

エネルギー発生・変換 (電気機器)

授業計画 (電気機器)

- 教科書：深尾正著「電気学会大学講義 電気機器・パワーエレクトロニクス通論」（オーム社）
- 成績評価：レポート，試験
- 授業計画：
 - 第1回 電気機器の種類と特徴，基礎（電気回路，電気磁気学）
 - 第2回 変圧器の基礎（理想変圧器）
 - 第3回 変圧器の等価回路と特性（構造，等価回路，電圧変動率）
 - 第4回 変圧器の等価回路と特性（損失と効率），リアクトル，キャパシタ
 - 第5回 回転機の基本原理解，直流機
 - 第6回 交流機の基本原理解，三相同期機
 - 第7回 三相誘導電動機，パワーフロー，効率
 - 第8回 試験（電気機器）
- 授業Web：<https://home.hiroshima-u.ac.jp/kin/class/eegc/>



第1回 電気機器の種類と特徴，基礎

今日のテーマ

- 電気機器はどんな種類があるのか？
- 電気機器を理解するために必要な基礎知識は？
- この授業は何の役に立つの？

1.1 電力の発生・輸送・消費と電気機器

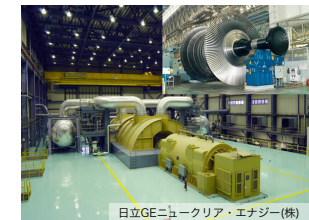
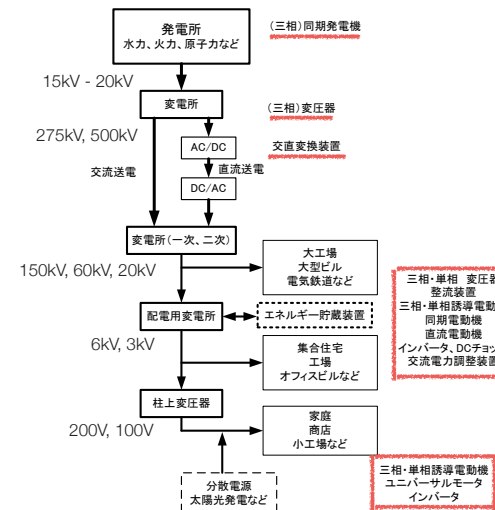


図1.1 電力の発生から消費までの大まかな流れと電気機器
 図・写真提供：一般社団法人電気学会「電気機器・パワーエレクトロニクス通論」

1.2 電気機器の種類と特徴

表1.1 電気機器の分類

- ・ 回転機 (リニアモータも含む)
 - ・ 直流機 } 整流子機 [特徴: 制御性が高い, 保守の手間がかかる]
 - ・ 交流整流子機 }
 - ・ 誘導機 } 交流機 [特徴: 構造簡単, 丈夫, 大容量, 無保守性]
 - ・ 同期機 }
 - ・ ステッピングモータ, 電磁石
- ・ 静止器
 - ・ 電磁機器 ... 変圧器, リアクトル, (キャパシタ)
 - ・ パワーエレクトロニクス機器 ... 整流装置, インバータ, 直流変換装置, 交流変換装置



1873年にウィーン万国博が開催され、グラム発電機が出品されたが、そのある日、担当者が発電機の出カケーブルを間違えて、隣の休止させてあるグラム発電機出カケーブルに接続してしまった。

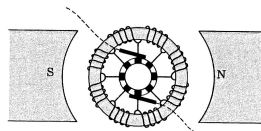


図6-6 グラム形環状電機子

ところが、休止させていた発電機が回転を始めたので、モータも発電機と同じ構造でよいことを発見する。

直川一也著「科学技術史 電気・電子技術の発展」(東京電機大学出版局)

1.3 電動機と発電機

- ・ 電動機と発電機は同じ機械か？
 - ・ 電動機 (動作) : 電気エネルギー ⇒ 機械エネルギー
 - ・ 発電機 (動作) : 機械エネルギー ⇒ 電気エネルギー

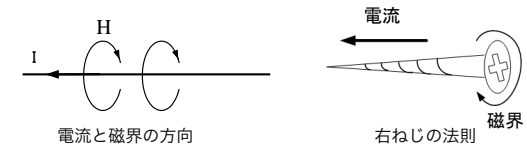
問題

- (1)電力を送るときに、電圧を高くして送電するのはなぜか。
- (2)長距離や海底の送電に直流送電が使われる理由を述べよ。
- (3)回転電気機器があるときは発電機として、また、ほかのときには電動機として運転する例をあげて説明せよ。

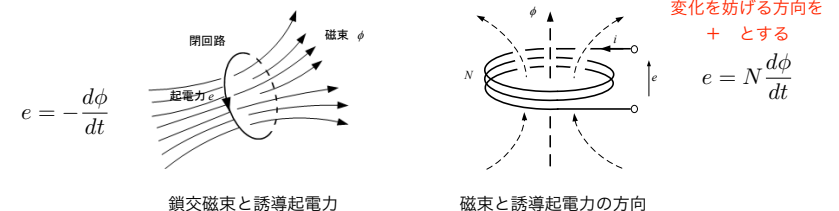
2. 磁束と変圧器の基礎

2.1 アンペアの右ねじの法則とファラデーの法則

アンペアの右ねじの法則



ファラデーの法則



2.2 コイルの電圧と鉄心の磁束

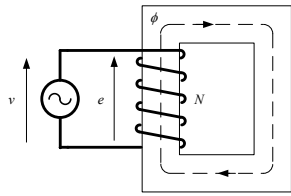


図2.4 鉄心磁束と誘導起電力

$$\underline{v} \Rightarrow \phi \Rightarrow \underline{e}$$

作用 反作用

$$e = v$$

(誘導起電力) = (電源電圧)

