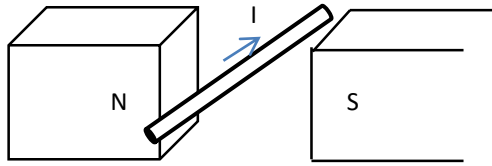


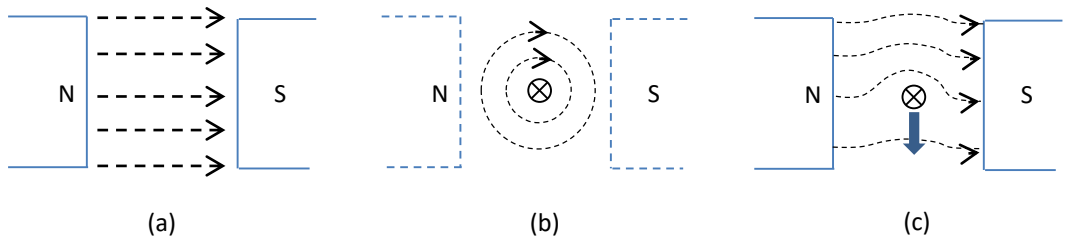
9.磁気と電流の間に働く力

I. 磁気と電流の間に働く力

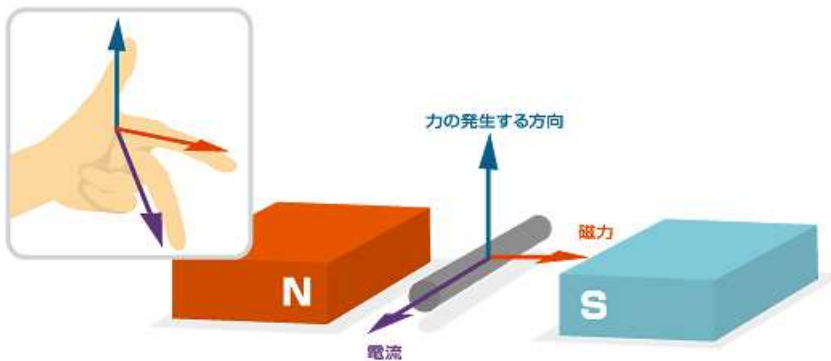
図のように磁石のN,S極の間に導体を置き、これに矢印の方向に電流を流した場合の磁界について考えてみる。



磁極間には下図(a)のように磁力線がNからSに通っている。また電流による磁力線は図(b)のように生じる。従って、この2つの磁力線を合成すると図(c)のように磁力線は湾曲した状態になる。そのため磁力線は一直線になろうとするので、導体に向きの力を与える。また、磁極に対しては、上向きの力を与えるともいえる。このような磁界(磁極)と電流の間に働く力を**電磁力**という。



この、電磁力がどちらの向きに生じるかを表すものに**フレミングの左手の法則**がある。これは、人差し指、中指、親指を夫々直角に曲げ、人差し指を磁界、中指を電流の方向に合わせれば、親指が電磁力の向きを示すものである。



図はTDKのホームページ
<https://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/201104u/>
より

9.磁気と電流の間に働く力

II. 磁界中のコイルに働くトルク

図のように磁束密度 $B[T]$ の磁界中におかれた長さ $l[m]$ 、幅 $d[m]$ の長方形コイルに、 $I[A]$ を流したとき、電磁力によって生じるトルクについて考える。(O-O'はコイルの中心軸)

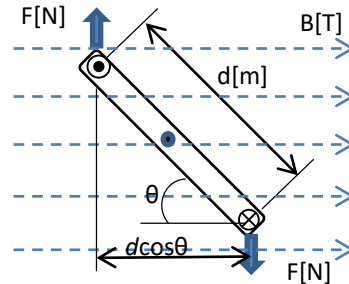
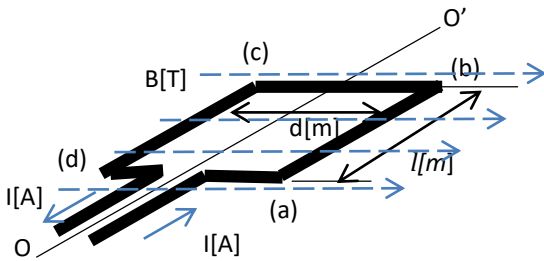
l は磁界と直角、 d は平行におかれているので、電磁力 F は

$$F = BIl \quad [N]$$

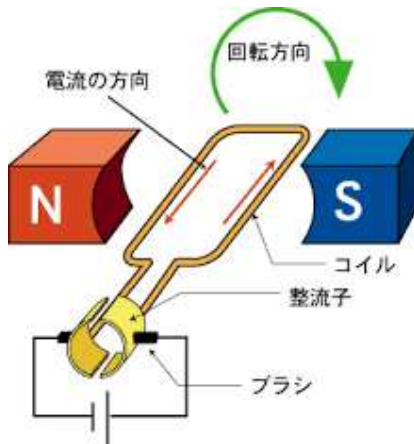
で、方向は図のように生じる。よって、コイルには軸O,O'を中心に時計回りのトルクが生じる。

