回路計算の入門

—下巻—

遞試受驗研究會
著

電氣書院

回路計算の入門

—下 卷—

遞試受驗研究會
著

電氣書院

回路計算の入門

—下 卷—

遞試受驗研究會
著

電氣書院

緒　　言

本書上卷に於て、初級回路計算の基礎となる智識を徹底的に說明した從つて本書では其等を驅使して幾多の應用問題を解いて見たい。

然し、其の前に注意して頂かねばならないことは、やゝもすると回路計算を數學問題の如くに心得へ、實際電氣工學と遊離して單なる紙上學問に終り易いことである。申す迄もなく、回路計算は送配電線の設計に建設に、機器の諸特性の計算に其の根本となるものであつて、決して實際工學から遊離したものでない。

此の点に諸氏の活眼を大きく開いて頂くやう、先づ前部に於て、電氣回路の實相を說明することゝした。

本部に依つて、第一部以下の回路計算問題を解く際、實在回路へと聯想し、悉くを修得せられたなら、其の智識で手近な電氣回路を等價回路に直して、其の特性を研究して見られたい。

又、オームの法則以下、上卷で述べた處を夫々簡單に今一應說明を加へて、記憶の强化と理解の明確を計つた。

講者等も學習時代にはキルヒホッフの法則は何回異つた本で讀んだか判らない。其の結果、明瞭に其の根本思想を把握することが出來た。

從つて、本書上下二卷に於ても、根本となる事項は煩を厭はず、異つた方法で何回となく說明を加へることゝした。

此の回路計算の根本思想と實際との關聯性を徹底的に敎へた處に本書獨自の新生面がある。心して讀まるゝなら、今後に於ける諸氏の學習は無限の深みと實際性を以て、顯著なる進步を示そう。

少くもご再讀三思、講者の述べんとする眞意義を確實に把握せらるゝやう切に希望申上ぐる次第である。

昭和十六年一月

遞試受驗研究會識

本書の學修法

鉋を逆にかけて少しもけずれないと愚痴を云つたとすれば、云ふ方が笑はれるに相違ない。そう極端でなくとも、道具は夫れ自身のよいことも必要だが、使用法に左右されることが多い。書も亦、同様であつて、學修法の巧拙如何で著しく其の効能が異つて來る。本書の學修に當つては、次の心得の下に最大の効果を擧げられたい。

(一) 豫習工作

回路計算に於ける最大の武器は數學であるから、上卷の學習が終つたなら今一應「遞試用初等數學」及「電氣技術用基礎學」第一部で、代數幾何、三角を復習してから本書に入られたい。尙上記の書と「電氣理論と電氣測定法」で電氣理論を深く學習し、第二部、交流回路に入る前に「交流理論の入門」及「初等ベクトル明解」を學習されたい。

(二) 學修法

❶ 前部を通讀して大意を得（強ひて悉くを理解しなくともよい）漠然と判れば、第一部から一歩一歩研究する（途中判らぬ處があれば結果のみを棒暗記して一先づ先きにと進み、二讀目の時に研究する）

❷ 一通り終れば前部を十分に理解し、第一部から、例題も一々解きながら全卷を精讀する。

❸ 三讀目は綱要を引き合して、要点の暗記に努める。

❹ 種々と實在回路を考へ、之れを問題化して其の數量的取扱ひに馴れる。

(三) 本書學修後の指針

第三種一次「遞試受驗讀本」の新問題を解き、更らに智識の要約化を計り、次で有名な遞試受驗「テキスト」計算篇で豊富な例題に依り受驗上のこつを敎はる。尙問題を數多く解くことが回路計算上達の捷徑であるから、「遞試一次縱横解答集」「新撰擬試驗問題解答集」等で毛色の變つた幾多の問題を解いて見る。最後に計算問題に對する考へ方を確立する爲めに「電氣工學計算問題解說講義」を學修する。本書は特に實務上の多くの問題に對し其の解決方法を懇說してゐる。

回路計算の入門(下)

目　次

前　部　電氣回路の實相

第一部　直　流　回　路

第二部　交流回路

回路計算の入門 下卷

前　部

電氣回路の實相

はしがき……本部は後半に於てやゝ程度が高くなつてゐるから、先づ通讀して其の大意を得、第一部、第二部を修め、再轉して本部を詳細に研究されたい。

(Ⅰ) 實在の直流回路

(1) 接續抵抗其の他

直流回路で電流を制限するものは抵抗のみであつて、電壓、電流、抵抗の間には

$$電流 = \frac{電壓}{抵抗} \qquad I = \frac{E}{R} \qquad オームの法則$$

の成立することは既に述べた通りである。このことは、液体空氣の生ずるやうな極度の低溫度に於ける超電導現象、或は瓦斯体に於ける傳導現象以外に於て、等しく成立する事柄である。

然しながら、之れを實在の回路に適用するに當つては、上卷で述べた、單なる計算の他に種々考へねばならないことがある。以下、先づ一例に就て其の一般を說明しやう。

【例】 引込口より 250 米 (m) の点に 100 V, 50 W の電燈 20 燈あり、此の端子電壓を 100V に維持する爲めには、引込口の電壓を何 V とすべきや。但し使用電線 100m の抵抗を 0.1Ω とす。

解答 電線片線の抵抗 $r=0.1\times\frac{250}{100}=0.25\Omega$

往復二線の抵抗 $2r=2\times0.25=0.5\Omega$

電燈 1 箇の電流 $i=\frac{電力(ワット)}{電壓(ボルト)}=\frac{50}{100}=0.5A$

全電流 $I=20i=20\times0.5=10\ A$

故に 引込口電壓 $E_s=100+2Ir=100+10\times0.5=105\ V$

之れを圖示すると、Fig 1 の如くであつて、上記の解答で理論上、少しも支障はなく、問題として出題せられたなら、此の解答で滿足である。又次の如くにも

計算せられる。

Fig 1

電燈 1 箇の抵抗

$$R' = \frac{電力}{(電流)^2} = \frac{(電壓)^2}{電力}$$

$$= \frac{50}{0.5^2} = \frac{100\times100}{50} = 200\Omega$$

20 燈を並列とした合成抵抗　$R = \frac{R'}{20} = \frac{200}{20} = 10\ \Omega$

$$E_S = I(R+2r) = 10(10+0.5) = 105\ V$$

然し、本問を一度び、實際問題として考ふるなら（換言すると實際斯樣な場合此の要求に應ずる爲めには）引込口電壓 E_S の値は 105V では不滿足である。何となれば、100 米の抵抗が 0.1Ω であるなら、理論上、250 m では 0.25 Ω となるが、實際の場合には之れよりも大きく、多くの場合、少くとも 2 割は大きく取らねばならない。之れは往復 500m が一本の電線で架線せらるゝものでなく、接續しなければならないから、接續に依る抵抗增加も考へられるし、機器の端子に於ける接觸抵抗、開閉器端子の接續抵抗、同、刄の接觸抵抗、積算計器の電流線輪の抵抗等をも考へねばならない。

尙、電流も負荷電流ばかりとは限らない。電線被覆を通じて、他方に漏洩する電流もあれば、積算計器の電壓線輪に流れる電流もある。然し是等は負荷電流の何百分の一、何千分の一と云ふのであるから、計算上、之れを無視しても一向差支へはない（引込口電壓を求める計算には、省略してもよいと云ふ意味であつて申す迄もなく、漏洩電流から絕緣抵抗を求める……絕緣抵抗＝電壓÷漏洩電流…場合には之れが計算の主体となる）

從つて、本例のやうな回路を實在回路として取扱ふ場合には少くとも上記の種々の理由に依る抵抗增加を考へねば滿足な實際の結果が得られない。（即ち E_S＝105V とすると E_R は 100V 以下となろう）

之れは、問題の實際的吟味の一つの例であるが、100m で 0.1Ω の抵抗と云へば、其の電線の太さは

$$抵抗 = 固有抵抗 \times \frac{長さ}{切斷面積}$$

今、軟銅線にて、切斷面積 1 平方粍、長さ 1 米の抵抗を $\rho = \frac{1}{58}\Omega$ とすると

$$切斷面積\quad S = 圓周率\times(半徑)^2 = \pi r^2 = \pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi}{4}d^2$$

之れが長さが l 米であると

$$抵抗\quad R = \rho\times\frac{l}{S} = \rho\frac{4l}{\pi d^2}$$

$$d^2 = \rho\frac{4l}{\pi R}\qquad d = 2\sqrt{\frac{\rho l}{\pi R}} = 2\sqrt{\frac{1/58\times100}{3.14\times0.1}} \fallingdotseq 4.7\ \mathrm{mm}$$

之れに近似した 5 mm の電線（0.09Ω）が用ひられたものとすると安全電流は（第一種及第二種絕緣電線で 90A, 同じく第三種及第四種で 65A）であつて 10A に對し十分に餘裕がある。斯樣に問題を深く掘り下げて實際的に考慮する態度を保持すれば、回路計算の學習が直ちに諸氏の實務に用ひられ、エンヂニヤーとしての活路が開かれるであらう。

⑵ 漏洩電流に就て

先きにも述べたやうに、電線に流るゝ全電流は負荷電流の他に、電線被覆、絕緣碍子、造營材、大地等を通じて漏洩して他の線にと流れる漏洩電流がある。之れは回路の電壓が低い場合には極く微小なもので問題ではないが、電壓が高くなり、負荷電流の小さい場合には無視し得ないものとなる。此の漏洩回路の抵抗が即ち回路の絕緣抵抗である。話は傍道に入るが、電力傳送の苦心は、なるべく損失を少く送電することであつて、之れが爲めには導体抵抗を少くしなければならない。從つて電氣回路用の電線としては、抵抗の少い銅線が廣く一般的に採用される（銀線の方が抵抗が少いが高價である…即ち產出量が少い…から一般的でない）然し、近來、戰時下重要物資不足の折柄、銅材を節約して、アルミニユム線が廣く採用されつゝある。但し、アルミニユム線は抵抗が銅線よりも大きく、接續に困難な缺点がある。一方、漏洩電流は何の役にも立たない。否、却つて感電火災の原因、其の他金屬体の侵蝕原因となり、有害であるから、極力之れを小さくしなければならない。從つて高壓となる程絕緣抵抗を大とする。之れを要するに電力傳送に於て、導体抵抗の低下が重要である半面に於て、絕緣抵抗を大としなければならない半面を有し、何れも同等に緊要なる問題である。然るにやゝもすると、前者を重視して後者を輕視する。例へば回路計算の問題でも導体抵抗の計算を主として絕緣抵抗の計算問題が少い。之れは導体抵抗は一定であるが、後述するやうに、絕緣抵抗は不定であり不安定であることも計算問題に不向きな原因である。然し、夫れだからと云つて、絕緣抵抗に關する計算問題を粗略に取扱つてはならない。此處で、回路の絕緣抵抗の取扱ひをやゝ詳しく述べたのも、此の点を思ふ講者の老婆心の表はれである。

扨、話は元に戻つて、漏洩回路を含んだ實在の直流回路を圖示すると、Fig 2 の如くである。圖に於て r は電線單位長（1 米とか 1 糎とか 1 粁）の抵抗であり、R は負荷抵抗を示し、ρ は電線單位長の漏洩抵抗を表はして居る。此の回路の亘長を l とすると、

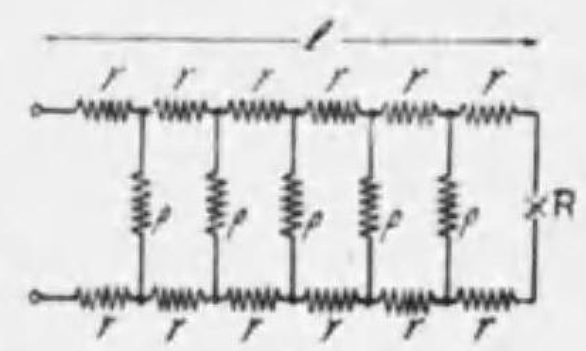


Fig 2

電線の全抵抗 r_0 は r をひとまとめにして

電線の全導体抵抗　　$r_0=2rl\ \Omega$

漏洩抵抗 ρ をひとまとめにすると、單位長で ρ であるから長さ l では……單位長を米とすれば l も米で表すこと…… ρ が l 本並列にあることゝなるから

電線の全漏洩抵抗　$\rho_0=\dfrac{\rho}{l}\ \Omega$

斯く實在する電氣回路を其のまゝに解くには、微分方程式を用ひねばならないから、其の詳細は「選試用高等數學」を修め「電氣用應用數學講義」を修得されてから「送電線の建設と保守」P40 第 3.2.5 圖の一般の場合に就て研究して頂くことゝする。

此の漏洩電流が電線上に分布する有様の概略は、Fig 3 の如くに直線的になると考へてよい。即ち、單位長毎の漏洩電流を i_g とすると、送電端では全漏洩電流 li_g が流れ、受電端では零となり、線路上に於ける分布は下圖の如くに直線的となる。

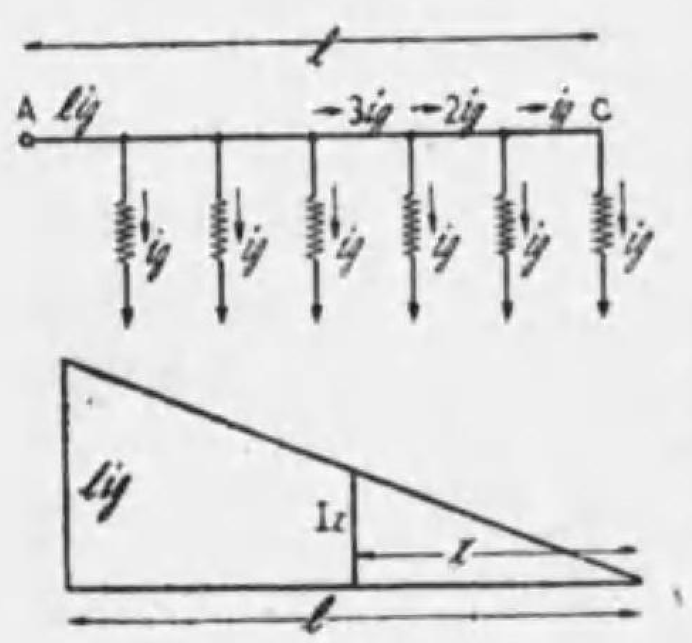


Fig 3

實際、線路上には此の漏洩電流と負荷電流が流れるのである。然し此の取扱ひを簡單とする爲めに、Fig 4 の如くに、電線亘長の中央點に全漏洩抵抗 ρ_0 が集るものと考へる。

此の場合の負荷端の電壓を E_R、負荷電流を I_R とすると、送電端の電壓 E_S 及電流 I_S は

線路中央点の電壓　$E_m=E_R+I_R\times\dfrac{r_0}{2}$　　但し　$r_0=2rl$

漏洩回路の電流　　$I_m=E_m\times\dfrac{1}{\rho_0}=g_0E_m$　　　$\rho_0=\dfrac{\rho}{l}$

$=g_0E_R+\dfrac{g_0r_0}{2}I_R$　　　$g_0=\dfrac{1}{\rho_0}=\dfrac{l}{\rho}$

全電流　　$I_S=I_R+I_m=\left(1+\dfrac{g_0r_0}{2}\right)I_R+g_0E_R$

送電端の電壓　$E_S=E_m+I_S\times\dfrac{r_0}{2}=E_R\left(1+\dfrac{g_0r_0}{2}\right)+I_Rr_0\left(1+\dfrac{g_0r_0}{4}\right)$

但し、上記した如くに r_0 は電線の全抵抗であり、g_0 は全漏洩コンダクタンスである。

（註）此處の處は高等數學を用ふるから、强ひて理解しなくともよく、唯 Fig 4 の如くに全漏洩抵抗が線路の中央に集中するものと考へても、漏洩電流に依る全電壓降下に就ては、少しも支障がないと云ふことを了解して頂けばよい。

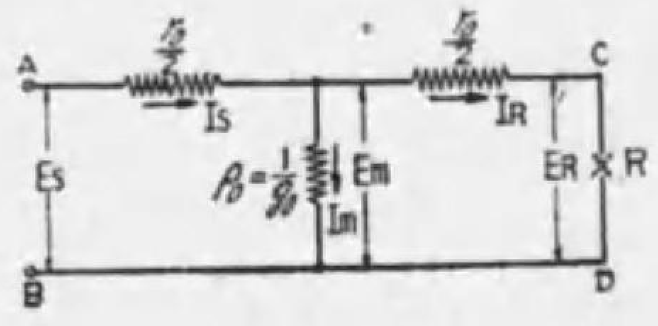


Fig 4

Fig 3 に於て、負荷端より χ なる距離の線上に於ける漏洩電流 i_x の大さは

$i_x=li_g\times\dfrac{\chi}{l}=i_g\chi$　　電線單位長の抵抗を r とすると

之れに依り $d\chi$ 間　　二線の電壓降下　$e=2i_xrd\chi$

全電壓降下　$e_0=\displaystyle\int_0^l e\,d\chi=2i_gr\int_0^l\chi\,d\chi=2i_gr\left|\frac{\chi^2}{2}\right|_0^l=2i_gl\times\frac{l}{2}r$

即ち全漏洩電流 i_gl が $\dfrac{l}{2}$ 即ち線路の中央点に集つたと考へてよいから Fig 4 の如くに取扱つても電壓降下の点からは支障がない。斯様に、ρ を中央に集めた等價回路を T 回路（回路の形が T の字に似て居る）と云ひ $\dfrac{g_0}{2}(=2\rho_0)$ が線路の兩端に分れて存在すると考へた Fig 5 の如きを π 回路（回路の形が π の字に似てゐる）と稱する。此の場合の $E_R\ I_R\ E_S\ I_S$ 間の關係を參考の爲めに求めると次の如くである。

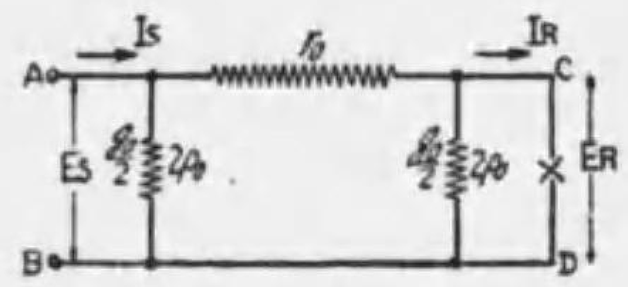


Fig 5

$F_S=E_R+\left(I_R+\dfrac{g_0}{2}E_R\right)r_0=E_R\left(1+\dfrac{g_0r_0}{2}\right)+I_Rr_0$

$I_S=I_R+\dfrac{g_0}{2}E_R+\dfrac{g_0}{2}E_S=I_R\left(1+\dfrac{g_0r_0}{2}\right)+Eg_0\left(1+\dfrac{g_0r_0}{4}\right)$

以上に依つて、實在直流回路には、目に見える負荷抵抗回路の外に、漏洩抵抗回路のあることを理解せられたものと思ふ。又漏洩抵抗即ち絶縁抵抗は導体抵抗とは反對に、線輪亘長に反比例する（線路亘長が 2 倍となれば ½、3 倍となれば ⅓）となることが明瞭に理解せられたことであらう。

然るに、此の絶縁抵抗は前にも述べたやうに、導体のやうに一定値でない（尤も導体抵抗も溫度と共に抵抗を變化するが、其の變化量は極めて微小なものである）即ち、溫度、濕度等に依つて相當に變化する。殊に配電線等では、晴天の日と降雨、降雪の日では著しく相違する（此のことは、交流配電線に於ける靜電容量に就ても同様に云へる）

從つて、明確に數量的に取扱ふことは困難である。又直流電氣鐵道に於ける電車線回路はマイナス線は軌條を用ひて居るから其の漏洩電流は廣く大地各方面に向ひ、之れを定量的に取扱ふことは一層に困難である。

然し、實際工學と云ふものは、不可能に近い精密を追ふものでなく、實用上許し得る概算の程度を以て設計をすゝめるのであるから、常に實在回路を簡單なる電氣回路で表はし得るやうに練習を積まねばならない。

(3)　定常狀態と過渡狀態

直流回路に於ては、如何なる部分、如何なる時に於てもオームの法則が成立す

ると云つた。之れは純抵抗のみの回路であれば正しいのであるが、上卷、第二章で述べたやうな自己インダクタンスや靜電容量を有する回路では、回路を投入した瞬間と開放した瞬間に於ては一時的ではあるがオームの法則が成立しない。斯様なオームの法則の成立しない過渡期を回路の過渡狀態と稱し、其の瞬間が過ぎてオームの法則が正しく成立するやうになつた狀態を定常狀態と云ふ。

如何なる電線にせよ、電流が通ると其の周圍に磁力線を生ずるから、大なり小なり、自已インダクタンスを有することになる。又電線間は必ず蓄電器を形成するから、靜電容量を有する。從つて如何なる直流回路でも必ず此の過渡狀態が存する譯である。今其の一例を圖示すると Fig 6 の如くである。

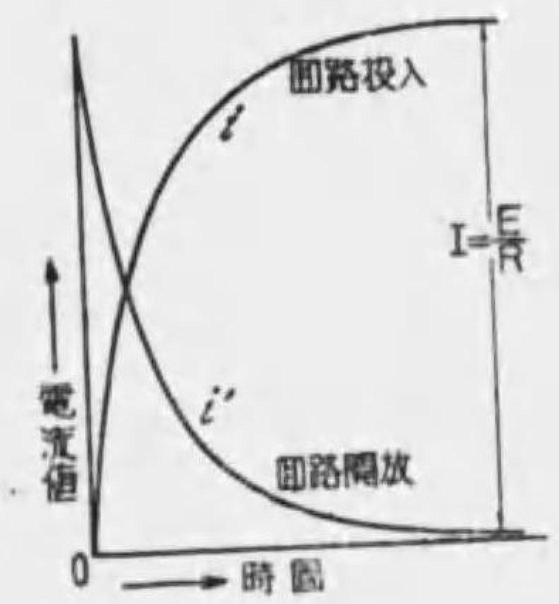


Fig 6

即ち、回路を投入した時の電流を i とすると、時間 t に對して圖の如くに逐次に増加して、或る時間を經て、オームの法則が示す一定値 $I=\frac{E}{R}$ に達する。其の理由は上卷第二章（P29 を参照）に於て述べたやうに、今迄回路に電流がなかつたのが、或る値の電流が流れやうとすると、之れに應ずる磁力線が生ずる。之れが回路を切つて回路に電壓を誘導する。其の誘導電壓は上卷の第 2.8 圖（P 31参照）で說明したやうに、供給電壓と反對即ち、電流の増加を妨げやうとする方向にあるから、電流は直ちに一定値に達し得ないで、逐次に増加して、$I=\frac{E}{R}$ に達する。回路を開く場合も同様で圖の i′ の如くに直ちに零とはならない。之れは、今迄通つて居つた電流が急になくならうとするから、之れに依つて回路に作られて居つた磁力線も消滅しやうとして回路を切り、之れに誘導電壓を發生する。其の方向も前と同様に電流の變化を妨げんとする方向（電流を持續して流そうとする方向）にあるから、電流は急に零にならない。之れは丁度、慣性のある物体を急に動かそうとしても直ちに其の速度とならずに、逐次に速度を上昇して一定値に達し、停めやうとする場合も直ちに停止せずに次第に減速して一定値に達するのと同様である。即ちインダクタンスは回路の慣性に相當する。

又、蓄電器回路に直流電壓を加へたときも、此の i′ と同様に Q=EC に相當する電荷を蓄へる迄は電流が流れるが、Q=EC になると電流は流れない。

以上、要するに回路開閉の瞬間は、オームの法則が成立しない。此の過渡狀態の長短は回路の自己インダクタンスが大きい程、靜電容量が大きい程長い。例へば、鐵心を含む直流發電機の勵磁回路の如く、インダクタンスの大きい回路、或は電纜回路のやうに靜電容量の大きい回路では過渡時間が長くなる。故に斯様な回路の抵抗を測定する際には、電壓を加へて直ちに測定せずに或時間を置いてから測定しなければならない。尙過渡狀態の取扱ひは、微分方程式の力を借りねばならないから此處では述べない。將來、諸氏が「電氣用應用數學講義」P 100 以下に就て學習せらるゝ日を待つことゝする。

(4) 實在回路への聯想及實在回路の簡約化

回路計算問題を解くに當つては、上述した實在の回路を聯想し、其の問題の回路が如何なる性質の實在回路に相當するものであるかを考へ、又實在回路を取扱ふに際しては、之れを如何なる等價回路に導けば比較的簡單に其の數量的關係が求められるかを考察しなければならない。回路計算の大乘的目的は實に此處に存するのであつて、數式變化とか小手先きの計算は小乘的演練に過ぎないのである

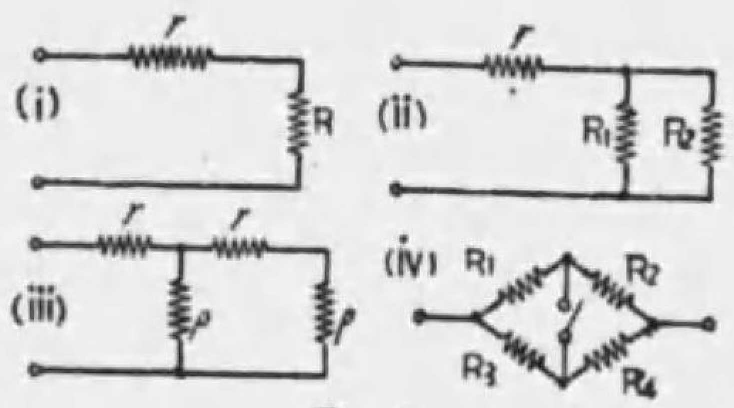


Fig 7

例へば、Fig 7 の回路に於て (i) の如き回路は R が負荷抵抗、r が線路抵抗を表はすのだと聯想され、(ii) は負荷抵抗が R_1 R_2 と二つ並列にある回路と考へられ、(iii) は ρ が絶緣抵抗（漏洩抵抗）を表はすと想像され (iv) は抵抗を測定するホキートストーン・ブリツヂ回路であると推察せられるのである。

尙、實在回路を等價回路とするには、何が何に比較して小さいから省略されるかをよく判斷する。等價回路を自由に驅使したのはスタインメツツであつて、彼の偉業の半以上は此の省略の巧みなる處に所來して居つた。（例へば、電氣技術講座第三卷「電氣機器一般と取扱法」P124 以下、變壓器の等價回路を參照）

（II） 實在の交流回路

(1) 實在交流回路の一般

既に前節に述べた處より、交流の場合の實在回路も略々想像せられる。然し上卷第二章で述べたやうに、直流の場合と異つて電流を制限するものは抵抗 R のみでなく、誘導リアクタンス ($2\pi fL$) もあれば、靜電リアクタンス ($1/2\pi fC$) もあつて、是等の R, L, C が回路に分布せられてゐる其の一例を圖示すると Fig 8 の如くであつて、回路の各部分には夫々の抵抗 r 及インダクタンス l, 線間靜

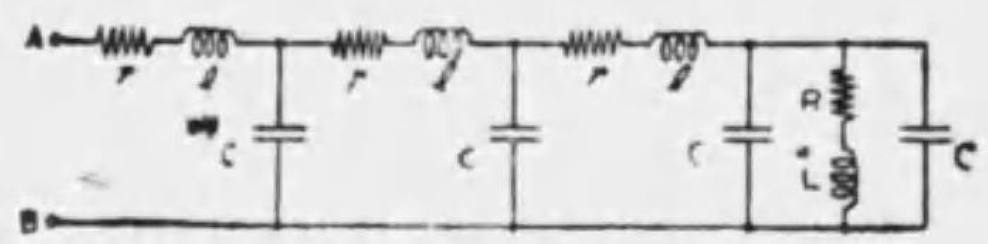


Fig 8

電容量 c が分布して居る。其の先端に負荷が結ばれて居つて、 其の抵抗を R, インダクタンスを L, 靜電容量を C で表はして居る。上圖では回路の r l c を別々に書いたが、實際は圖の樣に分れて存在して居るのでない。即ち導体のどの部分でも r を有すると同時に l も c も有するのであつて、r l c は同一点に同時に存在して居る。夫れを正直に圖に表はし得ないから便宜上分けて書いたのである。又圖では線間の靜電容量のみ考へて漏洩抵抗を無視して居るが、實際は c と並列に前節で述べた漏洩コンダクタンス g（漏洩抵抗 ρ）を加へねばならない

扨、吾々が交流回路を取扱ふに當つて、回路各部分の電壓、電流を知りたいと云ふやうなことは滅多になく、大抵の場合は送電端の電壓、電流と受電端の電壓電流の關係を知れば足りるのである。故に 前圖に於ける線路各部分の r l c を r は r だけ集めて r_0 とし、l は l だけを集めて l_0 とし、c は c だけ集めて c_0 として、之れを Fig 9 の如くに 1 箇所に集中した回路としても實用上、支障はなく、送受兩端の電壓及電流の關係が簡單に求められる（但し、綿密な計算だの回路任意点の電壓、電流は之れでは求められない之れを求めるには「送電線の建設と保守」 P 40 以下で説明された手法を用ひねばならない）

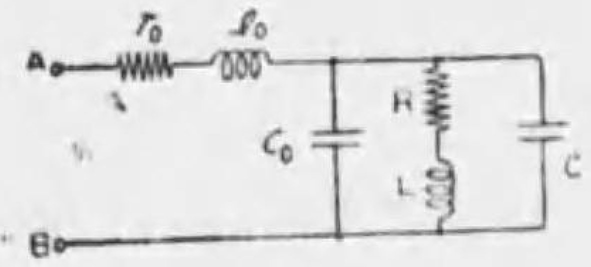


Fig 9

再言するに r_0 は無誘導抵抗であつて、電界も磁界も作らないもの、l_0 は抵抗が全然なく磁界のみを作るもので純インダクタンスであり c_0 は抵抗は少しもなく、電界のみを作る純靜電容量である。是等は何れも假想であつて、便宜上の取扱ひに過ぎない。交流回路となる導体は、r l c の三つを大なり小なり有するのである。從つて

抵抗 R, とインダクタンス L の直列回路あり……

と云ふ問題では、R と L が別々に存在するのでなく、全体としての抵抗が R, 全体としてのインダクタンスが L で、 靜電容量は甚だ小さく無視し得るやうな R, L の回路を意味するのである。

(2) r, l, c の吟味

抵抗 r は直流回路で述べたのと同樣に、 實際の回路では單なる導体抵抗ばかりでなく、電線接續に依る抵抗增加がある外に交流の場合に限つて表皮作用とか誘電体作用とか渦流作用とか（特高回路ではコロナ損等）に依る抵抗增加がある（"送電線の建設と保守" P12 以下を參照）從つてオームの法則で測定した電線の抵抗よりも實際は大きくなる。此の交流の場合の抵抗を實効抵抗と稱してゐる。

又インダクタンスも自已インダクタンスの外に他の線路より受ける相互インダクタンスがあり、電線の對地靜電容量（電線と大地とで蓄電器を形成する、之れ

を云ふ）回路にも漏洩抵抗回路を加へねばならない。

尙、線路に接續せらるゝ機器の抵抗、インダクタンス、靜電容量も考へに入れねばならない。特に變壓器に於ける諸定數が大きな影響を持つやうになる。

斯く考へると、實在交流回路は實に複雜な形となつて容易に之れを等價回路で表はし得ないやうに考へられるが、實際の場合には一つの定數は他に比して殆んど無視されて實用的には簡單な回路として取扱ひ得る。

例へば、低壓單相配電線で、電燈負荷に配電するやうな回路では、靜電容量等は極く小さく、無視してよく、インダクタンスも小さいから抵抗のみの回路として直流の場合の等價回路と同樣に取扱ひ得る。

低壓、高壓電動機に供給する三相三線式回路では、インダクタンスは考慮に入れるとしても靜電容量は無視され r と l の直列回路で表はし得る。 特高三相三線式架空送電線になると r, l, c は相當の値となるが、概算的には對地靜電容量（對地アドミツタンス）は無視しても支障はない。然し之れが地下電纜回路となると靜電容量の影響は無視し得なくなる。

