

電力回路

第1回目

電力回路ガイダンス
及び
講義の位置づけ

電力回路というのは

電力回路とは

交流電気回路におけるエネルギー伝達特性を、回路の瞬時特性もしくは平均値特性で把握する回路理論である。

電力とエネルギーの関係

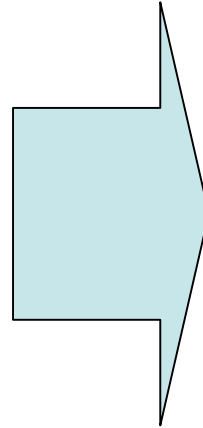
$$\text{エネルギー[J]} = \text{電力[W]} \times \text{時間[s]}$$

すなわち、電力は単位時間になされた仕事量

$$[W] = [J/s]$$

一次エネルギーと二次エネルギー

- 一次エネルギー
石炭, 石油, 天然ガス,
原子力, 自然エネルギー
(太陽光, 風力, 波力など)



石油エネルギーが完全
減衰期に入った。

そのため！

- 二次エネルギー
電気, 水素ガス

自然エネルギーを取り
出すには, 変換システム
の製造に二次エネル
ギーが必要となる。

実例：米国・カナダ大停電事故(2003.8)

<停電規模>

東京電力と同じ規模の6,180万kW

<停電地域>

米国北東部およびカナダ五大湖周辺

<発電支障>

508基以上の発電機(内原子力18基)

停電が始まって7分過ぎ

広域停電(NY州西部は単独系統形成)へ...

大規模停電の与える意味とは

- 電気エネルギーの供給は人間社会の維持, 環境維持に不可欠なもの
- Mechanism in cascading of blackout
停電連鎖のメカニズムの解明
 - ・・・複雑系のダイナミクス
- 電力の自由化のあり方の検討
- 新しい電気エネルギー供給のしくみの構築

電力回路の授業の目次(前半:引原担当)

はじめに

電気エネルギーネットワーク技術を取り巻く状況と小史

回路の多相化:三相回路

電気エネルギーの変成:変圧器

電気エネルギーの伝送:送電回路

電気エネルギーシステムの解析法:単位法

1. はじめに

電力回路へようこそ！

—電気エネルギーネットワークシステムの定常解析からダイナミクスへ—

<授業の範囲および授業による得るもの>

電力という形態のエネルギーを伝送する回路網(ネットワーク)とそのシステムを念頭に置き、基礎的な電気電子工学の技術の組み合わせによる多相(授業では主に三相)回路理論と関連する内容からシステムのダイナミクスの入門まで講義する。また今後人類の発展を左右しかねない電気エネルギーの安定な供給を考えていくことが重要で、どのような状況においても電気エネルギーに関わる常識を持ち、種々のシステムに関わる議論を指導的に進めていく能力を持つことが期待される。

1. はじめに

電力回路へようこそ！

ー電気エネルギーネットワークシステムの定常解析からダイナミクスへー

<講義のコンセプト>

過去において電気エネルギーを扱うシステム(電力システム, 電力系統)は, 個々の制御だけで大きな複雑なシステムが比較的簡単に扱うことが出来た. これが「同期」現象である. 電気エネルギーネットワークシステムは, 同期現象を工学的に利用した高度に発達した複雑なシステムである. アナログ, デジタルを含めた通信技術, 放送技術などの信号伝送技術, 電気エネルギーの伝送技術, 計算機の演算技術, どれ一つ同期の概念なしでは発達できなかった. 大規模で複雑な回路網(ネットワーク)において, その基本要素に対する理解と全体の統合技術が組み合ったとき, 従来にない機能が生まれるだろう.

1. はじめに

電力回路へようこそ！

—電気エネルギーネットワークシステムの定常解析からダイナミクスへ—

<本講義の目的>

回路の多相化を図ることとエネルギー伝送に関わる
回路技術を修得することに主眼をおく.

<本講義に関わる科目>

- ✓ 電気回路基礎論, 電気電子回路(一回生)
- ✓ 電磁気学, 電気機器1, 半導体工学(二回生)
- ✓ パワーエレクトロニクス, 電気機器2, 発電工学(三回生)
- ✓ 電気系統工学, 電気応用工学(四回生) など...

2. 電気エネルギーネットワーク技術を取り巻く状況と小史

2.1 電気エネルギーシステム

電気エネルギーネットワークとしての電力システムは、電気エネルギーの発生、輸送、配分を目的としたシステムである。

2.2 電気エネルギーとは

電気エネルギーは一次エネルギー(化石燃料、核燃料)から生成される電気エネルギーである。また電気エネルギーは貯蔵が難しく発生と同時に消費しないといけない。消費しないと熱になってしまう。