トルクは、「腕の長さ×力」なので、力 $=F$ 、腕の長さ $=F$ の腕の長さ $=d\cos\theta$ (*1)(コイルが斜めの場合)、よってトルク T は

$$T = BIl d \cos\theta \quad [Nm]$$

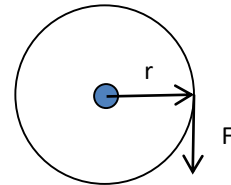


モータの原理図



トルクとは、力 $F[N]$ と回転の軸から力の加わる点までの距離 $r[m]$ の積で表される量である。トルクを T とすると

$$T = rF \quad [Nm]$$
 で表される。



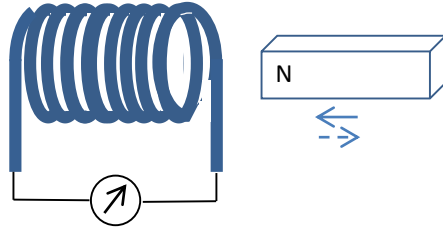
図は株式会社 坂本製作所のホームページ
http://sakamotoss.html.xdomain.jp/moter/chokuryu_sikumi.html
 より

*1) θ シータと呼ぶ。

10.電磁誘導作用とインダクタンス

I. 電磁誘導作用

コイルを貫く磁束が変化したり、導体が磁束を切ると起電力が誘導されるが、この現象を**電磁誘導**といい、この起電力を**誘導起電力**、流れる電流を**誘導電流**という。



II. 起電力の方向

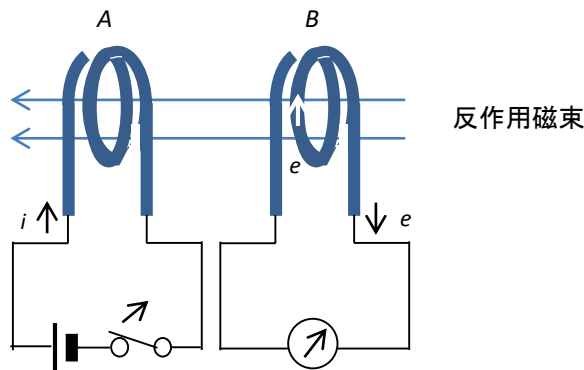
電磁誘導によって生ずる誘導起電力の方向を知る方法としては、レンツの法則とフレミングの右手の法則がある。

□ レンツの法則

電磁誘導によって生ずる起電力の向きは、その誘導電流の作る磁束が、元の磁束の増減を妨げる方向に生ずる。

下図のようにコイルA,Bを向い合せにおいて、コイルAの電流を変化させたときのコイルBに誘導される起電力は、次のように考えることができる。コイルAのスイッチを開くときは、コイルAの電流は減少してコイルBを貫く磁束は減少しようとする。するとコイルBは磁束の減少を妨げるために、矢印の方向に起電力 e を生じて、誘導電流を流し、元の磁束と同じ方向に反作用の磁束を作ろうとする。

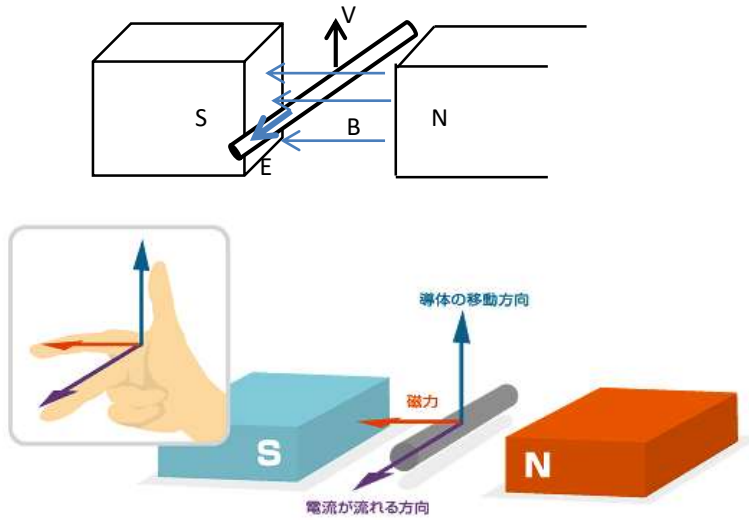
また、スイッチを閉じたときには、この場合とは逆の現象を生ずる。



10.電磁誘導作用とインダクタンス

□ フレミングの右手の法則

人差し指、中指、親指を夫々直角に曲げ、人差し指を磁界、親指を導体の運動の方向に向けると、中指が導体に生ずる起電力の向きを示すものである。



図はTDKのホームページ
<https://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/201104/>
 より

III. 磁束の変化によって生ずる起電力

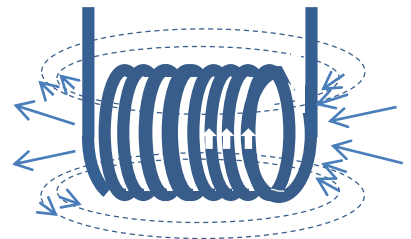
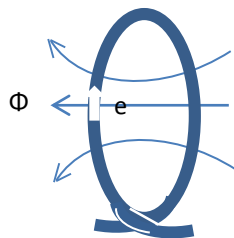
ファラデーの法則: 電磁誘導によって回路に誘導される起電力は、回路を貫く磁束の時間に対する変化の割合に比例する。