又、電線材料に依つても此の定數が異つて來る。即ち鐵線であると抵抗が增加するばかりでなく、インダクタンスが著しく增大する。

(3) T 回路と π 回路

直流の處の Fig 4 で述べたことを、 交流回路に適用すると漏洩抵抗の外に、靜電容量が加はる。之れをアドミツタンス Y で表はすと Fig 10 の如くになる

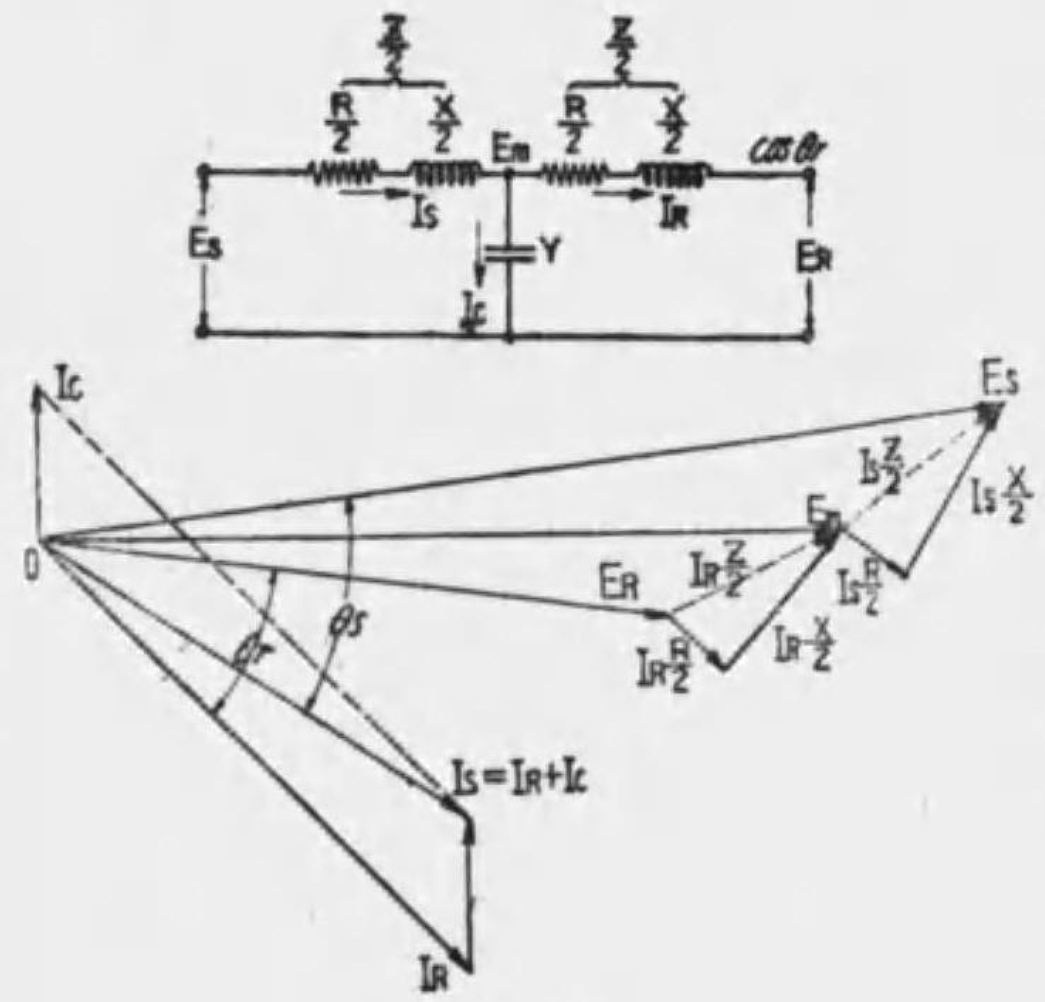


Fig 10

圖では對地靜電容量に流れる電流 I_C に比し漏洩電流は一般に極めて小さいから夫れを無視して靜電容量のみとした（尙圖は單相回路とも三相回路の一相を表はすものとも解釋される）

扨斯樣に全線の中央に全回路の對地アドミツタンスが集中したものとすると次の諸式を得る。

$$E_m=E_R+I_R\frac{Z}{2}$$

$$I_C=E_mY$$

$$E_S=E_m+(I_R+I_C)\frac{Z}{2}$$

$$I_S=I_R+I_C$$

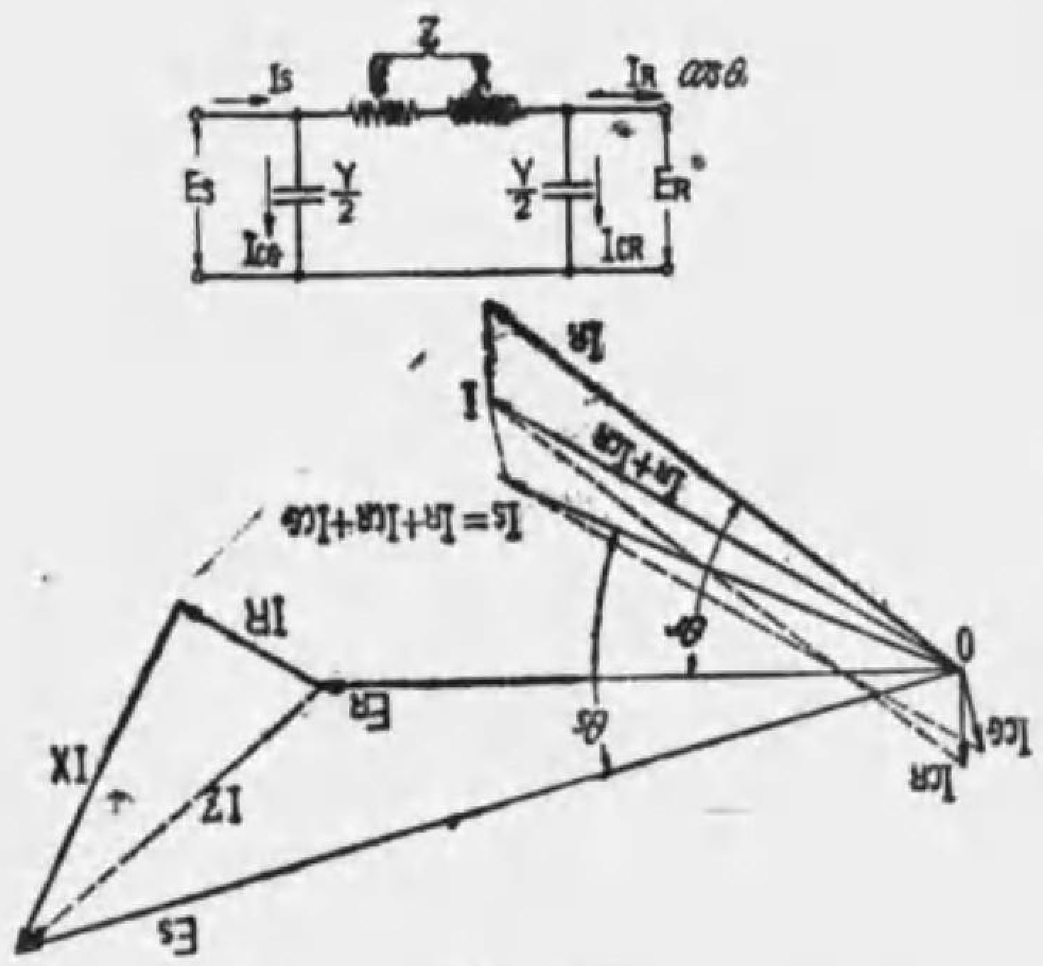
以上の關係より E_S 及 I_S を求めると

$$F_S = E_R\left(1+\frac{ZY}{2}\right)+I_R Z\left(1+\frac{ZY}{4}\right)$$

$$I_S = I_R\left(1+\frac{ZY}{2}\right)+E_R Y$$

直流の場合と同樣な形を得たが、此の式は上圖の如くにベクトル的(複素數的)に計算されねばならない。

次に π 回路は全回路の對地アドミツタンス Y が送電端と受電端に Y/2 づゝ分布されたとして取扱つたもので Fig 11 の如くである。此の場合を計算すると次の如くになる。



$$I_{CR} = E_R\frac{Y}{2}$$

$$E_S = E_R + (I_R + I_{CR})Z$$

$$I_{CG} = E_S\frac{Y}{2}$$

$$I_S = I_R + I_{CR} + I_{CG}$$

以上より E_S 及 I_S を求めると

$$E_S = E_R\left(1+\frac{ZY}{2}\right)+I_R Z$$

$$E_S = I_R\left(1+\frac{ZY}{2}\right)+E_R Y\left(1+\frac{ZY}{4}\right)$$

Fig 11

此の場合も、Fig 5 と同樣な形となるが、計算は上圖の如くにベクトル的に行はねばならない。

各定數が線路上に一線に分布せられた場合に就ては「電氣用應用數學講義」を修めてから〝送電線の建設と保守〟P40 以下に依つて習得されたい。

尚非常に長い交流回路に於て、交流の半波が乘るやうな周波數とすると、l も c も其の作用がなくなる。之れが同調送電方式であつて、上記の書の P6, 1.5 以下を一讀せられよ。此の說明は上卷を學習された諸氏の頭を練る上によい問題である。

(4) 實在回路の等價回路及實在回路への聯想

例へば、變壓器の卷線回路を取つて考へると、線輪には抵抗 r があり、インダクタンス l があり、更らに卷線間に靜電容量 C_c があり、卷線と大地間にも靜電容量 C_g があるので、之れを圖示すると Fig 12 の如くになる。之れが實際に近い狀態である。卷線各部の電位分布を研究するやうな場合には此のやうな等價回路に依らねばならない

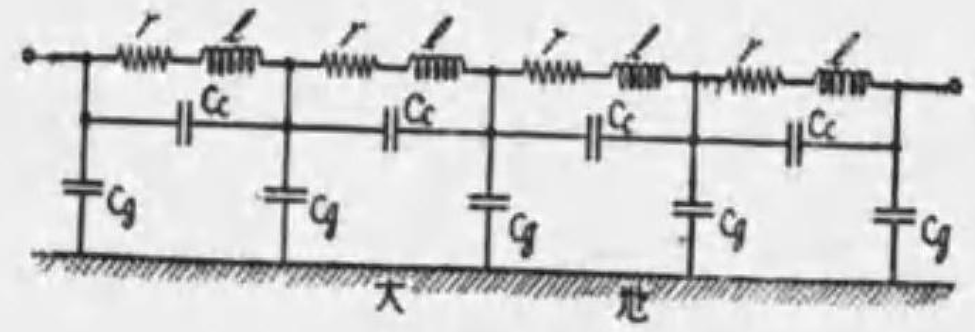


Fig 12

尤も雷電壓のやうな高周波數（f が甚だ大）の電壓が浸入したときの電位分布は $2\pi fl$, $1/2\pi fC$ の影響が大きいから r を無視して l と C_c 及 C_g の回路として考へてよい。

又、單に端子電壓とか電壓變動率を計算するやうな場合には、卷線の抵抗及インダクタンスが一ケ所に集つたものとし、普通の使用狀態では周波數は小さいから、靜電容量の影響を無視して、所謂、變壓器の等價回路（上卷 P63 參照）として簡單に計算される。

又 Fig 13 の如き蓄電器に純靜電容量 C と漏洩抵抗 ρ の並列回路として取扱ひ得るし、更らに、之れを抵抗 ρ' と靜電容量 C' の直列回路に直すことも出來る。

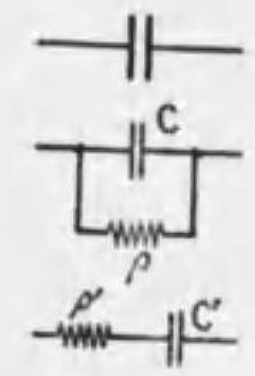


Fig 13

或は又 Fig 14 の如き回路計算問題があるとすれば、之れを實在回路として聯想すれば、(i) は抵抗とインダクタンスからなる誘導負荷回路とも考へられ、(ii) は之れが二つ並列にある場合とも考へられる（力率及容量の異る二つの誘導負荷の並列）(iii) は誘導負荷と無誘導負荷の並列回路、(iv) は誘導負荷に靜電蓄電器を並列として、力率を改善する回路とも考へられ、(v) は (i) の負荷に線路抵抗 r を通じて電力を供給する回路、(vi) は (iv) の負荷に抵抗 r, インダクタンス l なる線路を通じて給電する場合とも考へられる。

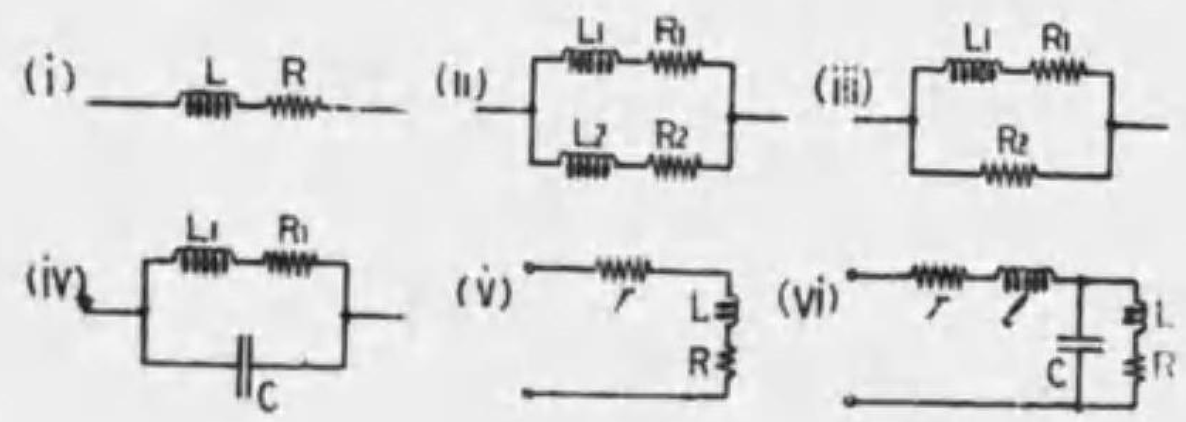


Fig 14

斯樣に、回路計算問題を解くに當つては、實在回路を聯想し、其の取扱ひに習熟して置けば實在回路を容易に等價回路に導き得る手腕が自然と具備されるやうになり、直流回路の處で述べたやうに、活眼ある實際エンヂニヤーとなられやう切に活學習を祈つて止まない。

第一部　直流回路

(I)　直流回路の基礎解法

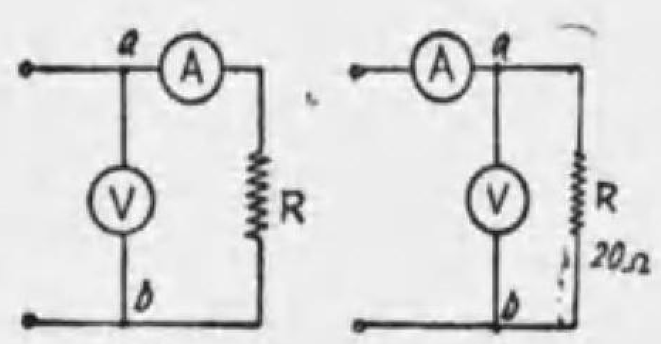
(1)　オームの法則

電氣計算の根本となるべきもので、1827 年、Georg（ゲオルグ） Simon（ジモン） Ohm（オーム） 氏が發見したものである。即ち抵抗（R オーム）を有する回路に電壓（E ヴオルト）を加へたる時流れる電流（I アムペア）は

$$I=\frac{E}{R} \quad \cdots\cdots(1)$$

從つて　$E=IR$　又　$R=E/I$　で表はされる事になる。實用上電壓は電壓計にて電流は電流計で測定し得られるから、電氣抵抗はこの兩計器の讀みから求める事が出來る。

〔例〕　第 1 圖 (A) の如く電壓計及び電流計を接續し R の抵抗を測定せんとしたるに、電流計の讀み 5A, 電壓計の讀み 102.5V なる時、R は何オームであるか。但し電流計電壓計の抵抗を夫々 0.5 及び 500 オーム (Ω) とする。



(A)　(B)

第 1 圖

解答　簡單に計器の讀みから考へると

$$R=\frac{102.5}{5}=20.5\ \Omega$$

となる。然し注意深く考察すると電壓計は R なる抵抗及び電流計に於ける電壓降下の和を指示するので、正確に R を求めるには

$$R=〔ab\ 間の抵抗〕-〔電流計の抵抗〕$$

$$=\frac{102.5}{5}-0.5=20\Omega$$

となる。

〔例〕　次に第 1 圖 (B) の樣に結線した時電壓計は丁度 100 V を指示したといふ。電流計の指示は幾アムペアか。

解答　これも單純に考へると

$$I=\frac{E}{R}=\frac{10}{20}=5\,A$$

となる。然し正確に云ふと電流計は抵抗 (R) に流れる電流と電壓計に流れる電流との和を示す譯である。それで電壓計を通する電流は　$\frac{100}{500}=0.2A$　從つて電流計の讀みは　$5+0.2=5.2A$　となる筈である。

(2)　電氣抵抗

回路計算に這入る迄に電氣抵抗の性質を少しく調べてみやう、

❶　導体の電氣抵抗は ρ を導体物質の固有抵抗、L を長さ、S を切斷面積とすれば

$$R=\rho\frac{L}{S} \quad \cdots\cdots(2)$$

で表はされる。吾人が最も多く使用する銅線の固有抵抗（長さ 1m 切斷面積 $1mm^2$）は標準軟銅線では $1/58\ \Omega$, 配電線等に使用する硬銅線は $1/55\ \Omega$ と考へればよい

〔註〕固有抵抗を表はすに $1cm^2$ に對する抵抗即ち $L=1cm$, $S=1cm^2$ とした時、換言すれば 1cm 立方の兩對面間の抵抗を以てする場合も多い。

〔例〕　4mm 硬銅線の長さ 300m に對する抵抗を求む。

解答　直徑 $d=4mm$ の切斷面積は

〔圓周率〕×〔半徑〕²

$$\therefore\ A=\pi\times\left(\frac{d}{2}\right)^2=\frac{\pi d^2}{4}=\frac{3.1416\times16}{4}\fallingdotseq12.6\ mm^2$$

$$\therefore\ R=\frac{1}{55}\times\frac{300}{12.6}\fallingdotseq0.433\ \Omega$$

❷　導体の抵抗は溫度によつて多少增減するものである。即ち溫度 1°C の變化に對して抵抗の增減する割合を表はす率を、**抵抗の溫度係數**と稱する。或る金屬線があつて 0°C に於ける抵抗は $R_0\,\Omega$ とすると、t°C に於ける抵抗 R_t は

$$R_t=R_0(1+\alpha t) \quad \cdots\cdots(3)$$

〔註〕正確に云ふと溫度係數 α の値は其の溫度にても幾分違つてくる。

〔例〕　銅線の溫度係數 $\alpha=0.00427$（0°C に於て）である。0°C に於て 100 Ω を有する銅線の 20° C に於ける抵抗は何程か。

解答　$R=100(1+0.00427\times20)=108.54\Omega$

上例の樣に金屬類の抵抗は溫度の上昇と共に增加するが（タングステン電球の纖條の如く非常に高溫度のものは (3) の如き一次式では表はせない）電解液や炭素等は溫度の上昇と共に抵抗は減ずるものである。金屬の樣に溫度上昇と共に抵抗の增加するものを溫度係數が正（+）であるといひ、減ずるものを溫度係數は負（−）であると稱する。又コンスタンタン、マンガニン等の合金の溫度係數は大体零と見做し得る。

❸　電氣機器の捲線の溫度上昇は其の抵抗の增加を測定し、之より間接的に求め得る。茲に 0°C に於て R_0 の抵抗を有する銅線があるとする。今 t_1°C に於ける抵抗を R_1 とし溫度上昇後の溫度を t_2°C 其の抵抗を R_2 とすれば

$$R_1=R_0(1+0.00427\,t_1)$$

$$R_2=R_0(1+0.00427\,t_2)$$

兩式の比をとつて

$$\frac{R_2}{R_1}=\frac{1+0.00427\,t_2}{1+0.00427\,t_1}\qquad \frac{R_2-R_1}{R_1}=\frac{0.00427(t_2-t_1)}{1+0.00427\,t_1}$$

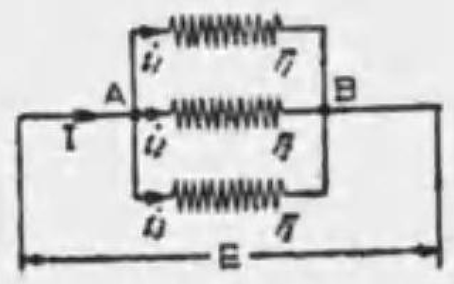
$$\therefore\quad t_2-t_1=\frac{R_2-R_1}{R_1}\times\frac{1+0.00427\,t_1}{0.00427}=\frac{R_2-R_1}{R_1}\times(234.5+t_1)\cdots(4)$$

(3) 抵抗の合成

❶ 直列接續 各抵抗が $r_1,\ r_2,\ r_3$ なる場合これを直列 (Series) に接續すればその合成抵抗 (R) は各抵抗の和となる。即ち

$$R=r_1+r_2+r_3\cdots\cdots\cdots(5)$$

❷ 並列接續 次に第2圖の樣に並列 (parallel) に接續し、兩端 AB 間に EV を加へたならば、電流は各抵抗に分流して流れる。圖から明かな樣に



第 2 圖

$$i_1=\frac{E}{r_1}\qquad i_2=\frac{E}{r_2}\qquad i_3=\frac{E}{r_3}$$

であつて、回路全体の電流 I A となるから

$$I=i_1+i_2+i_3=\frac{E}{r_1}+\frac{E}{r_2}+\frac{E}{r_3}=E\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right)\cdots\cdots(a)$$

他方合成抵抗を R とすれば

$$I=\frac{E}{R}=E\frac{1}{R}\cdots\cdots\cdots(b)$$

そこで (a) と (b) を比較して見ると

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\cdots\cdots\cdots(6)$$

書き替へると

$$\therefore\quad R=\frac{1}{\dfrac{1}{r_1}+\dfrac{1}{r_2}+\dfrac{1}{r_3}}$$

而して、回路計算に於て抵抗が 2 個或は 3 個位が並列にある場合、これが合成抵抗は (6) 式に一々當嵌めて計算する樣では實戰裡では遲鈍の謗を免れぬ。即ち 2 個のときは

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}=\frac{r_1+r_2}{r_1 r_2}$$

$$\therefore\quad R=\frac{r_1 r_2}{r_1+r_2}=\frac{〔2\text{ 抵抗の積}〕}{〔2\text{ 抵抗の和}〕}\cdots\cdots\cdots(c)$$

3 個の場合は

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}=\frac{r_2r_3+r_3r_1+r_1r_2}{r_1 r_2 r_3}$$

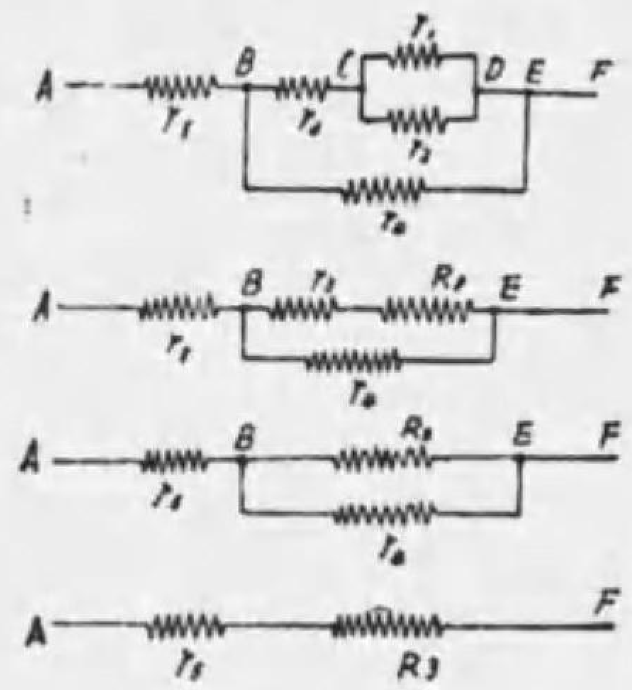
$$\therefore\quad R=\frac{r_1r_2r_3}{r_1r_2+r_2r_3+r_3r_1}=\frac{〔3\text{ 抵抗の相乘積}〕}{〔\text{任意の 2 つ宛の積の和}〕}\cdots\cdots(d)$$

となる。さて、(c) (d) に於て各抵抗が相等しければ合成抵抗は夫々

$$\frac{r^2}{2r}=\frac{1}{2}r,\qquad \frac{r^3}{3r^2}=\frac{1}{3}r\quad \text{となるから}$$

之を推し擴げて $r\Omega$ の抵抗が n 個並列に接續される時の合成抵抗は $r/n\ \Omega$ となる。

❸ 直並列接續 第 3 圖の如く $r_1=10\Omega,\ r_2=15\Omega,\ r_3=14\Omega,\ r_4=30\Omega,\ r_5=13\Omega$ を直並列 (Series-parallel) に接續した場合、その合成抵抗を求めて見やう。



第 3 圖

第3圖に示す樣に段々と網狀回路を簡單にしなければならぬ。

先づ r_1 と r_2 は並列であるからこれの合成抵抗 (R_1) は

$$R_1=\frac{10\times15}{10+15}=6\Omega$$

R_1 と r_3 は直列に結ばれてゐるから、此の部分の合成抵抗 (R_2) は

$$R_2=R_1+r_3=6+14=20\ \Omega$$

R_2 と r_4 は並列にあるので、これが合成抵抗 (R_3) は

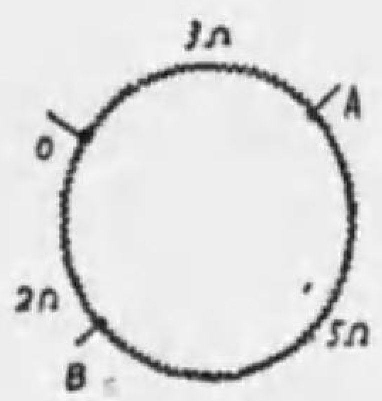
$$R_3=\frac{20\times30}{20+30}=12\ \Omega$$

最後に全体の合成抵抗 r_5 と R_3 の和であるから

$$R=13+12=25\ \Omega$$

となる。

〔例〕 第4圖の如き環狀回路に於て 0−A, 0−B 端子間より見たる合成抵抗を求めよ。



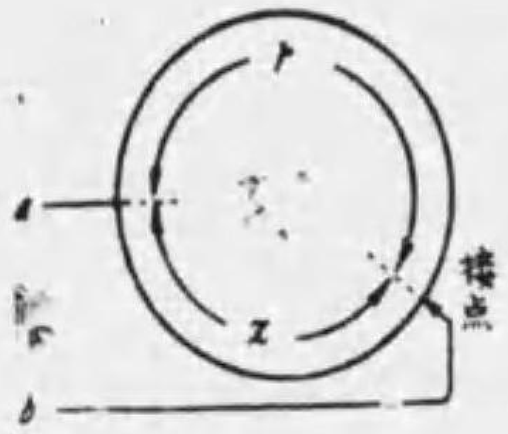
第 4 圖

解答

$$R_{0A}=\frac{1}{\dfrac{1}{3}+\dfrac{1}{5+2}}=\frac{3\times7}{3+7}=\frac{21}{10}=2.1\ \Omega$$

$$R_{0B}=\frac{1}{\dfrac{1}{2}+\dfrac{1}{5+3}}=\frac{2\times8}{2+8}=\frac{16}{10}=1.6\ \Omega$$

〔例〕 第5圖の如く一樣な抵抗を有する環狀抵抗線がある。a 端子は固定され b 端子が可動なる場合、b を動かして此の回路の全抵抗を最大ならしめる爲には b 點をどの位置に置くべきか。



第 5 圖

解 答　環狀抵抗線の全抵抗（R）を圖の樣に r と x とに分けると、端子 ab 間の抵抗 R_{ab} は

$$R_{ab}=\frac{1}{\frac{1}{r}+\frac{1}{x}}=\frac{xr}{x+r}=\frac{xr}{R}$$

然るに代數學に於て "2 數の和が常に一定なる場合、2 數が相等しい時其の積は最大となる" との理に基き（「電氣技術用基礎學」P131 以下參照）

$x=r$ 換言すれば、R を半分する中央に接點を置けば合成抵抗は最大となるを知る。

而して此の時の合成抵抗は R/2 が 2 個並列になつたのであるから結局 R/4Ω となる。

〔例〕 R_1, R_2 なる 2 つの未知抵抗がある。今これを直列にして 18 V の電源に結びたるに 2A が流れ、次に之を並列にして同一電源に結びたるに 9A 流れたと云ふ R_1, R_2 の値を求めよ。

解 答　直列に結んだ時の合成抵抗は（オームの法則から）

$$R_1+R_2=\frac{18}{2}=9 \quad\cdots\cdots\cdots(a)$$

並列に結んだ時の合成抵抗は

$$\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}=\frac{18}{9}=2 \quad\cdots\cdots\cdots(b)$$

(a) 式から　$R_2=9-R_1$　これを (b) に代入すると

$$\frac{R_1(9-R_1)}{R_1+(9-R_1)}=2 \qquad \frac{9R_1-R_1^2}{9}=2$$

$$\therefore\quad -R_1^2+9R_1-18=0$$

この一元二次方程式を解けば

$$\therefore\quad R_1=\frac{-9\pm\sqrt{9^2-4\times(-1)\times(-18)}}{-2}$$

$$=\frac{-9\pm\sqrt{81-72}}{-2}=\frac{-9\pm3}{-2}=3 \text{ or } 6$$

即ち R_1 が 3Ω なる時は R_2 は 6Ω, 若し R_1 が 6Ω とすれば R_2 は 3Ω である。

〔註〕 二次方程式によらずに、解く方法は「電氣用應用數學講義」P17～18 を參照されたい。

(4) 複雑な回路の合成抵抗

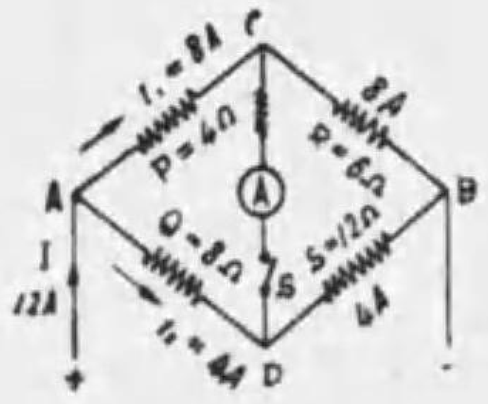
合成抵抗を求める場合、大抵は直並列法を活用する事によつて求め得らるる譯

だが、此の要領で計算をなす場合、繁雜な手數と長い時間を要し、時には解答さへも求め難い場合も起る。そこで何等かの別手段によつて解決を圖らねばならぬ

網狀回路に於て同電位點を連結するも合成抵抗は變化しない。

合成抵抗が變化しないと云ふ事は結局回路の電流分布にも何等の變化を來たさないと云ふ事である。第 6 圖に示す如くホイートストン・ブリツヂの回路の形成するものに於て、開閉器 S を閉ぢても電流計の指示が零なれば C, D 兩點の電位は相等しいことになる。

〔註〕 圖に於ける電流分布は後述するが回路の抵抗に反比例して流れるものである。



第 6 圖

扨て、圖に於て、AC 間の電壓降下 (i_1P) は

$$8\times4=32\text{ V}$$

AD 間の電壓降下も當然

$$4\times8=32\text{ V}$$

となり、CD 點は同電位となる事が知れる。即ち、S なる開閉器を閉ぢても開いても、AB 間の合成抵抗は變らぬ筈である。

❶ S を開いた場合（第 7 圖 (A) 參照）

4+6=10Ω と 8+12=20Ω とが並列にある故に

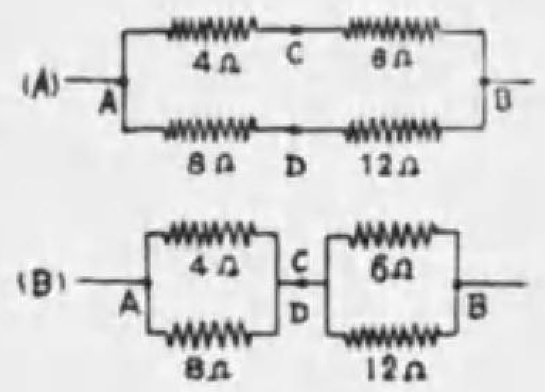
$$R_{AB}=\frac{10\times20}{10+20}=\frac{200}{30}=6.67\Omega \quad\cdots\cdots\cdots(a)$$

❷ S を閉ぢた場合（第 7 圖 (B) 參照）

4Ω と 8Ω の並列回路と 6Ω と 12Ω とが並列になつた回路の夫々が直列に結ばれた事になるから

$$R_{AB}=\frac{4\times8}{4+8}+\frac{6\times12}{6+12}=\frac{32}{12}+\frac{72}{18}$$

$$=\frac{96+144}{36}=6.67\Omega \quad\cdots\cdots\cdots(b)$$



第 7 圖

即ち (a) と (b) が相等しい結果から同一電位點を結んでも差支へない事が知れる。之が應用は回路計算を簡單になし得る有力な武器である。

〔註〕 ホヰートストンブリツヂの原理は各方面に應用されるもので、前述の樣に CD 點が同電位となるためには P×S=Q×R(4×12=8×6) の關係が必ず成立する。詳細は受驗「テキスト」測定篇或は技術講座第二卷 P226 を參照されたい。

