

【問題】

電機子抵抗 $0.1[\Omega]$ の直流分巻発電機がある。回転速度 $1500[\text{min}^{-1}]$ 、端子電圧 $220[\text{V}]$ のときの電機子電流は $50[\text{A}]$ であった。以下の問いに答えよ。ただし、ブラシの電圧降下及び電機子反作用は無視できるものとする。

- (1) 界磁磁束を10%増加させた場合の誘導起電力 $[\text{V}]$ を求めよ。
- (2) この発電機を電動機として使用し、その端子電圧と電機子電流が発電機で使用している際と同一であるときの回転速度 $[\text{min}^{-1}]$ を求めよ。ただし、界磁電流は変えないものとする。

【解答】

(1) 直流分巻発電機の等価回路は図1のようになる。

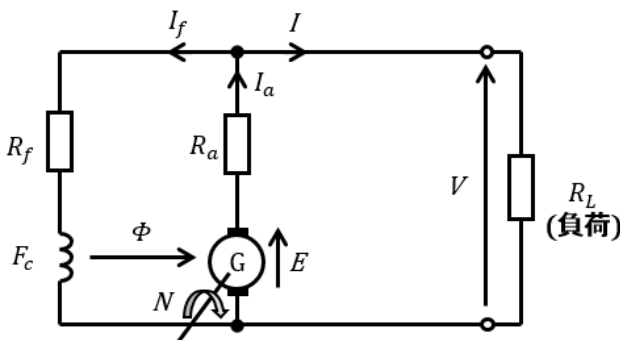


図1: 直流分巻発電機の等価回路(G: 発電機)

$E[\text{V}]$ : 誘導起電力	$R_a[\Omega]$ : 電機子抵抗
$V[\text{V}]$ : 端子電圧	$R_f[\Omega]$ : 界磁抵抗
$I[\text{A}]$ : 負荷電流	$\Phi[\text{Wb}]$ : 主磁束
$I_a[\text{A}]$ : 電機子電流	$F_c$ : 界磁コイル
$I_f[\text{A}]$ : 界磁電流	$N[\text{min}^{-1}]$ : 回転速度

直流発電機の電機子端子間に発生する誘導起電力 $E[\text{V}]$ は、比例定数 $K$ とすると、次式で示される。

$$E = K\Phi N[\text{V}] \dots \textcircled{1}$$

①式より「誘導起電力は磁束と回転速度の積に比例する。 $(E \propto \Phi N)$ 」

ここで、比例定数 $K (= \frac{pZ}{60a})$ は電機子導体総数 $Z$ 、並列回路数 $a$ 、極数 $p$ で決まる。なお、電機子回路は一般に並列回路を形成し、

並列回路数 $a$ は波巻の場合は $a = 2$ 、重ね巻では $a = p$ である。

題意より、磁束を10%増加させた場合の誘導起電力 $E'[\text{V}]$ は、次式で示すことができる。

$$\frac{E'}{E} = \frac{K \times 1.1 \Phi N}{K \Phi N} \therefore E' = 1.1E[\text{V}] \dots \textcircled{2}$$

図1の等価回路から界磁磁束増加前の誘導起電力 $E[\text{V}]$ は、キルヒホッフの電圧則より次式で示すことができる。

$$E = V + R_a I_a = 220 + 0.1 \times 50 = 225[\text{V}] \dots \textcircled{3}$$

したがって、③式を②式に代入して

$$E' = 1.1E = 1.1 \times 225 = 247.5 \approx 248[\text{V}]$$

(答)

(2) 直流分巻電動機の等価回路は図2に示す。発電機と比較して電流の向きに注意されたい。

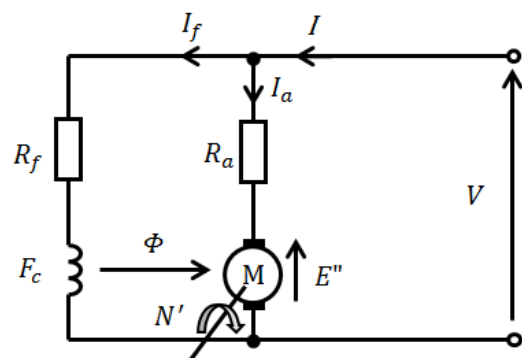


図2: 直流分巻電動機の等価回路(M: 電動機)

