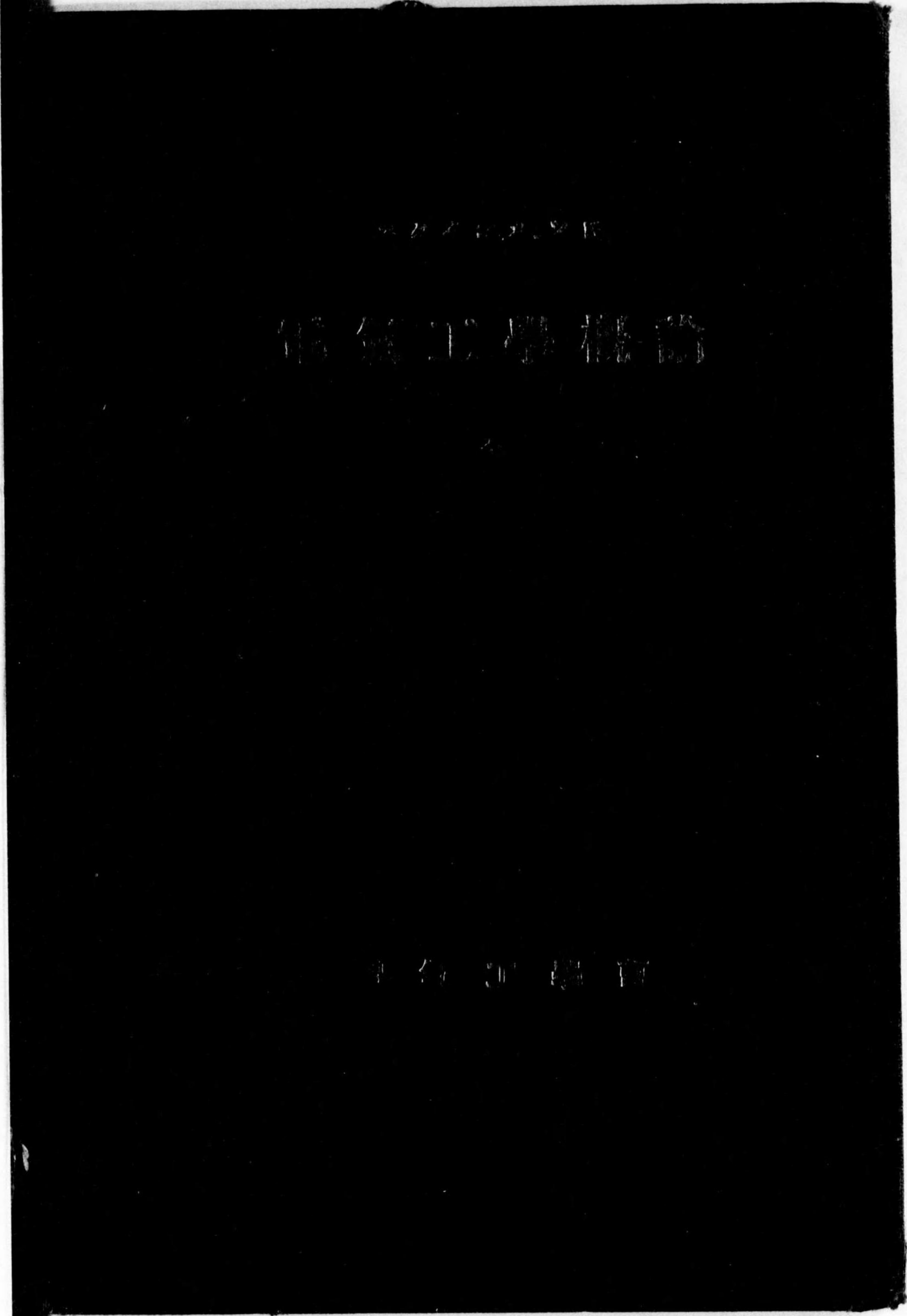




始



マクインマ、フ氏

電氣工學概論

全

電氣工學會

571
5

ス タ イ ン メ ッ ツ 氏 電 氣 工 學 概 論



第一章	電氣工學概説	(1)
第二章	電力分配の一般論	(12)
第三章	電燈及び動力の分配	(23)
第四章	負荷率と電力料	(35)
第五章	長距離電力輸送	(44)
第六章	交流發電機波形中に含まる高調波	(60)
第七章	高周波振動、騒亂並に衝擊	(70)
第八章	電力の發生	(77)
第九章	同期機のハンチング	(98)
	磁氣的振動	(99)
	源動機速度の動搖	(100)
	同上調速機のハンチング	(101)
	誤れる原動機の特性	(102)
	ハンチングの發見と其救濟法	(102)
	同期電動機或は同期變流機	(103)
	救 濟 法	(104)
	交流機のハンチング救濟法	(105)
第十章	電壓變動と其制御	(108)
	直 流 方 式	(108)
	局 部 交 流 式	(110)
	電力發生の一般の場合	(114)
第十一章	避 電	(116)
第十二章	電 氣 鐵 道	(125)



スタイン
メッツ氏

電氣工學概論

第一章

電氣工學概説

電力を經濟的に利用するために、大體電力は次の方式で發生分配される。

- a. 發生
- b. 輸送
- c. 變電
- d. 分配
- e. 利用

この電力の性質上、前記の階程を経る場合に、各階段に於て一般に異つた、一否互に相反するやうな要求があるので、結局これ等を相當に満すやうに、各種の條件を妥協したのが今日の電氣工學である。例へば電力はこれを利用するときは、百ボルトから六百ボルトの間で比較的低い電壓に限られてゐるが、一方送電線を經濟的に使用するには出来る丈高い電壓がよい。又電氣分解や電氣鐵道には直流が望ましく、直流の高電壓を發生することは困難であるため、送電線には是非とも交流を用ひねばならない。かるが故に前記の各階程の設定に於てもつねに他の階程の條件をも留意せねばならぬ。

由來、電力の通過すべき各階程の中最も大切なのは其の利用方法の如何といふことで、次が、建設費の大部分を要し、且つ

第二節 速度時曲線.....	(127)
第三節 結 論.....	(136)
第十三章 電鐵用電動機の特性.....	(138)
第十四章 電鐵用交流電動機.....	(146)
第十五章 電氣化學	
A. 電解工業.....	(162)
金屬の還元.....	(164)
副 産 物.....	(165)
B. 電氣冶金工業.....	(166)
第十六章 白熱電燈.....	(171)
第十七章 弧光點燈.....	(185)
第十八章 現今の電力發生と其分配.....	(196)

—(完)—

御斷り——本號は舊版の第94ページより續くものですが舊版の部はすぐ引つゞき改版します。同時にページが變更し本號と正しく連続しない頁附となりますが、止むを得ません、第二版の折に改めますから右御承知下さい。

他の階程に比して最も制限の多い、送電線についてである、後者は長距離電力輸送に於て特に注目に値する。

電力の主要なる用途は

√ a. 電燈並に動力用

此の電燈用、と動力用の電力の割合は各都市によつて一様でなく、或ひは大部分點燈に、或は大部分は動力用で、夜分多少の電燈負荷のあるやうなものもある。

√ b. 電氣鐵道用

√ c. 電氣化學用

便利のため本書は次の題目の下に論述せられてゐる。

√ 1. 點燈並に動力分配

√ 2. 長距離電力輸送

√ 3. 電力の發生

√ 4. 電壓の調整と線路の保安

√ 5. 電氣鐵道

√ 6. 電氣化學

√ 7. 電燈

電力の特性

現今用ひられる電力は次の形式を取る

a. 交流か直流か

b. 定電壓か定電流か

c. 高電壓か低電壓か

各項に亘つて詳説すれば

a. 交流か直流か

一般に交流は、送電線並に大都市の中心以外の配電線に用ひられ、直流は電氣鐵道に利用せられる。電氣化學用電力の分配には直流交流何れも用ひられ、例へば電氣分解には是非直流でなければならないが、電氣爐には普通低電壓の交流が利用される。

次に交流を用ひることになれば厄介なのは周波數の問題である。米國では 60 サイクルと、25 サイクルと二つの標準周波數があつて、前者は一般に電燈及び動力用で、後者は交流を直流に變流するとき。交流を用ひた電氣鐵道、さもなくば極めて大きな動力に採用されてゐる。

歐洲では一般に 50 サイクルを標準に取つてゐる。(日本も亦然り)

其の他 40 サイクルといふのが、さきの 60 サイクルと 25 サイクルとの妥協のために出て來たが、一般の配電用としては周波數が低すぎ、直流に變流するための便利から言へば一寸高すぎるので當今では伊太利の標準周波數になつたのみで、或ひは發電機の極數が 60 サイクルや、50 サイクルのよりは少いから並列運轉が安定であるとか、電弧を保たせ人間の眼にちらつきを感じない最も低い周波數だとか、或ひは製造工場の動力用には丁度いゝとか、色々と辯解もあるやうだが、近き將來に於て、滅び行く運命にある。

この 40 サイクルは一面、60 サイクルと 25 サイクルとの妥協のために出現して來たのだが、蒸氣タービンが重要な原

動機となつた今日では、25 サイクルで 750 回轉と 1500 回轉である、四極又は二極の交流發動機が、60 サイクルにすれば 1800 廻轉と、3600 廻轉とになり、且あまり大容量でない限り高速なほど燃料の經濟と形狀の小さいため、有利であるといふ原動機側からの要求を満足するものである。