兩端子間に於ける電壓降下と回路の全電流より合成抵抗を求め得る。

これはオームの法則を云ひ換へたゞけであつて、別段目新しいものではない。第 6 圖に於て ACB 回路の電壓降下 (V_{AB}) は

$$V_{AB}=i_1P+i_1R=8(4+6)=80\,\mathrm{V} \quad \cdots\cdots\cdots(a)$$

他方回路の合成抵抗を R_{AB} とし、この R_{AB} に流れる電流を I とすれば、
$IR_{AB}=V_{AB}$ なる關係がある筈である。

$$V_{AB}=IR_{AB}=12\times R_{AB} \quad \cdots\cdots\cdots(b)$$

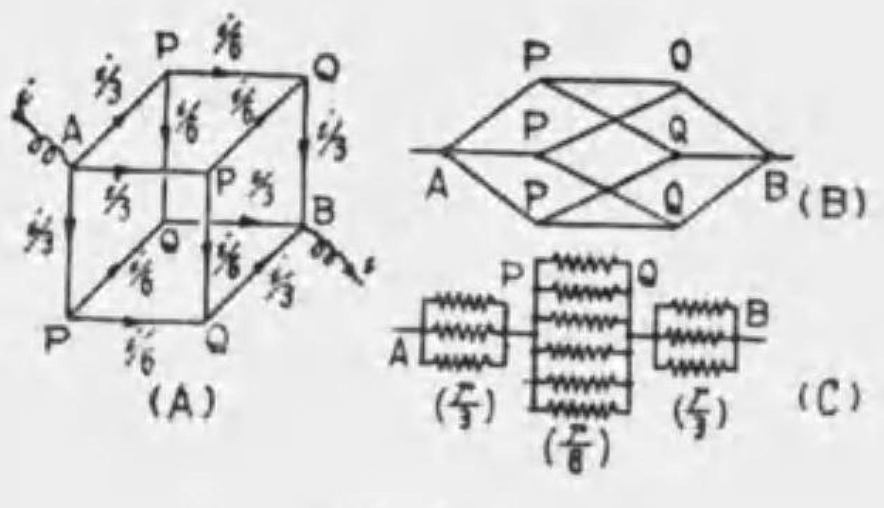
而して、(a)=(b) であるから

$$80=12\times R_{AB}$$

$$\therefore\ R_{AB}=\frac{80}{12}=6.67\,\Omega$$

即ち回路の局部部分に於ける電流及び抵抗が判つて居れで斯樣な手段に依つても求め得られる。

【例】 第 8 圖の如く $r\,\Omega$ を有する相等しき 12 本の導体を正立方体に組合した場合、AB 間に於ける合成抵抗を計算せよ（昭和9年3種一次）



第 8 圖

解 答 ❶ 判り易い樣に (A) 圖を (B) 圖の樣に書直す然して電流の分布狀態から P 及び Q 点の電位は夫々相等しいから、之を結ぶと (C) 圖の樣に書き直し得る。

故に合成抵抗 R_{AB} は

$$R_{AB}=\frac{r}{3}+\frac{r}{6}+\frac{r}{3}=\frac{2r+r+2r}{6}=\frac{5}{6}r\,\Omega$$

となる。

❷ 次に端子 A より B に至る任意の回路 APQB 間に起る電壓降下（結局端子電壓に相等しい）は

$$E=\frac{i}{3}r+\frac{i}{6}r+\frac{i}{3}r=\frac{2i+i+2i}{6}=\frac{5}{6}ir$$

合成抵抗を R_{AB} とすれば

$$R_{AB}=\frac{E}{i}=\frac{5}{6}ir/i=\frac{5}{6}r\,\Omega$$

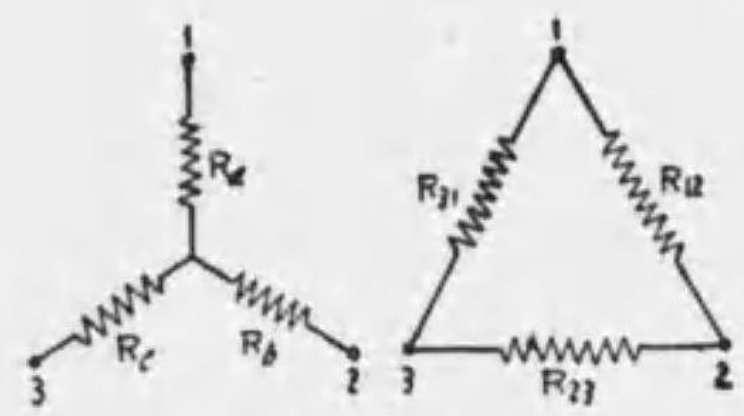
(5) 抵抗の Y（スター）― △（デルター）換算法

第 9 圖に於て前節に述べた樣に $r_1r_4=r_2r_3$ の關係があれば、CD 兩点は同電位にあるから其の合成抵抗の計算は容易に出來る。然し r_5 なる抵抗が橋絡されて CD 兩点が同一電位にない場合、その合成抵抗を直並列法で求める事は困難である。

第 9 圖

そこで若し三角形に接續された抵抗（交流の場合のインピーダンスでも）を之と等價な星形接續に置き換へ得れば後は直並列法によつて計算を進め得る。

扨て此の等價と云ふ意味は、第 10 圖に示す樣に星形三角形接續の何れに於ても 1, 2, 3 の各端子間に於ける抵抗（インピーダンスでも）が全く同一であると云ふことである。今三角形に結ばれた R_{12}, R_{23}, R_{31} の抵抗が星形結線の R_a, R_b, R_c の抵抗に等價である爲には次の關係が成立しなければならぬ。



第 10 圖

端子 1―2 間に於ける合成抵抗は ① 星形の場合は、R_a と R_b とが直列にあり、② 三角形の場合は R_{12} と $(R_{23}+R_{31})$ とが並列にある。故に

$$R_a+R_b=\frac{1}{\frac{1}{R_{12}}+\frac{1}{R_{23}+R_{31}}}=\frac{R_{12}(R_{23}+R_{31})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \quad \cdots\cdots\cdots(1)$$

端子 2―3 間では

$$R_b+R_c=\frac{1}{\frac{1}{R_{23}}+\frac{1}{R_{31}+R_{12}}}=\frac{R_{23}(R_{31}+R_{12})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

端子 3―1 間では

$$R_c+R_a=\frac{1}{\frac{1}{R_{31}}+\frac{1}{R_{12}+R_{23}}}=\frac{R_{31}(R_{12}+R_{23})}{R_{12}+R_{23}+R_{31}} \quad \cdots\cdots\cdots(3)$$

即ち上の 3 つの聯立方程式を解き、R_a, R_b, R_c を求むればよい。

（電氣應用數學講義 P19～21 を參照されたい）

$$R_a=\frac{(1)-(2)+(3)}{2}=\frac{R_{31}R_{12}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

$$R_b=\frac{(2)-(3)+(1)}{2}=\frac{R_{12}R_{23}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

$$R_c=\frac{(3)-(1)+(2)}{2}=\frac{R_{23}R_{31}}{R_{12}+R_{23}+R_{31}}$$

この換算式を記憶する場合、各自が端子 1, 2, 3 と各抵抗の取り方、順序を明確に決めておくと非常に便利である。上式からも知れる樣に分母は何れも

$R_{12}+R_{23}+R_{31}$（三角形に結ばれた抵抗の總和）である。然して (1) (2) (3) の如く全く對稱な循環形をなした方程式の答は當然對稱なる循環形をなした値をとるから R_a を先づ求めたならば R_b, R_c は計算せずとも脚標（R_{12} R_{23} 等の小文字）を間違へない樣に循環的に變へればよい。若し三角形に結ばれた抵抗が相等

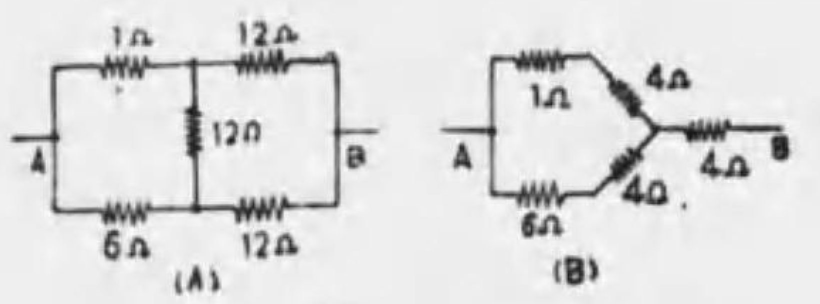
しい場合之を等價な星形に換算すると

$R_{12}=R_{23}=R_{31}=R_\triangle \qquad R_a=R_b=R_c=R_Y$ 　とすれば

$$R_Y=\frac{R_\triangle^2}{3R_\triangle}=\frac{R_\triangle}{3}$$

即ち同じ抵抗が三角形に結ばれた時、之を星形に換算するには其の ⅓ をとればよい。

【例】 5 つの抵抗が第 11 圖の如く結ばれたる場合の合成抵抗を求めよ。



第 11 圖

解答 (A) 圖を見る時、12 Ω の抵抗が三角形に結ばれてゐる。之を星形に換算 (12/3=4オーム) すれば同圖 (B) の様になる。

從つて AB 間の合成抵抗 R_{AB} は

$$R_{AB}=\frac{(1+4)\ (6+4)}{(1+4)+(6+4)}+4=\frac{5\times10}{5+10}+4=\frac{50}{15}+4=7.33\ \Omega$$

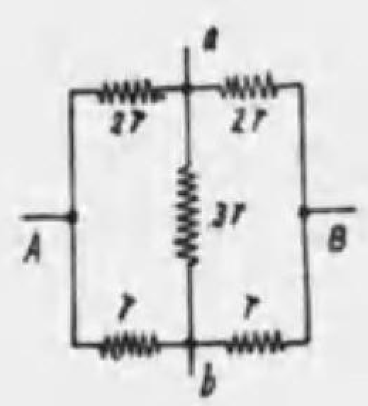
【例】 第 12 圖の如き回路に於て、① AB 間に於て測定せる抵抗と、② ab 間に於て測定せる抵抗と何れが大きいか。

解答 ❶ AB 間の抵抗を求める場合無條件に Y—△ 換算法を用ひる必要はない。よく吟味すると回路はホイートストン・ブリツヂの原理に依る平衡狀態にあるから 3r は考へる必要がない。從つて

$$R_{AB}=\frac{1}{\frac{1}{2r}+\frac{1}{4r}}=\frac{2r\times4r}{2r+4r}=\frac{8r^2}{6r}=\frac{4}{3}r\,\Omega$$

❷ 次に ab 間に於ては、3r が 3 つ並列になつてゐるのであるから

$$R_{ab}=\frac{3r}{3}=r\ \Omega$$



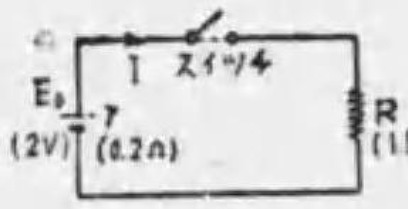
第 12 圖

となる。從つて AB 間にて測定したる抵抗が ab 間にて測定したものより ⅓ Ω だけ大きい。

(I) 電池の接續

(6) 電池の内部抵抗

第 13 圖の如く起電力 E_0 (V), 内部抵抗 r Ω を有する電池の端子に抵抗 RΩ を結ぶ時、この回路に通ずる電流を I(A) とすれば、R にはオームの法則により IR=E (V) の電壓が消費され、又電池にも内部抵抗により Ir (V)…(内部降下)



第 13 圖

が消費される。從つて此の回路に必要な電壓は E+Ir で、これだけの電壓が電池で起される所謂起電力に等しくなければならぬ。

$$E_0=E+Ir$$

$$\therefore\ E=E_0-Ir\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(a)$$

即ち電池の起電力が E_0 (V) あつても電流が流れ出すと Ir (V) だけ電壓が降下し外部には E (V) しか作用しないことになる。此の關係は直流發電機の誘導起電力と端子電壓の相互關係にも同様に當嵌め得る。

今 $E_0=2$(V) $r=0.2\Omega$ $R=1.8\Omega$ とすれば、回路の電流 I は

$$I=\frac{2}{1.8+0.2}=\frac{2}{2}=1\ A$$

電池の端子電壓即ち R の兩端に働く電壓は (a) 式より次の様になる。

$$E=2-1\times0.2=1.8\ V$$

從つて又 　$I=E/R=1.8/1.8=1$ A

からも電流を求め得る譯である。

〔註〕電池の内部抵抗とは、陽極板—電解液—陰極板 の間にある抵抗の事で、この値は一次電池、蓄電池の別により異るし、又電池容量の大さ等によつても相違するものであるが出來るだけ小さい値でなければならぬ。

(例) 起電力 2V の蓄電池がある。5A を取出す時、その端子電壓は 1.8V となる。今端子電壓を 1.6V 以上に保持して出來るだけ大きな電流を取出さんとする。この時の最大許容電流は幾アムペアか。

解答 内部抵抗を r とすれば (a) 式から

$$1.8=2-5\times r \qquad \therefore\ r=\frac{2-1.8}{5}=0.04\ \Omega$$

又 (a) 式を變形すると

$I=\dfrac{E_0-E}{r}$ となるから之に數値を代入すると、流し得る最大電流 (I_m) は

$$I_m=\frac{2-1.6}{0.04}=10\,A$$ 　となる。

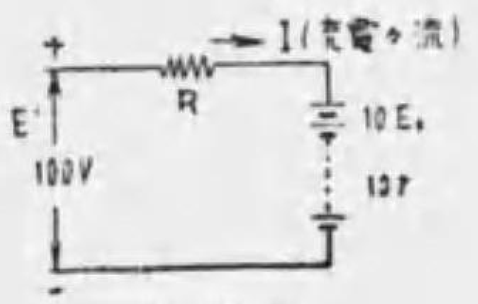
(7) 電池の直列結合

電池 1 個の起電力を E_0, 内部抵抗を r とし n 個の電池を直列に接續すれば全起電力は nE, 而して全内部抵抗は nr となる。故に此の組合せたる電池群を起電力 nE, 内部抵抗 nr なる 1 個の假想的電池と考へると前節の (a) 式はその儘使用出來る。

この電池群の兩端を外部抵抗 R Ω に連結すると、流れる電流 I は次の如くなる。

$$I=\frac{nE_0}{R+nr}\cdots\cdots\cdots\cdots(a')$$

（例） 起電力 1.8V, 内部抵抗 0.02Ω の蓄電池 10 個を直列に接續し、100 V の電源より 5A の電流を以て此の電池を充電しやうとする。電池に直列に接續すべき抵抗の値は何程か。



第 14 圖

解 答 電池を充電する場合は電池の起電力に打勝つて電流を流すのであるから

$$I=\frac{E'-(10\times E_0)}{R+10r}$$

$$E'=10\times E_0+I(R+10r)$$

$$\therefore\ IR=E'-10\times E_0-10rI$$

$$\therefore\ R=\frac{E'-10\times E_0-10rI}{I}=\frac{100-18-1}{5}=16.2\ \Omega$$

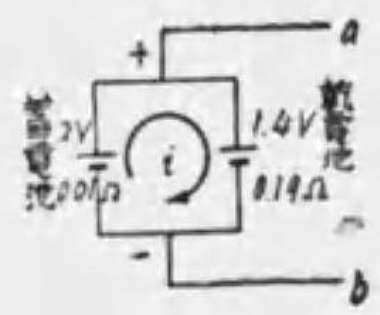
(8) 電池の並列結合

起電力 E_0, 内部抵抗 r の電池 n 個を並列に結べば、端子（＋）（－）間の起電力は矢張り E_0 であるが、内部抵抗は r が n 個並列に結ばれた事となるので合成内部抵抗は r/n となる。依つてこの組合せ電池は起電力 E_0, 内部抵抗 r/n なる 1 個の假想的電池と見做し得るので、此の電池群の（＋）（－）兩端に外部抵抗 RΩ を連結すると回路の電流 I は

$$I=\frac{E_0}{R+r/n}\quad\text{又は}\quad\frac{nE_0}{nR+r}\cdots\cdots\cdots\cdots(b)$$

となる。

（例） 起電力及び内部抵抗が夫々 2(V), 0.01Ω の電池を並列に結んだ場合、端子 1.4(V), 0.19Ω a b に現はれる電位差何程か。



第 15 圖

解 答 兩電池の起電力の差により矢の方向に i なる循環電流が通ずる。

$$i=\frac{2-1.4}{0.01+0.19}=\frac{0.6}{0.2}=3\ \text{A}$$

從つて蓄電池の端子電壓(E_1)――ab 間の電位差――

$$E_1=2-3\times0.01=1.97\ \text{V}$$

となり、乾電池と並列に結ばざる方が寧ろ外部に對して大なる電流を流し得ることになる。ab 端に外部抵抗を結びたる時の各部に流れる電流に就ては後節で詳述するとしやう。

一方乾電池には逆方向の電流が流れるので

$$E_2=1.4+3\times0.19=1.97\text{V}$$

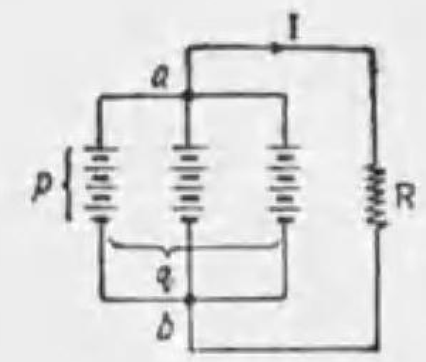
となり（これは兩電池の（＋）（－）が結合されてゐるから當然なことである）乾電池は遂に破損するに至るであらう。依つて起電力の違ふ電池を並列に結ぶことは避けな

ければならぬ。

(9) 電池の直並列結合

前と同じく起電力 E_0, 内部抵抗 r の電池群を p 個直列に、q 組を並列に接續し之を外部抵抗 R なる導線を以て結べば R に流れる電流 I は

$$I=\frac{pE_0}{R+\frac{p}{q}r}\cdots\cdots\cdots\cdots(c)$$



第 16 圖

にて表はされる。何故なれば電池群の ab 端子に於ける起電力は pE_0 で、内部抵抗は pr のものが q 個並列になつてゐるから合成内部抵抗は pr/q となるによる。

今電池總數を n とすれば n=pq であるから (c) 式は

$$I=\frac{nE}{qr+pr}\cdots\cdots\cdots\cdots(c')$$

となる。

（讀者各位はペンを以て (c) より (c') を導いて戴きたい）

（例） 蓄電池 90 個を直列に接續し、外部抵抗 2Ω を有する電路に使用する場合と、之を 30 個直列にしたるものを 3 組並列に接續して同電路に使用する場合とは、其の電路に流るゝ電流は後者の方が前者の 1.5 倍なりと云ふ。蓄電池 1 個の内部抵抗幾オームか。（遞試既往問題）

解 答 90 個直列の場合の電流 I_1 は

$$I_1=\frac{90E_0}{2+90r}$$

（但し電池 1 個の起電力を E_0 V, 内部抵抗を rΩ とする）

次に 30 個直列のもの 3 組並列の場合の電流を I_2 とすれば

$$I_2=\frac{30E}{2+{}^{30}\!/_{3}\,r}$$

然るに $I_2=1.5I_1$ であるから

$$1.5\times\frac{90E_0}{2+90r}=\frac{30E_0}{2+{}^{30}\!/_{3}\,r}=\frac{90E_0}{6+30r}$$

$$1.5\times\frac{1}{2+90r}=\frac{1}{6+30r}\qquad 1.5\times\frac{6+30r}{2+90r}=1$$

$$1.5\times(6+30r)=2+90r$$

$$9+45r=2+90r\qquad 7=45r$$

$$\therefore\ r=\frac{7}{45}=0.156\ \Omega$$

(10)　最大電流を得る電池群の結合法

電池の總數 n. 起電力 E_0. 内部抵抗 r 及び外部抵抗 R が既知の場合、外部回路に最大電流を通ぜんとするには p（直列の數）及び q（並列の組）を如何に選ぶべきかを考察しやう。さて (c′) 式の

$$I=\frac{nE_0}{qR+pr}$$

に於て分子 nE_0 は一定であるから I を最大にするには分母の $qR+pr$ を最小としなければならぬ。

而して、代數學に於て〃2 數の積が常數なる時、その和が最小なるためには、2 數の値は相等しくなければならぬ〃

（詳細は電氣技術講座第 1 卷第 1 部第 2 章 P131～133 を參照されたい）

從つて分母の積　$qR\times pr=(pq)Rr=nRr$　は一定である。

故に $qR=qr$ でなければならぬから

$$\therefore\ R=\frac{p}{q}r$$ （外部抵抗＝電池全体の内部抵抗）(d) の關係が導き得られる。

さて (d) 式より　$p=\frac{R}{r}q=\frac{R}{r}\times\frac{n}{p}$　($n=pq$ より)

$$\therefore\ p^2=\frac{R}{r}n\qquad\therefore\ p=\sqrt{\frac{R}{r}n}\ \cdots\cdots\cdots(e)$$

又　$q=n/p=\frac{n}{\sqrt{R/rn}}$

$$\therefore\ q^2=\frac{n^2}{\frac{R}{r}n}=\frac{nr}{R}$$

$$\therefore\ q=\sqrt{\frac{r}{R}n}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(e')$$

となる。されば

❶　外部抵抗が内部抵抗に比し遙かに大にして $R>nr$ なる時は直列に結合すれば最大電流が得られる。（直列に結合したる全内部抵抗 nr は R に最も近くなる）

❷　外部抵抗が内部抵抗に比し極めて小にして $R<r/n$ なる時は並列に結合すれば最大電流が得られる。（並列に結合すると全内部抵抗 r/n は R に最も近くなる）

❸　$r/n<R<nr$ の場合は (e) (e′) 式の與ふる様に、p 及び q を選べば最大電流が得られる。けれども p 及び q は常に整數を與へるものでないから、若し分數を與へる時は $n=pq$ を滿足する整數にし、而かも (e) (e′) 式を滿足するに最も近い p, q を選ぶべきである。

〔註〕電池群から最大電流を得る事は電池を經濟的に且つ有利に使用する意味ではない。

（Ⅱ）複雜な回路の電壓電流

(11)　直列回路の電壓

直列にされた各導線の兩端間の電壓は其の抵抗に比例する。

何んでも無いことであるが、第 17 圖の如く抵抗 r_1, r_2, r_3 が直列に接續され、之に一定電流 (I) が通するとき、オームの法則から

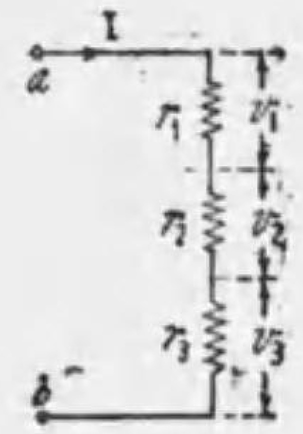
$$\frac{v_1}{r_1}=I,\quad\frac{v_2}{r_2}=I,\quad\frac{v_3}{r_3}=I$$

$$\therefore\ \frac{v_1}{r_1}=\frac{v}{r_2}=\frac{v_3}{r_3}$$

であるから

$$v_1:v_2:v_3=r_1:r_2:r_3$$

となり、題意の條件を說明する事が出來る。



第 17 圖

【例】 100V, 20W 電球を 200 V の回路に使用する場合、規定燭にて点する爲には何 Ω の抵抗を直列に挿入すべきか。

解答 挿入した抵抗によつて當然 100 V が費され無ければならぬ。換言すれば電球と同値の抵抗が必要な譯である。然るに電球の抵抗は

$$20=100\times I\qquad\therefore\ I=0.2\,A$$

從つて求める抵抗値　$R=\frac{100}{0.2}=500\,\Omega$ となる。

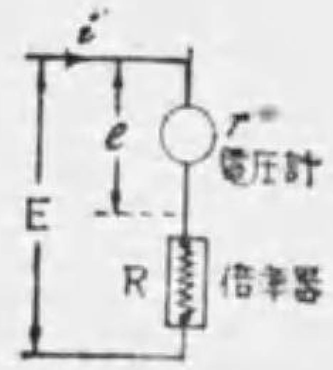
〔註〕 $R=E/I=\frac{E\times E}{I\times E}=\frac{E^2}{W}$　であるから　$R=\frac{100^2}{20}=500\Omega$ としても求められる。

(12)　倍率器の問題

倍率器、(multiplier)（マルチプライヤー）は電壓計の測定範圍を擴大する爲に使用されるもので、第 18 圖の如く電壓計に直列に接續する。併して

$$i=\frac{E}{R+r}$$

$$\therefore\ e=ir=E\frac{r}{R+r}\ \cdots\cdots(a)$$



第 18 圖

之 (a) より　$E=e\frac{R+r}{r}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(b)$

$$\therefore\ \frac{E}{e}=\frac{R+r}{r}=m$$（常數であつて之れを倍率と云ふ）

從つて　$R+r=mr$

$$\therefore\ R=mr-r=r(m-1)\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(c)$$

【例】 最大指示 150 V の電壓計を 600 V 回路に使用する際必要な倍率器の抵抗を求めよ。但し電壓計の抵抗は 3000 Ω とする。

解答 公式を其の儘用ひると

$$R=3000\times\left(\frac{600}{150}-1\right)=9000\ \Omega$$

となるが、公式の丸暗記は余り感心出來ぬ、そこで 150 V の場合 電壓計を通る電流 (i) は

$$i=\frac{150}{3000}=0.05\mathrm{A}$$

なる故　600−150=450 V　だけの電壓が倍率器にて降下しなければならぬから

$$\therefore\ R=\frac{450}{0.05}=9000\ \Omega$$ となる。

(13) 並列回路の電流

並列回路に流れる電流は各回路の抵抗に逆比例する。

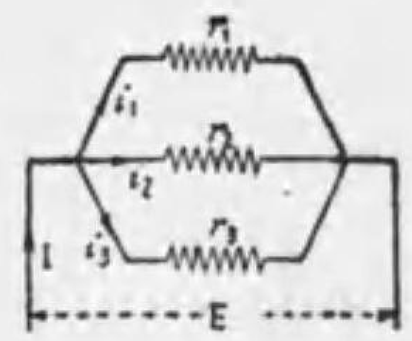
第 19 圖に於て、各導線の兩端子間の電壓を E, 抵抗を夫々 r_1, r_2, r_3 とすれば

$i_1r_1=E,\ \ i_2r_2=E,$

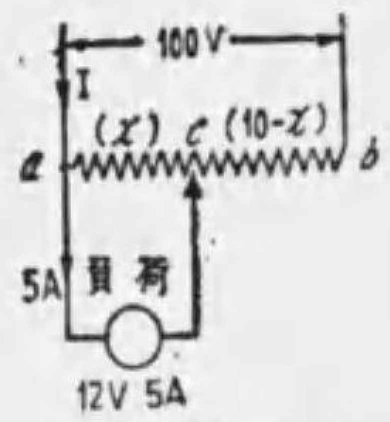
$i_3r_3=E \quad \therefore\ i_1r_1=i_2r_2=i_3r_3$

$$\therefore\ i_1 : i_2 : i_3=\frac{1}{r_1} : \frac{1}{r_2} : \frac{1}{r_3}$$

となる譯である。



第 19 圖



第 20 圖

【例】 端子電壓 12V, 5 A を必要とする負荷がある。今 100V の電源に 10Ω の抵抗を圖の如く接續してその目的を達せんとする。この場合 ac 間の抵抗を何オームとすべきか。(既往銓試問題改題)

解答 ac 間の抵抗を $x\Omega$ とすると bc 間の抵抗は $(10-x)\Omega$ である、又 bc 間の電壓降下は當然、100−12=88 V であるから

bc 間の電流は $\dfrac{88}{(10-x)}$ A

となるが、これは ac 間及び負荷電流 (5 A) の和であるから

$$\frac{88}{10-x}=\frac{12}{x}+5 \quad 整理して$$

$$5x^2+50x-120=0$$

一元二次方程式であるから之を解いて

$$x=\frac{-50\pm\sqrt{50^2-4\times5\times(-120)}}{2\times5}=\frac{-50\pm70}{10}=2\ \text{or}\ -12$$

負値は適當でないから、結局求める抵抗 x は 2Ω である。

(14) 分流器の問題

分岐回路に於て電流が抵抗に逆比例(反比例)して流れると云ふ原理を應用して電流計や檢流計 (galvanometer) の測定範圍を擴大する爲に用ひられるものを分流器 (shunt) と云ふ。第 21 圖の如く、電流計 (檢流計でも同樣) に並列に接續されるもので、今電流計に通ずる電流を i A とすると

第 21 圖

$$i=I\frac{R}{R+r} \qquad \therefore\ I=\frac{R+r}{R}i \ \cdots\cdots\cdots\cdots(a)$$

$$\therefore\ \frac{I}{i}=\frac{R+r}{R}=m \quad (m\cdots 常數で之れを倍率と云ふ)$$

然るに　$m=\dfrac{R+r}{R}=1+\dfrac{r}{R} \qquad m-1=\dfrac{r}{R}$

$$\therefore\ R=\frac{r}{m-1}\cdots(b) \quad \left(分流器抵抗=\frac{計器の抵抗}{倍率-1}\right)$$

として計算される。

【例】 最大指示 10A, その內抵抗 0.02 Ω を有する電流計がある。今 0.005Ω の抵抗を分流器として使用すれば何 A 迄測定出來るか。

解答 上の式をその儘用ひると

$$0.005=\frac{0.02}{x-1} \qquad 0.005(x-1)=0.02$$

$$\therefore\ x=\frac{0.02+0.005}{0.005}=5$$

即ち倍率は 5 倍であるから 50A 迄測定出來る。併して電流計が最大目盛 10 A を指示するから分流器には 40A 流れる勘定である。

〔註〕 測定し得る全電流を I とし、電流は分路の抵抗に逆比例するから次の關係が成立する。

$$10=I\times\frac{0.005}{0.02+0.005}$$

$$\therefore\ I=\frac{0.02+0.005}{0.005}\times10=50\mathrm{A}$$

(15) 電線路の電壓降下

第 22 圖

第 22 圖の如く、1 條の抵抗 $r\Omega$ の電線を以て、負荷 (電流=I) に供給する場合、電線路中の電壓降下 e は

$$e=2Ir$$

然るに　$r=\rho\dfrac{L}{S}$ (第 2 節電氣抵抗參照)

で表はされる。然るに硬銅線の固有抵抗 (長さ1m,

切斷面積 1mm²) は $\frac{1}{56} \sim \frac{1}{55}\,\Omega$ であるから次式の様になる。

〔註〕軟銅線なれば固有抵抗は約 1/58 Ω でよい

$$e=\frac{1}{55}\ \frac{2lL}{S} \qquad \cdots\cdots(a)$$

逆に最大許容電壓 e なる場合電線の所要太さ S は

$$S=\frac{1}{55}\ \frac{2lL}{e} \qquad \cdots\cdots(b)$$

但 L…亘長(m)　S…切斷面積(mm²)

例へば電源の電壓 103V にして、これより 60m 離れたる位置に 4kW の負荷（端子電壓 100V, 電流 40A）あり、今硬銅線2條を用ひて供給する場合必要なる電線の太さを決定せよ。

許容電壓降下は　$103-100=3\,V$

これを上式に代入すると

$$S=\frac{1}{55}\ \frac{2\times40\times60}{3}=28.55\ mm^2$$

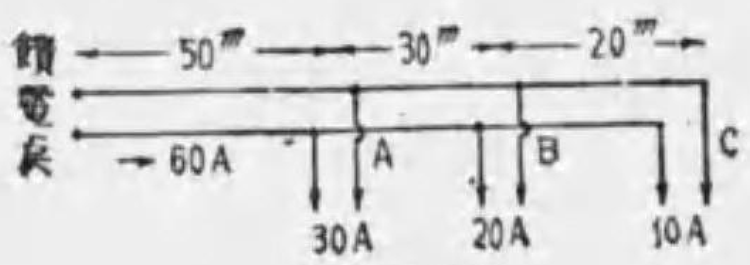
然るに電線の直徑を d とすれば

$$S=\frac{\pi d^2}{4} \text{ より } \quad d=\sqrt{\frac{4S}{\pi}}=\sqrt{\frac{4\times28.55}{3.14}}=\sqrt{36.37}\fallingdotseq 6\,mm$$

【例】直流 2 線式配電線路あり、電源の電壓 105 V ならば A 及び C 点に於ける線間電壓何程となるか。但し電線は 8 mm (1 km 當りの抵抗は 0.3536Ω) の硬銅線を使用するものとする。

解答　❶ A 点迄の電壓降下

$$e_A=2Ir=2\times(30+20+10)\times\frac{0.3536}{1000}\times50=2.1\ V$$



第 23 圖

❷ C 点迄の電壓降下 e_C は

$$e_C=2\times\frac{0.3536}{1000}\times(50\times60+30\times30+20\times10)=2.9\ V$$

故に

A 点の線間電壓 $=105-2.1=102.9V$

C 点の線間電壓 $=105-2.9=102.1\ V$

〔註〕A点迄の電壓降下率は　$2.1/102.9 \fallingdotseq 0.02=2\%$
　　　C点迄の電壓降下率　　$2.9/102.1 \fallingdotseq 0.028=2.8\%$