電圧あるいは電流が負荷に掛かることを止めると、電気エネルギーの供給が止まる。従って、スイッチを用いた瞬時の制御が可能となる。

我国で平成17年4月から50kW以上の契約に対して実施されている電力自由化により従来の電力システムの運用、利用形態を大きく変えつつある。

2. 電気エネルギーネットワーク技術を取り巻く状況と小史

表1 電力工学発展の年表

1800	ボルタ：電池の発見
1831	ファラデー：電磁誘導の法則の発見
1832	ネグロ・ピクシー (仏)：永久磁石を利用した発電機の完成 整流子の使用 — 整流子の発明はアンペールによる？
1830s	パッティノッティ： 環状電機子を利用した発電機・電動機の完成
1846	ウエスチングハウス生
1847	エジソン生
1860s	ウエルナー・ジーメンス (独)： 永久磁石を電磁石に換えた自己励磁式発電機
1876	グラハム・ベル：電話の発明
1879	エジソン：白熱電球の発明
1882	エジソン：ニューヨーク火力発電所 110V (DC), 2km ゴーラル, ギブス：変圧器の発明
1883	テスラ：二相交流モータの発明 スタンリー：逆起電力の理論
1884	ホプキンソン：同期運転の数学的証明
1885	フェラリス：二相交流の原理
1887	テスラ：多相交流システムの基本特許
1888	ヘルツ：マクスウェル電磁波の検証
1891	ナイアガラ水力発電所操業
1892	スタインメッツ：交流理論の完成 初の3相交流送電系統 (フランクフルト電気博覧会)
1893	シカゴ万国博覧会 - 交流送電方式の優位性
1895	ナイアガラ発電所における多相交流システム完成
1896	ナイアガラ — バッファロー間 (22miles=36km) 送電開始 3.75 MW, 11kV
1883	東京電燈会社, 直流送電方式 → 高電圧交流発電機 50 Hz ドイツ製
その後	西日本 GE 社製 60 Hz 発電機の導入

2.3 電力技術の小史

電気エネルギーの供給技術の歴史は、物理学における電磁気学の確立の歴史に重なる。我国では京都の疎水事業が田辺朔朗(1861-1944)により始まった。

2. 電気エネルギーネットワーク技術を取り巻く状況と小史

2.4 電気エネルギーを取り巻く状況

現在の我々の生活で電力の供給が無くなったらと思うと悲惨な状況にあうとは誰でも想像がつく。2001年から2001年に米国カリフォルニア州での停電や2004年に米国、欧州で連続して起きた停電は社会生活に及ぼした影響は甚だしいものであった。それは、高度に絡み合ったシステムの、予想せぬ現象とその制御との関係で生じた新しい問題となっている。

2.4.1 電力の自由化

2.4.2 分散電源

2.4.3 停電のカスケード

2. 電気エネルギーネットワーク技術を取り巻く状況と小史

2.4 電気エネルギーを取り巻く状況

2.4.1 電力の自由化

電力の自由化とは電気に関わる様々な活動をコントロールする手法を規制をベースにしたものから市場をベースにしたものに転換し、そのためのルールを定めることを指す。市場メカニズムに基づく場合は、複数の事業者が発電し、顧客と市場において競争的な取引を行ったうえで、送電、配電の機能を維持する状態を作り上げ、発電事業者と顧客との間で適度な市場経済に基づく産業活動が維持されることを意味する。

2.4.2 分散電源

環境問題の高まりと一次エネルギーの枯渇により、再生可能エネルギーとして太陽光、風力などの自然エネルギーに注目が集まり、これらによる集中発電事業が国内外で実験的に進められている。

2.4.3 停電のカスケード

2003年夏に、米国、イタリアなどで起きた大規模な停電事故が例である。

2. 電気エネルギーネットワーク技術を取り巻く状況と小史

2.5 電力システムの構成

電力システムは、発電所で発電した電力を変電所を経て開閉所につなぎ、そこから送電線路を経て遠距離まで送電し、その後再び変電所を経由して需要家に接続する形態となっている。

一般家庭へつながる送電線は配電線と呼ばれ世界的にもこの配電線の規格は統一されておらず国によってまちまちで100V～400Vまで幅が広い。また周波数も50Hz, 60Hzが多用されているが、他の周波数を用いている国も存在する。少なくとも日本で多用されている配電は、低電圧大電流方式である。またその相数にも単相と三相がある。

電力システムの構成を単純化し電気エネルギーの輸送にのみ着目した電気回路のことを電力回路とよぶ。

また家庭の利用を前提とした配電線は、地中に埋線化された場合も基本的には同一である。三相の配電線から適宜二線を利用した単相が接続される。

3. 回路の多相化:三相回路

発電機による交流電力の生成法について説明した後電力回路の基本形態である多相(三相)交流回路の基礎について考える.

3.1 多相交流の定義

まず, 多相交流を定義すると N 組の大きさが等しく, 互いに $2\pi/N$ ずつ位相が異なる単相交流が同時に存在する場合, その交流系を N 相交流(対称 N 相交流)と言う. N を3とすると三相交流になる.

N 相交流は, 発電機でその位相関係を固定して生成される. 以後は $N=1, 3$ の場合について詳細に述べる.