此の他にも昔流行した 125, 133, 140 サイクルから、ずつと下つて 30, 33, サイクルだの 66 サイクルだのといふものもあるが何れも英京ロンドン以外には残存してゐない。現今でも交流電氣鐵道のために 15 サイクル、8 サイクルが提案され、船舵推進に、35 サイクルなどあるが一般的の設計では、前記の 60 サイクルが、25 サイクル、——最近は 60 サイクルの方へ傾くやうになつたのは 60 サイクルの廻轉變流機が出来るやうになつてからのことである。

b. 定電壓か定電流か

定電流の弧光燈にかぎらず、白熱燈でも直列に入れて負荷の増加と共に電壓を増す、方法の他は何れも定電壓可變電流の方式が一般に採用されてゐる。

c. 高電壓か低電壓か

原則としては、長距離送電線は、送電端と受電端との距離にもよるが、許容される最高の電壓を用ふるが經濟的であつて、配電幹線は 2200 ボルト位で最低 2000 ボルトから最高 2600 ボルトを用ひ、それから出る交流配電線には 220 ボルトから 260 ボルトまで、或ひは其二倍を用ひ、直流の電鐵用に 550 から 600 ボルト、1200 ボルト、1800 ボルト、2400, 3000 或ひ

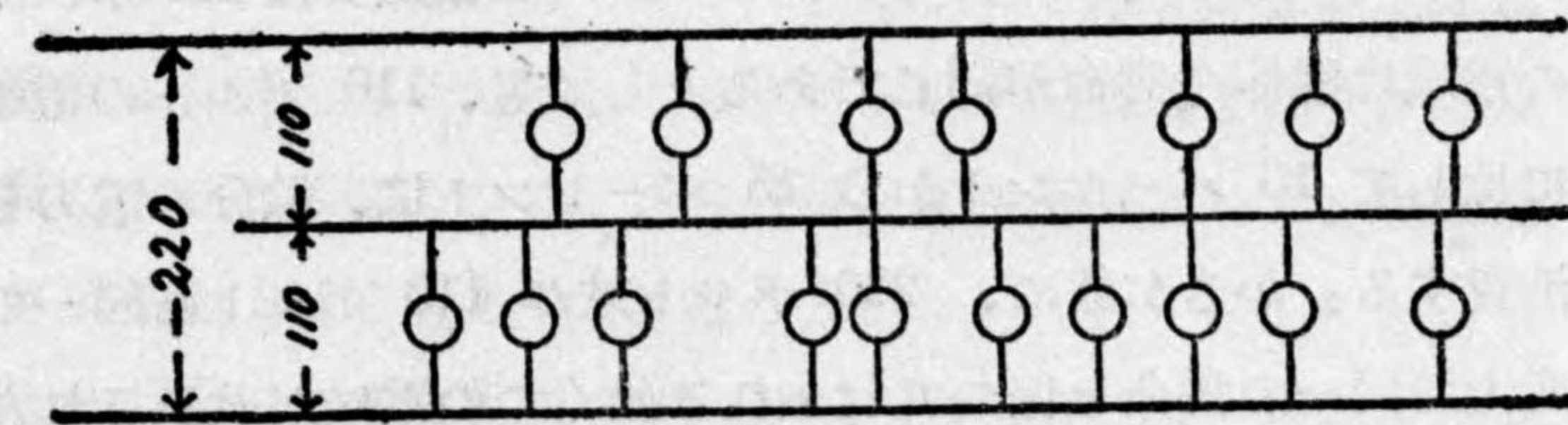
は 5000 ボルトの最大限あり。尙交流の電鐵に 11000 ボルトを採用した向きもある。

1. 點燈並に動力分配

一般に點燈及び動力分配には、直流又は 60 サイクルの交流が有利である。25 サイクルは、弧光燈の點火しないのと、白熱電燈としても最低の周波數で、何等かの理由で、電壓波形が幾分かわつたとき、電燈に『チラツキ』を生じ、他の高い周波數のものと同様には、用ひがたい。

次に電力分配の電壓は白熱電球の方から 110 ボルトに制限せられてしまふ。然し、相當に大きな電力を比較的長い電線で分配し、尙ほ且つ其の電壓降下を極めて小ならしめること——換言すれば端子電壓の變動率をよくするには、少くともこの二倍即ち 220 ボルトを 110 ボルトの三線式にでもして用ひなければならぬ。(第一圖)

第一圖



三相式電燈回路

大體に於て、平衡状態にある三線式の中性線には、ほとんど電流が流れないから、この方式を採用すれば、銅線の經濟のた

めに 220 ボルトを用ひ、電燈は依然として 110 ボルトで高能率で點そうとする一つの妙案である。

これと同様に 220 ボルトの三線式——即ち 440 ボルトの配電法を用ふるもよろしいが、一面に於て 220 ボルトの電燈は不經濟であるがため、米大陸では近來用ひなくなつた。然し英國では後者の三線式が専ら用ひられてゐる。

元來、配電線の中の電力損失を一定に保つた時は、銅線の重さは電壓の平方に逆比例すべき値である。故に二倍の電壓を用ふれば、従つて二倍の電壓降下をしても同一の能率を得られる。此時負荷を同一に保てば二倍の電壓では二分の一の電流となり結局、二倍の電壓降下で二分の一の電流になり、四倍の抵抗——即ち四分の一の銅線で足りるわけである。従つて 440 ボルト三線式で 220 ボルトの電球を用ふれば、投資額を減じ且つ遠方まで、電線をのばすことが出来、消費者の立場から云へばたしかに高電壓の方が望ましくあらう。然しながら、電力消費量で 50 ワットから 60 ワット或ひは 16 燭光位の炭素電球、——或ひは現今専ら用ひられる、タングステン電球では 220 ボルトの電球は製作や壽命が同じであるとしても、110 ボルトの電燈に比して 10 パーセントから 15 パーセント位、餘分の電力を消費する。かるが故に、220 ボルト球が 110 ボルトと同一の光力で同一の壽命を保つて行かれる如くこの電球が改良された曉と雖も、やはり後者との間に十數パーセントとの電力だけ依然として損をせねばならぬ。尙更より小な電球ではこの差がはなはだしく、製作も亦難中の難であるを免かれぬ。

前記の理由を以て、英國又は其他の 220 ボルトを電燈に用ひてゐる國々では、通常マツダ、ランプとよぶタングステン電球の使用數が著しく他國に劣り、従つて需要家は光力を損するわけである。かくて 220 ボルトの電球を用ひて 10 パーセントから 15 パーセントの能率を損することは、さきの電線の一時的減費どころでない。要するところ 110 ボルト三線式を用ふる方が 220 ボルト三線式より需要家に取つて有利である。

米國に於て、昔から需要家に光を賣る主義で、110 ボルト専用の電球は無料で取換へたため 220 ボルトの出現をみない。然るに英國に於てはメートルで電氣を賣つて 220 ボルトの電球を各自に持たせ、自分の方は、ひそかに電線を細めて利益を占めてゐたのである。(日本に於ては主として 110 ボルト、光力販賣をなし、需要家の希望によつてはメートルで電力を販賣してゐる)

然し近年に到つて、マツダランプが實用になるに至つて、無料で比較的高價な電球を取換へては、其電力の消費量が多少少なくなつても、引きあわなくなつた。幸ひにも電燈會社が電球製造業者と合同して安價に、このタングステン電球を作り、壽命を長くすることによつて、其の品質と能率を増加して、電燈業に好成績を上げさせるやうになつた。

今まで述べて來た所謂 110 ボルトといふのは、105 ボルト乃至 130 ボルトの範圍内の各種の電壓を意味し、この範圍内で其電球として最も適した電壓を採用するがよろしい。

昔流の炭素電球は、製作前に豫想せる三つの條件、即ち——

能率ワット數及び電壓の中二つ丈けを正しく合はすやうに製作することが出来るのみである。それ故所要のワット數に對して電壓丈けはかつきり設定されるが、此の時の能率は多少其豫想を外れるか能率を豫定通りに直せば、電壓が多少變化せねばならない。さりとて、注文通りの電球のみを揃へやうとすれば、勢ひ炭素電球は高價なものになるから、通常は不揃ひのもので我慢しなければならぬ。この中、ワット數と能率は規定通りにしなければ、前記のやうな光を賣る電燈會社の經濟が成りたないから、従つて、炭素電球を用ふるときは、なるべく多くの近よつた電壓を用ひ、製作した全部の電球を使用する方が電球製造家側からみても有利であつた。

然るに今日では炭素球は追々とすたれて、マツダランプ——即ちタングステン電球が専ら實用に供せられるやうになつた。これは、タングステンの織條は正しく所要の直徑と長さにより取り替へることが出来るため、能率、ワット數及び電壓の三條件を同時に満たすことが容易なため、炭素球の如く種々の電壓にする必要がなくなり至つて經濟的となつたがためである。

かくの如くして、今日では電壓規格も、わづか數種で足り、尙ほ追々と一つの標準電壓にすることさへ製作者のみの立場からは困難でなくなつた。

然しながら、變電所の近くでは遠方のものよりは、多少高電壓の電球を使用する方針にすれば、變電器や發電機の電壓變動率の悪いものでも差支へないことになり、やはり數種の標準電壓タングステン電球が存在してもいいことになる。