(16) キルヒホツフの法則

複雜な電氣回路の電流の分配（大さと方向）を求めるのにはキルヒホツフの法則 (kirchhoff's Law) を用ふるのが便利で、これに第 1, 及び第 2 の法則がある。これはオームの法則を敷延したに過ぎないのであるが、初心者の中には本法則を

複雜なもの、面倒なものと考へ、其の考察演算に未熟で實戰裡に臨んで失敗する人が多々あると聽く。何れにしても計算解法の巧拙は問題の正確な考案と數式運用の熟練に俟つものであることを附言する。

(A) 第 1 法則　分岐電路の一点に會する電流の代數的和は零である。

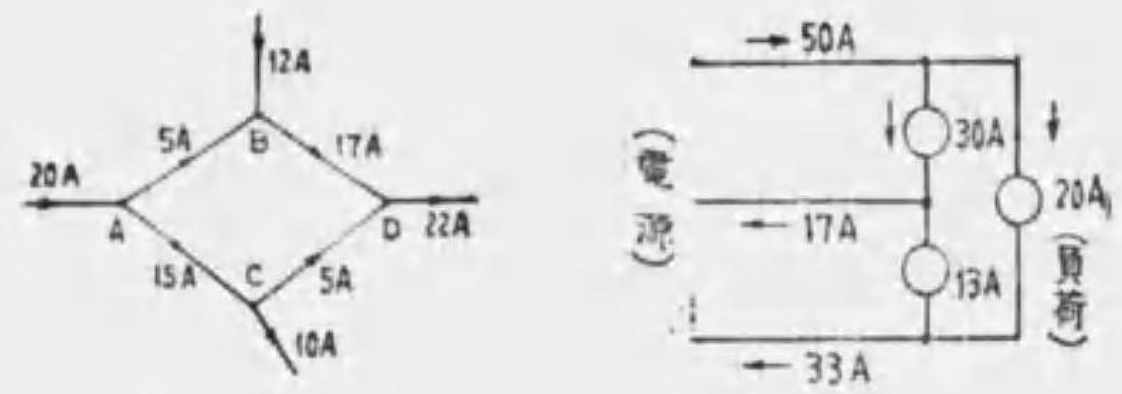
即ち電流は点に蓄積されること絶對に無く、流入する電流と流出する電流とは常に相等しいことを表はして居る。今流れ込む電流を正（＋）と考へ、流出する電流を負（－）の電流と考へると、各電流の總和は零となる。(第 24 圖參照)

$$i_1+i_2-i_3-i_4-i_5=0$$

$$\therefore\ i_1+i_2=i_3+i_4+i_5 \qquad \cdots\cdots(a)$$

第 24 圖

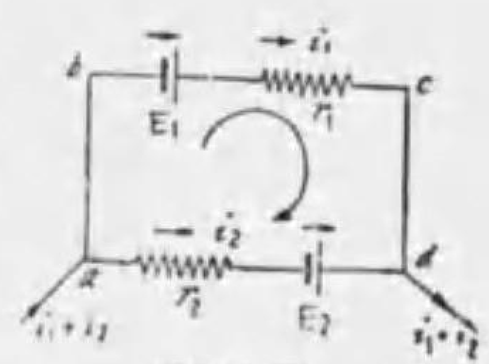
例へば第 25 圖の様な電路の電流分布も第2法則を活用することにより決定出來る。



第 25 圖

(B) 第 2 法則　任意の一閉回路に於て同一方向に取つた起電力の代數的總和は、電壓降下の代數的總和に等しい。

第 26 圖の a, b, c, d の閉電路に於て、起電力及び電壓降下の正の方向を矢の如く右廻りと假定する（左廻りとしてもよい。然しどの閉電路でも同じ方向に考へねばならぬ）先づ起電力 E_1 は矢と同方向に働く故に正、E_2 は反對方向に作用するから負となる。即ち起電力の代數的和は E_1-E_2 である。



第 26 圖

次に、r_1 に通ずる電流 i_1 は矢の方向と同じであるから r_1 による電壓降下 i_1r_1 は正、i_2 は矢と反對方向であるから電壓降下 i_2r_2 は負としなければならぬ。それで電壓降下の代數的和は $(i_1r_1-i_2r_2)$ となり結局第 2 法則は

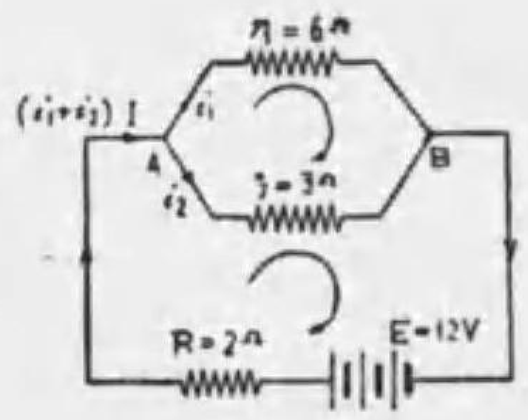
$$E_1-E_2=i_1r_1-i_2r_2 \qquad \cdots\cdots(b)$$

の如く書き表はされる。

キルヒホッフ法則の原理及應用に就ては、既に上卷で叢說した通りであつて、今更らに云ふことはないのだが、夫れでも尙、幾多の誤つた答案を拜見するので今一應、第一步から述べることゝした。同一方向に取ると云ふことを常に念頭に置いて解答されたい。

(17)　キルヒホッフ法則の應用

(i) 第 27 圖の如き回路に於て、各部の電流 i_1, i_2, I の値を求めて見る。



第 27 圖

先づ i_1, i_2, I の電流分布を圖の樣に假定する。さうすれば未知電流數は 3 つであるから 3 つの方程式が必要である。

第 1 法則を A 點に適用すると

$$i_1+i_2=I \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (a)$$

第 2 法則を適用するとき、閉回路は 3 つあるから、各々に就て考へてみる。

Ar_1BERA 回路　$r_1i_1+IR=E \cdots\cdots\cdots\cdots (b)$

Ar_2BERA 回路　$r_2i_2+IR=E \cdots\cdots\cdots\cdots (c)$

Ar_1Br_2A　回路　$r_1i_1-r_2i_2=0 \cdots\cdots\cdots\cdots (d)$

となり、4 つの方程式が出來たが適當なもの3つだけを選べばよい。計算を簡單にする爲には方程式の數は出來るだけ少い事が肝要だ。

茲に於て、I は (i_1+i_2) であるから、I を用ひずに、(i_1+i_2) で表はすと未知數は i_1, i_2 の 2 つとなる。從つて 2 つの聯立方程式を解けばよいことになる。

〔註〕 第 1 法則は假定電流の數を少くするのに必要である。又 (d) は (b)−(c) から誘出されるから (b) (c) (d) の內何れか 2 つを選べばよい。

それで (b) 式を書直して

$$r_1i_1+R(i_1+i_2)=E \cdots\cdots\cdots\cdots (b')$$

(d) 式をもう 1 つの方程式に撰定して、各式に抵抗並に電壓の數値を代入すると

$6i_1+2(i_1+i_2)=12$　書換へて

$$8i_1+2i_2=12 \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

(d) より　$6i_1-3i_2=0 \cdots\cdots\cdots\cdots ②$

結局この ① ② の聯立方程式を解けばよいのであつて、

② 式より　$i_2=\dfrac{6}{3}i_1=2i_1$

これを ① に代入すると

$8i_1+2(2i_1)=12$　即ち　$12i_1=12$　となるから　$i_1=1A$

從つて　$i_2=2i_1$　より　$i_2=2A$　　更に　$I=i_1+i_2$　より　$I=3A$

となる。併して i_1, i_2, I は何れも正値であるから電流は最初假定した方向に流れる事が判る。

〔註〕 キルヒホッフの第二法則はオームの法則を廣い範圍に延ばして考へたもので、只各部の電流が相違する場合、直接オームの法則を以て計算出來ないので此の法則を用ひるのである。上例に就て AB 間の並列部分の合成抵抗は 2Ω であるから

$$I=\frac{12}{2+2}=3A$$

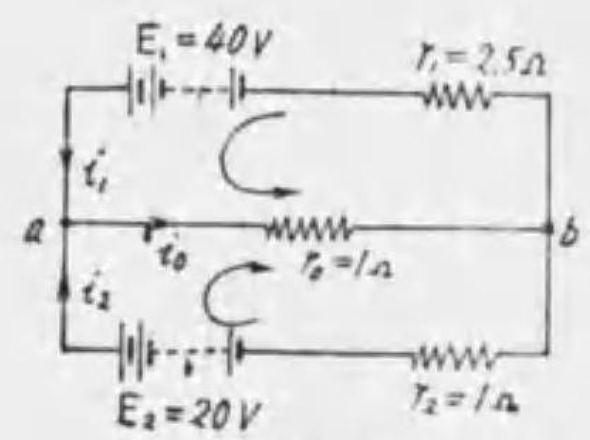
と直ちに知れる。而して此の 3A は抵抗に逆比例して並列回路に分流するから、r_1 側即ち $i_1=1A$, r_2 側の電流 $i_2=2A$ となる事は暗算からも求め得る。

(ii) 第 28 圖の如き回路に於て

(イ) 各部の電流 i_1, i_2, i_0 を求め

(ロ) 若し R_2 が可變なるとき、之を調節して i_0 を零とならしめる時の r_2 の値は何程か。**(但し E_1 の接續を反對とする)**

但し電池の內部抵抗は無視するものとす。



第 28 圖

(イ) 未知電流は 3 つであるから 3 つの聯立方程式が必要な譯である。

先づ第 1 法則を a 點に適用すると

$$i_1+i_2=i_0 \cdots\cdots\cdots\cdots (a)$$

第 2 法則を $ar_0br_1E_1a$ 回路及び $ar_0br_2E_2a$ 回路に夫々適用すると

$$i_0r_0+i_1r_1=E_1 \cdots\cdots\cdots\cdots (b)$$

$$i_0r_0+i_2r_2=E_2 \cdots\cdots\cdots\cdots (c)$$

然るに i_0 は (i_1+i_2) で表示し得るので、未知電流は i_1, i_2 の 2 つとなる。從つて 2 つの聯立方程式でよい筈である。今 (a) を (b) 及び (c) に代入すると

$(i_1+i_2)r_0+i_1r_1=E_1$

$$i_1(r_0+r_1)+i_2r_0=E_1 \cdots\cdots\cdots\cdots (b')$$

$(i_1+i_2)r_0+i_2r_2=E_2$

$$i_1r_0+i_2(r_0+r_2)=E_2 \cdots\cdots\cdots\cdots (c')$$

之に數値を代入すれば

$$3.5i_1+1i_2=40 \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

$$1i+2i_2=20 \cdots\cdots\cdots\cdots ②$$

となるから、これより i_1, i_2 を計算すればよい。

〔①×2〕−〔②×1〕　を求めると

$$\begin{array}{rl} 7i_1+2i_2 &= 80 \\ -\ 1i_1+2i_2 &= 20 \\ \hline 6i_1 \quad\quad &= 60 \end{array} \qquad \therefore\ i_1=10A$$

②式に $i_1=10A$ を挿入すると　　$10\times1+2i_2=20$　　$\therefore\ i_2=5A$

然るに (a) 式に於て $i_0=i_1+i_2$ である故 $i_0=10+5=15\ A$ となる。

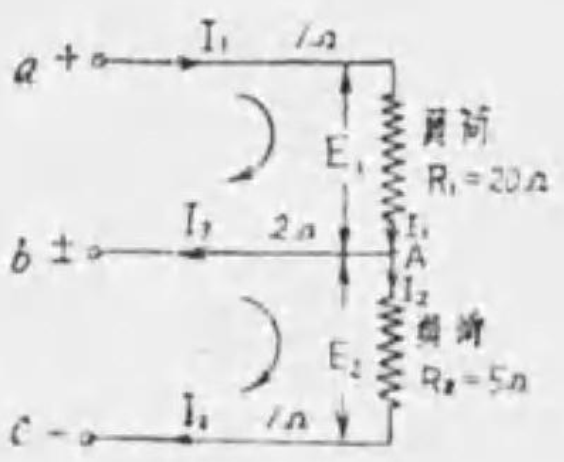
(ロ) 次に $i_0=0$ なるを以て $-i_1=i_2$ となるから之を i とすれば、(b) (c) 式は次の樣になる。

$$-ir_1=E_1 \qquad ir_2=E_2$$

然るに $i=\dfrac{E_1}{r_1}=\dfrac{40}{2.5}=16A$ となるから　$r_2=\dfrac{E_2}{i}=\dfrac{20}{16}=1.25\ \Omega$

でなければならぬ。

(iii) 次に第 29 圖の如き直流 3 線式配電線に於て、各線に流れる電流と各負荷の端子電壓を求めて見やう。



第 29 圖

各線の電流を圖の如く假定すると、未知電流は 3 つなる故に、3 つの方程式が必要である。……ab, bc 間電壓は 210V

先づ第 1 法則を A 點に適用して

$$I_1=I_2+I_3 \cdots\cdots (a)$$

第 2 法則を aR_1Ab 回路、bAR_2c 回路に夫々適用すると

$$1\times I_1+20I_1+2I_3=210 \cdots\cdots (b)$$

$$-2I_3+5I_2+1\times I_2=210 \cdots\cdots (c)$$

(a) 式より $I_3=I_1-I_2$, 之を (b) (c) 式に代入すれば、

$$23I_1-2I_2=210 \cdots\cdots (b')$$

$$-2I_1+8I_2=210 \cdots\cdots (c')$$

即ち (b′) (c′) の 2 つの聯立方程式を解けば I_1, I_2, が決定される。

〔註〕 最初から $I_3=I_1-I_2$ として式を立てれば 2 つの方程式でよい。

それで (b′) 式に 4 を乘じて (c′) と相加へると I_2 は消去される。即ち

$$\begin{array}{l} 92\,I_1-8\,I_2=840 \\ -2\,I_1+8\,I_2=210 \\ \hline 90\,I_1 \qquad =1050 \end{array} \qquad \therefore\ I_1=\frac{1050}{90}\doteqdot 11.7\ A$$

(c′) 式に $I_1=11.7A$ を代入すれば

$$-23.4+8I_2=210 \qquad \therefore\ I_2=\frac{233.4}{8}\doteqdot 29.2\ A$$

然るに　$I_3=I_1-I_2=11.7-29.2=-17.5\ A$

この I_3 は負値をとるが、これは最初假定した方向と逆に流れる事を意味するのである。

次に各負荷の端子電壓は

$E_1=I_1R_1=11.7\times20=234V$　　$E_2=I_2R_2=29.2\times2=146V$　　となる。

〔註〕 ① 3 線式に就ては中性線に流れる電流は兩外線の電流差であるから、一般に外線に較べて細い電線でよいから經濟的となる。

② 但上例の如く負荷が甚だしく不平衡であると折角電源電壓を一定に保持しても、時には E_1 の如く電源電壓より上昇するが如き不平衡さへ起る。もし負荷が電燈であればその光度は電壓變化の 3.6 乘に比例し、壽命は 13.5 乘に逆比例するからその影響は極めて大きい

③ 兩側の負荷が完全に平衡して居ればは中性線に電流は流れない。電氣工作物規程に於て 3 線式の中性線に自働遮斷器（可熔片）を設けてはならぬとあるがその理由は如何

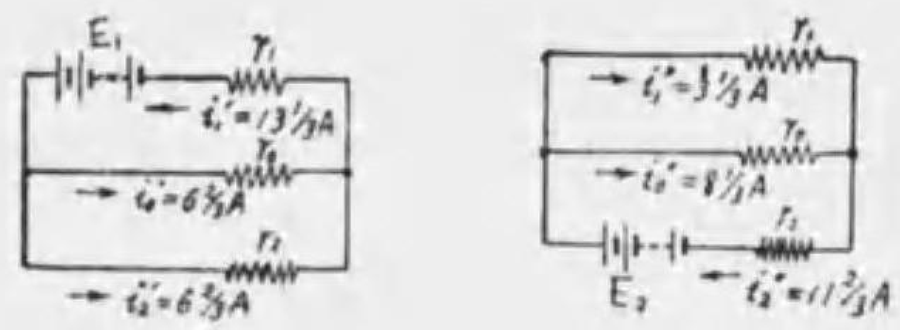
④ 中性線の負荷電流に幾許以上の不平均が起ると受電端電壓が電源の電壓より高くなるかを吟味されたい。

さて、キルヒホツフ法則の運用も回路が複雜になればなる程、その解法も繁雜になるから聯立方程式の組立にマツクスウエルの規則を適用するとか、その方程式解法に行列式（デターミナント Determinant）を用ひるとかの手段を採らねばならぬ。

(18) 重疊の理

2 個以上の起電力が同時に回路に結ばれてゐる樣な場合に於て、或る起電力 E_1 のみによる電流の分布を求め次で別の起電力 E_2 のみによる電流の分布（以下同樣）を求め、これ等を重疊すれば求むる回路の電流分布が得られる。之を重疊の理（プリンシプル オブ スーパーポジション principle of superposition）と云ふ。前節の例 (ii) に之を適用してみる。

第 28 圖に於て E_2 を取り去り E_1 のみが存在するものとし各部の電流を求めると（A 圖參照）



(A)　　(B)

第 30 圖

r_1 を通する電流　$i_1'=\dfrac{E_1}{r_1+\dfrac{r_0r_2}{r_0+r_2}}=\dfrac{40}{2.5+\dfrac{1\times1}{1+1}}=\dfrac{40}{3}=13\frac{1}{3}A$

r_2 を通するものは　$i_2'=13\frac{1}{3}\times\dfrac{1}{1+1}=6\frac{2}{3}\ A$

（E_2 の起電力の方向とは逆である）

r_0 を流れるものは同じく $i_0'=6\frac{2}{3}A$ である。次に E を除き E_2 のみ回路に存在する時の電流分布は（B 圖參照）

r_2 を通する電流　　$i_2'' = \dfrac{E_2}{r_2 + \dfrac{r_0 r_1}{r_0 + r_1}} = \dfrac{20}{1 + \dfrac{2.5 \times 1}{3.5}} = 11\tfrac{2}{3}A$

r_1 の電流は　　$i_1'' = 11\tfrac{2}{3} \times \dfrac{1}{2.5+1} = 3\tfrac{1}{3}\ A$

にして流れる方向は i_1' と反對である。

r_0 の電流は　　$r_0'' = 11\tfrac{2}{3} \times \dfrac{2.5}{2.5+1} = 8\tfrac{1}{3}\ A$

にして流れる方向は i_0' と同方向である。

故に之等の電流を重疊すれば求める答を得る。

r_1 を通する電流は　　$i_1 = i_1' - i_1'' = 13\tfrac{1}{3} - 3\tfrac{1}{3} = 10\ A$

r_2 を通する電流は　　$i_2 = i_2'' - i_2' = 11\tfrac{2}{3} - 6\tfrac{2}{3} = 5\ A$

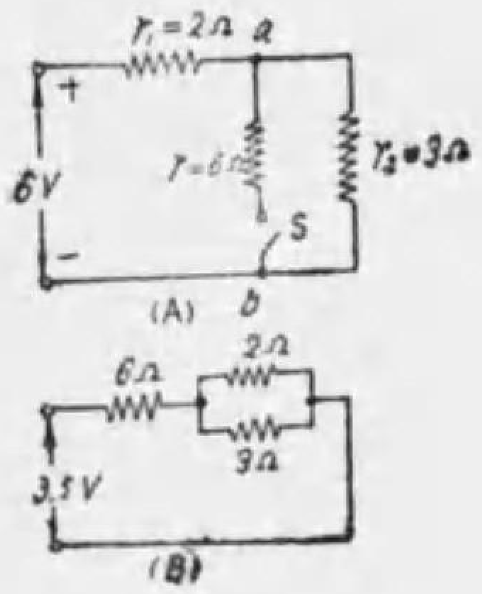
r_0 を通する電流は　　$i_0 = i_0' + i_0'' = 6\tfrac{2}{3} + 8\tfrac{1}{3} = 15\ A$

斯様に重疊の理に依つて解くと、聯立方程式を解く面倒がない。起電力が三つある場合にも、同様に各起電力が夫々ある場合の三つを重疊すればよい。但し、起電力を有する電池に内部抵抗があれば、其の起電力を除いた場合でも、此の内部抵抗は殘して置かねばならない。此の点を初學者は誤り易い。又、電壓、電流の重疊は出來るが、電力の重疊の出來ないことに注意されたい。

(19) テブナンの定理

この定理を用ひるとキルヒホツフ法則の助けを借らずに解ける妙味もあるが、總ての回路に應用することは先づ困難である。茲には二三の簡單な例を示すとしやう。

"導線網内の任意の 2 点間に抵抗 r を接ぐ時、r に流れる電流は接續する以前に 2 点間に存在した電位差 E を、この 2 点から見たる導線網全体の合成抵抗 R と接續された抵抗 r との和で除したものである"



第 31 圖

【例】 テブナンの定理を用ひる迄も無いが、その原理を納得するために掲げる。第 31 圖に於て ab 間に表はれる電位差を 3.6V とすれば、スイツチ S を閉ぢたる時 r に流れる電流を求めてみる。

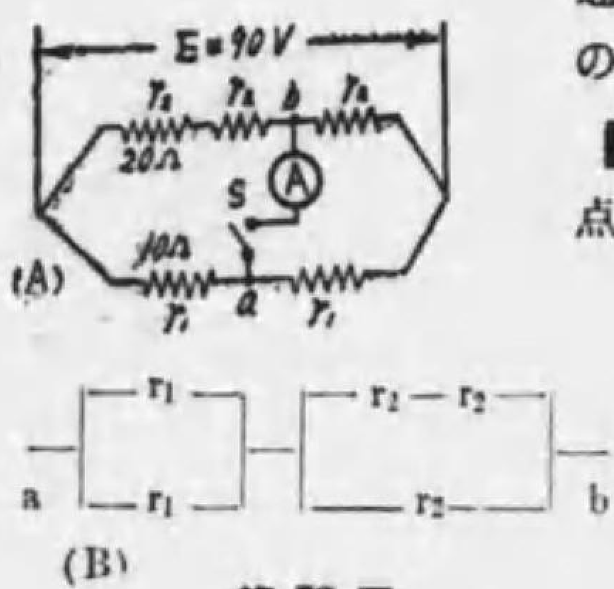
解答 定理により ab 2 点間から見たる合成抵抗 (R) は圖 (B) の樣になるを以て

$$R = 6 + \frac{2 \times 3}{2+3} = 7.2\ \Omega$$

故に r を通ずる電流に　　$I = \dfrac{3.6}{7.2} = 0.5\ A$

〔註〕 分岐回路の電流計算法から檢算を試みられよ。

【例】 第 32 圖 (A) の如き回路に於て、スイツチ S を閉ぢる場合電流計を通ずる電流何程か。但し電流計の抵抗は無視するものとす。



第 32 圖

解答 S を開いた場合 a 点の電位は $\frac{1}{2}E$, b 点の電位は $\frac{1}{3}E$ である。故に ab 間の電位差は

$$\tfrac{1}{2}E - \tfrac{1}{3}E = \tfrac{1}{6}E = 15\ V$$

次に ab 点から見た合成抵抗は同圖 (B) の樣になるから

$$R = \frac{10 \times 10}{10+10} + \frac{40 \times 20}{40+20} = \frac{55}{3}$$

從つて電流計を流れる電流は定理により

$$I = \frac{15}{R} = 15 \times \frac{3}{55} = 0.82\ A$$　となる。

(Ⅲ) 回路の電力

(20) 電流の熱作用

❶ 抵抗 $R\Omega$ の兩端に E ヴオルトの電壓を加へれば電流 (I) は

$$I = E/R\ A, \quad 從つて\ E = IR$$

なるを以て、此の抵抗に供給される電力 (P) は

$$P = EI = IR \times I = I^2R\ ワツト$$　である。

【例】 100V, 250W の電氣アイロンの使用中に於ける電氣抵抗 (R) は何 Ω か

解答 この時の電流

$$I = \frac{P}{E} = \frac{250}{100} = 2.5\ A$$

故に電熱抵抗線のオーム數は　　$R = \dfrac{100}{2.5} = 40\ \Omega$

また前式から　$250 = I^2R$　なるを以て　　$R = \dfrac{250}{(2.5)^2} = 40\ \Omega$

からも計算し得る。

〔註〕 特に使用中と斷つたのは、抵抗線のオーム數がその溫度係數に關係して常溫の場合、(使用しない時) と使用中とで異なるからである。

❷ **ジユールの法則** に依れば、抵抗に依り消費される電力量 (電力×時間) は總て熱エネルギーに變換されるもので次の關係がある。

$$W = I^2Rt\ ジユール$$

茲に W は電力量にして、I は電流 (A), R は抵抗(Ω)を示し、t は時間を (秒) で表したものである。然るに熱量の單位は一般にカロリーで表されるから發生熱量 (H) は

$$H=0.24I^2Rt \text{ カロリー}$$

〔註〕 1 ジュール=0.239≒0.24 カロリー

【例】 1 kWh (キロワット時) が 860 瓩カロリーに相當する事を證明せよ。

解答 〔ジュール〕=〔ワット〕×〔秒〕 なるを以て 1kWh=1000Wh=1000×3600=3,600,000 (ジュール)

故に 3,600,000×0.239=860,400 (カロリー)≒860 (瓩カロリー)

〔例〕 電熱器 (能率70%) を用ひて 15°C の水 4 立を20 分間に 90°C に熱せんとする場合、 何 kW の電熱器を使用すべきか。

解答 電力量$=\dfrac{\text{質量(kg)}\times\text{比熱}\times\text{上昇溫度差}}{860\times\text{能率}}$なるを以て (水の比熱は 1 である)

$$P=\frac{4\times(90-15)}{860\times0.7}=\frac{300}{602}\fallingdotseq0.5\text{ kWh}$$

然るに 〔電力量〕=〔電熱器容量〕×〔時間〕 から

$$〔\text{電熱器容量}〕=\frac{〔\text{電力量}〕}{〔\text{時　間}〕}=\frac{0.5}{20/60}=\frac{0.5\times60}{20}=1.5\text{kW}$$

【例】 250 W, 2 kg の電氣アイロンあり、 使用溫度 150°C なる時通電後何分にして使用溫度に達するか。但し室溫は 20°C とする。

解答 電氣アイロンは全部鐵より成るものとし、又熱の放散なきもの (從つて能率は 100%) と假定する。

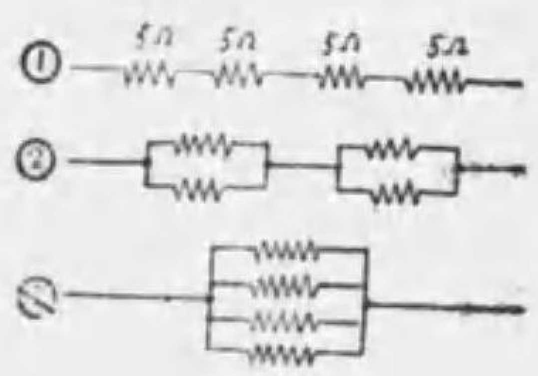
所要電力量は前の式から $\quad P=\dfrac{2\times0.11\times(150-20)}{860\times1}=0.0333\text{ kWh}$

この電力量を消費する迄の時間 t は

$$t=\frac{\text{電力量(kWh)}}{\text{電　力(kW)}}=\frac{0.0333}{0.25}=0.1332\text{ (時)}=0.1332\times60=7.992\fallingdotseq8\text{ (分)}$$

(21) 電力の計算問題

【例】 100 V 回路に使用される電氣爐あり、發熱体は5Ω の抵抗線 4 條より成り、切替スイツチに依つて圖の如く結線が變化する。各々の場合に於ける全電力を求めよ。



第 33 圖

解答 ❶ $I=\dfrac{100}{4\times5}=5$ A

$$P=I^2R=5^2\times20=500\text{W}=0.5\text{ kW}$$

$(P=E\times I=100\times5=500\text{W})$

❷ 5Ω を 2 箇並列にすれば 2.5Ω となるから、回路の合成抵抗は 2.5×2=5Ω となる。故に

電流 (I) は

$$I=\frac{100}{5}=20\text{ A}$$

$$P=20^2\times5=2000\text{W}=2\text{kW} \qquad (P=100\times20=2000\text{W})$$

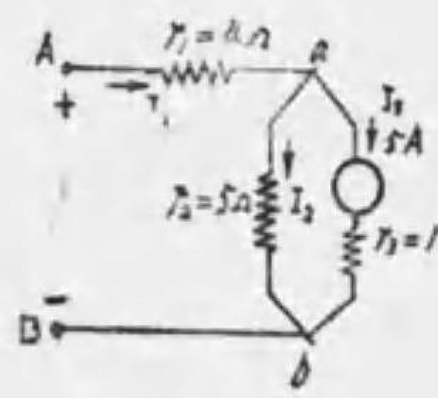
❸ 合成抵抗は $5/4=1.25\Omega$ となる。

$$\therefore\ I=\frac{100}{1.25}=80\text{ A}$$

$$P=80^2\times1.25=8000\text{W}=8\text{kW} \qquad (P=100\times80=8000\text{W})$$

【例】 圖の如き回路に於ける全消費電力を求めよ。 但し電流計の讀みは 5A にして其の抵抗は無視する。

解答 ab 間の電壓は $I_3r_3=5\times10=50$ V



第 34 圖

從つて r_2を 通する電流 I_2 は

$$I_2=\frac{50}{5}=10\text{A}$$

故に $\quad I_1=I_2+I_3=10+5=15\text{A}$

次に r_1, r_2, r_3 に消費される消費電力を、夫々 P_1, P_2, P_3 とすれば

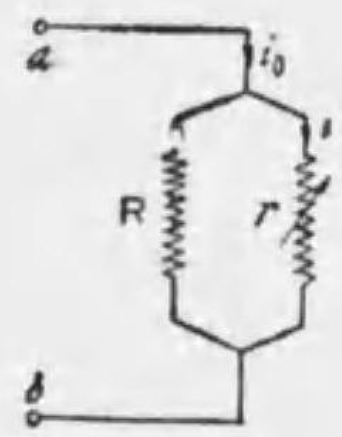
$$P_1=I_1^2r_1=15^2\times4=900\text{ W}$$
$$P_2=I_2^2r_2=10^2\times5=500\text{ W}$$
$$P_3=I_3^2r_3=5^2\times10=250\text{ W}$$

全回路の電力は $\quad P_1+P_2+P_3=900+500+250=1650\text{W}=1.65\text{kW}$

【別解】 AB 間の電壓は $\quad 50+(I_1\times r_1)=50+15\times4=110$ V

從つて全電力は $\quad 110\times15=1650\text{W}=1.65\text{kW}$

【例】 第 35 圖の如く一定抵抗 R が a b 間に接續され、之と並列に可變抵抗 r がある。今全回路の電流 i_0 が一定なる時如何なる r の値の時此の r 中に消費される電力最大となるか。



第 35 圖

解答 r を通する電流を i とすれば r 中に消費される電力 P は $\quad P=i^2r$

然るに分岐回路に於ては

$$i=i_0\times\frac{R}{R+r}$$

それで $\quad P=\left(\dfrac{i_0R}{R+r}\right)^2r=\dfrac{rR^2i_0^2}{(R+r)^2}\cdots\cdots\cdots\text{(a)}$

(a) 式で $R^2i_0^2$ は一定値であるから $r/(R+r)^2$ が最大となれば、消費電力 P が最大となる譯である。さて計算を容易にするために分母子を轉倒して $(R+r)^2/r$ が最小となる條件を求めてもよい筈である。そこで

$$\frac{(R+r)^2}{r}=\frac{R^2+2Rr+r^2}{r}=\frac{R^2}{r}+2R+r\cdots\text{(b)}$$

(b) 式で定數の項を除去すると次の樣になる。

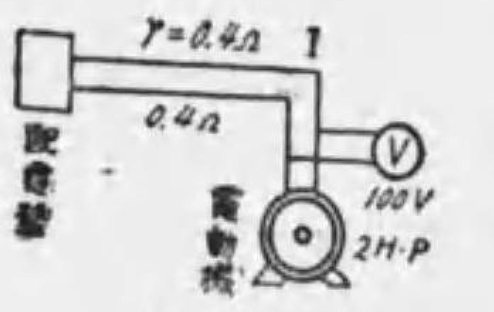
$$\frac{R^2}{r}+r \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (c)$$

それで結局 (c) 式の値が最小となればよい。然るに代數學に於て "2 數の積が常數なる時、2 數が相等しい場合其の和は最小となる" との理に基き

$\frac{R^2}{r}\times r=R^2$ (常數)　なるを以て　$\frac{R^2}{r}=r$　$\therefore\ R^2=r^2$　$R=r$