下図左のように、1巻のコイルを貫く磁束 Φ が、 Δt 秒間に $\Delta\Phi$ [Wb]だけ変化したときの起電力 e は

$$e = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad [V]$$

コイルが N 巻であれば

$$e = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad [V] \quad (10-1)$$

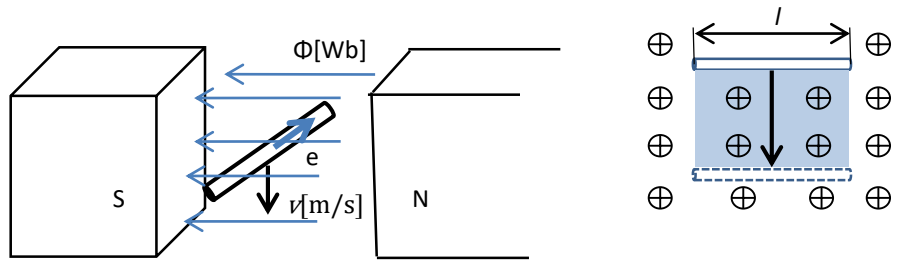


上図右のように、コイルと磁束が鎖のように交わるとき、磁束とコイルが鎖交するといひ、 $N\Phi$ を鎖交数といふ。上の式の $N\Delta\Phi/\Delta t$ は1秒間における鎖交数の変化率を表すので、1秒間に1Wbの鎖交数が変化すると、回路に1Vの起電力を誘導するといえる。

10.電磁誘導作用とインダクタンス

IV. 平等磁界中を運動する導体の誘導起電力

図のように磁束密度 $B[T]$ の平等磁界中に長さの導体が磁界と垂直におかれ、導体を磁界に直角の方向に $v[m/s]$ の速度で直線移動するときの誘導起電力を考える。

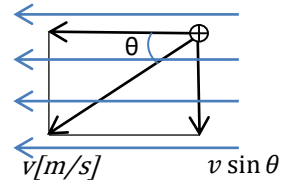


1秒間に導体は $v[m]$ 移動するから、面積 $vl[m^2]$ 内の磁束 $Blv[Wb]$ が切られることになる。従って起電力 E は

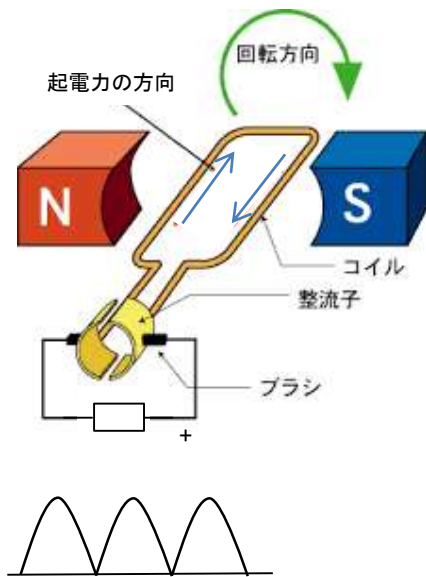
$$E = Blv \quad [V]$$

次に、導体が磁界の方向に対し、 θ の方向に運動する場合は、直角に磁束を切るのは $v \sin \theta$ の速度で切ることになるので

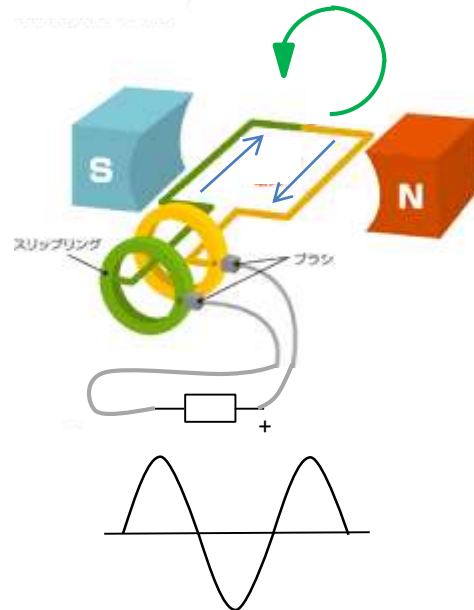
$$E = Blv \sin \theta \quad [V]$$



直流発電機原理



交流発電機原理



図は

左 株式会社 坂本製作所のホームページ のものを変更

http://sakamotoss.html.xdomain.jp/moter/chokuryu_sikumi.html

右 TDKのホームページのものを変更

<https://www.tdk.co.jp/techmag/knowledge/201104u/index2.htm>

10.電磁誘導作用とインダクタンス

V. 自己誘導と自己インダクタンス

コイルに流れている電流が時間とともに変化すれば、その磁束もまた変化する。従って、コイル自身の鎖交数の変化によって、自分自身のコイル内にも起電力を誘導する。これを**自己誘導**という。

右図のように、N巻のコイルにI[A]を通じたとき、磁束Φ[Wb]が生じたとすれば、コイル自身の鎖交数NΦは、コイルに流れる電流に比例するので、以下のように表される。

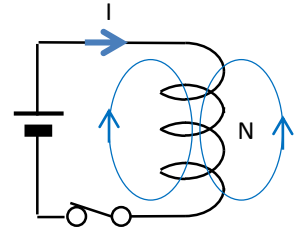
$$N\Phi \propto I$$

この時の比例定数をLとすれば

$$N\Phi = LI \quad (10-2)$$

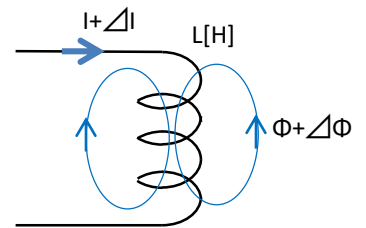
$$\therefore L = \frac{N\Phi}{I} \quad [H]$$