3. 回路の多相化:三相回路

3.2 単相交流の生成法

コイルを磁束が鎖交することによりコイル端に電圧が誘起することを利用する. そのとき, N回巻のコイルに鎖交する磁束の総数を ψ とすると, 誘起電力 $e(t)$ は

$$e(t) = -\frac{d\psi(t)}{dt}$$

一定磁界の移動により空間的な磁界の変化が生まれ, コイルの誘起電力に時間的な変化を引き起こす. この空間的な磁束の変化を繰り返すと, 時間的に誘起電圧が繰り返し変化することになる.

3. 回路の多相化:三相回路

3.3 三相交流の生成法

空間的に周期的に繰り返される磁場の変化が、空間的に固定したコイルに時間的に周期的な誘起電圧の変化を生じることが前節で述べた。次にこの誘起電圧を時間位相で一定値だけずらすことを考える。時間位相で一定値だけずらすことは時間の基準があることで、その基準値からの誘起電圧の変化が一定時間早くなる、あるいは遅くなることを意味する。またコイルの空間位置を磁場の変化に対して重ねると、それらの誘起電圧は時間的に重なる(図1)。

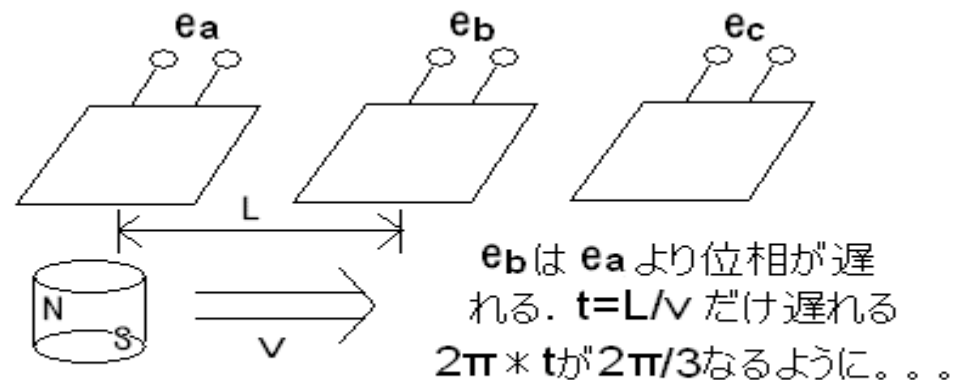


図1 三相交流生成に適したコイルと磁場の配置

3. 回路の多相化:三相回路

3.3 三相交流の生成法

その結果,

$$e_a(t) = \sqrt{2}E \sin \omega t$$

$$e_b(t) = \sqrt{2}E \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$$

$$e_c(t) = \sqrt{2}E \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})$$

と表される誘起電圧が, コイル a, b, c に生じる. ここで, Eは電圧波形の実効値を表している.

3. 回路の多相化:三相回路

3.3 三相交流の生成法

このようにして得られる誘起電圧 $e_a(t)$, $e_b(t)$, $e_c(t)$ は図2のように時間関係を有し, 常に

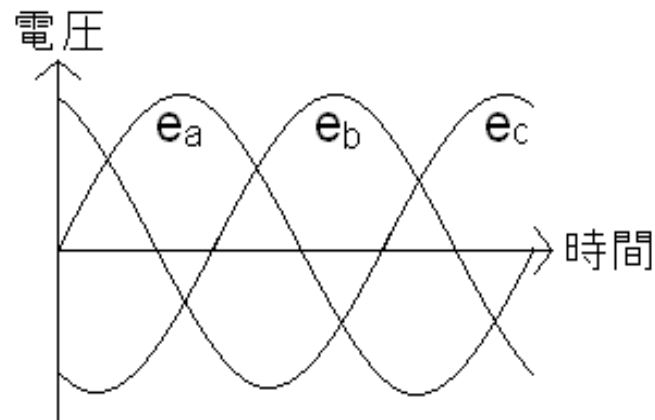


図2 得られる誘起電圧

$$e_a(t) + e_b(t) + e_c(t) = 0$$

が成立する. 今それぞれを極座標表示すると,

3. 回路の多相化:三相回路

3.3 三相交流の生成法

$$e_a(t) = \sqrt{2}Ee^{j(\omega t + \alpha)}$$

$$e_b(t) = \sqrt{2}Ee^{j(\omega t - \frac{2\pi}{3} + \alpha)}$$

$$e_c(t) = \sqrt{2}Ee^{j(\omega t - \frac{4\pi}{3} + \alpha)}$$

と表す(α は初期位相)ことが出来るので, 最終的にフェーザ表示として

$$\mathbf{E}_a = \dot{E}_a = E' \angle 0 = E'$$

$$\mathbf{E}_b = \dot{E}_b = E' \angle -\frac{2\pi}{3} = E' e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\mathbf{E}_c = \dot{E}_c = E' \angle -\frac{4\pi}{3} = E' e^{-j\frac{4\pi}{3}}$$

が与えられる. 従って,

$$\mathbf{E}_a + \mathbf{E}_b + \mathbf{E}_c = 0$$

が成立つ.