の條件が成立つてくる。即ち可變抵抗 r が一定抵抗 R に相等しい場合 r 中の消費電力は最大となる。

(22) 電力損失の計算



第 36 圖

【例】 圖の如き結線にて 100V 2 馬力の電動機が運轉されてゐる。電動機の能率は 80% 電線一條の抵抗 0.4Ω なる時、配電盤より供給さるべき電力は何程か。

解答 電動機の出力 (2H.P) は、ワツトに直すと　$2\times746=1492$ W

從つて電動機の入力 P は

$$P=\frac{1492}{0.8}\fallingdotseq1865\ \mathrm{W}$$ (電動機の損失　$1865-1492=373$ W)

然るに電動機の電流は端子電壓 100V であるから

$$I=\frac{1865}{100}=18.65\ \mathrm{A}$$

故に電線に消費される電力損失は

$$2\times I^2\times r=2\times18.65^2\times0.4=278\ \mathrm{W}$$

故に、配電盤より供給される電力は

$$1865+278=2143\ \mathrm{W}\qquad 2.143\ \mathrm{kW}$$

即ち、先づ線路電流を求め、各線條の I^2r を線條數倍するか、又は各電流なり抵抗が異れば其等の和を取ればよく、問題としては別に難しいものでいな。

(V) 蓄電器を含む回路

(23) 平行板蓄電器

平行板蓄電器は最も多く用ひられる蓄電器 (condenser) であつて、其の靜電容量 (static capacity) は次式で求められる。

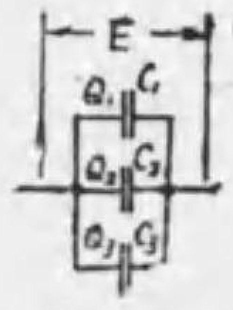
$$C=\frac{KS}{4\pi d}\times\frac{1}{9\times10^{11}}\ \text{ファラッド}$$

茲で C は靜電容量 (ファラッド) K は誘電率 (空氣は 1 である) S は極板の有効面積 (cm²) d は兩極板間の距離 (cm) である。而してファラッドなる單位は實用上大き過ぎる嫌ひがあるのでファラッドの 10^{-6} (百万分の 1) なるマイクロフ

ァラッドを用ふる。

(24) 蓄電器の接續

❶ **並列接續**　第 37 圖の如く $C_1\ C_2\ C_3$ を並列に接續すれば、各蓄電器に充電される電氣量 $Q_1\ Q_2\ Q_3$ は　$Q_1=C_1E$　$Q_2=C_2E$　$Q_3=C_3E$



第 37 圖

故に、全蓄電器に蓄積される電氣量 Q は

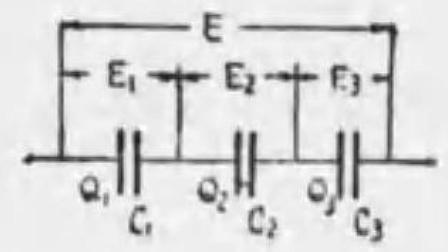
$$Q=Q_1+Q_2+Q_3=C_1E+C_2E+C_3E=(C_1+C_2+C_3)E$$

さて $(C_1+C_2+C_3)$ は合成容量であるから之を C と置けば

$$C=\frac{Q}{E}=\frac{(C_1+C_2+C_3)E}{E}=C_1+C_2+C_3\cdots\cdots(1)$$

❷ **直列接續**　直列に接續された蓄電器の電氣量は必ず相等しいものである。第38圖に於て

$$Q_1=C_1E_1\quad Q_2=C_2E_2$$
$$Q_3=C_3E_3$$



第 38 圖

然るに　$Q_1=Q_2=Q_3=Q$　なるを以て

$$E_1=Q/C_1\qquad E_2=Q/C_2\qquad E_3=Q/C_3$$

故に　$$E=E_1+E_2+E_3=Q\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\right)$$

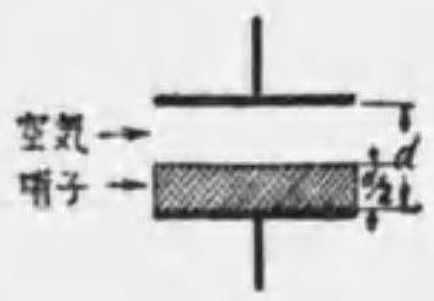
$\therefore$ 合成容量　$$C=\frac{Q}{E}=\frac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}}$$

これは又　$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\cdots\cdots\cdots(2)$$

〔註〕蓄電器の直列又は並列の合成容量を求める式は、抵抗の合成値を求める式と全く反對である事に留意されよ。

【例】 平行板空氣蓄電器あり、其の容量 0.02 マイクロファラッドなりと云ふ今平行板間に空隙の ½ の厚さを有する硝子板を挿入すると、蓄電器容量は何程となるか。但し硝子の誘電率を 8 とする。

解答 距離 d の時の容量が 0.02 であるから d/2の空氣部分の靜電容量は（第 39圖參照）



第 39 圖

$$0.02\times2=0.04\ \mu f$$

（何故なれば前の式で p が ½ となるから c は 2 倍となる事は容易に知れやう。）

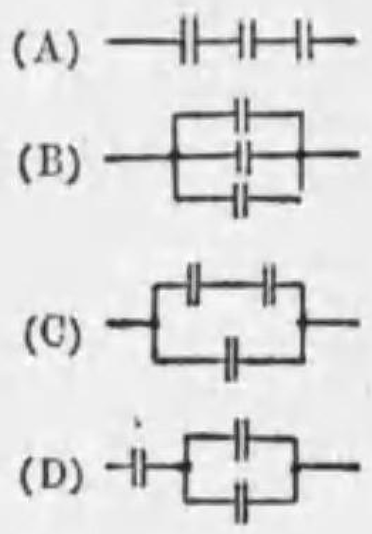
又硝子部分の靜電容量は空氣に較べて K の値が 8 倍となるから次の樣になる。

$$0.04\times8=0.32\ \mu f$$

併して、空氣の部分と硝子の部分との容量が直列に接續されて居るものと考へられるから、合成容量 C は

$$C=\frac{1}{\frac{1}{0.04}+\frac{1}{0.32}}=\frac{0.04\times0.32}{0.04+0.32}$$
$$=0.04\ \mu f$$ (マイクロフアラツド)

【例】 0.03 マイクロフアツドなる蓄電器 3 箇あり、種々なる接續法を表示し且つ夫々の蓄電容量を計算せよ。



第 40 圖

解答 接續圖を示すと、第 40 圖の如く 4 種類ある筈である。

(A) 3 箇を全部直列にすると
$$C=\frac{0.03}{3}=0.01\ \mu f$$
(B) 全部を並列に結ぶと
$$C=0.03\times3=0.09\ \mu f$$
(C) 2 箇直列の合成容量は、$0.03/2=0.015\ \mu f$となるから全体の合成容量は　$C=0.015+0.03=0.045\ \mu f$

(D) 2 箇並列にすれば合成容量は　$0.03\times2=0.06\ \mu f$ である。而して圖の如く $0.03\ \mu f$ と $0.06\ \mu f$ が直列になつてゐるのであるから全体の合成容量は
$$C=\frac{0.03\times0.06}{0.03+0.06}=\frac{0.0018}{0.09}=0.02\ \mu f$$
故に合成容量の大きい順に並べると、(B) (C) (D) (A)の順序となる。

(25) 蓄電器回路の電壓分布

前節からも知れる様に、直列に接續された蓄電器端子の電壓は容量に逆比例する事が知れやう。即ち第 38 圖に於て
$$E_1:E_2:E_3=\frac{1}{C_1}:\frac{1}{C_2}:\frac{1}{C_3}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$
の關係がある。

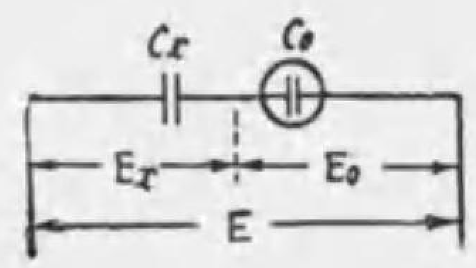
【例】 2000 V 以上の電壓を加へ得ざる C_1 C_2 の蓄電器あり、今之を直列に接續し、其の兩端の電壓を徐々に昇げたるに 2800 V を超過した瞬間、破壊放電せりと云ふ。而して蓄電器の容量は $C_1>C_2$ にして C_1 は 0.1 マイクロフアラツドなる場合 C_2 の容量何程か。

解答 容量の小なる方 (C_2) が分擔する最大電壓は、最大限度たる 2000 V である故、容量の大なるもの (C_1) が分擔する電壓は　$2800-2000=800$V

而して、直列にある各蓄電器の端子に加はる電壓は容量に逆比例するから
$$800:2000=\frac{1}{0.1}:\frac{1}{C_2}$$

$$\therefore\ \frac{1}{C_2}=\frac{2000\times10}{800}=25\qquad\therefore\ C_2=0.04\ \mu f$$

【例】 靜電電壓計に直列に蓄電器を接續すれば、其の測定範圍を擴大し得る理由を説明せよ。(既往選試問題)

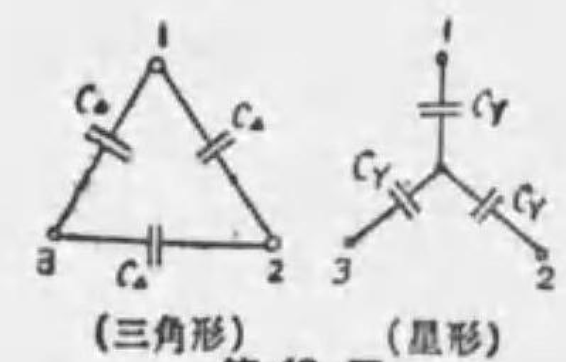


第 41 圖

解答 靜電々壓計の靜電容量を C_0, 直列に結びたる蓄電器の容量を C_x とし、其の電壓の分布を圖の如く假定すれば各蓄電器上の電量 Q は相等しい。
$$Q=C_0E_0=C_xE_x\qquad E=E_0+E_x$$
$$E=\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_x}\right)Q=\left(\frac{1}{C_0}+\frac{1}{C_x}\right)C_0E_0=\frac{C_x+C_0}{C_x}E_0$$
故に測定範圍は $\frac{C_x+C_0}{C_x}$ 倍に擴大せられる譯で、例へば $C_x=C_0/9$ とすれば 10 倍に擴大される。

(26) 蓄電器の Y―△ 換算

前に述べた抵抗の場合と同様に、各端子間 1―2, 2―3, 3―1 に於て容量相等しと置き 3 つの聯立方程式を解けばよい。



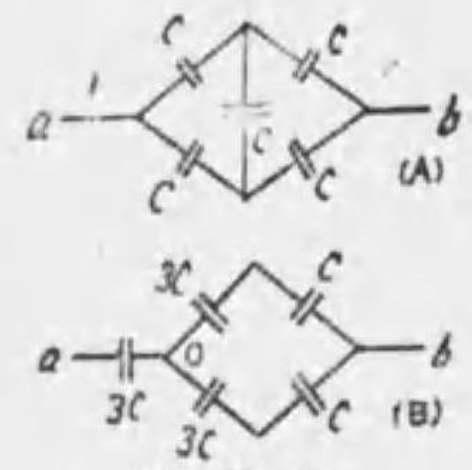
第 42 圖

さて、容量の相等しい3 つの蓄電器を三角形に接續したるものを星形に換算する場合を考へて見る。 そこで任意の端子 1―2 間で測つた靜電容量が夫々

❶ $$C_\triangle+\frac{C_\triangle^2}{C_\triangle+C_\triangle}=\frac{3C_\triangle^2}{2C_\triangle}=\frac{3}{2}C_\triangle\cdots\cdots$$(三角形)

❷ $$\frac{C_Y^2}{C_Y+C_Y}=\frac{1}{2}C_Y\cdots\cdots$$(星形)

の様になる。而して兩者が等價なるために之を相等しいと置くと
$$\frac{1}{2}C_Y=\frac{3}{2}C_\triangle\qquad\therefore\ C_Y=\frac{3}{2}C_\triangle/\tfrac{1}{2}=3C_\triangle$$
となり、三角形に結ばれたものを星形に換算するには其の 3 倍を取ればよい。抵抗換算の場合とは全く反對である事に注意すべきである。



第 43 圖

【例】 相等しい靜電容量を有する、蓄電器を第43圖(A)の如く結びたる場合、端子 ab 間に於ける合成容量を求めよ。

解答 三角形に接續された部分の靜電容量を星

形結線に換算して書換へると (B) 圖の樣になる。而して ab 間の合成容量は

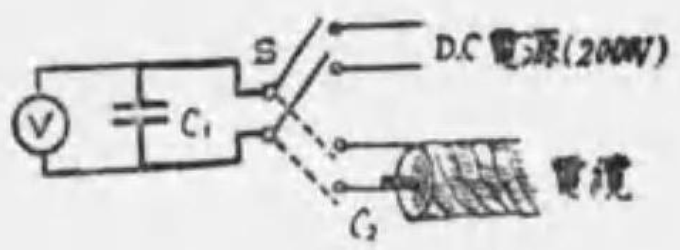
$$2\times\frac{1}{\frac{1}{3C}+\frac{1}{C}}=2\times\frac{3C^2}{3C+C}=\frac{6C^2}{4C}=\frac{3}{2}C$$

故に全合成容量 C_0 は

$$C_0=\frac{1}{\frac{1}{3C}+\frac{1}{\frac{3}{2}C}}=\frac{3C\times\frac{3}{2}C}{3C+\frac{3}{2}C}=\frac{\frac{9}{2}C^2}{\frac{9}{2}C}=C$$

となる。

(27) 蓄電器の電荷計算



第 44 圖

【例】 第44圖の如く $C_1=0.2$ マイクロフアラッドなる蓄電器を 2000 V の電壓にて充電し置き、次に S なる切替開閉器により蓄電器を電纜に接續したるに、C_1の端子電壓は 500 V に減少せりといふ。電纜の靜電容量 C_2 を求めよ。

解答 最初 C_1 の電荷を Q とすれば、S を切替へた時、Q が夫々 C_1 C_2 の上に分配せられる。これを q_1 q_2 とすれば

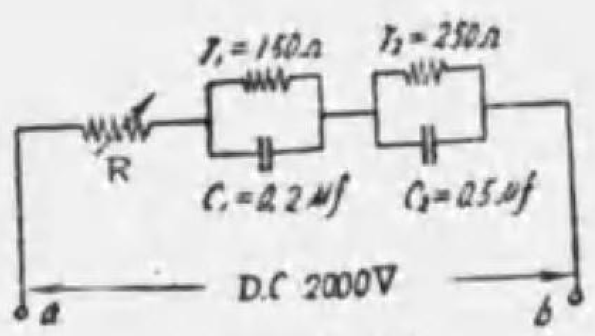
$$Q=q_1+q_2$$

而して、端子電壓は相等しい譯であるから

$$\frac{q_1}{C_1}=\frac{q_2}{C_2}\quad 從つて\quad C_2=C_1\frac{q_2}{q_1}=C_1\left(\frac{Q-q_1}{q_1}\right)=C_1\left(\frac{Q}{q_1}-1\right)$$

然るに　$\frac{Q}{q_1}=\frac{2000\times0.2}{500\times0.2}=4$　$\therefore\ C_2=0.2\times(4-1)=0.6\ \mu f$

【例】 許容最大電壓 1000V なる C_1 (0.2 μf), C_2 (0.5 μf) なる蓄電器を圖の如く抵抗と並列に接續し、直流 2000 V の回路に結線せり、今蓄電器が放電破壞せざる範圍内に於て最も多く充電をなさんとするには、可變抵抗 R の値を何オームとなすべきや。又、C_1 C_2 に充電される電氣量を計算せよ。



第 45 圖

解答 直流電壓なるを以て、蓄電器には電流通せず (嚴密に云へば漏洩電流がある) 從つて回路に流れる電流は專ら抵抗によつて制限せられる。

今假りに、可變抵抗 R を零とすれば電流 i は

$$i=\frac{2000}{150+250}=\frac{2000}{400}=5\ A$$

從つて C_1 の端子電壓は　$5\times150=750\ V$

C_2 の端子電壓は　$5\times250=1250\ V$　となり　C_2 が破壞する。それ故 C_2 の端子電壓を 1000 V にする爲には電流は 4 A (1000/250) に制限しなければならぬ

$$4=\frac{2000}{150+250+R}\qquad\therefore\ R=100\Omega$$

それで C_1 の端子電壓は　$4\times150=600\ V$　なるを以て、

C_1 の充電々氣量は　$q_1=0.2\times10^{-6}\times600=120\times10^{-6}$ クーロム

同樣にして C_2 の充電々氣量は　$q_2=0.5\times10^{-6}\times1000=500\times10^{-6}$ クーロム

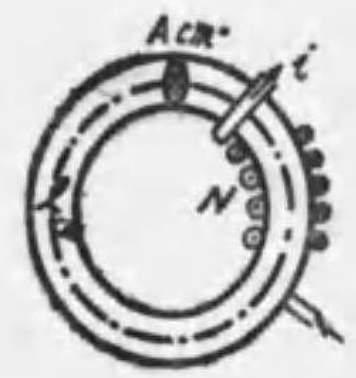
(Ⅵ) 電磁回路

(28) 磁氣回路 (Magnetic circuit)

❶ 磁氣抵抗　切斷面積 A cm², 平均長 l cm なる環狀鐵心の、磁氣抵抗 (magnetic relactance) R は　$R=\frac{1}{\mu}\frac{l}{A}$　で表はされる。μ は導磁率 (Permiability) で鐵の場合は大きな値であるが、空氣、銅、アルミニウム等では 1 と考へよい。

〔註〕 從來磁氣抵抗の單位としてエルステッドを用ひてゐたが之は磁界の强さを表はす單位に採用されることになつたので、現在のところ磁氣抵抗の單位はない。

❷ 起磁力　今第 46 圖の如き回路に於て N 回卷の線輪に i アンペアを通ずれば鐵心に磁束を通ずる。この磁束を生ずる原因を、起磁力 (magnet motive force 略 m.m.f.) と云ひ、單位にギルバート (Gilbert) を用ふ。



第 46 圖

$$F=\frac{4\pi}{10}Ni\ \text{ギルバート}$$

而して、起磁力は實用上 N×i (卷數×電流) で表はし、之をアンペアターンス (amper turns) と呼んでゐる。

$$1\ \text{アンペアターン}=\frac{4\pi}{10}=1.257\ \text{ギルバート}$$

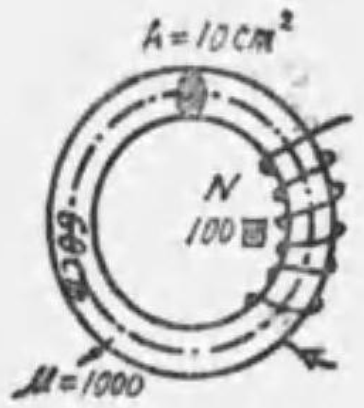
の關係がある。

❸ 磁束密度　さきの第 46 圖に於て、電流を流しゐる時、鐵心内を通る總磁束 (漏洩磁束なしと假定) ϕ は次の樣になり、磁束の單位にはマツクスウェル (Maxwell) を用ふ。

$$磁束(\phi)=\frac{起磁力(F)}{磁氣抵抗(R)}=\frac{\frac{4\pi}{10}Ni}{\frac{1}{\mu}\frac{l}{A}}\ \text{マツクスウェル}$$

で示される。さて、1 cm² 當りの磁束數を、磁束密度 (magnetic fluxdensity) と云ひ單位にガウス (Gauss) を用ふ。

こゝで一應注意を喚起したい事柄は、或る定つた構造の磁氣回路に於て電流を增加して行けば上式より知れる如く、これに比例して磁束即ち束密度は增して行く。然し磁束密度が或る程度以上になれば所謂磁氣飽和の現象を起して比例しない様になる。發電機に於ける飽和曲線（無負荷特性曲線）などはこれに原因するのである。



第 47 圖

【例】 第 47 圖に於て磁束密度を計算せよ。若し鐵心に 0.2 cm の空隙を作れば磁束數は如何になるか。

解答 ❶

$$起磁力=\frac{4\pi}{10}Ni=\frac{4\pi}{10}\times100\times5=628 \text{ ギルバート}$$

$$磁氣抵抗=\frac{1}{1000}\times\frac{60}{10}=0.006$$

$$磁束=\frac{628}{0.006}=104,666 \text{ マツクスウエル}$$

$$磁束密度=\frac{104666}{10}=10466.6 \text{ ガウス}=10.47 \text{ キロガウス}$$

❷ 鐵心に $d=0.2$ cm の空隙があるとすれば

$$磁氣抵抗 R=\frac{1}{\mu}\ \frac{l-d}{A}+\frac{d}{A}=\frac{1}{1000}\ \frac{60-0.2}{10}+\frac{0.2}{10}=0.02598$$

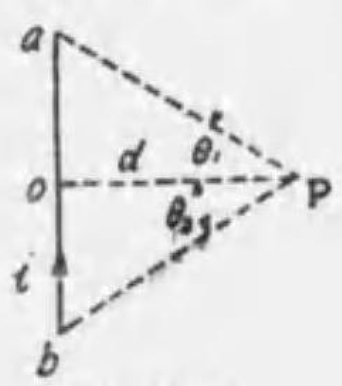
$$従つて\quad 磁束(\phi)=\frac{628}{0.02598}=24172 \text{ マツクスウエル}$$

即ち前に較べて通過磁束は僅か 23% 程度となる。

〔註〕 起磁力、磁束、磁氣抵抗の相互間には電氣回路に於けるオームの法則と全く同じ關係にある。

(29) 電流によつて生ずる磁界

電流によつて生ずる磁界を表はす式を誘導するには多くの場合高等數學に賴らればならぬ。然し第三種受驗にもこの程度の式は記憶しておかねばならない。



第 48 圖

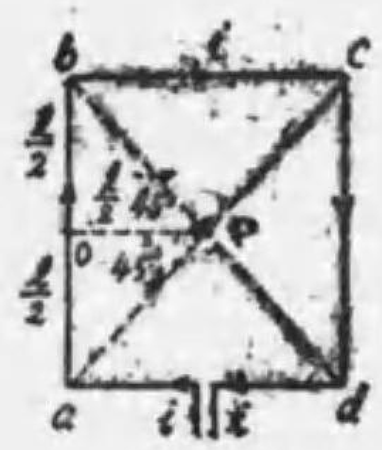
❶ **直線電流による磁界** 電流 i アンペアが直流導体 ab を流れる時、ab 外の一点 P に作用する磁界の大さ H は

$$H=\frac{i}{10d}\ (\sin\theta_1+\sin\theta_2) \text{ ガウス}$$

を以て表はされる。若し直線導体 ab が無限に長い時は θ_1, θ_2 も 90° に近づくから $\sin\theta_1=1$ $\sin\theta_2=1$ となり、上式から $H=\frac{2i}{10d}$ ガウス となる。而して磁界の方向は右ネヂの法則により紙面から下方へ力が作用する。

〔註〕 電流の强さを電磁單位で表はすと一電磁單位の電流の大さは實用單位の 10A に等し。

【例】 一邊の長さ l cm なる正方形をなす導体を圖の如く電流 (10アンペア) が流れる場合、その正方形の中心の磁場の强さを求めよ



第 49 圖

解答 ab なる部分の電流が中心 P に及ぼす磁界の强さは

$$H_{ab}=\frac{10}{10\times\frac{l}{2}}\times(\sin 45^\circ+\sin 45^\circ)$$

$$=\frac{1}{\frac{l}{2}}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)=\frac{2}{l}\left(\frac{2}{\sqrt{2}}\right)=\frac{2\sqrt{2}}{l} \text{ ガウス}$$

故に全体の電流が中心に及ぼす磁界の强さは H_{ab} の 4 倍即ち

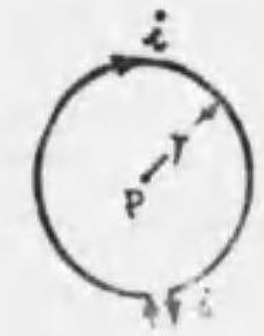
$$H_0=4\frac{2\sqrt{2}}{l}=\frac{8\sqrt{2}}{l} \text{ ガウス}$$

となる。而して磁場の方向は中心 P に於て紙面に直角で紙面の下方に向ふ。

❷ **圓電流による磁界** 圓狀に流れてゐる電流がある場合、その中心に於ける磁界の强さは

$$H=\frac{2\pi i}{10r} \text{ ガウス}$$

にして導体の卷數が n なる時は磁界の强さも n 倍となる。



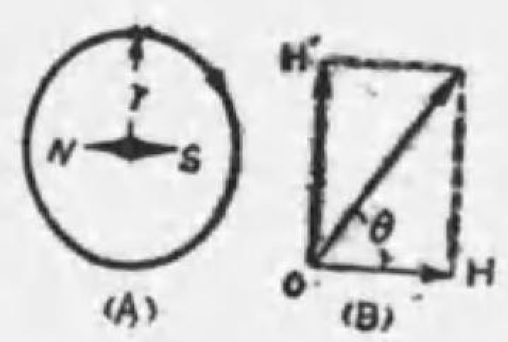
第 50 圖

【例】 半徑 5 cm, 100回卷きの圓形線輪を作り、之に 5 アンペアを通じたる時その中心に於ける磁界の大さを求めよ。

解答 $H=\frac{2\pi\times100\times5}{10\times5}=62.83$ ガウス

【例】 針金を半徑 r なる圓形となし、その面が地球磁界の方向に平行なる如く垂直に置き、その中心に小なる磁針をピブオツトを以て支へ、導体に I アンペアの電流を通する時は磁針のフレ (Deflection) 幾何なるか。但し地球磁界の水平分力 (Horizontal compornent) を H とす。

（既往著試問題三種）



第 51 圖

解答 前の式により、圓形針金の中心に於ける磁界の强さ $H'=\frac{2\pi I}{10r}$ にして、其の方向は圓の中心にて面、即ち地球磁界の水平分力に對し垂直である。故に磁針がこの圓形に比して充分小なれば磁針は H 及び H' の合成磁界の方向を指示する筈である。

第 51 圖 (B) に於て

$$\tan\theta=\frac{H'}{H}=\frac{2\pi I}{10\,rH}\qquad \therefore\ \theta=\tan^{-1}\frac{2\pi I}{10\,rH}$$

の偏角となる。この原理を應用したものに正切檢流計がある。

(30) 自己誘導係數

或る一つの回路があつて、その中を流れる電流が變化すると、回路自身の作る磁束に變化が起り、回路中に誘導起電力を生ずるものである。斯樣な現象を自己誘導作用と稱する。而して電流の變化によつて線輪自身に何程の起電力を生ずるかを示す係數に自己誘導係數或は自己インダクタンス (Self inductance) なる言葉を用ひ、單位をヘンリ (Henry) と呼んでゐる。

〔註〕 1 ヘンリとは電流の變化率が 1 秒間 1 アンペアの割合なるとき生ずるところの誘導起電力が 1 ボルトなる場合の自己インダクタンスの大きさである。

さて L ヘンリの自己インダクタンスを有する線輪に電流が一樣な變化率を以て t 秒間に i アンペア變化するときは

$$e=-L\times\frac{i}{t}\ \text{ボルト}\quad\cdots\cdots①$$

の電壓が t 秒時間だけ誘導され、又一方この線輪に i アンペアが通ずるときの鎖交數 (卷數×磁束數) を N とすれば

$$e=-\frac{N}{t}\times10^{-8}\ \text{ボルト}\quad\cdots\cdots②$$

從つて當然 ① 及び ② 式は相等しくなければならぬ。即ち自己インダクタンス L は次の樣になる。

$$-L\times\frac{i}{t}=-\frac{N}{t}\times10^{-8}\qquad \therefore\ L=\frac{N}{i}\times10^{-8}\ \text{ヘンリ}$$

〔註〕 起電力の符號に負とあるはレンツの法則から明かな樣に起電力の方向は磁束の變化を妨げる方向に誘導するからである。

【例】 鐵心上に 1000 回卷かれたる界磁極があり、之に 10 アンペアが通ずる時 10^6 本の磁束を生ずるといふ今此の回路を 1/100 秒間に遮斷すれば線輪に何ボルトの電壓を發生するや。但し全磁束は卷線の總てと鎖交するものとす。

解答 鎖交數 $N=1000\times10^6=10^9$

$$\therefore\ L=\frac{N}{i}\times10^{-8}=\frac{10^9}{10}\times10^{-8}=1\ \text{ヘンリ}$$

$$\therefore\ e=L\times\frac{i}{t}=1\times\frac{10}{0.01}=1000\ \text{ボルト}$$

〔註〕 自己誘導のある電氣機器とか電氣回路のスイッチを急速に遮斷すると豫想外の高電壓を發生し、時には絕緣さへ破壞する虞がある。

【例】 半徑 r cm なる圓形切斷面を有する環狀鐵心の上に密接して卷かれたる

ソレノイドの自己インダクタンスを計算せよ。但し中心の平均鐵長 l cm, その導磁率を μ とし、全回數を n とする。

解答 ソレノイド內の磁界の强さ H は

$$H=\frac{4\pi\mu ni}{10\,l}\ \text{エルステッド}$$

全磁束を ϕ, 切斷面積を $A=\pi r^2$ とすれば

$$\phi=HA=\frac{4\pi\mu ni}{10\,l}\pi r^2=\frac{4\pi^2\mu r^2ni}{10\,l}\ \text{マックスウエル}$$

次に磁束は總ての卷回數に鎖交するものとすれば、鎖交數 $N=n\phi$ となる。

$$\therefore\ L=\frac{N}{i}\times10^{-8}=\frac{n\phi}{i}\times10^{-8}=\frac{4\pi^2\mu r^2n^2}{l}\times10^{-9}\ \text{ヘンリ}$$

(31) 相互誘導係數

2 つの線輪又は 2 つの電氣回路が互ひに接近せるとき其の何れか一方に流れる電流の强さ、從つて、生ずる磁束が變化すれば、其の瞬間必ず他方に起電力が誘導される。これは勿論電磁誘導作用の一種であるが、2 回路相互間に其の作用を及ぼすものであるから、特に相互誘導 (mutual induction) といふ。然し、2 線輪間の相互誘導作用に基く起電力は電流の變化率のみに據つて定まるのでなく、兩線輪の形狀及び卷數、兩者間の關係位置或は鐵心の有無により異なるもので、之等に關係する比例常數を相互誘導係數、或は、相互インダクタンス (mutual inductance) と稱し、單位は矢張りヘンリである。

今 A, B 兩線輪があつて、A に i アンペアを通じたるとき、この電流による磁束と B 線輪との鎖交數を N とし、A 線輪の電流が一樣な變化率を以て變化すれば、B 線輪の誘導起電力は

$$e=-\frac{N}{t}\times10^{-8}\ \text{ボルト}\quad\cdots\cdots①$$

又兩線輪間の相互インダクタンスを M ヘンリとすれば

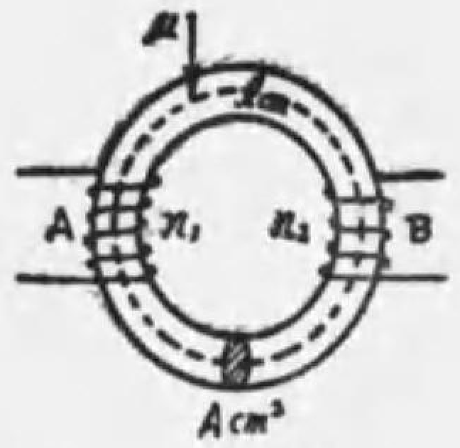
$$e=-M\frac{i}{t}\ \text{ボルト}\quad\cdots\cdots②$$

① と ② は相等しい筈だから

$$-\frac{N}{t}\times10^{-8}=-M\frac{i}{t}\qquad \therefore\ M=\frac{N}{i}\times10^{-8}\ \text{ヘンリ}$$

【例】 第 52 圖の如き相互誘導回路の相互インダクタンスを計算せよ。但し鐵

心の導磁率を μ とする。



第 52 圖

解答 A線路に i アンペアを通すれば鐵心中の磁束 ϕ は

$$\phi=\frac{4\pi n_1\mu A}{10\,l}\,i \text{ マックスウェル}$$

この磁束が兩線輪を全部貫くものとすれば B 線輪との鎖交數は

$$N=\frac{4\pi n_1\mu Ai}{10\,l}\times n_2=\frac{4\pi n_1 n_2\mu Ai}{10\,l}$$

從つて $M=\frac{N}{i}\times10^{-8}=\frac{4\pi n_1 n_2\mu A}{l}\times10^{-9}$ ヘンリ

今度は B 線輪に i アンペアが流れたとき生ずる磁束は

$$\phi=\frac{4\pi n_2\mu Ai}{10\,l} \text{ マックスウェル}$$

よつて此の磁束と A 線輪との鎖交數は

$$N=\frac{4\pi n_2\mu Ai}{10\,l}\times n_1 \qquad \therefore\ M=\frac{N}{i}\times10^{-8}=\frac{4\pi n_1 n_2\mu A}{l}\times10^{-9} \text{ ヘンリ}$$