直流電燈配電線は、大部分の商業區に 220 ボルトの直流發電機をおくか、三相交流を廻轉變流機で直流に直して用ひらる。

交流の 220 ボルト線は大低高壓 2200 ボルトから降壓變壓器で取り、このときは電動機負荷のことを考へてなるべく三相式に配電しておけば、中位以上の電動機に不經濟な單相電動機を使はなくていいことになる。

交流と直流の得失

この 220 ボルトの配電線は最大 2 哩迄位の距離内で初めて經濟的である。然るに直流とすれば發電所又は變電所から廻轉變機を以て供給しなければならぬため、少くとも數百キロの負荷でないとかへつて不經濟であるため、さきの 2 哩の範圍内に發電機又は變流機にふさわしい負荷が集中した場合に限る。これに反し、市外とか村落、小都會の如く負荷が少しづつ散在してゐるときこのやうな低電壓を用ふるには是非とも交流により小型の變壓器を用ひねばならぬ。然るに近年、自動式變電所の發展と共に、見張人なく、時々見廻はるので充分な廻轉變流機(水銀整流器もあり)が出来人手を省くことが出来るやうになつた。

大都市の内部に於て、かやう低電壓を交流式で供給することはきわめて不經濟である何となれば交流では電燈のために吸收される電壓の他に自己誘導作用のための電壓を要し、従つて電線の太さ並びに電壓降下を増大する不利がある。別して交流式を用ひたとき大なる電壓の變動率は見逃がし難いもので、更に

大都市では、エレベーターの多くあるところでは、この電動機が交流よりも直流の方が望ましいものである。即ちこの種の負荷には起動トルクの大であつて、加速の大なること、及び速度加減の容易な點から言へば直流の複捲電動機に越したものはないのである。かくて使用者の立場からすれば直流の方が望ましいが、廻轉變流機を用ふる丈の負荷のないところでは止むなく交流の低壓側を誘導調整機のやうなもので調整することが望ましい。

低壓直流回路の電力の損失は單に電線の i^2r だけであつて、無負荷のときは、唯、これとシヤントにはいつた、電力計の電壓捲線損失だけである。かくて負荷が増すに従つて損失は増すため一般に直流配電線の能率は輕負荷のときによく、負荷の増加と共に減少する。

これに反し 2200 ボルトを 220 ボルトに落して使用する交流に於ては i^2r 損失は直流に比して小であるが變壓には比較的大きな無負荷損失があるため、少い負荷のときは能率が低くだんだん負荷が増すと共にこの無負荷損失の割合が少くなり、従つて能率は、全負荷のときが最もよい如く設計され且つ i^2r の損失は次の理由によつて出来るだけ少くせねばならない。

1. 直流と同じ能率を得んとするには、 i^2r 損失の他に更に變壓器の鐵損を有するためこの i^2r の價を直流の場合よりはるかに少くしなければならぬ。これがためには、廻轉變流機を直流に用ひた場合よりも多數の變壓器を用ひ得るため、220 ボルト配電線路を直流よりも短かくし其の抵抗を減ずるがよい。

2. 交流に於ては線路内の電壓降下は自己誘導作用による電壓降下よりはるかに大であるがため、後者は、全壓の降下のわづか一部分にすぎない。故に直流と同じ電壓降下では交流の方が線路の i^2r 損失をはるかに小にせねばならぬ。

3. この交流の自己誘導作用のために要する電壓降下を少くするために、低壓 220 ボルト側の數を直流の場合よりも多くすれば外部からの電壓調整は不可能であるため、全體の——抵抗とインダクタンスによる電壓降下を二三%に限らねば到底白熱電球を有効に利用することが出来ない。然し事實に於てこの電壓調整がよろしくないため、直流よりも交流の方が電球として低能率で作働するが常である。此救済方法として變電所より遠方には必ず、昇壓變壓器をそなへて、これを補償しなければならぬ。

第二章

電力分配の一般論

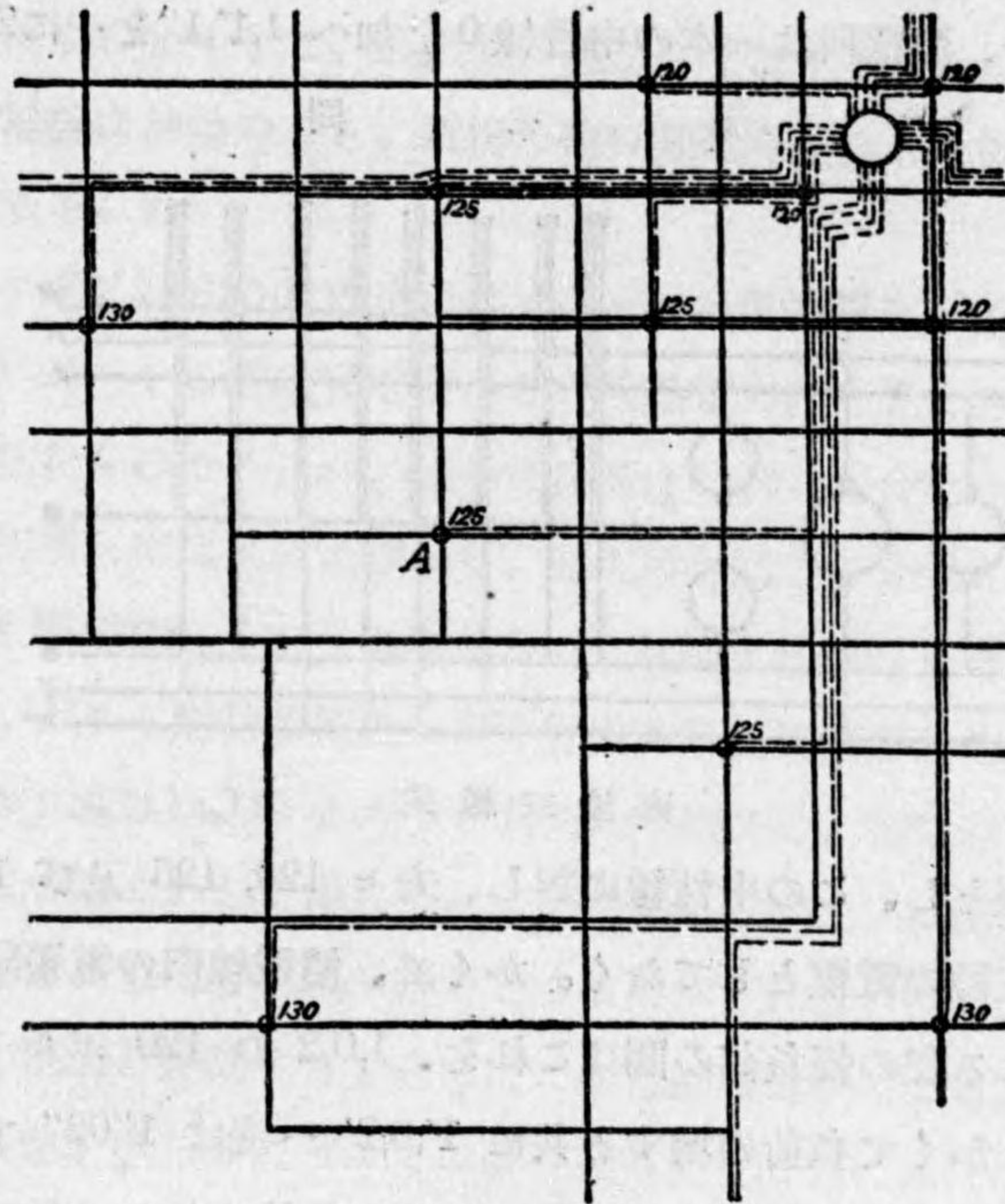
本章を分ちて次の二節となす。

1. 直流配電
2. 交流配電

1. 直流配電

代表的の直流配電法はエディソン氏によつて發案された、幹線、並に饋電線による方法であつて、今日に至ると専らこれが用ひられてゐる。これは、第二圖に示すが如く、直流配電は大都市に限られて用ひられるため、地下線を採用する。圖の太い線で示されたのは所謂『三線式』の幹線である。これは通常、1,000,000 サークユラーミル——（即ち一本の丸棒として1吋の直径）の銅線を土の外側二線に用ひ、この半分の太さのものを中性線に用ふ。この中性線は、火災豫防のために接地するのが普通である、尙ほ前記の導體より大きなものは用ひなく、もしも必要に向つては他のものを同一の街路に埋めるのが普通の方法である。又點線で示したやうに、發電所又は變電所から適當なところまで數十本の饋電線でつなぎ又幹線の各部から細い電線でタップを出してこれ等を發電所は又變電所に送り隨時隨所の電壓の分布を知るやうになつてゐる。需要家の線はこの幹線につなぎ決して饋電線には結ばない。これ等は幹線各部が格

