 Φ は、飽和を無視すれば、界磁電流 I_{fm} に比例するので、界磁電流を調整すれば、これに反比例して回転数 n が変化する（界磁制御）。

3. 実験

3.1 結線図

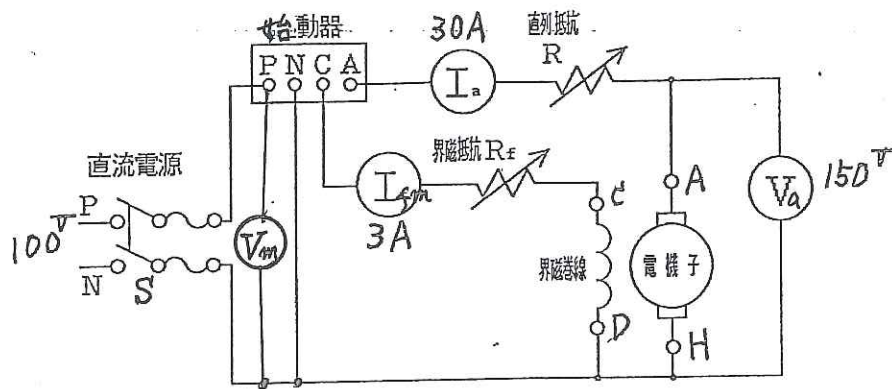


図 2

3.2 実験方法

- ① 始動と停止 ② 界磁制御法 ③ 電圧（電機子電圧）制御法

1. 始動と停止

- ① 図2のように、結線が正しく接続されているか、確かめ始動器 R_{st} のハンドルが元の位置にあるか確認する。
- ② 直流電動機の定格値を銘板にて確認し、記録する。
- ③ 始動トルクを大きくするため、界磁抵抗器 R_f を最小にする。直列抵抗 R は最小にする。
- ④ スイッチ S を閉じ、電源電圧を調整し、供給電圧 V_m を定格値にする。
- ⑤ 始動器 R_{st} のハンドルをゆっくり回し、ノッチを進める。（抵抗値を減じる）このとき、電動機が回転を始める。
- ⑥ 回転（方向）を確認し、始動器のハンドルがロックされる位置まで移動させる。
- ⑦ 界磁抵抗器 R_f を調整し、定格回転数 n [min^{-1}] に合わせる。
- ⑧ 定格回転数時の界磁電流 I_{fm} 、無負荷電流 I_a の値を測定し、＜結果1＞の表に記録する。

停止

＜結果1＞

供給電圧 V_m [V]	界磁電流 I_{fm} [A]	無負荷電流 I_a [A]	定格回転数 n [rpm]

2. 界磁制御法

- ① 実験1. の手順④～⑦により電動機を始動させる。
- ② 直列抵抗 R を調整して、電機子電圧 V_a を 90V に合わせる。以後一定に保つ。
- ③ 界磁抵抗器 R_f を調整し界磁電流 I_{fm} を 0.6A から 0.05A ずつ上昇させ、 1.0A まで、変化させ、界磁電流 I_{fm} に対する回転数 $n [\text{min}^{-1}]$ を、定格回転数の $80\sim 120\%$ の範囲内で測定し、その値を<結果2>の表に記録する。
- ④ 界磁電流 I_{fm} が 1.0A まで上昇したら、今度は 0.05A ずつ降下させ、 0.6A まで変化させ界磁電流 I_{fm} に対する回転数 $n [\text{min}^{-1}]$ を、測定し、その値を<結果2>の表に記録する。(図20.4のように)
- ⑤ 図20.4のようにグラフを描く。

注意!! 界磁抵抗器 R を調整し、界磁電流を目盛りに、合わせるとき上昇の時は上昇方向のみ、降下の時は降下方向のみに界磁抵抗器を操作すること。

3. 電圧（電機子電圧）制御

- ① 実験1. の手順④～⑦により電動機を始動させる。
- ② 直列抵抗 R を調整して、電機子電圧 V_a を 100V に合わせる。
- ③ 界磁抵抗器 R_f を調整し界磁電流 I_{fm} を定格値に合わせる。以後一定に保つ。
- ④ 直列抵抗 R を調整して、電機子電圧 V を 5V ずつ降下させ 60V まで変化させ、電機子電圧 V_a に対する回転数 $n [\text{min}^{-1}]$ を、測定し、その値を<結果3>の表に記録する。
- ⑤ 界磁電流を不足励磁 (80%)、と過励磁 (120%) に調整し、実験手順③～④の操作で、測定する。
- ⑥ 図20.5のようにグラフを描く。

4. 結果の整理

- (1) 横軸に界磁電流 $I_{fm} [\text{A}]$ をとり、縦軸に回転速度 $N [\text{rpm}]$ をとって、図20・4のようにグラフを描く。
- (2) 横軸に電機子電圧 $V_a [\text{V}]$ をとり、縦軸に回転速度 $N [\text{rpm}]$ をとって、図20・5のようにグラフを描く。

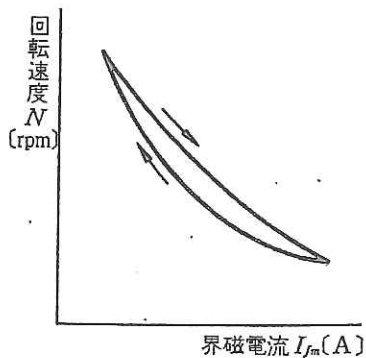


図20・4 界磁制御

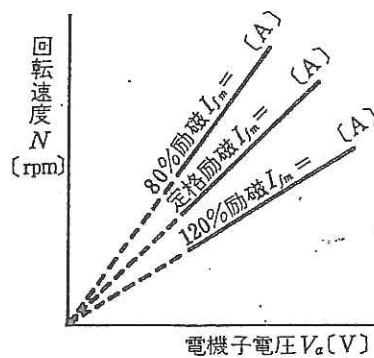


図20・5 電機子制御

5. 検討事項

- (1) 始動抵抗器の接続図をしめし、その作用を説明せよ。
- (2) 各制御法（電圧制御、界磁制御、抵抗制御）について、その特徴をのべよ。
- (3) 実験結果について考察せよ。

6. その他

- (1) 界磁制御において、界磁電流を増加したときと減少したときに同じ経路をたどったか。また、そのようになった理由を考えよ。
- (2) 電機子制御において、界磁電流をいろいろな一定値にした場合、グラフの直線はどのように変化したか。

＜結果 2＞ 界磁制御による速度測定

[illegible]

＜結果 3＞ 供給電圧制御による速度測定

[illegible]