磁束 ϕ を求める

$$e = N \frac{d\phi}{dt}$$

両辺を時間積分

$$\phi = \frac{1}{N} \int_0^t e dt + \phi_0 \quad (\phi_0 \text{は磁束の初期値})$$

正弦波電圧を印加した場合

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{N} \int_0^t \sqrt{2}V \sin \omega t dt + \phi_0 \\ &= -\frac{V}{4.44fN} \cos \omega t + \phi_{\frac{\pi}{2}} \end{aligned}$$

ただし、周波数 $f = \frac{\omega}{2\pi}$ [Hz]

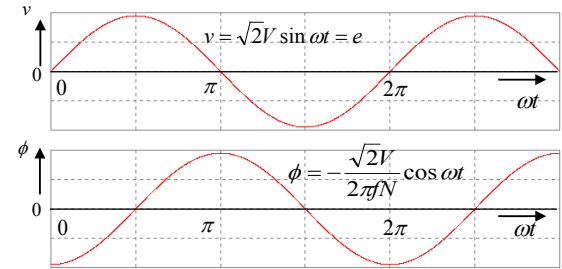
$$\phi_{\frac{\pi}{2}} = \phi_0 + \frac{V}{4.44fN}$$

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

印加電圧 ϕ と鉄心磁束 v の関係

$$\phi = -\frac{V}{4.44fN} \cos \omega t$$

($\phi_{\frac{\pi}{2}} = 0$)



(1) 磁束も正弦波、位相90°遅れ

(2) 印加電圧と最大磁束の関係

$$V = 4.44fN\phi_m$$

(3) 磁束は印加電圧のみによって決まる、
巻線電流には無関係

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

[例題2.1] 図2.4の回路に、図2.6(a)に示す電圧波形の電源が接続されたときの、定常状態での鉄心磁束の波形を示せ。巻線の抵抗は無視できるとせよ。

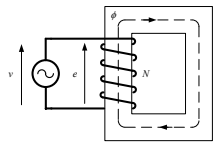


図2.4 鉄心磁束と誘導起電力

期間I $\phi = -\phi_0$ (磁束は一定)

期間II

$$\begin{aligned} \phi &= \frac{1}{N} \int_{T_d}^t V dt - \phi_0 \\ &= \frac{V}{N}(t - T_d) - \phi_0 \end{aligned}$$

$$\phi_1 = \frac{V}{N} \left(\frac{T}{2} - 2T_d \right) - \phi_0$$

定常状態

$$\phi_m = \frac{V}{2N} \left(\frac{T}{2} - 2T_d \right)$$

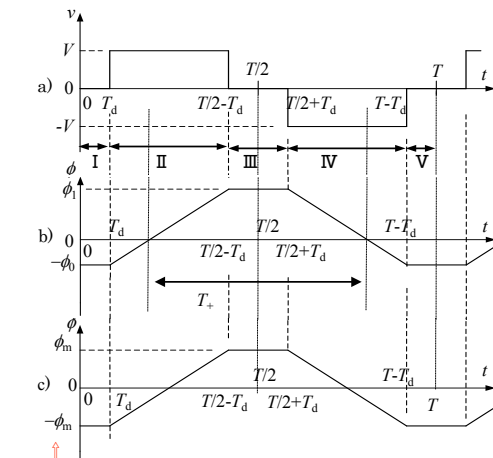


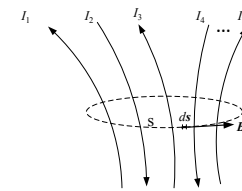
図2.6 方形波電圧印加時の鉄心磁束

定常状態

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

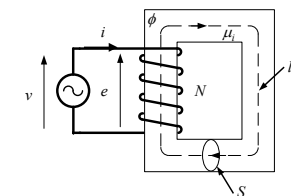
2.3 アンペアの周回積分と磁化電流

アンペアの周回積分の法則



$$\int \mathbf{B}_s ds = \mu \sum_{n=1}^N I_n$$

磁化電流 i を求める



$$\mu_i N i = B l$$

$$N i = \frac{l}{\mu_i} B = \frac{l}{\mu_i S} \phi$$

起磁力 磁気抵抗

磁気回路のオームの法則 $F = R_m \phi$

(1) 磁化電流は磁束に比例、印加電圧に対して位相90°遅れ

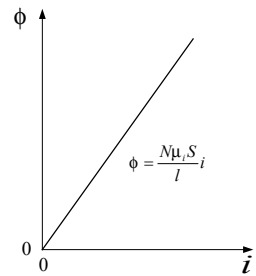
(2) 巻線の巻数に反比例して、磁化電流は減少

(3) 磁気抵抗が小さくなると、磁化電流は減少

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

2.4 インダクタンス

磁化曲線



線形近似

$$e = N \frac{d\phi}{dt} = N \frac{d\phi}{di} \frac{di}{dt}$$

$$e = \frac{\mu_i N^2 S}{l} \frac{di}{dt} = L \frac{di}{dt}$$

$$L \equiv \frac{\mu_i N^2 S}{l} \quad [\text{H}]$$

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{N^2}{R_m}$$

$N\phi$: 磁束鎖交数

図・写真提供: 一般社団法人電気学会『電気機器・パワーエレクトロニクス通論』

レポート (第1回)



テキスト 第2章

問題 (1), (2)

電気機器の知識は何に役立つか考察せよ.