題意より、 $V = 220[V]$ 、 $I_a = 50[A]$ なので、図2における逆起電力 $E''[V]$ は、キルヒホッフの電圧則より次式で示すことができる。

$$E'' = V - R_a I_a = 220 - 0.1 \times 50 = 215[V]$$

端子電圧 $V[V]$ が発電機として使用しているときと同一のため、界磁電流 $I_f[A]$ は不変である。このため、界磁電流に比例する主磁束 $\phi[Wb]$ も不変となる。

また、 $E \propto \phi N$ から回転速度 $N[\text{min}^{-1}]$ は逆起電力 $E''[V]$ に比例することがわかる。

したがって、電動機回転速度 $N'$ は、

$$N' = \frac{E''}{E} N = \frac{215}{225} \times 1500 \approx 1433.333 \\ \approx 1430[\text{min}^{-1}] \quad (\text{答})$$

#### ◆直流機について

##### 1. 直流機の原理

直流機は、固定子の界磁巻線と回転子の電機子巻線、整流子から構成されている。

図3のように、磁界中にコイルを回転させると、フレミングの右手の法則( $e = vBl[V]$ )により、コイルには誘導起電力が誘導される。

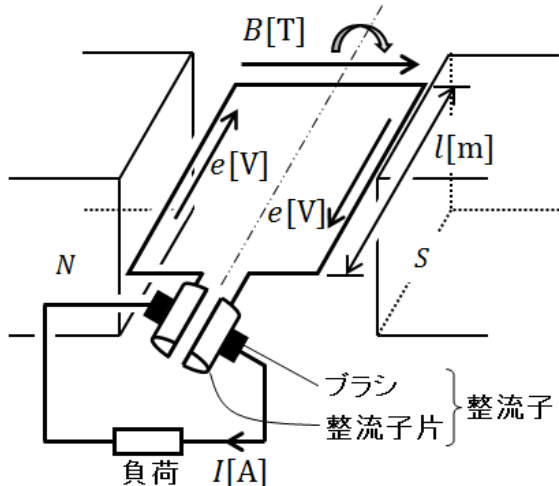


図3: 直流機のモデル

$e[V]$ : 誘導起電力	$I[A]$ : 電流
$B[T]$ : 磁束密度	$l[m]$ : 導体の長さ
$v[m/s]$ : コイルが磁束を切る速度	

また、整流子を設けて整流を行うことで直流を取り出している。(図4)

実際の直流機では磁極の形状を工夫して、空隙部の磁束密度が磁極間ではほぼ一定となるようにしている。よって、コイルの起電力は台形波に近い形状となる。

1組のコイルでは、全波整流波形であるが、実際には多数のコイルがあるので、直流に近づいていく。

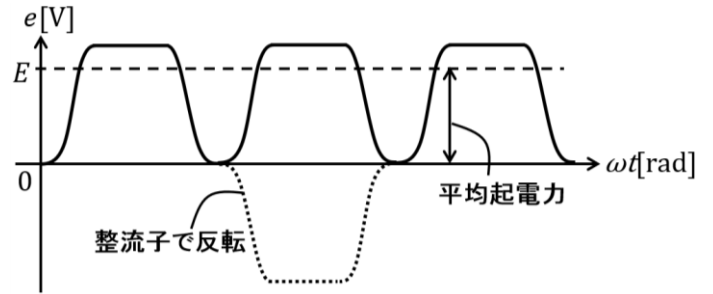


図4: 整流作用

図3は発電機を示しているが、ブラシを通じて電機子巻線に電流(電機子電流)を流すと導体はフレミングの左手の法則( $F = IBl[N]$ )により電磁力を受けて、電動機として作用する。