このLを**自己インダクタンス**といい、単位は**ヘンリー[H]**で表す。



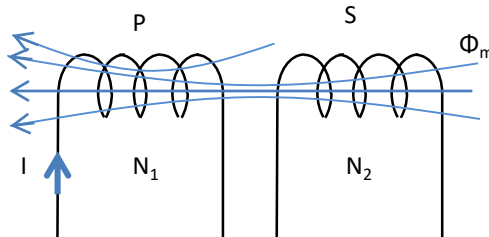
次に、右図において、自己インダクタンスL[H]に流れる電流がΔt秒間にΔI[A]の増加をしたためΔΦ[Wb]の鎖交磁束が増加したとすれば、式(10-1),(10-2)から、起電力Eは

$$E = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow L \frac{di}{dt} \quad [V]$$



VI. 相互誘導と相互インダクタンス

図のように、コイルPとSを接近して配置し、Pに電流を流して変化させると、磁束を生じ、この磁束の一部がSも通っているので(相互磁束)、Sに起電力を誘導する。このようにコイル相互間の電磁誘導作用を**相互誘導**といい、発生する誘導起電力を**相互誘導起電力**という。また、Pを一時回路(一次コイル)、Sを二次回路(二次コイル)という。



コイルP, Sの巻き数を夫々N₁,N₂とし、PにI[A]を流したとき、Sを鎖交する磁束をΦ_m[Wb]とすれば、Sと鎖交する磁束はN₂Φ_mとなり、電流に比例するから

$$N_2\Phi_m \propto I$$

比例定数をMとすれば

$$N_2\Phi_m = MI$$

$$M = \frac{N_2\Phi_m}{I} \quad [H]$$

このMを相互インダクタンスという。

10.電磁誘導作用とインダクタンス

相互誘導起電力については、一時回路の電流が Δt 秒間に ΔI [A]増加し、相互磁束が $\Delta\Phi_m$ 増加したとすれば、Sの誘導起電力 e_2 は

$$e_2 = N \frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t}$$

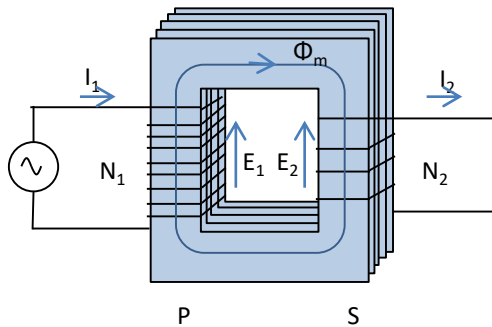
よって

$$e_2 = M \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

このような相互誘導という現象は変圧器の原理として利用される。

VII. 変圧器の原理

図のように鉄心に一次巻線のPコイルと、二次巻線のSコイルを巻き、交流電圧の大きさを変える装置を変圧器(transformer)という。



一次巻線Pに交流電圧を加えたとき、P、Sそれぞれの起電力の大きさを E_1, E_2 とする。それぞれの巻き数が N_1, N_2 で漏れ磁束がなく、鉄心内の磁束が Δt 秒間に $\Delta\Phi_m$ 増加したとすれば、式(10-1)より

$$E_1 = N_1 \frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t} \quad [V]$$

$$E_2 = N_2 \frac{\Delta\Phi_m}{\Delta t} \quad [V]$$

起電力の比は

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a$$

この場合の $a=N_1/N_2$ を巻数比という。

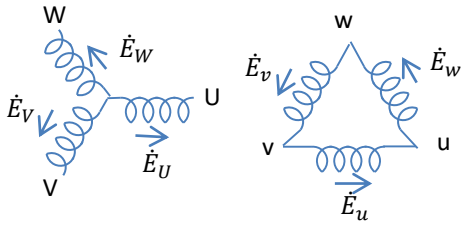
電流については、

$$\begin{aligned} I_1 N_1 &= I_2 N_2 \\ \frac{I_1}{I_2} &= \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \end{aligned}$$

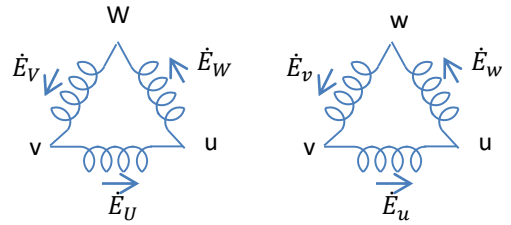
10.電磁誘導作用とインダクタンス

三相結線

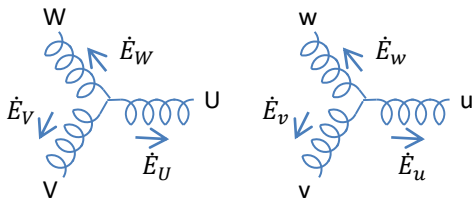
Y(スター) - Δ(デルタ)結線



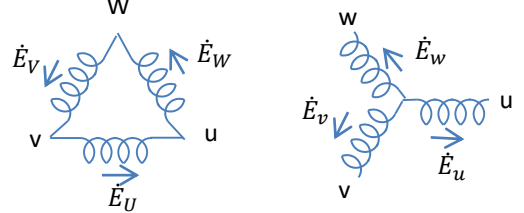
Δ - Δ結線



Y-Y結線



Δ-Y結線



各種三相結線方式の特徴と用途

Y-Y結線

- 一般には用いられない。Y-Y-Δとしたものが高電圧送電用変圧器に用いられる。
- 中性点を設置すれば故障検出が用意
- 各相の電圧が線間電圧の $1/\sqrt{3}$ で絶縁が容易
- 各相間に循環電流が流れない
- 中性点を設置しないと電位が不安定
- 励磁電流の第3調波成分が流れえないため、相電圧には第3調波成分が発生する。
- 中性点を設置すると励磁電流の第3調波成分が線路に流れ、通信線に誘導障害を発生する。