第二圖

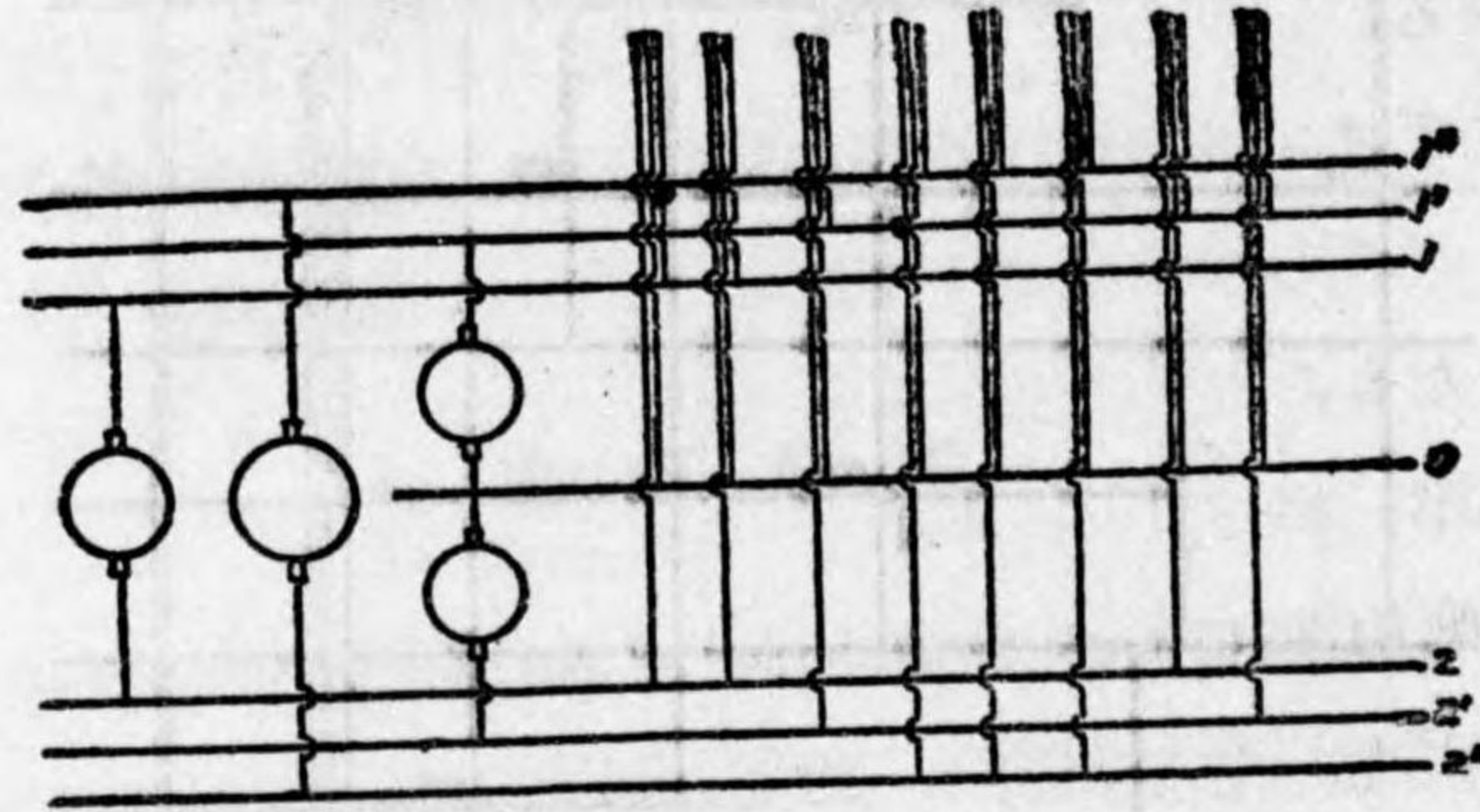


エディソン式の幹線と饋電線

定の最大電壓降下以内であるやうに、入り亂れて地下を走つてゐる。然て此饋電線には需要家の線をつながないためにこの中の電壓降下は單に全體の能率の如何に従つて自由に選定さるべきである。かくて線につながる點の電壓は幹線の負荷の變化にかゝわらず一定なやうに發電端で調整すればよい。これがためには、第三圖に示すやうに別に數本の母線を設置し、つねに多少

の電圧の差をつけて、負荷の變動と共に、さきの幹線を一方の母線から他の母線に切かへる。例へば、 2×120 ボルトの配電線に於て、發電所は一本の中性線 0 を加へ $1, 1', 1''$ を + に $2, 2', 2''$

第 三 圖



直流三線式

を一母線とし、この中性線に對し、夫々 120, 125 及び 130 ボルトの三種の電壓としておく。かくて、饋電線内の電壓降下が省略される程の輕負荷の間はこれを、1, 0, 2 の 120 ボルト線につなぐ、かくて負荷の増すと共に $1', 0, 2'$ へ或は $1'', 0, 2''$ で——即ち 125 ボルト又は 130 ボルトとして供給される。故にこの階段を多くすればする程、幹線の電壓を各負荷に對して一定に保つことが出来る。この母線を移動することは電壓を變化するためよりもむしろ、荷重を他に移し然る後に初めて饋電端の電壓を元の近くに取りもどすためである。例へば今幹線中最低電壓を有する一點が規定の 120 ボルト以下を示し、これを 125 ボルト、或ひは 130 ボルトの母線につなぎかへたならば、今迄はこの點へ向つて各方面から流入した電流が逆流を初め、そ

のために、この點への饋電線の荷重が其電壓降下と共に増加し従つて、其の近くに在る他の幹線の電流が其の電壓降下と共に減じ、かくの如くして、最低點の電壓を増加することによつて其の饋電線は勿論のこと、近傍の他の電壓降下をも補償することが出来る。

このエチソン式の配電法は元々低速の蒸氣機關を原動機とする、125 ボルトの直結發電機からの供給電力の分配にあつて考察されたものであるが、近年それ等は特別の場合を除き、大出力、高壓三相交流發電機から、變電所を通じて分配される配電網にも應用されるやうになつた。これによれば、普通三相式の 250 ボルト廻轉變流機から中性點は單捲變壓器を用ひて取りだすか、或ひは 125 ボルトの負荷均等機又は、蓄電池を直列に三線につなぐかして得らる。又、同期電動機或ひは誘導動機に直結した、直流發電機が時としては用ひられる、特に 60 サイクルの電力を變流する場合にはこの電動發電機による方が便利で、其他、に 125 ボルトの直流發電機を直列に入れる方法もある。かくて大配電網では、すでに述べた電壓補償法によるため、數組の發電機或ひは變流機を以て、各種の母線電壓を保つ外、補助蓄電池か、昇壓機を直列に増減して負荷の多少に應ずることが出来る。この他、各變電所間をお互に結ぶ他の饋電線を備ふれば、輕負荷の場合又は故障の場合に他の方から電力を融通することが出来、前記の電壓を調整して負荷の均等を期するための補助蓄電池は各の變電所におく必要なく、一ヶ所に集中して保存維持費を減ずる等の利便がある。

この直流配電に於て最も大切な部分は補助蓄電池で、故障の修理までの間と雖も需要家の迷惑を感じさせない程度にあれば充分である。

2. 交流配電

交流配電法を採用すれば配電系統の電圧降下を直流よりも少くすることが出来る。然し前記の直流配電線をその儘に用ふることは、すでに述べた如く荷重が十分に集中した大都市中心でないとかへつて不経済である。なぜならば、直流の場合のやうに數十の饋電線の電壓をお互に無關係に調整することは、大負荷の場合でなければ實用にしがたいからで、然かもインダクタンスによる多大の電圧降下のために直流の如く一本の導線に強電流を通することは交流では到底出来ないこと従つて、1,000,000 サークユラーミルのやうな導線は交流配電には不経済なことになる。

由來導體の抵抗は其の切斷面積に逆比例して減少するものであるから、電流の増加と共に急激に減すべきものである。かるが故に 1,000,000 サークユラーミルの導線は、100,000 サークユラーミルの導線の十分の一の抵抗となり、同一の電圧降下で前者は後者の十倍の直流を通じ得るが、もし交流を用ひたならば、回路のインダクタンスの爲導體の太さを増す割合は、あまり減じない。例へば BS の 000 番線は 7 番線の八倍の切斷面積を持つてゐるから、直流に對しては八分の一の抵抗を有する筈のところ、前者は 1000 呎について、0.109 オームのリアク

タンスを有するのに、後者は、0.133 オーム、即ち 1.22 倍しか大でない。故に 7 番線は 60 サイクルに對して、たゞ 0.266 倍の抵抗であるのに、000 番線では 1.76 倍の抵抗となり、抵抗による電圧降下は著しく増大することになる。一般にこのリアクタンスと抵抗との比は導體の太さを増加すると共に著しく増加し、ために交流配電線に太い導線を用ひて、其の電圧降下を減ぜやうとするのは愚かな方法である。かるが故に交流にはい導線を何本も合はせて用ひるやうにしなければならぬ。今 000 番線と同一の抵抗ある二本の 2 番線を用ひたとすれば 000 番線のリアクタンスの 0.109 オームは二本の 1 番線の 1.88 倍となり一本の 1 番線は其の半分の 0.058 オームとなるであらふ。

かやうにして交流低電圧回路の一本の導體の電線は其のリアクタンスのため直流の場合より、少なくしなければならぬ。従つて一つの配電網も亦小規模であることを要す。然しながらこれは變壓器を用ふることに依つて、大した問題にならず各配電線を小さく分割さる。通常交流配電には一次側に 2200 ボルトを用ひ、二次側は次の如く降壓電流を分配するものである。

a. 各需要家毎に一個の變壓を備へること。

これは相隣る需要家がきわめて遠くはなれてゐるために、同一の二次側では達しがたい特別の場合にかぎる。この方法は小型の變壓器を要したために大きな變壓器のみを用ひた場合よりも一キロに對して、失費が多くなる。又電燈も所要の數だけ使用して、全負荷をかけないと、さなきだに全日能率の低い柱上變