となり、先に求めたる A 線輪の電流變化が、B 線輪に相互誘導を及ぼす場合の相互インダクタンスと全く同一となる譯である。

〔註〕 完全に磁束と卷回數とが鎖交するものとすれば $M=\sqrt{L_1L_2}$ の關係がある。L_1, L_2 は A, B 線輪の自己インダクタンスであるから讀者自ら計算されたい。

【例】 500 回の一次線輪が切斷面積 10cm², 平均長さ 60cm の環狀鐵心上に卷かれ、其の上に 1000 回の二次線輪を卷く。今一次線輪の電流が $\frac{1}{100}$ 秒間に零から 5A に增加したるとき、二次線輪に幾ボルトの起電力を生ずるか。但し鐵心の導磁率を 1000 とし洩漏磁束なきものとす。

解答 前問の數式を使用すれば

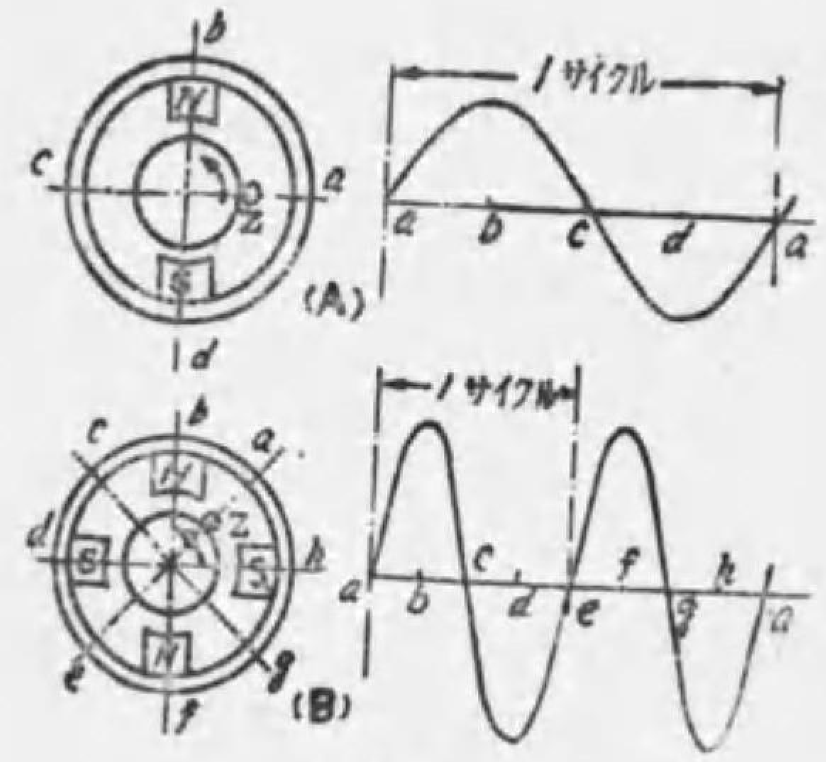
$$M=\frac{4\pi n_1 n_2\mu A}{l}\times10^{-9}=\frac{4\pi\times500\times1000\times1000\times10}{60}\times10^{-9}=1.047 \text{ ヘンリ}$$

然るに起電力 e は $e=M\frac{i}{t}=1.047\times\frac{5}{\frac{1}{100}}=523.5$ ボルト

第二部 交流回路

（Ⅶ） 交流の周波數と波形

（32） 極數と周波數



第 53 圖

第 53 圖 (A) の如く 2 極即ち、NS兩極のみの間に於て、一つの導体 Z が回轉すると、1 回轉に 1 サイクル、又 1 秒間に n 回轉すれば周波數 $f=n$ サイクルとなる。然るに極數が 4 極となると一つの N から S. S から次の N に至るとき 1 サイクルを完成するのであるから $\frac{1}{2}$回轉の間に 1 サイクルを、1 回轉の間に 2 サイクルを發生することが諒得されやう。

即ち P を以て極數とすれば、1 秒間に $f=Pn/2$ サイクルを發生する。普通發電機や電動機の回轉數は毎分何程かと表はされる故

$$f=\frac{Pn}{2}=\frac{PN}{2\times60}=\frac{PN}{120} \text{ サイクル}$$

にて計算される。但し N は 1 分間の回轉數 (r.p.m) である。また回轉數 N は

$$N=\frac{120f}{P} \quad \text{(r.p.m)}$$

となる。斯樣にして表はされたる回轉數を特に同期速度 (synchronous speed) と云ふ。

【例】 50 サイクル 4 極の A 交流發電機あり、今これと並列運轉する 12 極の B 發電機がある、夫々の回轉數何程か。

解答 A 機の回轉數 $N_A=\frac{120\times50}{4}=1500$ r.p.m

B 機の回轉數は $N_B=\frac{120\times50}{12}=500$ r.p.m

【例】 我國に於ける電燈並に動力用電源としての同期交流發電機の最高速度は何程か。

解答 回轉數は極數に反比例するが、極數の限度は N S 2 極の場合が最小である。從つて

60 サイクルに對しては $N=\frac{120\times60}{2}=3600$ r.p.m

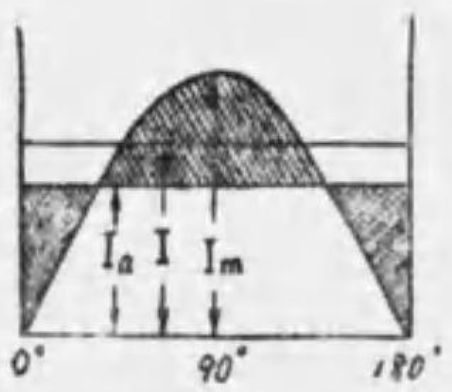
同樣に 50 サイクルでは　$N=\dfrac{120\times 50}{2}=3000$　r.p.m

である。最近の蒸氣タービン發電機は斯樣な高速度のものが採用されてゐる。この事柄は電動機の場合にも當嵌め得る。

（註）實際に使用される周波數は、電燈電力用として 25～60 有線電話用として數百～數千、無線電信電話用としては數十萬～數百萬サイクルの範圍である。我國に於ける電燈並動力用電源は 50 及 60 サイクルに二大別され、中部以東は主として 50 中部以西には 60 サイクルが採用さる。全國的に見て 60 サイクル 57%, 50 サイクル 41%, 其の他 2% となつてゐる。

(33) 正弦波の平均値及び實効値

現在實用に供する交流は前に示した如き正弦波 (sine wave) である。正弦波は理論が簡單であり又研究し易い上に實際取扱ふ點からも甚だ都合よいのである交番電壓或は交流は時々刻々其の大きさを變へるから其の大きさを表はすのに種々の方法がある。時々刻々の値を瞬時値(instantaneous value) と云ひこの瞬時値中最大の値を最大値 (maximum value)……圖の I_m……と稱し、瞬時値を半波の間で平均したものを、平均値 (mean value)……圖の I_a……と呼んでゐる。



第 54 圖

正弦波交流及び起電力では最大値 I_m 或は E_m と、平均値 I_a, E_a の間には次の關係がある。

$$I_a=\frac{2}{\pi}I_m \qquad 或は \qquad E_a=\frac{2}{\pi}E_m$$

$$（平均値=\frac{2}{\pi}\times 最大値）$$

次に、交流と同一時間に同量の仕事（導体に通ずる場合は發熱量）をなす直流の値を、其の交流の實効値 (effective value) と云ひ、一般交流電壓計電流計は實効値を指示する。吾人も交流回路ではこの實効値を使用するのである。今或る抵抗に正弦波交流を通じた時を考ふるに其の電力は

〔(電流の瞬時値)^2×抵抗〕の平均……………………………①

にして、此の交流の實効値と等しき直流が流れる時の電力は

〔(實効値)^2×抵抗〕……………………………………………②

この兩者は實効値の定義から考へて等しかるべきであるから

(實効値)^2×抵抗=〔(瞬時値)^2×(抵抗)〕の平均

∴　實効値$=\sqrt{(瞬時値)^2の平均}$

即ち實効値は瞬時値の自乘の平均の平方根 (root-mean-square value) と云ひ表はし得る。斯樣な定義から、正弦波交流の最大値 (I_m) と實効値 (I) との間には次の關係が成立する。

$$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad I_m=\sqrt{2}\,I \qquad 或は \quad E=\frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad E_m=\sqrt{2}\,E$$

$$（實効値=\frac{1}{\sqrt{2}}\times 最大値）$$

【例】電燈回路の周波數 60 サイクル、電壓（實効値）100 V なる交番起電力の瞬時値を示す式を作れ。

解答　$e=E_m\sin\omega t$　（但し　$\omega=2\pi f$　t…時間）

∴　$e=\sqrt{2}\times 100\times\sin(2\pi\times 60)t=141.4\times\sin(120\pi)t$

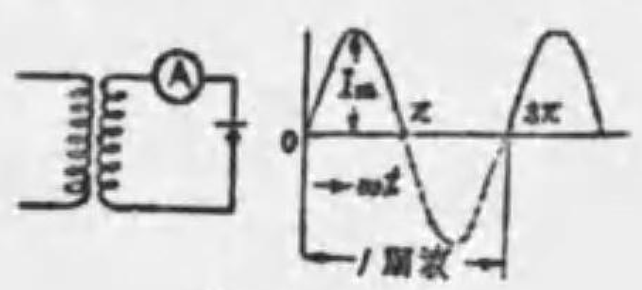
（註）$\sqrt{2}=1.414$（1.414 ヒトヨヒトヨ 人よ人よと暗記されたい）

【例】$i=I_m\sin\omega t$ なる正弦波交流に於て、$\omega t=45^\circ$ の瞬時値が丁度實効値に相等することを證明せよ。

解答　$\sin 45^\circ=1/\sqrt{2}$　であるから

$i=I_m\sin\omega t=I_m\sin 45^\circ=I_m/\sqrt{2}$

即ち實効値 (I) は $I_m/\sqrt{2}$ である故證し得る。

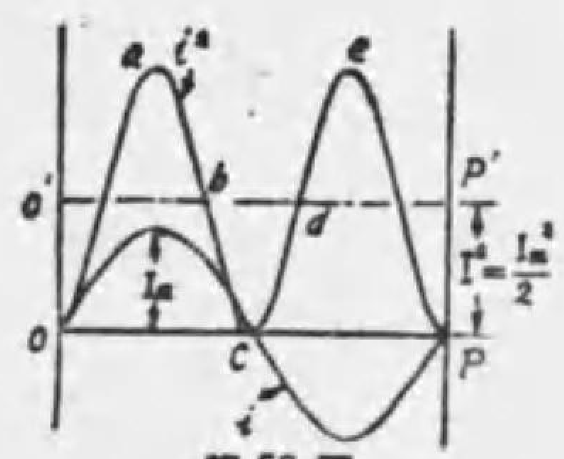


第 55 圖

【例】1 箇の整流器を用ひて正弦波半波整流をなした電流の實効値を求めよ。

解答　正弦波の瞬時値の自乘の平均は $I_m^2/2$ となる。然し此の場合には正弦のみで負波は存在しないのであるから、1 周波間の平均は $I_m^2/4$ となる。從つて

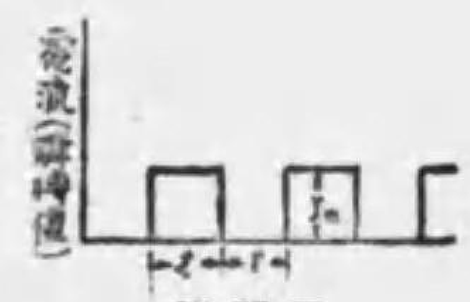
$$實効値=\sqrt{\frac{I_m^2}{4}}=\frac{I_m}{2}$$



第 56 圖

（註）何故に正弦波の瞬時値の自乘の平均が $I_m^2/2$ であるかを一應考察して見やう。今第 56 圖に於て、i^2 の曲線に目を移して、新軸線 O′P′ に就て考察するとき、Oabcdep の如き正しい正弦波をなすことが知れやう。然るとき i^2 の曲線が含む面積と矩形 OO′P′PO の面積と相等しい事が知れる。即ち OO′ は瞬時値の自乘の平均（實効値の 2 乘）を示す事が諒解されやう。之等は高等數學の力をかりれば容易に證明し得ることを附言する

【例】第 57 圖の如き波形の脈動電流を熱線型電流計を以て測定したるに 10 アンペアを指示したりと云ふ。今この電流を可動線輪型電流計を以て測定せば其の指示幾何となるか。（既往第三種選試問題）



第 57 圖

解答　脈動電流の最大値（矩形の高さ）を I_m とすれば、實効値 I 及び平均値 I_a は夫々

$$I=\sqrt{\frac{I_m^2\times t}{2t}}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}\qquad I_a=\frac{I_m\times t}{2t}=\frac{I_m}{2}$$

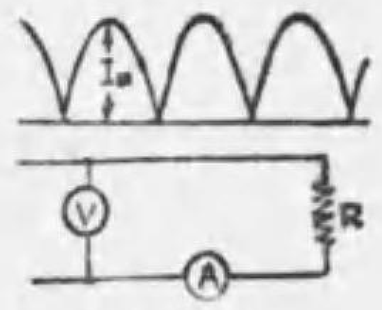
さて、熱線型電流計は實効値を示すから

$$I_m=\sqrt{2}\,I=\sqrt{2}\times10=14.14\ \mathrm{A}$$

となる。然るに可動線輪型電流計は平均値を指示するからその求むる指示は

$$I_a=\frac{I_m}{2}=\frac{14.14}{2}=7.07\ \mathrm{A}$$

【例】 第58圖の如き正弦波全波整流電流が通ずる無誘導回路あり、今電壓計は熱線型にして、22.2ボルトを示し、電流計は可動線輪型にて5アンペアを指示せりといふ。無誘導抵抗の値何程か。



第58圖

解答 全波整流の時は正弦波の場合と全く同様に扱つてよい。從つて整流波の最大値を I_m とすれば

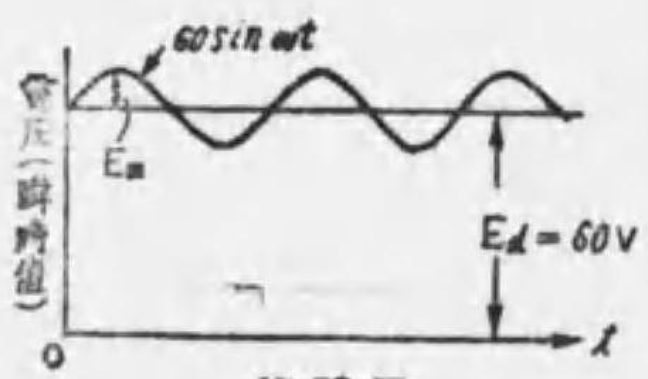
$$實効値\quad I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}\qquad 平均値\quad I_a=\frac{2}{\pi}I_m$$

である。然るに可動線輪型計器は平均値を指示する故題意により

$$I_a=\frac{2}{\pi}I_m=5\qquad\therefore\ I_m=\frac{5\pi}{2}$$

これを實効値の關係式に代入すれば $I=\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot\frac{5\pi}{2}=5.55$ A

熱線型計器は實効値を指示するから抵抗 R は $R=\frac{22.2}{5.55}=4\ \Omega$



第59圖

【例】 第59圖の如く直流電壓 $E_d=600$V に $e=60\sin\omega t$ なる交番起電力が重疊されたものゝ電壓（實効値）は何程か。

解答 斯様な場合の合成電壓の實効値は

$$\sqrt{(直流電壓)^2+(交流電壓の實効値)^2}$$

で示される。

$$\therefore\ E=\sqrt{E_d^2+\left(\frac{E_m}{\sqrt{2}}\right)^2}=\sqrt{600^2+\left(\frac{60}{\sqrt{2}}\right)^2}=601.5\mathrm{V}$$

（註） 正弦波にあらざる波形については「高級電氣工學計算の基礎」P46 以下參照

(34) 波形率と波高率

一般交流に於て、實効値を平均値で除したものを波形率 (form factor) と稱してゐる。從つて正弦波電流に對しては

$$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}\qquad 及び\qquad I_a=\frac{2}{\pi}I_m$$

であるから次の様になる。

$$波形率=\frac{I_m/\sqrt{2}}{\frac{2}{\pi}I_m}=\frac{\pi}{2\sqrt{2}}=1.11$$

又最大値を實効値で除したものを波高率 (crest factor) と稱する。同様に正弦波では

$$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}\qquad\therefore\ I_m=\sqrt{2}\,I\ なる故\qquad 波高率=\frac{I_m}{I}=\frac{I_m}{I_m/\sqrt{2}}=\sqrt{2}=1.414$$

となる。而してこの兩者の値は波形が尖鋭になるに從ひ增大するものである。

【例】 正弦波半波整流電流の波形率及び波高率を求めよ。

解答 實効値は既に求めた樣に $I_m/2$ で表はされる。平均値は正弦波交流の半分であるから

$$\frac{2}{\pi}I_m\times\frac{1}{2}=\frac{I_m}{\pi}\qquad である。故に$$

$$波形率=\frac{I_m/2}{I_m/\pi}=\frac{I_m}{2}\times\frac{\pi}{I_m}=\frac{\pi}{2}=1.571$$

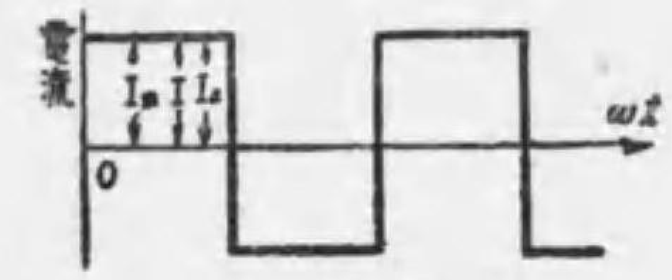
$$波高率=\frac{I_m}{I_m/2}=I_m\times\frac{2}{I_m}=2$$

【例】 波形率及び波高率が1なる交流の波形を吟味せよ。

解答 $波形率=\frac{實効値}{平均値}=1$

$$波高率=\frac{最大値}{實効値}=1$$

を滿足するが如き波形は第60圖の如き矩形波である。



第60圖

（Ⅷ） 交番電壓電流の和差

(35) ベクトル的な扱ひ方

ベクトル量とは、例へば、力、速度等の如く、大さだけで無く、方向及び向き (sence) の三要素を有する量である。併して方向と云へば普通2方的（例へば上下、左右等）の意味を有するを以て其の2方的の何れの向きなるか（例へば上下の方向で下に向ふとか、東西の方向で東に向ふ等）を明かにするために、方向に加へるに更に向きを與へたものである。それでベクトル (vector) の向きを方向の中に含めて考へ單にベクトルは大さと方向の2要素を有するものと考へても差支へない

それで交番電壓或は電流も大き並に方向を常に變化するものであるから、其の和或は差を求めるには簡單に代數的和或は差によつて求める事は出來ず、從つてベクトル的に和差を求めなければならぬ。勿論、方向が全く同じか、或は正反對

（180° の位相差）の時のみはベクトル的に求めたものと、代數的に求めたものとは同値である。

交流に於けるベクトルの大きさは交流の瞬時値との關係で、最大値を以て示すのが妥當かも知れぬが、吾々が交流の諸現象を取扱ふ上に瞬時値の必要は殆んど無く；寧ろ實効値が便利であるから、凡てベクトル圖 (vector diagram) は實効値と位相角を以て描くのが通例である。ベクトルの回轉方向は、反時計式を以て正（+）とするのが規約である。

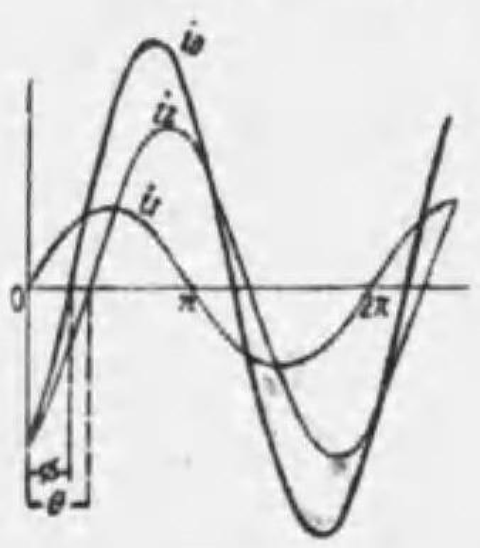
さて、同一ベクトル圖で取り扱ひ得るベクトルは總て同一角速度即ち同一周波數である事が必要條件である。即ち相異なる角速度又は周波數であれば、刻々に兩者の相差角を異にして行くから兩者間の關係は t=0 直後直ちに亂れてしまふそれ故、斯様なものを同一ベクトル圖上に表はし得ない事は明白で、老婆心から一言申添へる。

（36） 電壓或は電流の和

【例】 $i_1=\sqrt{2}\,I_1\sin\omega t$　$i_2=\sqrt{2}\,I_2\sin(\omega t-\theta)$　なる電流に對する瞬時値の和及び合成電流の實効値を求めよ。

解答　兩電流の和の瞬時値を i_0 とすれば

$$\begin{aligned}
i_0&=\sqrt{2}\,I_1\sin\omega t+\sqrt{2}\,I_2\sin(\omega t-\theta)\\
&=\sqrt{2}\,I_1\sin\omega t+\sqrt{2}\,I_2(\sin\omega t\cos\theta-\cos\omega t\sin\theta)\\
&=(\sqrt{2}\,I_1+\sqrt{2}\,I_2\cos\theta)\sin\omega t-(\sqrt{2}\,I_2\sin\theta)\cos\omega t\\
&=\sqrt{2}\sqrt{(I_1+I_2\cos\theta)^2+(I_2\sin\theta)^2}\,\sin(\omega t-\phi)\ \cdots\cdots①
\end{aligned}$$



第 61 圖

これは瞬時値の和にして、圖に示すと、第 61 圖の様になる。

（註） 參考 三角法公式

● $\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cos\beta\pm\cos\alpha\sin\beta$

● $A\sin\theta-B\cos\theta$

$$=\sqrt{A^2+B^2}\left(\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}}\sin\theta-\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}}\cos\theta\right)$$

$$\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}}=\sin\phi\qquad\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}}=\cos\phi$$

とおけば

$$\therefore\ A\sin\theta-B\cos\theta=\sqrt{A^2+B^2}\,(\sin\theta\cos\phi-\cos\theta\sin\phi)=\sqrt{A^2+B^2}\,\sin(\theta-\phi)$$

さて ① 式より電流の實効値を求めると

$$\frac{\sqrt{2}\sqrt{(I_1+I_2\cos\theta)^2+(I_2\sin\theta)^2}}{\sqrt{2}}=\sqrt{(I_1+I_2\cos\theta)^2+(I_2\sin\theta)^2}\ \cdots②$$

又 $\tan\phi=\dfrac{I_2\sin\theta}{I_1+I_2\cos\theta}$　　$\therefore\ \phi=\tan^{-1}\dfrac{I_2\sin\theta}{I_1+I_2\cos\theta}$ ………③

第 62 圖

次にベクトル圖より合成電流の實効値を求めてみる。併して、正弦波交流に於ては、實効値は最大値の $1/\sqrt{2}$ なるを以て、實効値は夫々 I_1, I_2 となる。第 62 圖より

$$I_0=\sqrt{(I_1+I_2\cos\theta)^2+(I_2\sin\theta)^2}\ \cdots\cdots\cdots\cdots②'$$

$$\tan\phi=\frac{I_2\sin\theta}{I_1+I_2\cos\theta}\qquad\therefore\ \phi=\tan^{-1}\frac{I_2\sin\theta}{I_1+I_2\cos\theta}\ \cdots\cdots\cdots③'$$

となり，前方法と合致することが知れる。

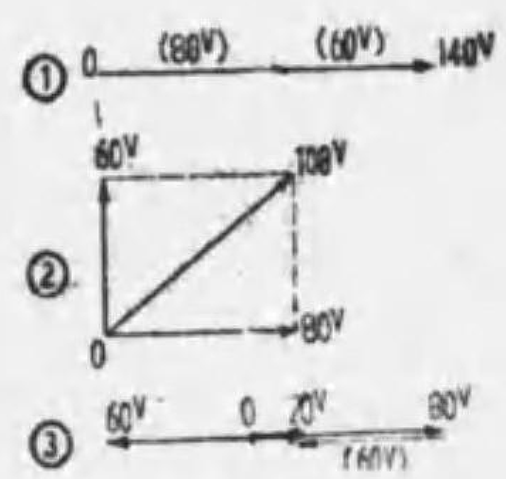
【例】 實効値 $E_1=80\,V$ の電壓あり，今 $E_2=60\,V$ にして之が E_1 と ❶ 同位相なるとき、❷ 90° の位相差を有するとき、❸ 180° の位相差（反對方向）を有するとき、夫々 E_1, E_2 の合成電壓 E_0 を求めよ。

解答　ベクトル圖より

❶ の場合　　$E_0=80+60=140\,V$

❷ の場合　　$E_0=\sqrt{80^2+60^2}=100V$

❸ の場合　　$E_0=80-60=20\,V$



第 63 圖

【例】 $i_1=\sqrt{2}.16\sin\omega t$　及び

$$i_2=\sqrt{2}.10\sin\left(\omega t-\frac{\pi}{6}\right)$$

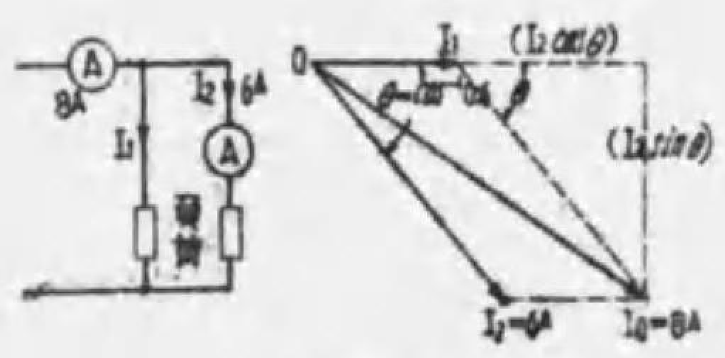
の合成電流の實効値を求めよ。

解答　i_1 及び i_2 の實効値は夫々 $I_1=16A$　$I_2=10A$　となり　$\pi/6$（ラヂアン）は 30° に等しき故、ベクトル圖を畫くと第 64 圖の如くなる。

$$\begin{aligned}
\therefore\ I_0&=\sqrt{(I_1+I_2\cos 30^\circ)^2+(I_2\sin 30^\circ)^2}\\
&=\sqrt{\left(16+10\times\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2+\left(10\times\frac{1}{2}\right)^2}\\
&=\sqrt{(16+8.66)^2+5^2}\\
&=\sqrt{608+25}=\sqrt{633}\fallingdotseq 25.2\ A
\end{aligned}$$

第 64 圖

【例】 圖の様な並列回路があり、その合成電流は 8A である。今、I_2 は 6A にして I_1 より $\theta=\cos^{-1}0.6$（餘弦の値が 0.6 を有する様な角度、三角函數の表によれば約 53.1° となる）遅れてゐる I_1 の實効値を求めよ。



第 65 圖

解答　$\cos\theta=0.6$

$$\therefore\ \sin\theta=\sqrt{1-\cos^2\theta}=\sqrt{1-0.6^2}=0.8$$

ベクトル圖から合成電流は

$$I_0=\sqrt{(I_1+I_2\cos\theta)^2+(I_2\sin\theta)^2}=\sqrt{(I_1+6\times0.6)^2+(6\times0.8)^2}=8$$

$$\therefore\quad (I_1+3.6)^2+4.8^2=8^2 \qquad I_1^2+7.2I_1-28=0$$ （一元二次方程式を解く）

$$\therefore\quad I_1=\frac{-7.2\pm\sqrt{7.2^2-4\times1\times(-28)}}{2}=\frac{-7.2\pm12.8}{2}=2.8$$ 或は 10A

但し合成電流が 8A なる故 $I_1=10A$ は題意に外れる。故に $I_1=2.8A$ が求むるものである。

【例】 $e_1=\sqrt{2}E\sin\omega t$　$e_2=\sqrt{2}E\sin(\omega t-120^\circ)$　$e_3=\sqrt{2}E\sin(\omega t-240^\circ)$ の如く、互ひに 120° の相差を有する所謂相起電力の合成は零になる事を證明せよ

解答　$e_1+e_2+e_3=\sqrt{2}E\{\sin\omega t+[\sin(\omega t-120^\circ)+\sin(\omega t-240^\circ)]\}$

$$=\sqrt{2}E\left\{\sin\omega t+\left[2\sin\frac{(\omega t-120^\circ)+(\omega t-240^\circ)}{2}\cos\frac{(\omega t-120^\circ)-(\omega t-240^\circ)}{2}\right]\right\}$$

$$=\sqrt{2}E\left\{\sin\omega t+\left[2\sin\frac{2\omega t-360^\circ}{2}\cos\frac{120^\circ}{2}\right]\right\}$$

$$=\sqrt{2}E\{\sin\omega t+[2\sin(\omega t-180^\circ)\cos60^\circ]\}=\sqrt{2}E\left\{\sin\omega t+\left[2\sin(\omega t-180^\circ)\times\frac{1}{2}\right]\right\}$$

$$=\sqrt{2}E\{\sin\omega t+\sin(\omega t-180)$$

$$=\sqrt{2}E\{\sin\omega t+(\sin\omega t\cos180^\circ-\cos\omega t\sin180^\circ)\}$$

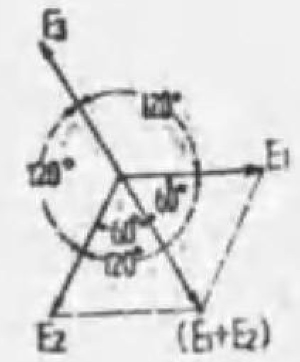
$$=\sqrt{2}E\{\sin\omega t+[\sin\omega t\times(-1)-\cos\omega t\times0]\}=\sqrt{2}E\{\sin\omega t-\sin\omega t\}=0$$

となり證明し得る。次にベクトル圖を用ひると簡便に之を證明する事が出來る。

e_1, e_2, e_3 の實効値は夫々 E にして、之をベクトル圖に示すと第 66 圖の如くなる。而して圖より明かな如く (E_1+E_2) のベクトル和は E_3 と大さ相等しく、且つ 180° の位相差を有するから、兩者の合成は零になる事が知れる。

（註） 參考 三角法公式

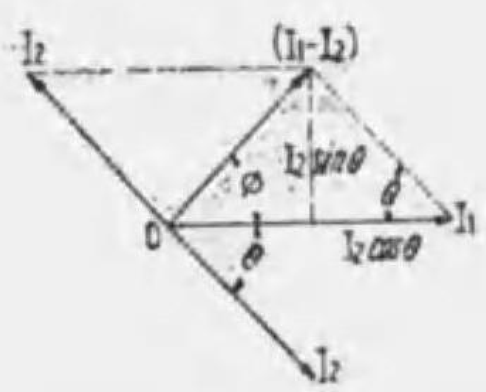
● $\sin(\alpha\pm\beta)=2\sin\frac{\alpha\pm\beta}{2}\cos\frac{\alpha\mp\beta}{2}$



第 66 圖

（37） 電壓或は電流の差

實効値 I_1, I_2 なる 2 電流の相差が θ なる場合、その差を求めてみる。さて、I_1 より I_2 を減ずることは I_1 と $(-I_2)$ の和を求めるに等しい。換言すれば、差引く方のベクトルの方向を反對にして前同様其の和を求むればよい。



第 67 圖

$$\therefore\quad I_1-I_2=\sqrt{(I_1-I_2\cos\theta)^2+(I_2\sin\theta)^2}$$

$$\tan\phi=\frac{I_2\sin\theta}{I_1-I_2\cos\theta}\quad\therefore\quad \phi=\tan^{-1}\frac{I_2\sin\theta}{I_1-I_2\cos\theta}$$

【例】 $e_1=\sqrt{2}E\sin\omega t$ と $e_2=\sqrt{2}E\sin(\omega t-120^\circ)$ の差を求めよ。

解答　$e_1-e_2=\sqrt{2}E\sin\omega t-\sqrt{2}E\sin(\omega t-120^\circ)$

$$=\sqrt{2}E\{\sin\omega t-\sin(\omega t-120^\circ)\}$$

$$=\sqrt{2}E\left\{2\sin\frac{\omega t-(\omega t-120^\circ)}{2}\cos\frac{\omega t+(\omega t-120^\circ)}{2}\right\}$$