Δ-Δ結線

- 配電用変圧器に用いられる
- 単相変圧器を3台持ちいた場合には、一相故障、または低負荷時にV-V結線にできる。
- 励磁電流の第3調波成分はΔ回路を循環するので、外部に流れない。
- 相電圧に第3調波電圧を発生しない。
- 中性点がないので、故障検出が困難。
- 各相の変圧比、インピーダンスが相違すると、循環電流が流れる。

Δ-Y結線

- 発電用変圧器に用いられる
- 中性点を設置できる
- 励磁電流の第3調波成分はΔ回路を循環するので、外部に流れない。
- 相電圧に第3調波電圧を発生しない。
- 一次、二次電圧に位相差(各変位)30°を生ずる。

10.電磁誘導作用とインダクタンス

Y-Δ結線

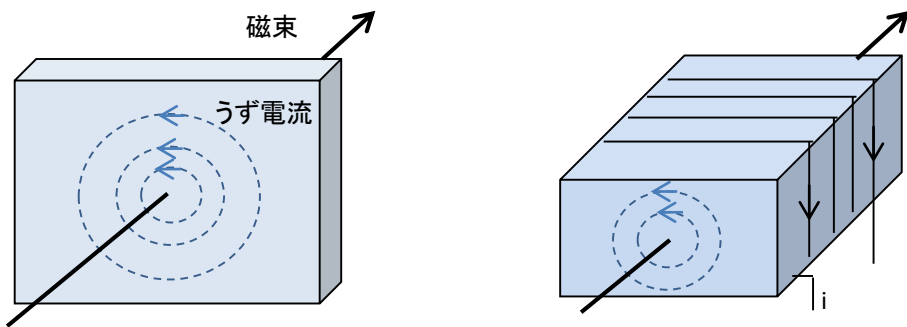
- 高電圧受電変圧器に使われる
- 特徴、欠点はΔ-Y結線に同じ。

VIII. うず電流

金属面を貫く磁束が変化すれば、コイルの時と同じように起電力が誘導される。

下図左のような金属板を貫く磁束が増加した場合、点線の矢印の方向に起電力を生じ、渦巻き状に誘導電流が流れる。これをうず電流という。

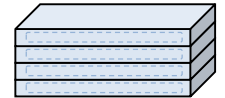
変圧器や交流用電磁石でも、コイルに交流を通じれば、鉄心には磁束に垂直な面に破線のような渦電流を生じる。渦電流*i*が流れれば、通路の抵抗*r*とにより、 i^2r の電力を消費し、鉄心の温度は上昇する。この渦電流による損失をうず電流損という。



変圧器では、渦電流を少なくするため、抵抗の大きい、薄いけい素鋼板を磁束の方向と平行に重ね合わせ、電氣的に絶縁して(成層鉄心)、渦電流の通路の電気抵抗を大きくし、渦電流を少なくしている。

なお、ヒステリシス損とうず電流損の和を鉄損と呼ぶ。(無負荷損)

これに対し、負荷電流による巻線の抵抗損を銅損という。(負荷損)



IX. コイルとトランスの例



写真はmuRataのホームページ

<https://www.murata.com/ja-jp/campaign/ads/japan/elekids/compo/inductor>

より

11. 静電気の性質

I. 静電力のクーロンの法則

静電気の間に働く力を**静電力**、または**電気力**という。二つの電荷間の静電力については、
「静電力の方向は両電荷を結ぶ直線上にあり、その大きさは電荷の量(電気量)の相乗積に正比例し、
距離の二乗に反比例する」

これを**静電力に関するクーロンの法則**という。

下図のように点電荷の量を Q_1, Q_2 とし、距離が r であるとき、静電力 F は以下に表される。

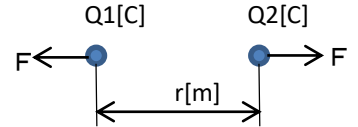
$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

真空中では、 $k \doteq 9 \times 10^9$ なので

$$F_0 = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad [N]$$

$9 \times 10^9 = 1/4\pi \epsilon_0$ とにおいて

$$F_0 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} \quad [N]$$



ϵ_0 は**真空の誘電率**といい、ファラド毎メートル[F/m]で表される。

$$\epsilon_0 = 8.855 \times 10^{-12}$$

真空以外の場合には、その絶縁物等の媒体(**誘電体**という)の誘電率を $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_s$ とおけば

$$\begin{aligned} F &= \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon r^2} \quad [N] \\ &= \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_s r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{\epsilon_s r^2} \quad [N] \end{aligned}$$

ここで、 ϵ_s は**比誘電率**という。

II. 電界と電界の強さ

ある帯電体の近くに他の帯電体をおけば、その帯電体に静電力が働く。この静電力の働く場を**電界**といい、電界の状態を量的に表したものを、**電界の強さ**といい、ベクトル量である。

この電界の強さは、電界中にもとの電界を乱さないように微小陽電荷をもって来たとき、その力の働く方向を**電界の方向**、また、単位陽電荷(+1C)に対する力の大きさを**電界の大きさ**と定め、ボルト毎メートル[V/M]の単位で表す。