壓器が更に一段不經濟となる。故に昔専らこの方式のみによつた時代では、無負荷損失がその荷重の有無にかゝらず相當の値を持ちつづける、變壓器による配電は、便利には相違なくとも經濟上あまりに重寶でなかつた。例へば、今、20個の60ワットの電燈のみの荷重とし、短時間のみ100パーセントの過負荷にたへるものと假定し、この變壓器が600ワットの格定で無負荷損失24ワット即ち4パーセントとす。實際に於て毎日わづか數時間をかぎつて一二個の電燈がつくやうな場合で、今夏冬を通じて平均二個の電球が三時間づゝ點ぜられといふ田舎家を想像すれば二個の電球で合せて120ワットに、毎日三時間とすれば平均一日中15ワット丈需要家の要求を満たし、24ワット丈の無負荷損失はつねにつきものである。故に全年能率は15ワットを15+24ワットで除した、38パーセントにしかならない。

然るにもしもこの變壓器にお隣りの需要家をも結線したなればよほど能率を高めることが出来るであらふ。然し兩家の同時に全電燈を點ずる場合も想像されぬでもないが、一個の變壓器に更に多數の需要家をつなげば、全然一致して用ふるやうなことは萬々なく、勿論それ相當に變壓器の容量、従つて能率も増加してくる筈である。今、四人の需要家が夫々20個づゝの電燈をつないだものとして前例によつて平均負荷は大體八個である。もしもこの中の一人の需要家が20個つけ、他の需要家が同時に10個乃至15個以上つけないものとするれば、この變壓器は30から35までの電球を負荷に持つこととなり、1500ワ

ワットの變壓器であれば充分である。此無負荷損失は3%で45ワットの一定損失を有し、8個の電燈が三時間づゝ點ぜらるゝと平均毎時60ワットの有効出力となり全年能率は60%に増しもしも1000ワットの變壓器で間に合はぬものとすれば同じく67%の全年能率となる。

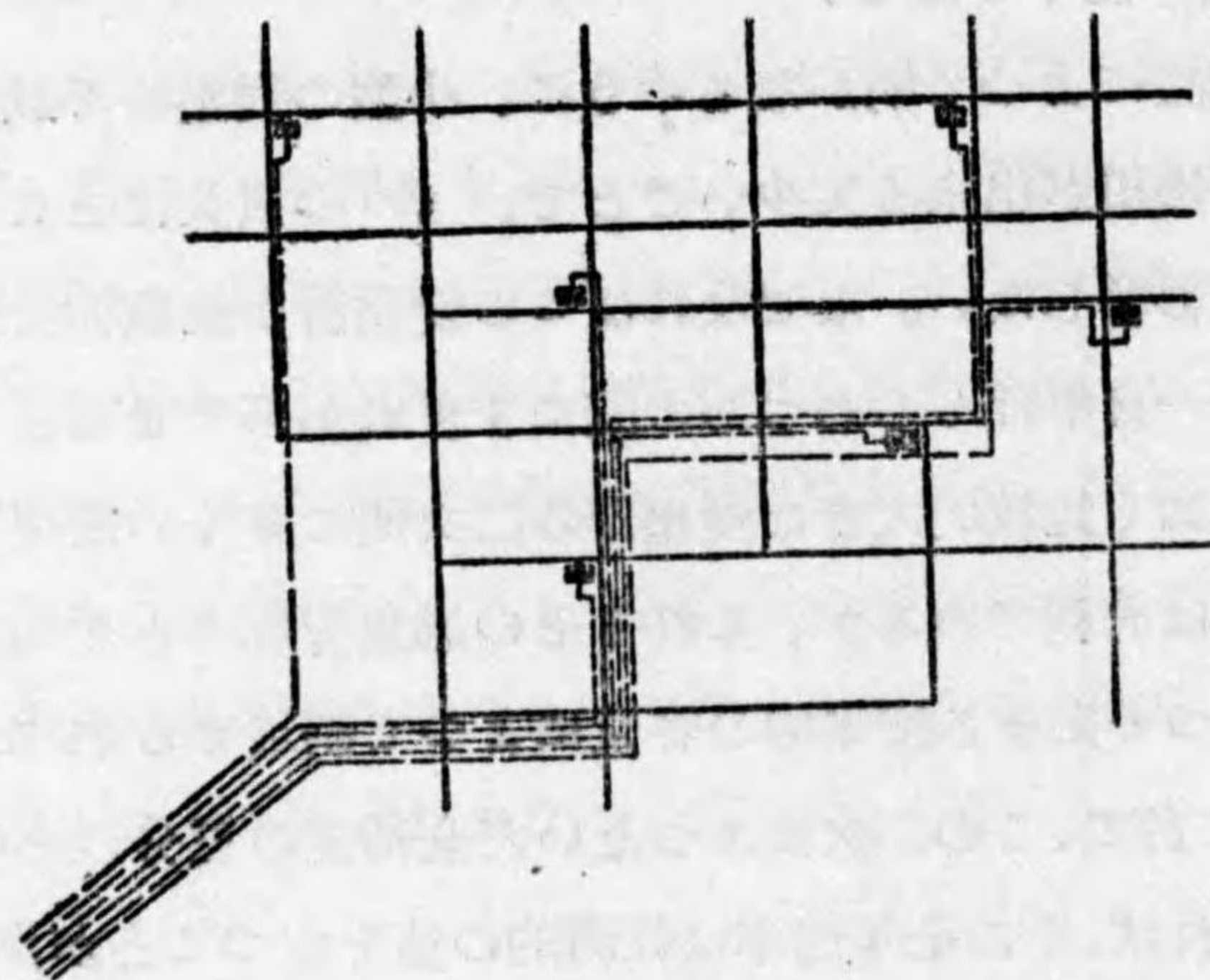
この例證によつて明かなるやうに、小型の變壓器で最も大切なのは、鐵損が出来る丈少いことで、 i^2R の損失はさまで全年能率には影響しない。なぜなればこの變壓器が全負荷ではたらくことは一日中ほんのわづかの間にすぎぬからである。

かくの如く比較的大きな變壓器の二次側に多くの需要家線を結ぶことは有利であるが、これもその過負荷能力と平均負荷の如何によつて定まる變壓器の容量によつて制限せられたもので、大體に於て、この二次側につないだ全荷重の三分の一の平均負荷になれば、この全年能率は經濟的の値を保つことが出来る。

これ等の諸點に注意して交流配電法を考へるに、出来る丈、二次側の需要家の數の多い、大きな變壓器によるが有利であるが、他方面——即ち、インダクタンスによる電壓降下の方面から受ける制限に向つてなるべく近距離で小負荷に分割したいのである。このためには、二次側の60キロワット以上になるときは、きわめて稀なことで、これ以上のものは、やはり小さな數個の變壓器で各所から電流を供給する方針である。これ以上の大配電網で數個の變壓器で二次側をお互に結んで用ひる方法は全くさきに示した、直流220ボルトの場合と同様に、第四圖に示すが如く、饋電線を用ひて幹線に供給せねばならぬ。こ

の饋電線にあたるものが交流配電では 2200 ボルトの變壓器の高壓側である。この電壓調整も直流と同様であつて單捲變壓器や、インダクション、レギュレーターを用ひるが電壓の高いた