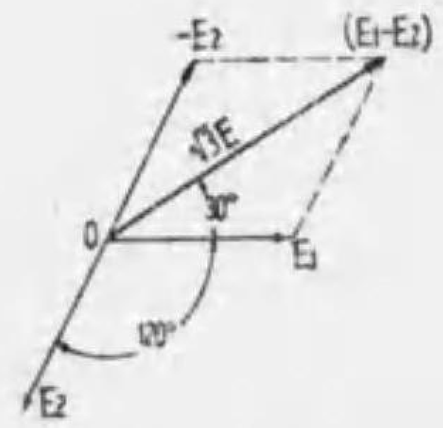
$$=\sqrt{2}E\{2\cos(\omega t-60^\circ)\sin60^\circ\}$$

$$=\sqrt{2}E\left\{2\cos(\omega t-60^\circ)\frac{\sqrt{3}}{2}\right\}$$

$$=\sqrt{3}\times\sqrt{2}E\cos(\omega t-60^\circ)$$

$$=\sqrt{3}\times\sqrt{2}E\sin(\omega t+30^\circ)$$

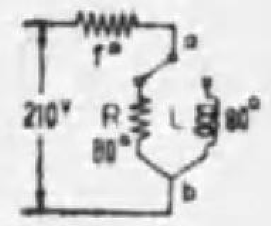
これを實効値にて表はせば、電壓の差は $\sqrt{3}E$ となる。ベクトル圖に表はすと第 68 圖の樣になる。それ故最初よりベクトル圖に描くと容易に求め得られる事が諒解されよう。



第 68 圖

（Ⅸ） 單相回路の計算

（38） 直列回路の計算



【基本問題】 電壓 210 ボルトなる一定電壓交流電源より直列無誘導抵抗 r オームを通じて 80 オームの無誘導抵抗に電流を通じたるに端子 a, b 間の電壓 120 ボルトなりと云ふ。今此の 80 オームの抵抗の代りに、80 オームの誘導リアクタンスを接續せば、端子 a, b 間の電壓幾何なるや。（昭 9）

【基礎智識】 先づ上記の問題を解くに必要なる直列回路計算の基礎智識を解説しよう。

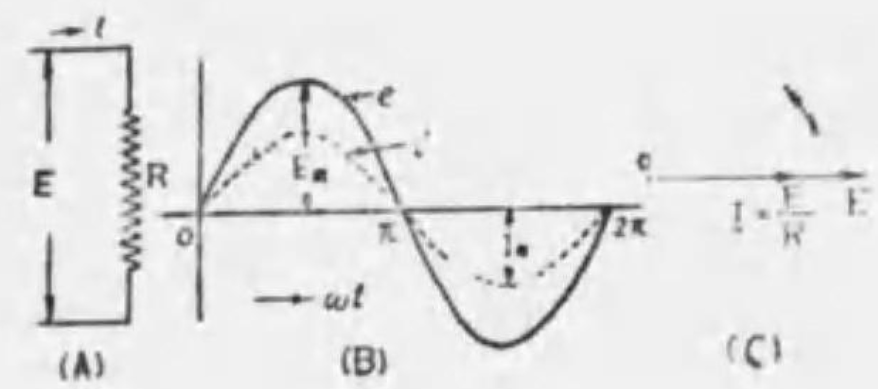
❶ 抵抗 R のみの回路

右圖 (A) の如く、抵抗 R オームに電流 I アンペアを通ずるに要する電壓は

$$E=IR \quad \text{ボルト}$$

$$\therefore\quad I=\frac{E}{R} \quad \text{アンペア}$$

にして E と I は同相である。

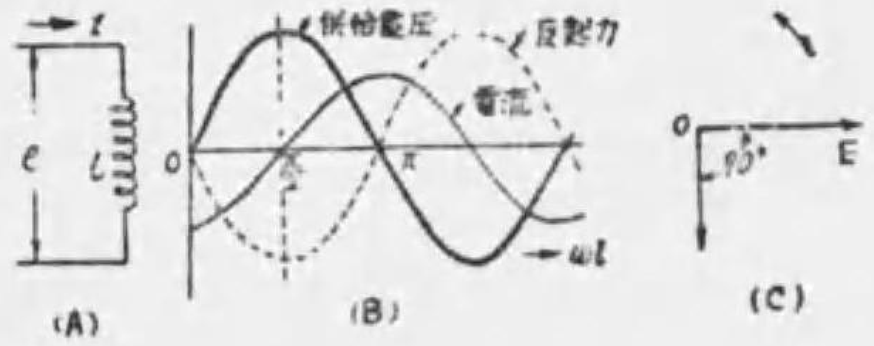


此の關係をベクトル圖に示すと (C) の樣になる。即ち E と I は同相であるから同一線上にとる。尙之を波形で表はせば (B) の如くなる。

❷ 誘導係數（インダクタンス）L のみの回路　次圖 (A) の如く自己誘導係數 L ヘンリに電流 I アンペアを通ずるために加ふべき電壓は

$E=I\omega L=I\times 2\pi fL$ ボルト　　$\therefore I=\frac{E}{\omega L}=\frac{E}{2\pi fL}$ アンペア　（ω は $2\pi f$ である）

となり、E は I より 90° 進むのである。換言すれば I は E より 90° 遅れるのである。此の E が I より進み或は I が E より遅れる角を相差角といふ。



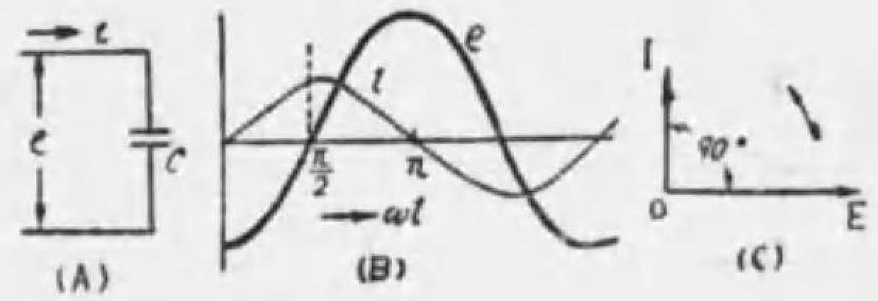
此の關係をベクトル圖に示すと (C) の様になる。進み角は左廻りに取るから I を水平に取れば E は上の方向に I と直角に書けばよい。之を波形で表はすと (B) の様になる。

③ 靜電容量 C のみの回路　次圖(A)の如く靜電容量 C フアラドに I アンペアを通するために加ふべき電壓は

$$E=I\frac{1}{\omega C}=I\times\frac{1}{2\pi fC}\quad \text{ボルト}$$

$$\therefore\ I=\frac{E}{1/2\pi fC}=2\pi fCE\quad \text{アンペア}$$

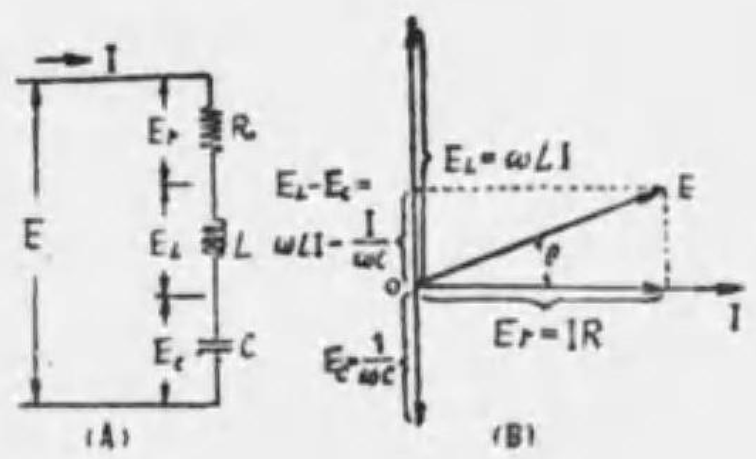
となり E は I より 90° 遅れるのである。云ひ換へれば、電流 I の位相は電壓 E より 90° 進むのである。



ベクトル圖は (C) の様になる遅れ角は右廻りに取るから、E を基準にとれば I は E と直角に上向に書けばよい。又波形で示すと (B) の通りである。

（註） 此の様に L のみの回路に於ては I が E より 90° 遅れ C のみの回路に於ては I は E より 90° 進む理由に就ては第三種一次選試受驗讀本 P44〜P46 を參照されよ。

④ R, L, C の直列回路　以上の三つが直列にある左圖の如き回路に I アンペアの電流を通するとき、抵抗 R, インダクタンス L, 靜電容量 C に要する電壓 E_r, E_L, E_C は前に述べた様に　$E_r=IR$ ボルト　E_r は I と同相



$E_L=I\omega L$ ボルト

E_L は I より 90° 進む

$E_C=I\frac{1}{\omega C}$　ボルト　E_C は I より 90° 遅れる

此の關係をベクトル圖に示すと (B) 圖の如くで、供給電壓 E は E_r, E_L, E_C のベクトル和で

$$E=\sqrt{E_r^2+(E_L-E_C)^2}$$

$$=\sqrt{(IR)^2+\left(I\omega L-\frac{I}{\omega C}\right)^2}=I\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\quad \text{ボルト}$$

$$\therefore\ I=\frac{E}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}}\quad \text{アンペア}$$

となり、電壓と電流の相差角 θ は

$$\tan\theta=\frac{E_L-E_C}{E_r}=\frac{I\omega L-\frac{1}{\omega C}I}{IR}=\frac{\omega L-\frac{1}{\omega C}}{R}$$

であるから　$\theta=\tan^{-1}\frac{\omega L-\frac{1}{\omega C}}{R}$　にして

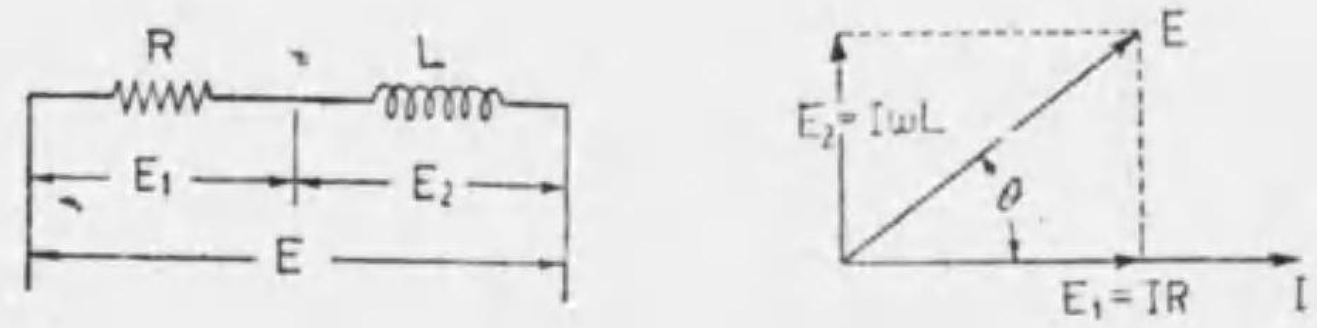
（イ）　$\omega L>\frac{1}{\omega C}$ のときは電流を遅らしめる L の作用の方が大であるから電流が電壓より遅れる。

（ロ）　$\frac{1}{\omega C}>\omega L$ のときは電流を進ましめる C の作用の方が大であるから電流は電壓より進む。

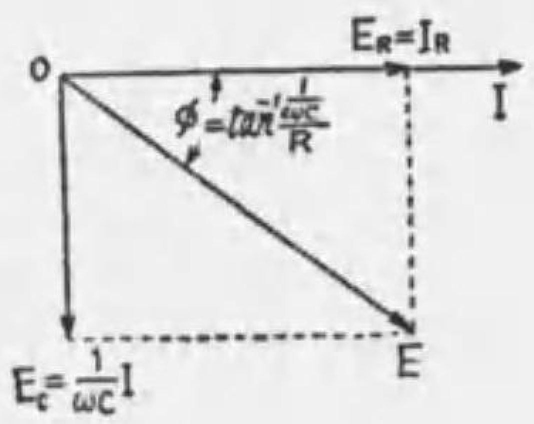
（ハ）　$\omega L=\frac{1}{\omega C}$ のときは L の作用と C の作用が打消し合ふから R のみとなり、電流と電壓は同相となる。

而して　$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}$　をインピーダンスと云ひ、ωL を誘導リアクタンス、$1/\omega C$ を容量リアクタンスと云ふ。$\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)$ は誘導リアクタンスと容量リアクタンスの合成リアクタンスである。

又靜電容量 C の存在せざるとき、即ち抵抗 R とインダクタンス L の直列回路に於ては $\frac{1}{\omega C}=0$　と考へ　$E=I\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$ ボルト　$I=\frac{E}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$



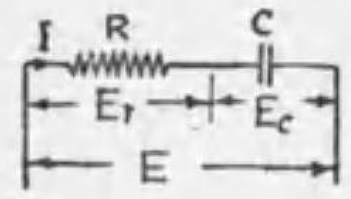
アンペアとなり、I は E より　$\theta=\tan^{-1}\frac{\omega L}{R}$　遅れると考へればよい。



又インダクタンス L のないとき、即ち抵抗 R と靜電容量 C の直列回路に於ては $\omega L=0$ と考へ

$$E=I\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}\quad \text{ボルト}$$

$$I=\frac{E}{\sqrt{R^2+\left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}\quad \text{アンペア}$$



となり、I は E より $\varphi=\tan^{-1}\frac{1/\omega C}{R}$ 丈け進む事となる。

（註） 此處で特に注意申上げたいのはインダクタンス L と誘導リアクタンス ωL、或は靜電容量 C と容量リアクタンス $1/\omega C$ を混同する者が多い事である。これは特に初學者に多い。インダクタンス L の單位は「ヘンリ」であり、誘導リアクタンス ωL の單位は「オーム」である。又靜電容量 C の單位は「フアラド」で、容量リアクタンス $1/\omega C$ の單位は「オーム」である。此の區別を判然とされ度いのである。

そして上の基本問題の如く、80 オームの誘導リアクタンスと言ふ如く、最初からオーム單位の誘導リアクタンスで與へられゝば、すぐその儘計算を進めてよいが、インダクタンス 5 ヘンリ等の如く與へられた時は、誘導リアクタンス$=\omega L=2\pi f\times 5$ オームとして回路計算を進めねばならぬ。又、靜電容量で C=3 マイクロフアラド等で與へられたときは

容量リアクタンス$=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{2\pi fC\times 10^{-6}}=\frac{10^6}{2\pi f\times 3}$ オームとして回路計算を進めねばならぬ。特に C と $1/\omega C$ を混同する事が多いから注意され度い。

尙直列回路の計算に就ては選試受驗テキスト P15 以下及第三種一次選試受驗讀本 P99 以下を參照研究されよ。

解答 a, b 間に無誘導抵抗を入れた時、抵抗 80Ω の端子 a, b 間の電壓が 120 V であるから、回路の電流は

$$I=\frac{120}{80}=1.5\ \text{アンペア}$$

依つて r の値は　$r=\frac{210-120}{1.5}=60$ オーム

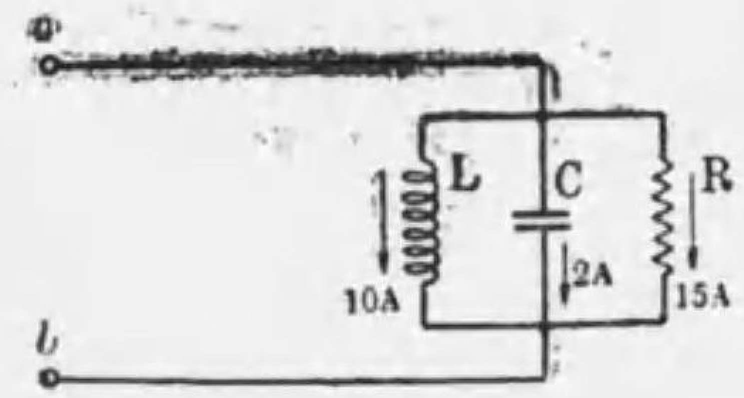
（此のときは r と R の直列回路であるから直流回路と同樣で r に加はる電壓は 210−120=90V である）

次に a, b 間に誘導リアクタンスを入れた時の電流 I' は

$$I'=\frac{E}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{210}{\sqrt{60^2+80^2}}=2.1\ \text{アンペア}$$

故に此のときの a, b 間の電壓 V は $V=I'\times 80=2.1\times 80=168$ ボルト

（39） 並列回路の計算



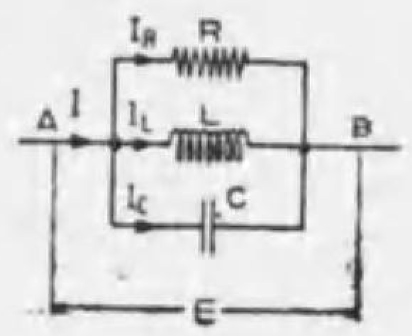
【基本問題】 圖の如くインダクタンス L, 靜電容量 C 及無誘導抵抗を並列に接續したる回路に於て、L に 10A, C に 2A, R に 15A の電流通ずるとき、端子 a, b に通ずる合成電流何程なるか。但しインダクタンス L 及靜電容量 C は共に損失なきものとす。（昭13）

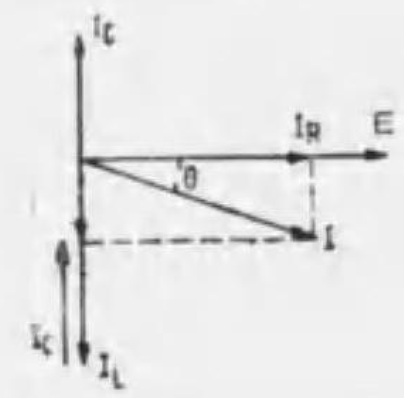
【基礎智識】 次圖の如く抵抗 R オーム、インダクタンス L ヘンリ及靜電容量 C フアラドの並列回路の端子に電壓 E ボルトを加へるとき、R, L 及 C に通ずる電流を I_R, I_L 及 I_C とすると

$$I_R=\frac{E}{R}\ \text{アンペア}\quad \text{E と同相}$$

$$I_L=\frac{E}{\omega L}=\frac{E}{2\pi fL}\ \text{アンペア}\quad \text{E より 90° 遅れる}$$

$$I_C=\frac{E}{1/\omega C}=\omega CE=2\pi fCE\ \text{アンペア}\quad \text{E より 90° 進む}$$





此のベクトル圖は次の如くである。即ち I_R は E と同一線上にあり、I_L は E より 90° 遅れるのであるから下向に E と直角方向にあり、I_C は E より 90° 進むから上向に E と直角方向にある。從つて I_L と I_C は全く反對位相にあるから互に打消し合ふ事となり、合成電流の E と直角分は (I_L-I_C) となる。

故に合成電流 I は　$I=\sqrt{I_R^2+(I_L-I_C)^2}$ アンペア

I と E の相差角 θ は　$\theta=\tan^{-1}\frac{I_L-I_C}{I_R}$ で

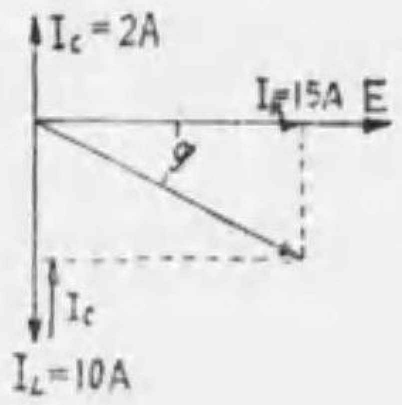
（イ） $I_L>I_C$ のときは I は E より遅れ

（ロ） $I_C>I_L$ のときは I は E より進み

（ハ） $I_L=I_C$ のときは I と E は同相となる。

若し靜電容量 C の存在せぬとき即ち R と L の並列回路では $I_C=0$ であるから $I=\sqrt{I_R^2+I_L^2}$ となり常に I は E より遅れる。

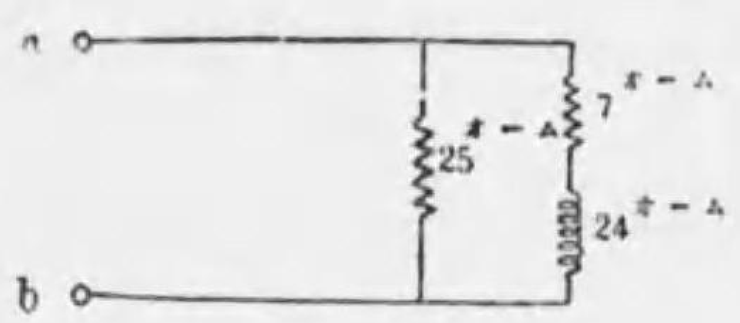
又、インダクタンス L のないとき即ち R と C の並列回路では $I_L=0$ として $I=\sqrt{I_R^2+I_C^2}$ となり常に I は E より進むと考へればよい。



尚テキスト計算篇 P 18 以下、遞試受驗讀本 P100 以下を參照研究されるとよい。

解　答　L は a, b 間の電壓より 90° 遲れ、C の電流は 90° 進み、R の電流は電壓と同相である。之の關係をベクトル圖に示せば左の如くである之より合成電流 I は

$$I=\sqrt{I_R^2+(I_L-I_C)^2}=\sqrt{15^2+(10-2)^2}$$
$$=17$$ アンペア　　となる。



【基本問題】 圖に示す如く、無誘導抵抗 7 オーム、リアクタンス 24 オームを直列とし、之に無誘導抵抗 25 オームを並列としたる回路あり端子 a, b に交流電壓 100 ボルトを加ふるとき端子に通ずる電流幾アンペアなるか。（昭 14）

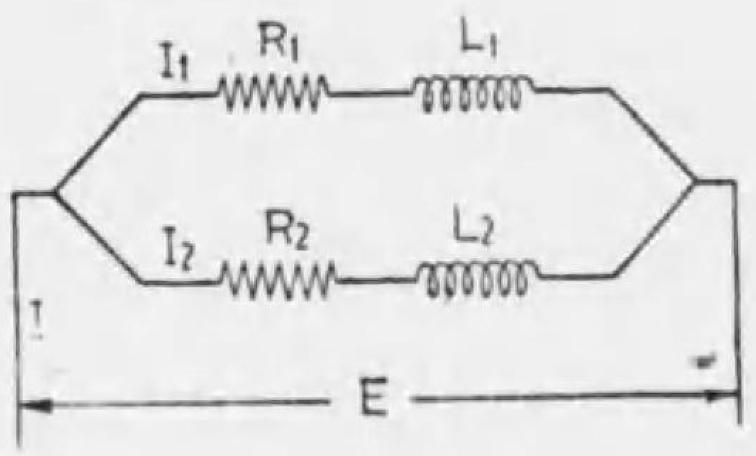
【基礎智識】 下圖の如き並列回路の端子に E ボルトを加へたとき R_1 に通ずる電流を I_1, R_2 に通ずる電流を I_2 とすれば直列回路の計算に於て述べた樣に

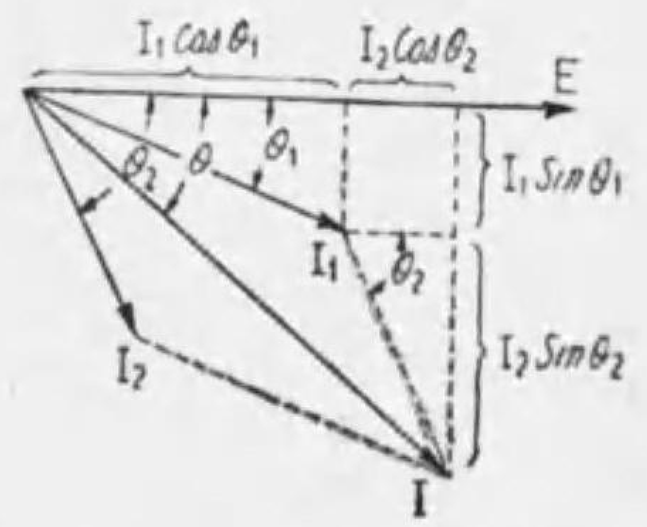
$$I_1=\frac{E}{\sqrt{R_1^2+(\omega L_1)^2}}$$ アンペア

で I_1 は E より $\theta_1=\tan^{-1}\frac{\omega L_1}{R_1}$ 遲れる。

同樣に $I_2=\frac{E}{\sqrt{R_2^2+(\omega L_2)^2}}$ アンペア

で I_2 は E より $\theta_2=\tan^{-}\frac{\omega L_2}{R_2}$ 遲れる。





此の關係を、ベクトル圖に示すと上圖の如くで、 I_1 は E より θ_1, I_2 は E より θ_2 遲れてゐる。即ち E より右廻りに θ_1 及 θ_2 角位置に I_1 及 I_2 がある。而して合成電流 I は I_1 と I_2 のベクトル和である。I_1 と I_2 のベクトル和を求めるには、I_1 と I_2 を二邊とする平行四邊形を畫けばその對角線が I_1 と I_2 のベクトル和となるのである。 I の大きさを求めるにはベクトル I_1 及 I の尖

端より OE に垂線を下し、その足を a, b とし、 又 I_1 より OE に並行線を引き $\overline{bd}$ との交点を c とすれば、三角法より

$$\cos\theta_1=\frac{Oa}{I_1}\quad\therefore\ Oa=I_1\cos\theta_1\qquad\cos\theta_2=\frac{ab}{I_2}\quad\therefore\ ab=I_2\cos\theta_2$$

$$\sin\theta_1=\frac{bc}{I_1}\quad\therefore\ bc=I_1\sin\theta_1\qquad\sin\theta_2=\frac{cd}{I_2}\quad\therefore\ cd=I_2\sin\theta_2$$

故に合成抵抗 I は

$$I=\sqrt{(oa+ab)^2+(bc+cd)^2}$$
$$=\sqrt{(I_1\cos\theta_1+I_2\cos\theta_2)^2+(I_1\sin\theta_1+I_2\sin\theta_2)^2}$$
$$=\sqrt{(\text{各分路の有効電流の和})^2+(\text{各分路の無効電流の和})^2}$$

として求められる。

而して上式に於ける $\cos\theta_1$, $\cos\theta_2$ 及 $\sin\theta_1$, $\sin\theta_2$ の値は次節の回路の力率に關する計算に說明する如く

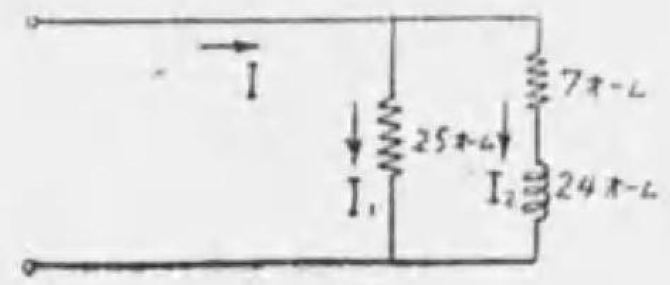
$$\cos\theta_1=\frac{R_1}{Z_1}=\frac{R_1}{\sqrt{R_1^2+(\omega L_1)^2}}\qquad\sin\theta_1=\frac{\omega L_1}{Z_1}=\frac{\omega L_1}{\sqrt{R_1^2+(\omega L_1)^2}}$$

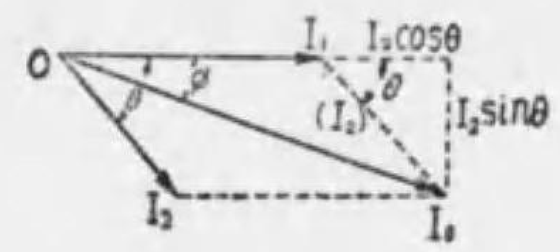
$$\cos\theta_2=\frac{R_2}{Z_2}=\frac{R_2}{\sqrt{R_2^2+(\omega L_2)^2}}\qquad\sin\theta_2=\frac{\omega L_2}{Z_2}=\frac{\omega L_2}{\sqrt{R_2^2+(\omega L_2)^2}}$$

で、此の値を上式に代入して計算すればよい。

尙 R, L と R, C の並列回路の解法等に就ては遞試受驗讀本 P 105 及テキスト計算篇 P21 を參照されよ。

解　答　基本問題に於ては I_1 は抵抗のみであるから E と同相で





$$I_1=\frac{100}{25}=4\,\mathrm{A}$$

I_2 は抵抗とインダクタンスの直列であるから E より θ 遲れ

$$I_1=\frac{100}{\sqrt{7^2+24^2}}=4$$ アンペア　　$$\theta=\tan^{-1}\frac{24}{7}$$

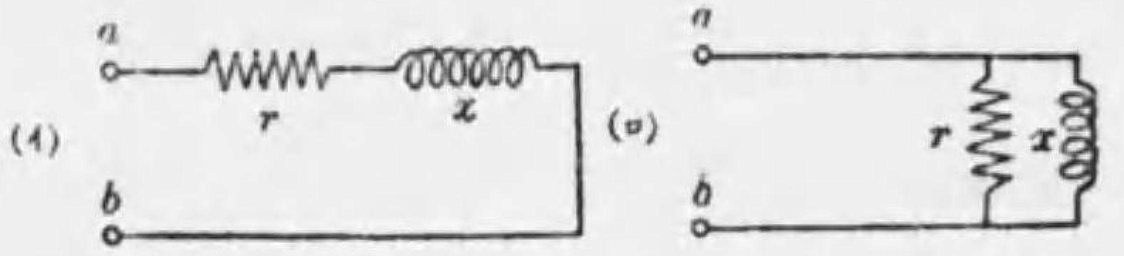
$$\therefore\ \cos\theta=\frac{7}{\sqrt{7^2+24^2}}=\frac{7}{25}\qquad\sin\theta=\frac{24}{\sqrt{7^2+24^2}}=\frac{24}{25}$$

合成電流 I は

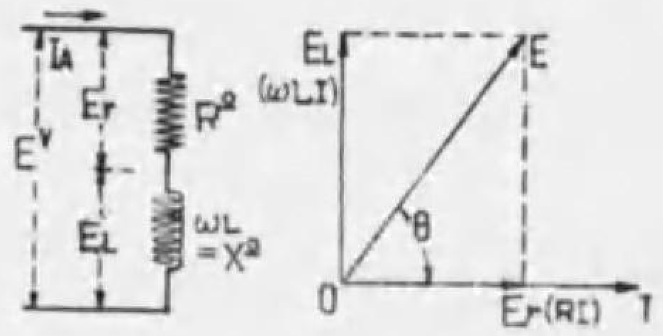
$$I=\sqrt{(I_1+I_2\cos\theta)^2+(I_2\sin\theta)^2}$$
$$=\sqrt{\left(4+4\times\frac{7}{25}\right)^2+\left(4\times\frac{24}{25}\right)^2}=6.4$$ アンペア　　となる。

（40） 回路の力率に關する計算

【基本問題】 下圖（イ）及（ロ）に示したる交流回路の端子 a, b に於ける力率を求めよ。但し r は 3 オームの無誘導抵抗、x は 4 オームのリアクタンスとす（昭10）



【基礎智識】 ❶ **直列回路の力率**　回路の力率とは電壓と電流との相差角 θ の餘弦 ($\cos\theta$) の事である。



右圖の如き直列回路に於ては前に述べた如く　$E=I\sqrt{R^2+(\omega L)^2}$ であり、力率とは上記の如く E と I の相差角 θ の餘弦であるから

$$\cos\theta=\frac{E_r}{E}=\frac{IR}{I\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{R}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}$$

となる。即ち直列回路の力率は次式で示される事がわかる。

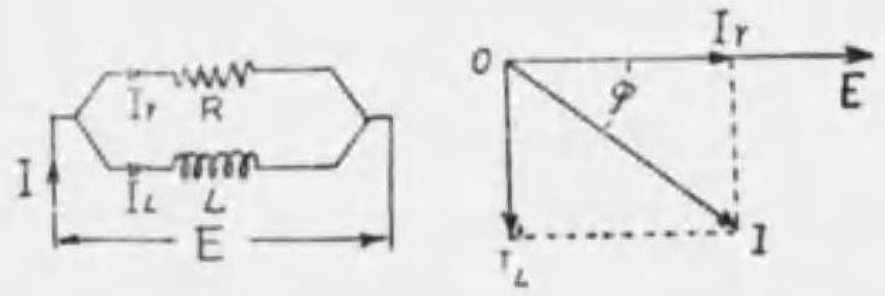
$$\cos\theta=\frac{R}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{\text{抵　　抗}}{\text{インピーダンス}}$$

又 $\sin\theta$ は次式で示される事もわかる。

$$\sin\theta=\frac{\omega L}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{\text{リアクタンス}}{\text{インピーダンス}}$$

$$\left(\because\quad \sin\theta=\frac{E_L}{E}=\frac{I\omega L}{I\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{\omega L}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}\right)$$

❷ **並列回路の力率**　並列回路に於ても力率が電壓と電流の相差角 φ の餘弦 ($\cos\varphi$) である事に變りはない。下圖に於て a, b 間の力率とは a, b 間の電壓 E と a, b 端子を通ずる此の回路の合成電流 I との相差角 φ の餘弦なのである。



既に述べた事より

$$I_R=\frac{E}{R}\ \text{アンペア　E と同相}$$

$$I_L=\frac{E}{\omega L}\ \text{アンペア　E より 90° 遅れる}$$

故に合成電流 I は　$I=\sqrt{I_R^2+I_L^2}$

從つて a b 間の力率 $\cos\varphi$ は

$$\cos\varphi=\frac{I_R}{I}=\frac{I_R}{\sqrt{I_R^2+I_L^2}}=\frac{\text{有効電流}}{\text{合成電流}}$$