##### 2. 誘導起電力

図3より、電機子端子間の誘導起電力 $E[V]$ は次のように導出できる。

コイルの導体1本あたりに発生する誘導起電力 $e[V]$ は、フレミングの右手の法則より

$$e = vBl[V] \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、コイルの直径 $D[m]$ 、半径 $r[m]$ 、回転数 $N[\text{min}^{-1}]$ 、角速度 $\omega[\text{rad/s}]$ とすると、コイルの周速度 $v[m/s]$ は、次式で示すことができる。

$$v = r\omega = \frac{D}{2} \cdot \frac{2\pi N}{60} = \frac{\pi DN}{60} [m/s] \quad \dots \textcircled{2}$$

1極あたりの磁束を $\phi[Wb]$ 、磁極数 $p$ とすると、コイルと磁極間の空隙部の平均磁束密度 $B[T]$ は、合計の磁束 $p\phi[Wb]$ とコイルの周回表面積 $\pi Dl[m^2]$ を用いて次式で示すことができる。

$$B = \frac{p\phi}{\pi Dl} [T] \quad \dots \textcircled{3}$$

②、③式を①式に代入して、

$$e = vBl = \frac{\pi DN}{60} \cdot \frac{p\Phi}{\pi Dl} \cdot l = \frac{p\Phi N}{60} [\text{V}] \quad \dots \textcircled{4}$$

電機子回路は一般に並列回路を形成している。電機子導体総数 $Z$ [本]、並列回路数 $a$ とすると、端子間の直列導体数は $Z/a$ である。したがって、電機子端子間の誘導起電力 $E$ [V]は、

$$E = \frac{Z}{a} \cdot e = \frac{Z}{a} \cdot \frac{p\Phi N}{60} = \frac{pZ}{60a} \Phi N = K\Phi N [\text{V}]$$

となる（ただし、 $K = \frac{pZ}{60a}$ ）。これは、直流機の誘導起電力を示す重要な関係式である。

なお、並列回路数 $a$ は電機子巻線の形状により異なり、波巻の場合は $a = 2$ 、重ね巻では $a = p$ である。

### 3. 電機子反作用

直流機を学習する上で切っても切り離せないのが電機子反作用である。電機子反作用とは、**電機子電流による磁束が、界磁電流による主磁束の分布に影響を及ぼす作用**をいう。

電機子反作用の影響には、以下のようなものがある。

- ・ 電気的中性軸の移動
- ・ 主磁束の減少（誘導起電力の低下）
- ・ ブラシからの火花の発生

代表的な対策としては、以下に示す。

- ・ 補極の設置
- ・ 補償巻線の設置

がある。

<ポイント>

- 電気機械全般の基礎である直流機の原理は電磁気であり、発電機ではフレミングの右手の法則( $e = vBl$ [V])より、誘導起電力が得られ、電動機ではフレミングの左手の法則( $F = IBl$ [N])より、電磁力（回転する力）を得る。
- 外部の負荷へ電気エネルギーを供給していれば発電機であり、外部の電源からエネルギーを受け取っていれば電動機である。構造は同じであり、電流の流れる方向によって発電機にも電動機にもなる。
- 変圧器の電圧変動率の導出時にも行ったが、直流機に限らず発電機および電動機の回路計算も「等価回路→電圧則→ベクトル図（直流機は直流のためベクトル図はない）」の基本的な流れは同様である。回路計算においても、これらの関係を導出できるようになることが望ましい。
- 問題を解くにあたり、ただし書きの理解は非常に重要である。なぜなら、ただし書きは何を意味しており、ただし書きがない場合はどうなるのか、そう考えることが問題の理解を深め、本質的な理解へと繋がるからである。（本問題のただし書きの内容（電機子反作用は無視）は、前述の電機子反作用について本稿で個別に内容説明をしている通り、これにより誘導起電力に影響を受ける。しかし電機子反作用を考慮した計算は困難なので、本問題ではこれを無視することとし、その点をただし書きに記載している。）