第 四 圖



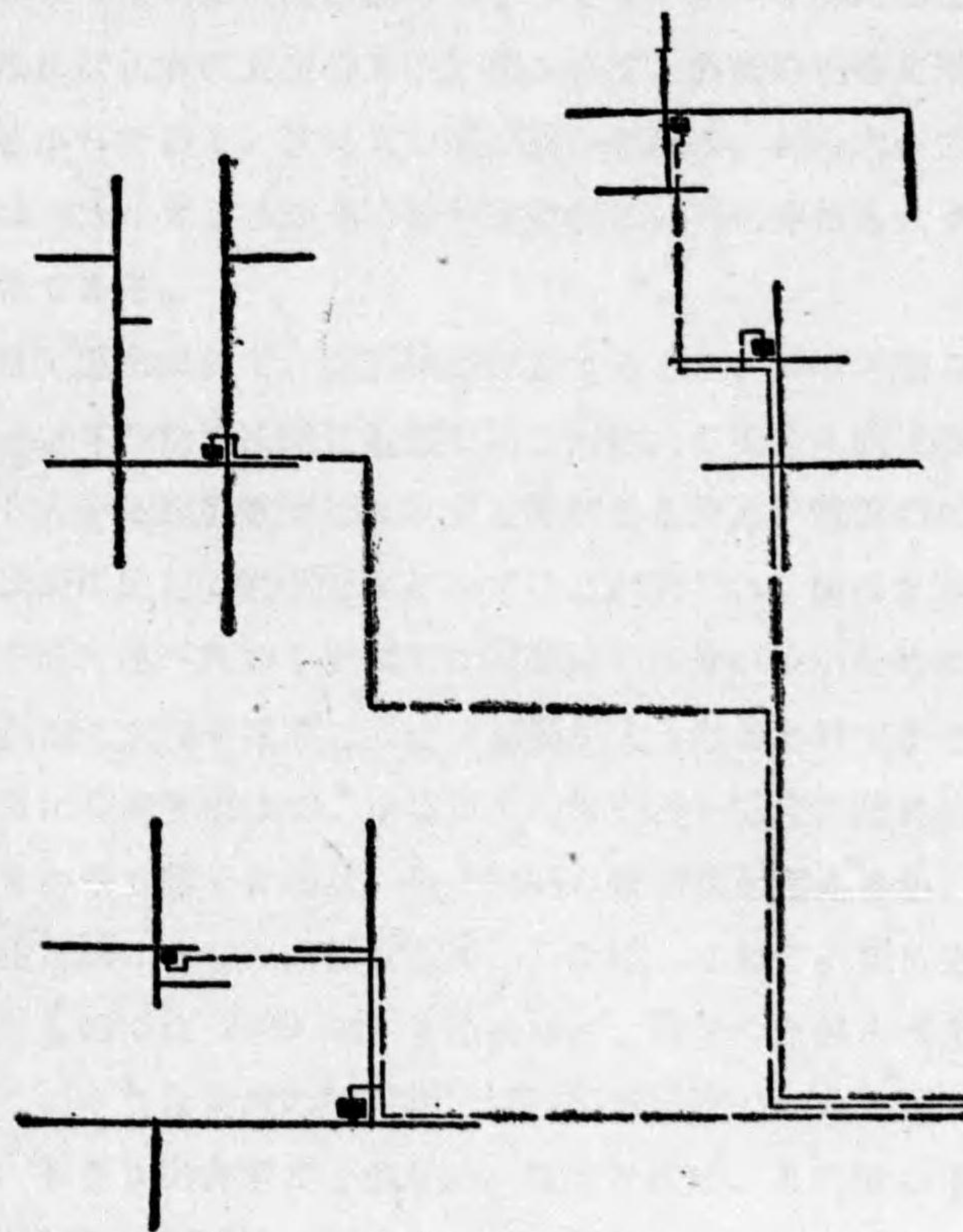
一次饋電線と二次幹線を有する交流式配電

めに直流よりは有効である。然しながら幹線のインダクタンスのために、直流よりも饋電線を短かくするために、負荷の移動による電壓補償はあまり有効でない。のみならず一部の二次側に故障がおこつた場合には全線にわたる停電となる、不便のために二次側は通常分離し、上述の並列運轉は用ひられてゐない。即ち第五圖に示す如く一つの變壓器の二次側に多くの幹磁をつなぐ方法を用ふるが、やはり距離が大となれば、一次側の電壓降下も多くなりために、やはり手数を要することになる。即ち

變電所からなるべく等距離におき相隣る變壓器の二次側の電壓降下を等しくする必要とし、ために住宅地と市街地の負荷を同一の變電所變壓器につなぐことは出来ない。

然しながら、交流配電と雖もこの二次側をいくつにも分割して、如上の如く饋電したならば、直流に比すべき、能率と、電

第 五 圖



標準の交流式配電

壓降下を得ることは、さまで困難でない。かやうな交流配電線では、負荷の高い程直流よりも能率がよく、軽負荷程悪くなる。かるが故に、變壓器をなるべく高い負荷の下に作働するが交流配電の主眼である。

第三章

電燈及び動力の分配

直流配電法に於ては電動機は三線の中、外線、即ち 220 ボルトに特に小型の扇風機の類にかぎつて 110 ボルト線につなぐ。なぜなれば後者に大型のものを用ふれば、負荷の均等を着しく損するからである。故にこの電動機の影響は、其の大きさと起動電流の大小によるが昇降機用電動機は、其の中最も大切な電力荷重である。

交流配電法に於て、電動機が起動するとき、其の回路のリアクタンスのために同じ電壓で同じ回轉力の場合に直流電動機よりも大なる起動電流を吸収する弊があるため、電燈の如き無誘導負荷に比して電壓降下を來すことが著しい。尙ほすでに第二章に於て述べた如く交流では配電線の容量が少いために、この起動電流が端子電壓に及ぼす影響が大となるわけである。かるが故に交流配電法で、中型以上の電動機を電燈回路に結ぶことはきわめて稀で普通は、全く別個の變壓器を用ふるか、更に別の饋電線によつて直接變電所から受電してゐる。更に更に大馬力のものでは 2200 ボルトの幹線に、直接つながるべきである。このやうな交流の配電網では同斯電動機の如く大馬力ものは、あまり出會すことがない。なぜなれば、この種の電動機は大底別個の配電線を有するからである。

交流電動機が電力分配にあたつて問題となるのは小型又は中

型のもので、これがために主として用ひられるのは誘導電動機で更に大なる起動回轉力、加速を要し、速度調整用に、反捲單相誘導電動機の類がよろしい。なんとなれば、單相電動機は三相又は二相式に比してその特性が悪く、従つてきわめて小型にのみ止むなく用ふべきものである。然しながら三相式や、二相式では、配電方法が複雑となるため、電動機としては、直流配電の如く便利でない。これに反し交流配電では負荷率をよくするために電動機を多く用ふ。なんとなれば、交流配電では負荷の増加する程、回路の能率がよいのに直流配電法では負荷の少い程、能率がよくなるかなである。

多相式誘導電動機を直流機に比較すれば速度調整の點からして不便であるに反し、後者は單に界磁電流を調整することによつて自由に速度を加減することが出来る。強ひて前者の速度を變化するためには、ステーター或はローター回路に直列に抵抗を入れる方法があるも、これは電力損失を意味し誘導電動機はつねに全速度に相當する電力を吸収しつゝ仕事をなす特性からして、其の速度調整は極めて不經濟である。従つて數段の速度を要求するときは其の極數をかへて、多少其の目的に添ふことが出来るのみである。

多相式誘導電動機のローターに抵抗を入れて速度を落すときは同一の電流でさへあれば、其の回轉力は同じであることは直流分捲電動機を一定界磁の強さで起動した場合に似てゐる。然しながら、籠型ローターの誘導電動機では、同じ電流で起動回轉力が少くなる換言すれば、同じ起動回轉力を生ずるためには

より多くの起動電流を必要とする點は、直流電動機に劣る。然しながら、直流機の如く整流子刷子等なく其の信頼度及び單簡なる上からは他に比類のない利點である。

かくてこの機械の簡單で故障の少いことは、其の起動電流の多少増加することを償ふて餘りあるために籠型ローター誘導電動機が今日の全盛をなしたのである。

然しながら多大の起動用後れ電流のために端子電壓の降下があるため、交流配電法に於ては必ず電燈と別の變壓器を用ひ、時としては、高壓側饋電線をも單獨に設備する必要がある。

大型の單相誘導電動機は、多相交流の場合よりも、更に大きな起動電流を要するため實用にならぬ。然し小型のものは單に電燈のソケットを用ひて隨時隨所に利用されるので、家庭用電動機等として著しい發展をみるやうになつた。

交流整流子電動機は單相式で全く直流電動機の如く分捲式の定連のものでも、直捲電動機の如く、中位の起動電流で、しかも大きな起動回轉力を得られるものもある。

然しながら、やはり直流電動機の如く、整流子及び刷子ありために籠型ローター誘導電動機よりも多く故障を生じ易い。

然るに反撥電動機或は補償反撥電動機の如く、位の電流で著しく大なる起動回轉力を得られるのみならず、其の力率が他の交流電動機に比べていゝためと、多少の範圍内に於て刷子の位置をかへて、其の界磁電流を加減し、速度を調整し得る得點のために、追々として小型電動機として昔の單相誘導電動機に置きかへらるる氣運となつた。

現今専ら用ひられる交流發電機は三相式であるため送電線も亦三相で、經濟的に云へば、交流配電も亦、三相式である。これを要するに交流配電法の問題は、多相式に發生した電力を如何にして、單相式の電燈又は誘導電動機に供給すべきかといふに在る。

高壓側（一次）配電方式

1. 2200 ボルトの單相饋電線によつて三相電力を電燈を負擔とする二次側に、三線式を採用し、或は全く個別の變壓器から三線によつて電動機に電流をあたふる方法がある。この中、電燈の饋電線は自動的電壓調整機により、或ひは小さな電力系統であれば、發電機の勵磁電流をかへて、常に所要の端子電壓を保つが普通の方法である。然るにこの負荷状態では一般に、三相は不平衡に負荷されるために並列になつてゐる、誘導電動機は、其の電壓の降下や、不平均になやまされ、高い電壓の相は多くの電力を吸収し、低くなつた相では電流も少くなり、電燈による不平衡を取返へす傾向を持つてゐる。

2. 二相式交流發電機又は、三相式電力を變壓器によつて二相式にかへ、各相の二次側に、三線式を設けた單相電壓を調整して配電し、電動機としては、兩方の相を一ヶ所に持ち來し、二相式を用ふればよい。然るにこれは四本の線路、少くとも三線を要するので、この方式は現今、追々すたれ行くやうになつた。