として求められるのである。

解 答　（イ）圖の直列回路の力率は

$$\cos\theta=\frac{R}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{3}{\sqrt{3^2+4^2}}=\frac{3}{5}=0.6$$

即ち a, b 端子の力率は 60% である。

（ロ）圖の並列回路の力率は

$$\cos\theta=\frac{I_R}{I}=\frac{E/R}{\sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2+\left(\frac{E}{\omega L}\right)^2}}$$

$$=\frac{E/R}{E\sqrt{\frac{1}{R^2}+\frac{1}{(\omega L)^2}}}=\frac{\omega L}{\sqrt{R^2+(\omega L)^2}}=\frac{4}{\sqrt{3^2+4^2}}=\frac{4}{5}=0.8$$

即ち a, b 端子に於ける力率は 80% となる。

【問題】 前述の並列回路の計算に於ける基本問題の各問の a, b 端子の力率を求めよ。

【解答】 (1) R, L, C の並列回路の場合の a, b 間の合成力率は

$$\cos\theta=\frac{\text{有効電流}}{\text{合成電流}}=\frac{I_R}{I}=\frac{I_R}{\sqrt{I_R^2+(I_L-I_C)^2}}$$

$$=\frac{15}{\sqrt{15^2+(12-2)^2}}=\frac{15}{17}=0.882\qquad\text{となる。}$$

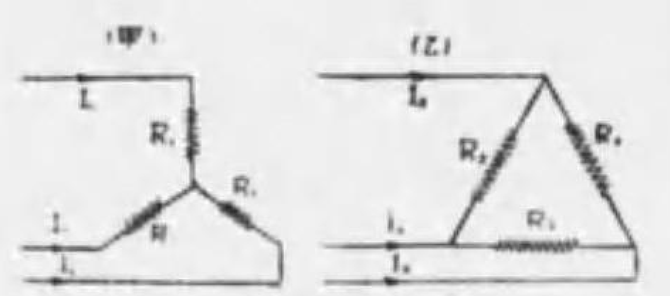
(2) 25 オームの抵抗と抵抗 7 オーム、リアクタンス 24 オームの直列インピーダンスの並列回路の a, b 間の合成力率は

$$\cos\varphi=\frac{\text{有効電流}}{\text{合成電流}}=\frac{I_1+I_2\cos\varphi_2}{\sqrt{(I_1+I_2\cos\varphi_2)^2+(I_2\sin\varphi_2)^2}}$$

$$=\frac{4+4\times\frac{7}{25}}{\sqrt{\left(4+4\times\frac{7}{25}\right)^2+\left(4+\frac{24}{25}\right)}}=\frac{5.12}{6.4}=0.8\qquad\text{となる。}$$

（41） 平衡三相交流回路の計算

【基本問題】 抵抗 R_1, 並に抵抗 R_2 を夫々右圖の如く接續し、之に同じ平衡三相電壓を加ふるとき、電線に流るゝ電流 I_1 と I_2 とを相等しからしむるに要する R_1 と R_2 との比を求めよ。（昭5）



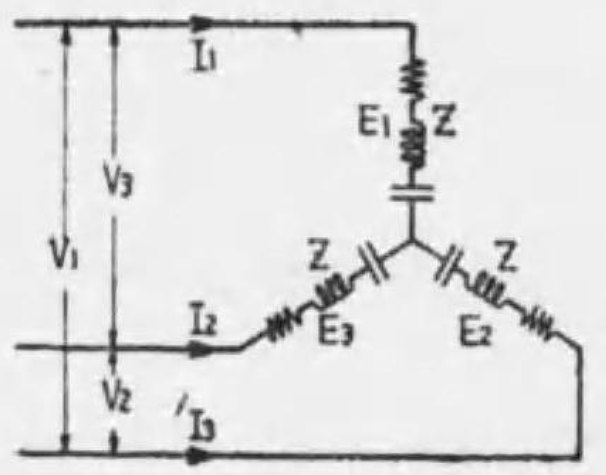
【基礎智識】 (1) **星形接續回路**　下圖の如く、線間電壓 V_1, V_2, V_3 の三相電源に　$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}$ オームの等しいインピーダンス三個を星形に接續した場合、各インピーダンスに加はる相電壓は線間電壓の $1/\sqrt{3}$ である。

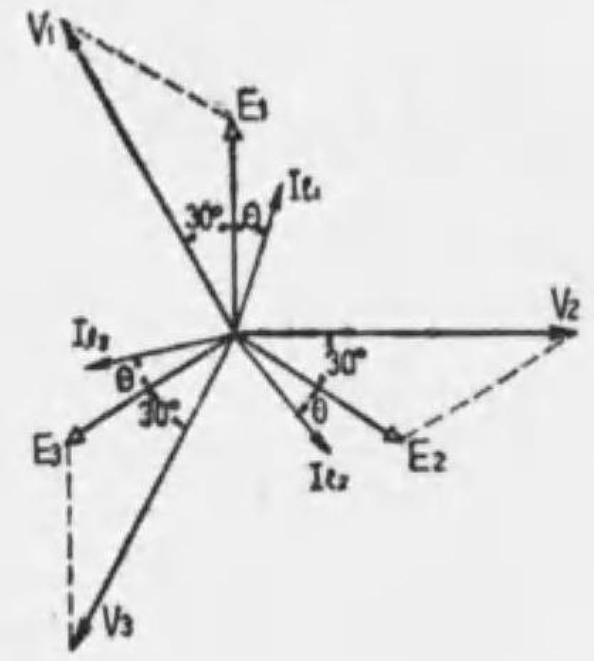
各インピーダンスの電流は各相のインピーダンスでそのインピーダンスに加は

る電壓、即ち相電壓を割ればよいのであるから

$$I_1=\frac{E_1}{Z}=\frac{V_1/\sqrt{3}}{Z}\ \text{アンペア}\qquad I_2=\frac{E_2}{Z}=\frac{V_2/\sqrt{3}}{Z}\ \text{アンペア}$$

$$I_3=\frac{E_3}{Z}=\frac{V_3/\sqrt{3}}{Z}\ \text{アンペア}$$





であり、各電流は各相電壓より

$$\theta=\tan^{-1}\frac{\omega L-\dfrac{1}{\omega C}}{R}\quad \text{遅れる。}$$

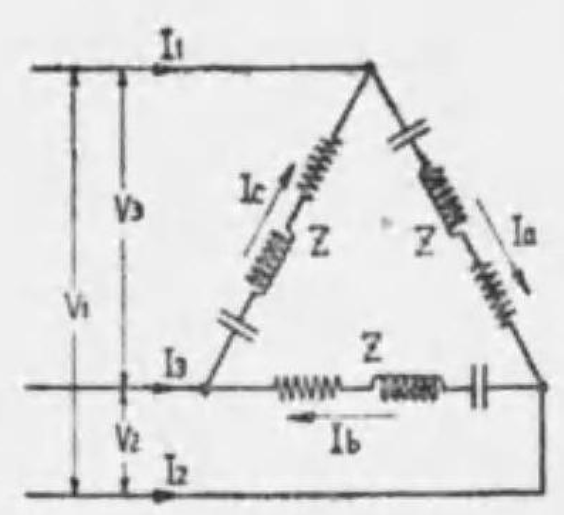
又星形接續回路では線路と各相インピーダンスは直列であるから、線電流と相電流は相等しい。

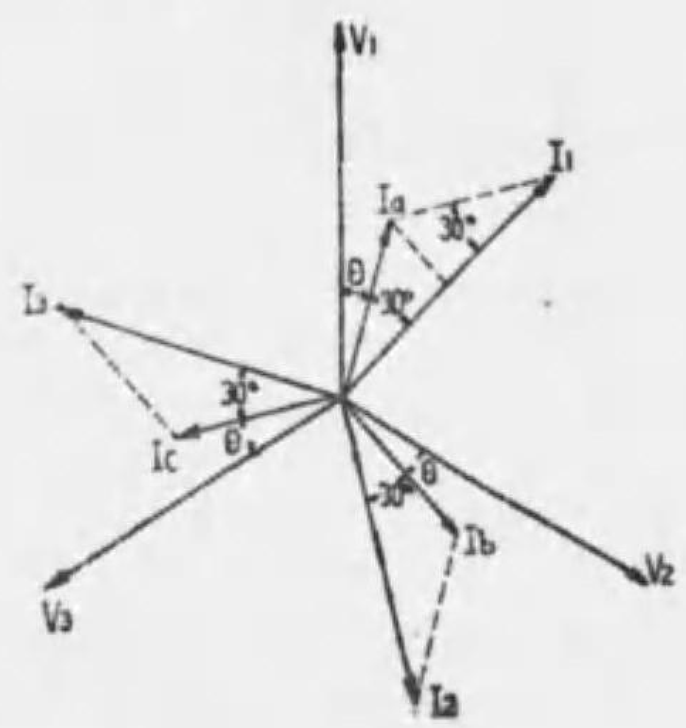
又 $V_1=V_2=V_3$ なれば $I_1=I_2=I_3$ である。即ち平衡三相回路に於ては各線の電流は等しい。

尙、星形接續に就ては相電壓は線間電壓の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ となる證明に就てはテキスト計算篇 P28 及遞試受驗讀本 P109 を研究されよ。

(2) 三角形接續回路　下圖の如く線間電壓 V_1, V_2, V_3 の三相電源に

$$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}\ \text{オーム}$$





の等しいインピーダンスを三角形に接續した場合には圖からもすぐわかる様に各インピーダンスには直接線間電壓が加はるから

$$I_a=\frac{V_1}{Z}\text{アンペア}\qquad I_b=\frac{V_2}{Z}\text{アンペア}\qquad I_c=\frac{V_3}{Z}\text{アンペア}$$

となり、何れも、V_1, V_2, V_3 より

$$\theta=\tan^{-1}\frac{\omega L-\dfrac{1}{\omega C}}{R}\quad \text{遅れる。}$$

又、各線電流 I_1, I_2 及 I_3 を求めるに、I_1 は I_a と I_c のベクトル差、I_2 は I_b と I_a のベクトル差、I_3 は I_c と I_b のベクトル差となるから、上のベクトル圖の如くなり

$$I_1=2I_a\cos 30^\circ=\sqrt{3}I_a\qquad \text{同様に}\quad I_2=\sqrt{3}I_b\quad I_3=\sqrt{3}I_c\qquad \text{となる。}$$

此の様に、三角形接續に於ては線電流は相電流の $\sqrt{3}$ 倍である。そして、$V_1=V_2=V_3$ なれば $I_1=I_2=I_3$ である。

解答　線間電壓を V とすれば

$$I_1=\frac{V/\sqrt{3}}{R_1}=\frac{V}{\sqrt{3}R_1}\qquad I_2=\sqrt{3}\times\frac{V}{R_2}=\frac{\sqrt{3}\,V}{R_2}$$

依つて $I_1=I_2$ とすると R_1 と R_2 の比は

$$\frac{V}{\sqrt{3}R_1}=\frac{\sqrt{3}\,V}{R_2}\qquad \therefore\ \frac{R_2}{R_1}=3$$

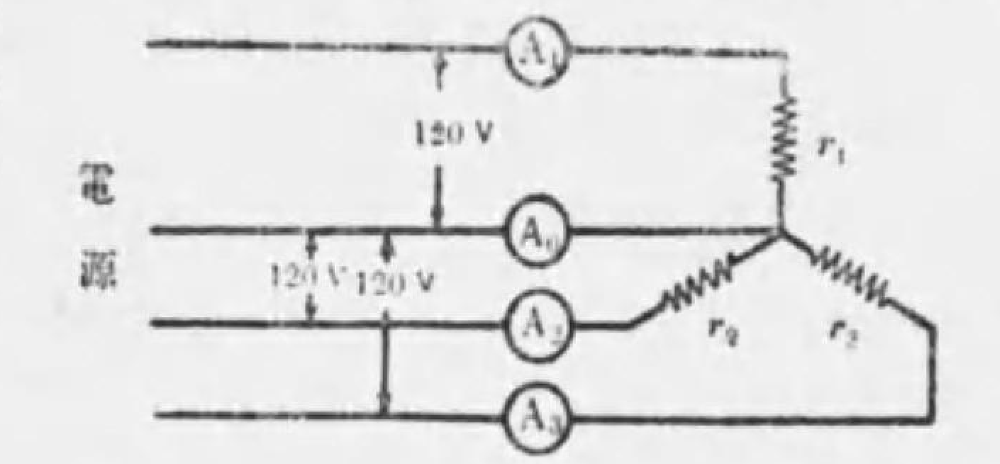
即ち R_2 を R_1 の 3 倍とする。

(42) 簡単な不平衡三相回路の計算

【基本問題】 圖の如き三相四線式回路に於ける各線に通ずる電流を計算せよ。

但し、負荷 r_1, r_2, r_3 は無誘導負荷にして $r_1=3$ オーム、$r_2=6$ オーム及び $r_3=15$ オームとし、又各線の中性線に對する電壓は 120V とす。

(昭10)



【基礎智識】 上圖の如く、異なる抵抗 R_1 オーム、R_2 オーム、R_3 オームを星形に接續し、之を各線と中性線間の電壓 E ボルトの三相四線式の電源に接續するとき各抵抗には夫々 E ボルトが加はるから

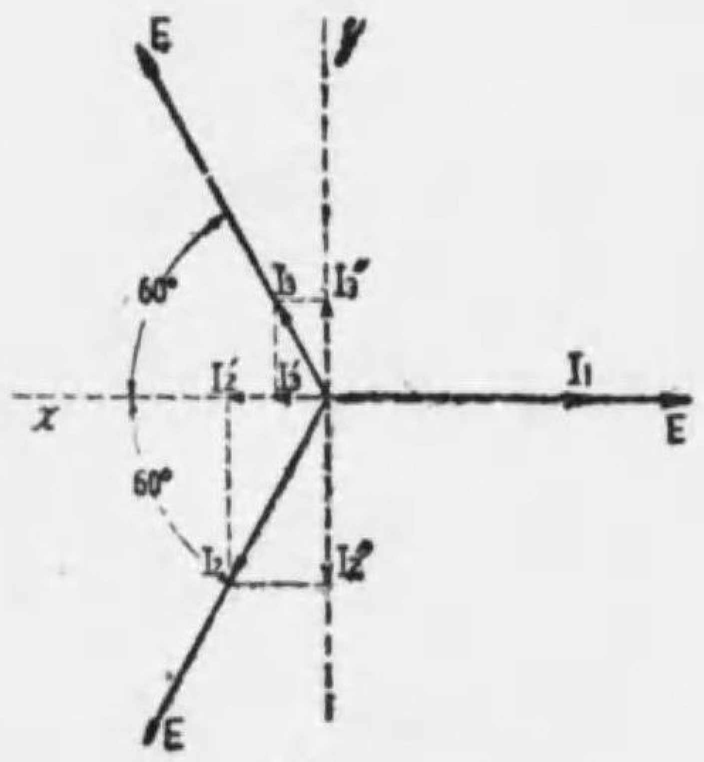
$$I_1=\frac{E}{R_1}\ \text{アンペア　E と同相 (a 相)}\qquad I_2=\frac{E}{R_2}\ \text{アンペア　E と同相 (b 相)}$$

$$I_3=\frac{E}{R_3}\ \text{アンペア　E と同相 (c 相)}$$

之等の關係をベクトル圖に示すと次圖の様になり、中性線の電流は I_1, I_2, I_3 のベクトル和である。このベクトル和を求めるには、ベクトル圖の如く I_1, I_2, I_3 を x 軸と y 軸に分解して考へるのが便利である。I_1, I_2, I_3 を x 軸と y 軸に分解すれば

x 軸分力　$I_1'=I_1$　$I_2'=I_2\cos 60°$　$I_3'=I_3\cos 60°$

y 軸分力　$I_1''=0$　$I_2''=I_2\sin 60°$　$I_3''=I_3\sin 60°$



となり、x 軸分力に於ては、原点 O より右の分力は（＋）とし、O より左方は（－）とし、y 軸分力に於ても原点 O より上方の分力は（＋）下方は（－）とする。即ち直角座標に於ける正負と同様に考へる。そうすれば中性線の電流 I_0 は

$$I_0=\sqrt{(x\text{軸分力の代數和})^2+(y\text{軸分力の代數和})^2}$$
$$=\sqrt{(I_1'-I_2'-I_3')^2+(I_3''-I_2''-I_1'')^2}$$

として求められるのである。

尙上記は負荷が抵抗のみの場合であるが、負荷がインピーダンスの場合に於ける計算に就ては遞試受驗讀本 P 114 を參照されよ。

解　答　A_1, A_2 及 A_3 に通ずる電流は

$$A_1=\frac{120}{3}=40\text{ A}\qquad A_2=\frac{120}{6}=20\text{ A}\qquad A_3=\frac{1\ 0}{15}=8\text{ A}$$

にして何れも各相電壓と同相である。次に A_0 に通ずる電流は A_1, A_2 及 A_3 のベクトル和である。之を求めるに A_1, A_2 及 A_3 を x 軸及 y 軸の二分力に分解すれば

x 軸分力　$A_1'=A_1=40\text{ A}$

$$A_2'=A_2\cos 60°=20\times\frac{1}{2}=10\text{ A}\qquad A_3'=A_3\cos 60°=8\times\frac{1}{2}=4\text{ A}$$

y 軸分力　$A_1''=0$

$$A_2''=A_2\sin 60°=20\times\frac{\sqrt{3}}{2}=10\sqrt{3}\text{ A}\qquad A_3''=A_3\sin 60°=8\times\frac{\sqrt{3}}{2}=4\sqrt{3}\text{ A}$$

故に A_0 は

$$A_0=\sqrt{(A_1'-A_2'-A_3')^2+(A_2''-A_3'')^2}=\sqrt{(40-10-4)^2+(10\sqrt{3}-4\sqrt{3})^2}$$
$$=28\text{ A}$$

となる。

——（以　上）——

回路計算の入門（下巻）

定價 80 錢
（送料 6 錢）

昭和十六年一月十五日　印刷納本
昭和十六年一月二十日　發　行

著作者　遞試受驗研究會

發行兼印刷人　田　中　增　吉
大阪市西成區南神合町四

印刷所　電氣書院印刷所

發行所
大阪市西成區南神合町四
電　氣　書　院
電話戎159番・振替大阪46157番

電氣技術講座

これぞ遞試合格への理想的講座だ！

本講座は第一線エンヂニヤーたる先輩の集り電氣技術研究會と著名な遞試受驗研究會の綜合著述に成る。その獨特の講義は、獨學者の心理を的確に掴み、理解させずには置かぬ熱意が迸る。堂々各卷三百餘頁に他書の五百頁分を優に收容す。その一字一句にも無駄がない。本講座に依つて初めて登龍門遞試への大門が豁然として開かれやう

1. **電氣技術用基礎學**
   電氣用數學、物理化學、英語、電氣基礎理論
2. **電氣理論と電氣測定法**
   實用電氣理論、電氣測定器並測定法
3. **電氣機器一般と取扱法**
   14 章 139 項目に詳論した機器の新体系
4. **發變電所の建設と運轉**
   火力發電所、水力發電所、變電所開閉所
5. **送電線の建設と保守**
   第一部 送電工學　第二部 配電工學
6. **電燈電熱と電力應用**
   電燈照明、電熱、電動機應用
7. **電鐵と電氣通信ラヂオ**
   電氣鐵道、電池、有線通信、無線通信
8. **配電工學と電動機應用**

・本講座三大特長・

詳細懇切の講義は
初學者を指導する

新鋭無比の內容は
遞試の合格を保証する

受驗と實地の完全な連繫は
實地に役立つ手腕を與へる

・定價・ 各卷 2圓50錢
送料 14錢
全卷一時拂 18圓
送料 52錢

・特典・ 奬學賞の贈呈、
質疑指導、その他

遞試一次科
會期 一月より三月末まで
會費 第三種 五圓　第二種 六圓

遞試二次科
會期 四月より七月末まで
會費 第三種 七圓　第二種 五圓

工人受驗部

工人受驗指導「テキスト」を教科書とし之れを中心として指導を進めるのである。即ち課程表を與へて、講習生一同が大体一樣に學科を修め得るやうにし、尙個人教授は質問に依つて講習生一人一人を指導する。此の個人指導は本會獨特の方法であつて之れがあるから通信教授で先生に就て學ぶより以上の成績が得られるのである。

會費 ｛六回分割 各一圓五十錢 / 一時拂 八圓

第二種一次遞試受驗讀本

上卷 一圓　下卷 一圓五十錢（稅各六錢）

第二種一次出題の全範圍を明瞭に示す定本であり、合格への確信を與へる懇切無比の手引書である。

遞試用初等數學

定價 一圓三十錢（稅六錢）

小學校を出たゞけの人を標準として電氣用代數、幾何、三角を極く平易に說明し第一步より懇切した。

遞試用高等數學

定價 一圓五十錢（稅六錢）

第三種に合格した人なら必ず判るやうに解說した。特に複素數計算のコツを敎へた高數の名導指書。

工人受驗「指導テキスト」

全五篇 四圓五十錢　送料 二十二錢

第一篇 初等電氣の理論と計算

九十錢（稅六錢）

小學を出ただけの素人にも判かる樣に電氣理論の根本を平易に敎へ、計算の上達を計る。

第三篇 電氣機器一般と諸材料

九十錢（稅九錢）

驚異的な多數の實物寫眞を圖を以て、電氣機器諸材料を圖解說明し實地に學術に役立しめる。

第五篇 配線法と配線圖の書き方

九十錢（稅六錢）

配線圖は斯うして書くものだと平家建住宅から、工場商店ビルデイング等まで配線圖を圖解詳述した。

免許試驗問題解答の研究

九十五錢（稅六錢）

全く初歩から說明した、懇切無比の解答は理解容易で記憶に便、更に詳しく註釋で類題を研究し、尙受驗に手續の詳しい實例をも附す。

第二篇 配電一般と工作物規程の解說

九十錢（稅六錢）

發電から配電迄を說明し、屋內配電の常識を養ひ、面白きもの哉工作物規程とその精神を說く臨時特例とX線裝置を增補す。

第四篇 工事施行方法と工作物試驗法

九十錢（稅六錢）

基礎理論より說き起し、施工に不可缺な工具類と基礎作業を圖解し施行法、試驗法まで詳述して居る。

屋內電氣工事の設計

五十錢（稅六錢）

先づ設計用器材より見積までを一章とし、次いで正しい配線圖の書き方、吟味訂正法を詳細圖解した。ビルディングの電氣設備を講述す。

檢査と試驗・故障と對策

五十錢（稅六錢）

檢査試驗に用ふる器具類を解說し、故障とその處置を一々例を擧げて詳細に檢討した更に災害防止に關して述べ事故の絕滅を期した。

大阪市西成區南神合町四
電氣書院內
通信電氣學校
振替大阪 46157 番
電話戎 1 5 9 番

遞試基礎科

親しく第一步より指導する

遞試一次試驗に應ずる基礎智識應用能力を第一步より指導する。獨學に最も困難なる數學及計算問題に對しては、個人指導問題を以て指導し、科目別試驗を行つて學力の增進を計る。更に電氣工學の一般に就て、整備せる敎材を以て實際と關聯した懇切な敎授を行ふ

講習科目
・遞試用數學の基礎と運用
・計算問題の考へ方解き方
・計算問題解法の基礎
・電氣一般の解說

會期 三ケ月（入會隨時）
會費 第三種 毎月拂 二圓十錢
第二種 二圓八十錢
一時拂 第三種六圓 第二種八圓

遞試受驗科

一次二次試驗に應ずる基礎智識、應用能力、答案作製術の三者を深刻に教育する。整備せる講材と細心なる留意を以て長所を伸長せしめ、短所を補ふ個人指導を行ひ、摸擬試驗に依り答案作製術を學習せしめる。故に本會を終了すれば實戰受驗場裡に於て他に先んじて優秀答案を提出し得る。

三ケ月で合格の實力を與へる獨特の敎授

懇切な個人的指導は一人の講習生に對し三人の指導員が三重削添を行ふ。

遞試第三種受驗用
「テキスト」二次論說篇

測定篇

（菊版洋裝）
定價 一圓
送料 九錢

第一章電氣單位及原器より第九章雜測定（閉電路の電流測定、低力率の測定等）及び補講には遠隔測定、微小電流電壓の測定、溫度計等をおさめて居る。測定工學一般に亙り其のエキスをもれなく集め、一讀して要点が得られるやうにした。

遞試第三種受驗用
「テキスト」二次論說篇

機械篇

（菊版洋裝）
定價 一圓
送料 九錢

直流機、交流機、誘導機、靜止器のあらゆる方面に亙つて、其の眞髓を摘記して解說した。尙雜題二十三問と共の解說で、本文の不足を補つて居る。又補講として、最近に於ける各種電動機の應用以下、二十二項目を詳細に説明し、最新智識を豐富に補給した。

遞試第三種受驗用
「テキスト」二次論說篇

配電篇

（菊版洋裝）
定價 一圓
送料 九錢

送配電系統の一般、配電用變電所、配電線の理論、配電線の實際、地中電線路、屋內工事自家用變電所電線接續圖解說、鉛蓄電池の八章に亙り懇說し、尙補講として最近の配電方式以下十六項目に亙つて詳細なる解說を施して居る。

遞試第三種受驗用
「テキスト」二次論說篇

電燈篇

（菊版洋裝）
定價 一圓
送料 九錢

光學、光源、照明、光度及照度の測定を一通り詳說し、廿四題の問題を以て之れを補足した。電熱の部は、電熱器一般、電氣爐、電氣熔接に亙り說明した。尙補講として新しい光源、照明の新方式、街路照明設計の計算法等十一項目に亙り懇切に講述して居る。

遞試第三種受驗用
「テキスト」二次論說篇

發電篇

（菊版洋裝）
定價 一圓
送料 九錢

水力發電所、火力發電所、發電所電氣設備の設計、概數と術語、發電一般の總括的智識を懇切に說明し、補講として發電所電線接續圖の根本以下十六項目を以て、最新智識を詳細にして居る。尨大な發電の一切を斯くも簡潔に要約したことは一驚に値する。

遞試第三種受驗用

二次全科目智識の整理

（菊版洋裝）
定價 二圓五十錢
送料 十二錢

本書の最大の特長は二次全科目を縱斷的に最短期に整然と學習せしめるにある。興味深く面白く讀書せしめて、各科目の要点の一切を盡して居る。然も特殊の組方を採用して、常識を豐富とし、最新智識に參ぜしめた功は大なるものがあらう。

遞試受驗第三種並第二種用

最新資料集（第一聚）

（菊版洋裝）
定價 九十錢
送料 九錢

電氣工學の各部門（測定、機械、配電、發電電鐵）に亙り、最近の發達事項にて第二種或は第三種の一次又は二次試驗問題となるべきものをピックアップして之れを解說し一冊とした。電氣工學への常識を豐富とする遞試受驗の好資料である。

遞試受驗難問集

電氣工學問答集

定價 七十錢
送料 六錢

遞試受驗者の質問に叮嚀に解答した質疑指導集である。遞試受驗者は第三種、第二種を問はず是非共一讀し研究して置くべきである。受驗者共通の疑問を明快に解說した。

初級電氣叢書

電氣理論の第一步

（菊版美裝）
定價 六十錢
送料 六錢

電氣學の根底となる理論の第一步を力強く踏み出されるやう〝讀み易く〟〝判り易い〟ことに重点を置いた。本書は電磁氣學を中心に靜電氣學より電子管の應用まで十章六十六項目に亙り平易懇切に解說した。よく解つて力になる電氣理論の解說。

初級電氣叢書

交流理論の入門

（菊版美裝）
定價 六十錢
送料 六錢

電氣工學のあらゆる部門の根底をなす。交流理論は理想的な良書がないため多くの初學者、難解なものだと決めさせて居る。本書は初學者にピッタリと來る獨特の解說で之を征服した。なあんだこんなことかと直ちに解る。交流理論は本書から初められよ。

遞試受驗叢書

初等ベクトル明解（上）

（菊版洋裝）
定價 七十錢
送料 六錢

交流ベクトルの根本原理を獨特の解說を以て茲に明かとした。本書は正弦波交流よりベクトルの表現法、交流の和と差、三相式の電壓電流、回轉磁界等十五項目に涉つてベクトル理解のコツを與へた。回路計算への應用を述べ電氣回路の計算の一項目を加へて理解を確實とした。

電氣技術講座第二卷

電氣理論と電氣測定法

（菊版洋裝）
定價 二圓五十錢
送料 十四錢

右の各書で得た基礎理論を一段と高尙な理論に進める必要がある。本書は此の要望に合致するもので高級な電氣理論を判り易く懇說した。實地に則した巧妙な解說は必ず電氣理論を根底から理解させずには置かぬ。然も第二部に最新の測定器と測定法を詳論す

初級電氣叢書

電氣鐵道の智識

（菊版美裝）
定價 六十錢
送料 六錢

「電氣鐵道」の書も十指を屈して餘りあるが然し初めて電氣を學ぶ人の爲にはいさゝか手の屆き難い憾がある、さればといつて一般電氣工學書中に於ける數頁程度の說明では物足りない。そこに「讀み易く」「判り易い書」として本書が刊行された眼目がある。

初級電氣叢書

電燈と照明

（菊版美裝）
定價 六十錢
送料 六錢

我々の實際生活に密接な關係を有する電燈や照明に就て興味的に學び度いと云ふ多くの人々に贈るために編纂したもので、その說くところは既に歷史的な存在になつてゐるものを除き理論にしても應用にしても今日の進步せる電燈照明界の粋を叮嚀に網羅してゐる。

遞試受驗叢書

回路計算の入門

上下二卷
定價 各卷 八十錢
送料 各卷 六錢

回路計算は交流理論から獨立して電氣工學の重要な一分野を形成し、遞試の最重要項目となつて居る。此の回路計算の最も良き指導書であり手ほどきを教へるのが本書である。

受驗のメモ

初めて電氣を學ぶ人は
免許試驗を受ける人は
遞試を志す人は、

如何に勉學すべきか、夫々の人々にピツタリくる學習指針を與へ、受驗の手續を詳細にし、先輩合格者の体驗記を載せ參考書類を紹介した。

三錢切手五枚同封申込まれば申請書を添へて贈呈申上ぐ。

遂に築けり斯界第一の發行部數

電氣計算

懇切なる指導・新鮮なる記事・明朗なる編輯

★**初學者、學生及び獨學々習者の理解を主眼とした。**掲載記事の凡てに亘り、懇切明快にして詳細なる解説をする。……

★**電氣計算問題は其根本と應用を敎へ、**所有る部門に及ぶ。計算式の出所を明かにし、應用に資し、活用の力を養ひ、尙之れを數學及物理學の立場より各必要なる智識を與ふるに努めた。……

★**電氣技術上の實際問題を廣く集める。**實際に携はる機會の少い技術者の爲めに、又技術者相互の工夫交換の爲めに、實際問題を網羅する。……

★**日進月歩の電氣工學の發達を速報する。**電氣技術者は一寸油斷しても直ぐ時代遲れとなる。本誌には斯界の進歩の狀況、或は日々發表される論文の要旨を取つて平易に解説する。……

★**讀者の獨創的能力の涵養に資する。**本誌は初學の學生、學習者及中堅技術者のパイオニアーとしての指導的立場より獨自の編輯方針を堅持する。……

★**選試受驗者を直接指導する。**選試受驗者の爲めに本社内「選試受驗研究會」の研究になる最も選試の主旨に合致する記事と懸賞問題を揭げて直接個人的に指導する。……

普通號 35 錢（税2錢） 1 月特大號 60 錢（税3錢） 6 月特大號 50 錢（税 3 錢）

1 ケ年前拂（二特大號を含み）4 圓 30 錢（税共） 本社直接にお申込み下さい

御注文の栞

● 御注文は總て前金に願ひます。代金引換便は郵便規則の改正に依つて取扱はれなくなりましたから成るべく振替を御利用下さい。

● 御送金は最も安全確實な振替用紙を御利用下さい。裏面の通信欄に御注文書名其の他の通信事項をお忘れなく御記入願ひます

● 弊社專用振替用紙（拂込料金弊社負擔）は御請求次第御送り申上げます。

● 郵便切手で御送金は必ず一割增に願ひます收入印紙は御斷りします。

● 送料は必ず御加算願ひます。

● 御住所姓名は勿論書名數量等はすべて楷書で明瞭に御認め下さい。

大阪市西成區南神合町四

電氣書院

電話 戎 一五九番

振替大阪四六一五七番

小包送料	内地普通	内地書留	臺灣樺太普通	朝鮮・臺灣・樺太・關東州・南洋書留
五百瓦迄	10錢	15	27	42
一瓩迄	14錢	21	34	49
二瓩迄	22錢	33	47	62
三瓩迄	30錢	45	60	75
四瓩迄	38錢	57	73	88
五瓩迄	46錢	69	79	94

終