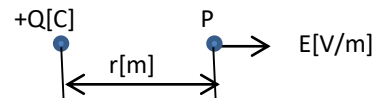
図のように誘電体 $\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_s$ の電界中に電気量 Q [C]をもった点電荷を置いた場合、これから r [m]はなれた点Pの電界の強さを考える。

P点に1[C]の単位陽電荷をおいて、これに加わる力は、クーロンの法則から、

$$F = \frac{Q \times 1}{4\pi \epsilon r^2} = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_s r^2} \quad [N]$$

従って電界の強さ E は

$$E = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_s r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{\epsilon_s r^2} \quad [V/m]$$



以上から、電界の強さ E [V/m]のところ1Cの電荷をおけば、 E [N]の力が働くともいえる。従って、 E [V/m]の電界中に Q [C]の電荷をおけば、

$$F = EQ \quad [N]$$

の力が働き、力の方向は、おかれた電荷が陽電荷なら電界の方向に、陰電荷なら電界と逆の方向に生じる。

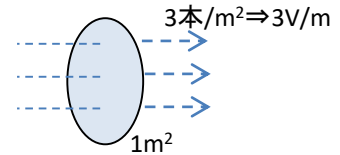
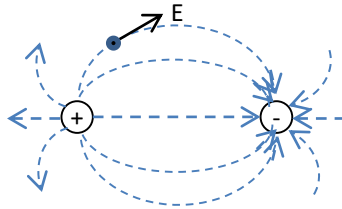
11. 静電気の性質

III. 電気力線

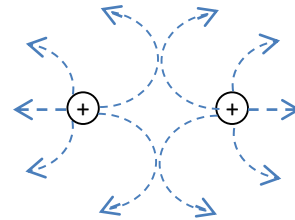
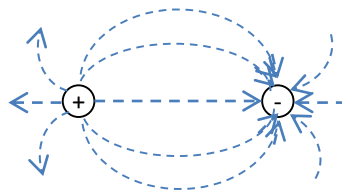
電界の状態を表すために電気力線を仮想する。

電気力線の約束

- 陽電荷からでて出て陰電荷に終わる
- 電気力線の接線の方向でその電界の方向を表す
- 電気力線の本数は、垂直な断面積 1m^2 当たりの電気力線密度が電界の大きさと等しい



電荷間の電気力線の分布



点電荷 $Q[\text{C}]$ から出る電気力線の本数

陽電荷を中心にして半径 $r[\text{m}]$ の球を考えると、球面上の半径方向の電界の強さは、すべての点で等しく

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

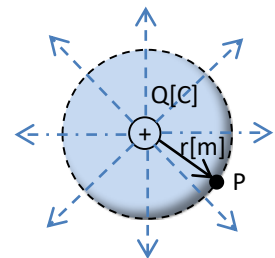
従って電気力線は球面垂直にとおり、電気力線密度は定義より $E[\text{本}/\text{m}^2]$ となる。さらに、球の表面積は $4\pi r^2$ であるから、球面を通る全電気力線数、つまり $Q[\text{C}]$ の電荷から出る全電気力線数 N は

$$N = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \times 4\pi r^2$$

$$\therefore N = \frac{Q}{\epsilon} = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_s} \quad [\text{本}]$$

真空中では $\epsilon_s = 1$ なので

$$N = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad [\text{本}]$$



11. 静電気の性質

IV. 電位と電位差

電位

図のように、 $Q[C]$ の陽電荷の作る電界中の一点Pに単位陽電荷 $+1C$ をおけば、クーロンの法則により、矢印のように静電力を受ける。

もし、自然のままにしておけば、その方向に移動して電界の強さが0のところまで(無限遠長)移動する。つまり、P点にある $+1C$ の電荷は、P点から電界の強さ0のところまで移動するだけの位置エネルギーを持っていると考えられる。逆に言えば、陽電荷を、電界の強さ0のところから静電力に逆らいP点に持ってくる仕事が蓄えられていると考えられ、



電位はこの単位陽電荷 $+1C$ のもつ位置エネルギーで表す

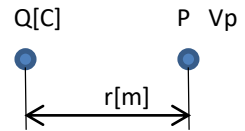
この仕事量をジュールで表せば、単位は $[J/C]$ であるが、実用上ボルト $[V]$ で表す。

例えば、 $+1C$ を電界の強さ0のところからある点に持ってくるのに $10J$ のエネルギーを要するとき、その点の電位は $10V$ となる。

点電荷による電位

図のように、ある点電荷 $Q[C]$ が誘電率 ϵ の誘電体中におかれたとき、この点電荷から $r[m]$ 離れた点Pの電位 V_p は次の式で表される。

$$V_p = \frac{Q}{4\pi\epsilon r} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{\epsilon_s r} \quad [V]$$



電位差

図のように点電荷 $Q[C]$ からの距離 r_a, r_b の点の電位をそれぞれ V_a, V_b とすると

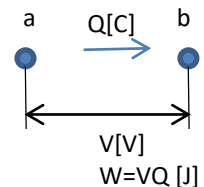
$$V_a = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_a}, \quad V_b = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_b}$$

$r_a < r_b$ なら、 $V_a > V_b$ 。この場合、a点のほうがb点より電位が高いといい、 V_a と V_b の2点間の電位の差を**電位差**、あるいは**電圧**という。

a,b間の電位差 V_{ab} は

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

二点間の電位差は、電位の定義からすると、その二点間における単位陽電荷のもつエネルギーの差を表している。従って、図のようにa,b間の電位差が $V[V]$ で、b点よりa点の電位が高いとき、b点からa点に $+1C$ を運ぶには $V[J]$ のエネルギーを必要とし、逆に電位の高いa点からb点に $+1C$ を運ぶには $V[J]$ のエネルギーを放出しなければならない。もし $Q[C]$ の電荷をa点からb点に移動させれば $VQ[J]$ のエネルギーをa,b間で放出することになるが、これは、p13にて示された電力量を表す式の元となる。