3. 三相式發電機又は送電線から、電燈を別個の三相に分割し、自動的電壓調整機をつけ、三相式電動機を用ふ。然しながら

ら電燈回路には、負荷の均等といふことが大切であるが、二相式に比して、比較的大なる不平衡に耐へられるが、各相毎に電壓調整機を備へるがよろしい。

4. 中性線を一本加へ或は接地して三相四線式の中性點に對する 2200 ボルトの高壓側配電法が用ひられる。勿論このときは、電燈は各相より中性線へ取り、電動機は三相式を採用すればよい。この方法が今日の如く盛んに用ひられるに至つたのはこの 2200 ボルトが市内配電大許容の 2600 ボルトにして、各線間電壓は 4500 ボルトにあたり、導線が 4500 ボルトの經濟を保たれるからである。

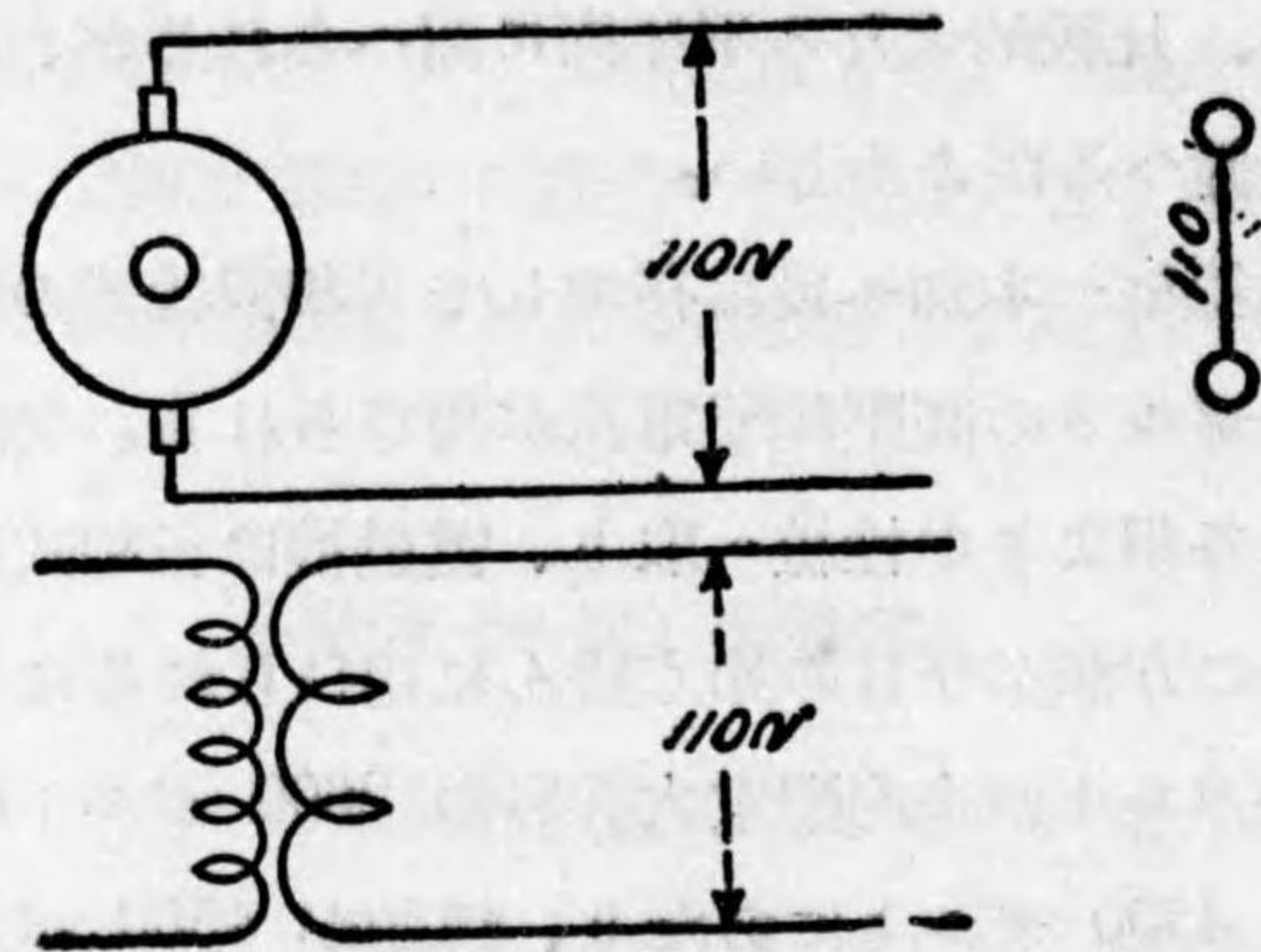
5. 多相式一次に多相式二次を用ひ、電燈と電力とを同一の幹線から取る方法は、比較的電力負荷が電燈よりも多い工場などにかぎつて、便利である。

6. 600 ボルト、及び 13200 ボルトの單相式或ひは三相式が高壓側の配電線として、あまり人口の稠密でなく且つ、電力がきわめて高壓の送電線から分岐した場合に採用されることがある。これは例へば 100000 ボルトのやうな高壓送電線の中途で田舎町や村落に電力を分配する場合には、數百キロ以上の變壓器でないと不經濟である。従つて廣汎の面積に亘つて其の需要を求めるためには、やはり、前記のやうな高壓が丁度都合がよろしい。

電燈、電力分配のために用ひられる低壓側配電方式

1. 二線式。直流、單相、110 ボルト（第六圖）

第六圖



二線式

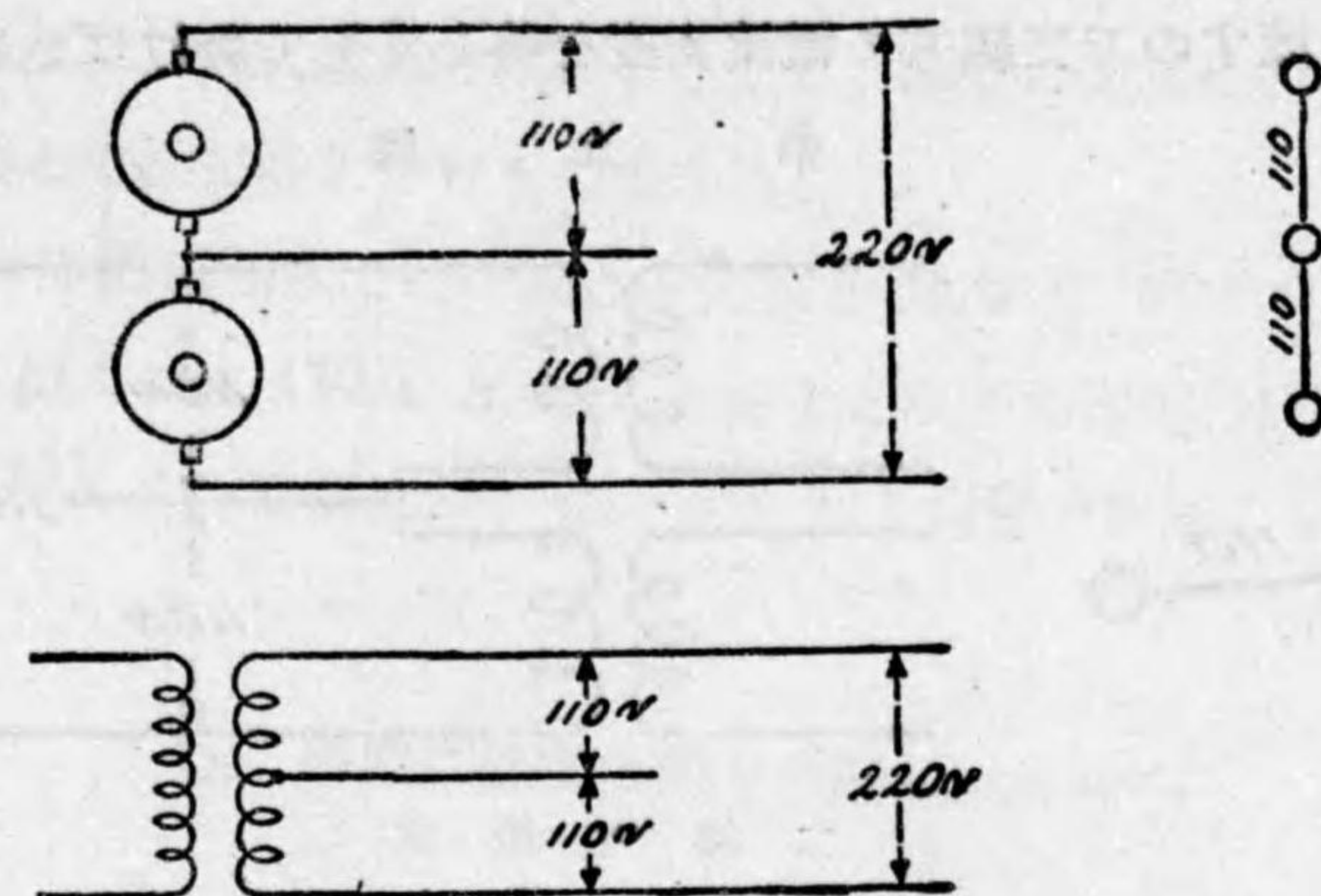
この方式はきわめて近距離に限られ、あたへられた電力に対して要する導體の量が非常に大きい。今他の方式と銅能率を比較するために、この方式に要する銅の重量を單位に取れば $Cu\ 1$.