12. 静電容量とコンデンサ

I. 静電容量

一般に、絶縁された導体に与えた電荷 $Q[C]$ と生じた電位 V の間には、導体の形や状態によって一定の比例関係がある。この比例定数を C とおけば

$$Q = CV$$

このような比例定数 C を絶縁された導体の静電容量、または容量、キャパシタンスという。

従って、静電容量 C は

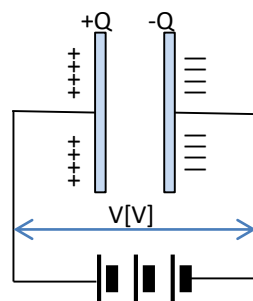
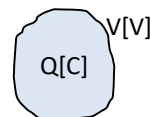
$$C = \frac{Q}{V} \quad [F]$$

で表され、絶縁された導体の電位を1V高める電荷で表される。単位は $[C/V]$ ではなく**ファラド** $[F]$ の単位を用いる。

次にa,b 2枚の金属板(電極)を向い合せにおき、電極の間に $V[V]$ の電位差を与え、一方に $+Q[C]$ 、他方に $-Q[C]$ の電荷が加えられたとき、2導体間の静電容量 C は

$$C = \frac{Q}{V} \quad [F]$$

であるので、1ファラドの単位は2導体間に1Vの電圧を与えたとき、1クーロンの電荷を蓄える能力を表すといえる。



II. 静電容量の計算

金属平行版の静電容量

面積 $S[m^2]$ の2枚の金属板(電極)の間に、誘電率 ϵ 、厚さ $d[m]$ の誘電体を入れたときの静電容量を求める。

電極に $V[V]$ の電圧を印加すれば、電極上にそれぞれ $+Q[C]$ 、 $-Q[C]$ の電荷が蓄えられ、平等電界になる。この時、電束密度 $D[*1]$ は $Q/S[Q/m^2]$ であり、電界の強さを $E[V/m]$ とすれば

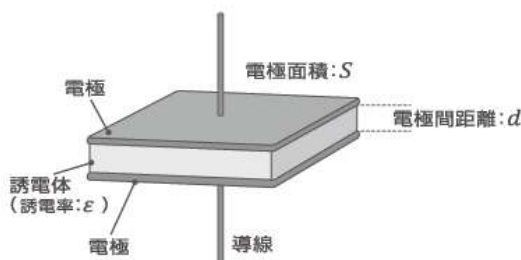
$$E = \frac{D}{\epsilon} = \frac{Q}{\epsilon S} \quad \left[\frac{V}{m} \right]$$

従って、電位差 V は

$$V = Ed = \frac{Qd}{\epsilon S} = \frac{Qd}{\epsilon S}$$

$$\therefore C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon S}{d} \quad [F]$$

< コンデンサの基本構造 >



< コンデンサの静電容量 >

$$C = \frac{\epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d}$$

- S : 電極面積 $[m^2]$
- d : 電極間距離 $[m]$
- ϵ : 誘電体の誘電率 $[F/m]$
- ϵ_0 : 真空の誘電率 $(8.855 \times 10^{-12} [F/m])$
- ϵ_r : 誘電体の比誘電率

図はTDKのホームページ https://www.tdk.co.jp/techmag/electronics_primer/vol1.htm より

(*1)電束、電束密度 D の説明は省く $D = \epsilon E$ で表わされる

12. 静電容量とコンデンサ

III. 誘電体と誘電率

一般に静電容量は誘電率に比例する。例えば2枚の平行金属板による静電容量は、真空での誘電率を ϵ_0 、誘電体の誘電率を ϵ とおけば、

$$\text{真空の場合} \quad C_0 = \frac{\epsilon_0 S}{d} \quad [F]$$

$$\text{誘電体の場合} \quad C = \frac{\epsilon S}{d} \quad [F]$$

従って、同形同大で媒質が一般の誘電体のときと真空の時の静電容量の比をとり、これを ϵ_s とおくと

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \epsilon_s$$

$$\therefore \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_s$$

これより、ある誘電体の比誘電率は、真空の場合の静電容量に対するその誘電体を用いたときの静電容量の比であるといえる。

比誘電率の例（山本電機 インストゥルメント 株式会社のHPより）

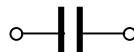
物質	比誘電率
パラフィン	1.9～2.5
マイカ	4.7～7.5
紙	2.0～2.5
酸化チタン	83～183
ポリスチレン	2.4～2.6
ポリエステル	2.3～2.4
水	80
空気	1.000586
真空	1.0

IV. 静電コンデンサ

一般に静電容量を得る目的で作られた装置(部品)を静電コンデンサ、あるいは**コンデンサ**という。

コンデンサの回路記号

□ 固定コンデンサ



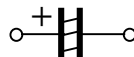
□ 半固定コンデンサ



□ 可変コンデンサ



□ 電解コンデンサ
タンタルコンデンサ

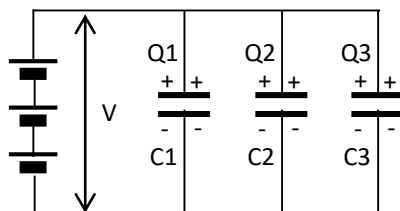


12. 静電容量とコンデンサ

V. コンデンサの接続法

並列接続

図のように容量が夫々 C_1, C_2, C_3 のコンデンサを並列に接続し、 $V[V]$ の電圧を印加した場合を考える。



各コンデンサの両導体間にはいずれも V の電圧が印加されているので、各コンデンサにはそれぞれ

$$Q_1 = C_1V, \quad Q_2 = C_2V, \quad Q_3 = C_3V$$

の陽、陰の電荷が充電される。この場合、全体の電荷 Q_t は電荷の和になり

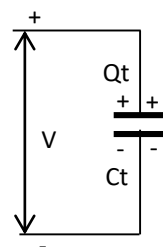
$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (C_1 + C_2 + C_3)V$$

よって、これを1個の合成容量 C_t に置き換えれば

$$C_t = \frac{Q_t}{V} = \frac{(C_1 + C_2 + C_3)V}{V} = C_1 + C_2 + C_3$$

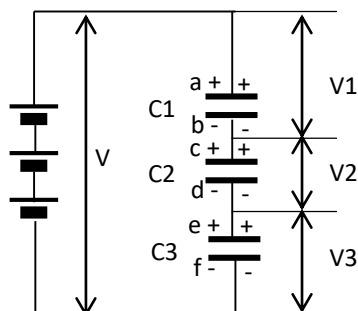
一般に n 個のコンデンサ C_1, C_2, \dots, C_n を並列に接続したときの合成容量 C_t は

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i \quad [F]$$



直列接続

図のように容量が夫々 C_1, C_2, C_3 のコンデンサを直列に接続し、 $V[V]$ の電圧を印加した場合を考える。



電源に直接接続されている極板 $a \cdot f$ に $Q[C]$ が蓄えられているとすれば、中間の $b \cdot c, d \cdot e$ の極板には静電誘導によりそれぞれ等量の $+Q$ と $-Q$ の電荷が誘導される。つまり、コンデンサを直列接続した場合は、静電容量に関係なく各コンデンサに等しい電荷が蓄えられる。

従って、各コンデンサの両端の電位差をそれぞれ V_1, V_2, V_3 とすれば

$$V_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad V_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad V_3 = \frac{Q}{C_3}$$

この和が全体の印加電圧 V に等しくなるので

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

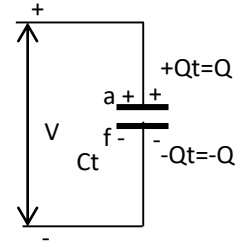
12. 静電容量とコンデンサ

この時の全電荷 Q_t は、 $b \cdot c$ 、 $d \cdot e$ の電荷は合成すると0になるので、
図のように $a \cdot f$ の極板上の電荷と同じになる。従って、全電荷 Q_t は
夫々の電荷 Q と同じになる。ゆえに合成容量を C_t とすれば

$$C_t = \frac{Q_t}{V} = \frac{Q}{V} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} \quad [F]$$

一般に n 個のコンデンサ C_1, C_2, \dots, C_n を直列に接続したときの合成容量 C_t は

$$C_t = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}} \quad [F]$$



電圧の分布

3個のコンデンサを直列接続した場合の、それぞれのコンデンサに加わる電圧の比は

$$V_1 : V_2 : V_3 = \frac{Q}{C_1} : \frac{Q}{C_2} : \frac{Q}{C_3} = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}$$

つまり、コンデンサを直列に接続したとき、各コンデンサの電圧は静電容量に反比例して分布する。

コンデンサの例



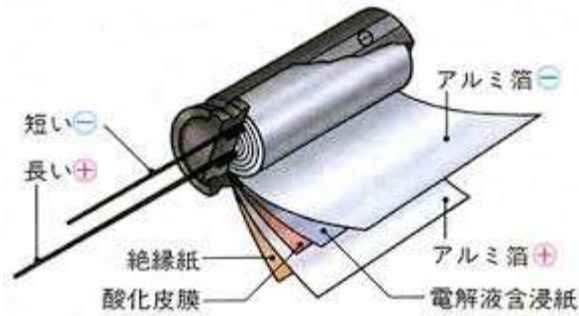
写真はmuRataのホームページ

<https://www.murata.com/ja-jp/campaign/ads/japan/elekids/compo/capacitor>
より

12. 静電容量とコンデンサ

コンデンサの構造図例

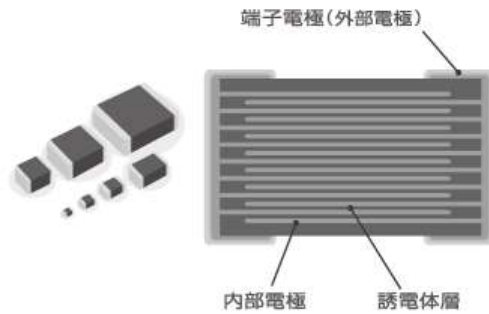
アルミ電解コンデンサ(ケミコン)



図はコトバンクのホームページ
<https://kotobank.jp/word/コンデンサー-506405>
より

< チップ断面 >

< 積層セラミックチップコンデンサの静電容量(C) >



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} N \text{ [F]}$$

S : 内部電極の面積[m²] C : 静電容量[F]
 ϵ_0 : 真空の誘電率[F/m] ϵ_r : 誘電体の比誘電率
 d : 電極間距離[m] N : 積層数

図はTDKのホームページ
https://www.tdk.co.jp/techmag/electronics_primer/vol2.htm
より