2. 三線式、直流、單相、110, 220 ボルト (第七圖)

中性線は外線の半分であるが、二本の外線も 110 ボルトの四分の一の銅量で、二倍の電壓のために半分の電流になるため四倍の抵抗——即ち四分の一の銅量で同一の損失となる。これに加へるに、中性線の半分の四分の一の銅量即ち $\frac{1}{16}$ の銅量を加へて $\frac{1}{4} + \frac{1}{16} = \frac{5}{16}$ で足る。故にこの方法によるのが最も經濟的であるが三線でも單相でもあるため、交流多相電動機には用ひられぬ。 $Cu, 5/16$.

3. 四線式 二相式 (第八圖)

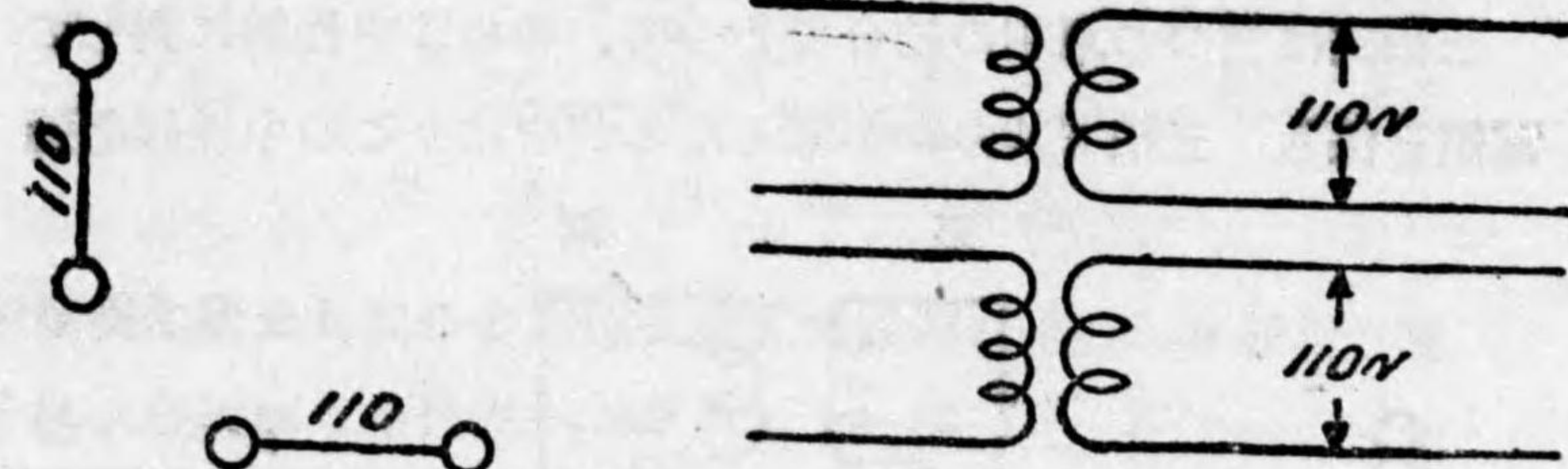
第七圖



三線式

これは二つの單相を組み合せたままで銅量には何等益するところがないため。

第八圖



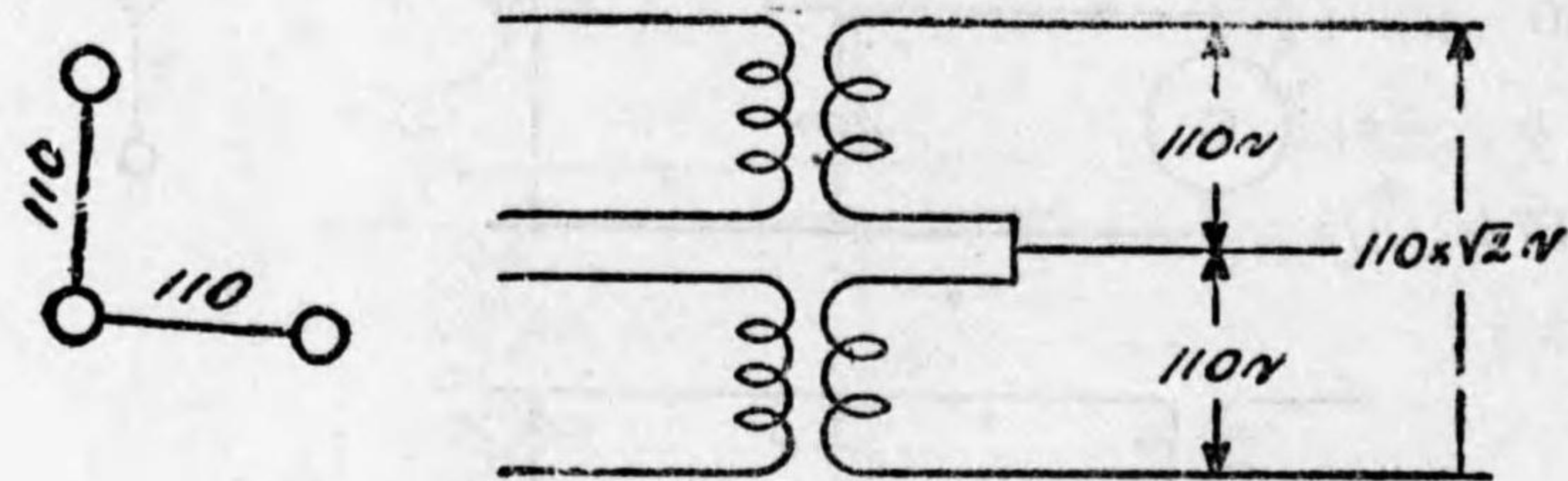
二相四線式

4. 二相三線式 (第九圖)

これは共通の歸線を用ふるため、銅量の四分の一を利し、銅能率は $Cu, 3/4$.

然しながらこの場合、共通歸線は他の二線よりも 1.41 倍の電流を流すので三線共に電流密度を等しくしておけば、あまり有

第九圖



二相三線式

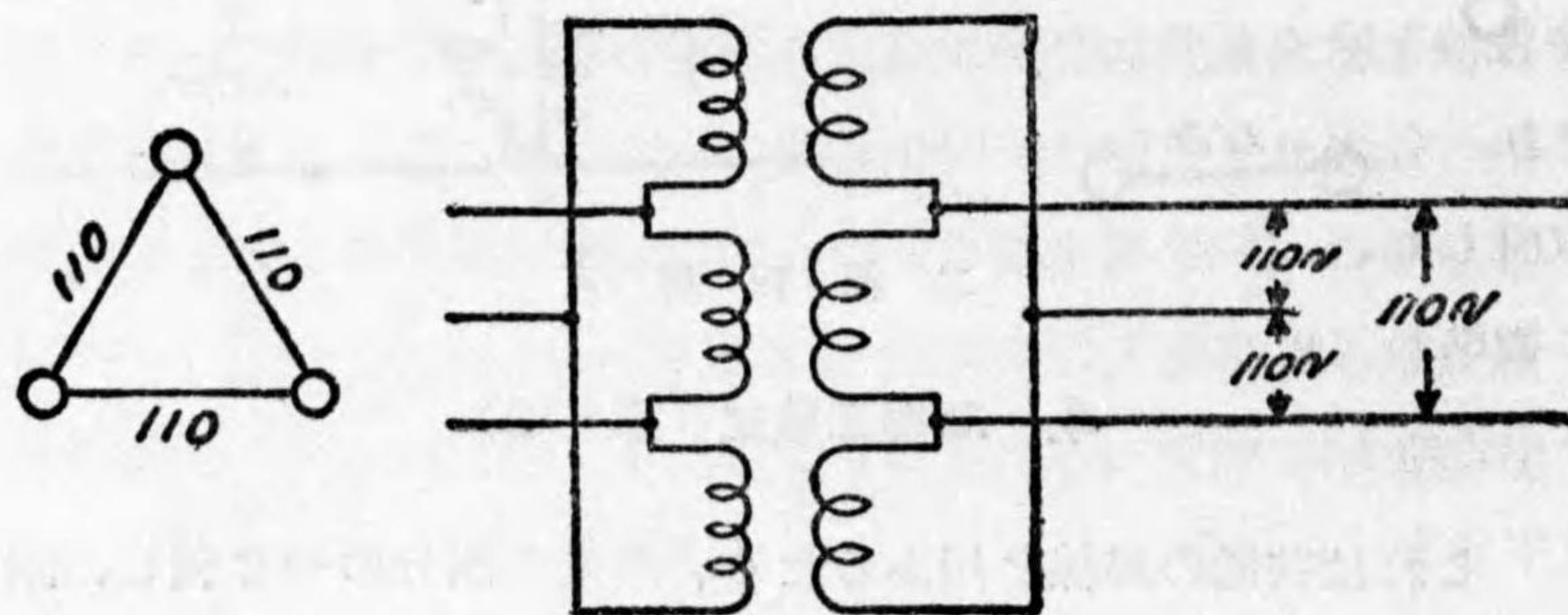
利でない。故に共通歸線を少し太くし他を細くして兩者の切斷面積の比を 1.41 にすれば $Cu, 0.73$ 。

然しこの方式は特別の場合ではないと用ひがたい。

5. 三相三線式 (第十圖)

三相式は三つの單相の結合であつて、各相は中性線に對して電壓を保ち、三相で其の和が零となるがやはりこの中性線を通

第十圖



三相三線式

つて歸つて行くものと考へるが便明である。

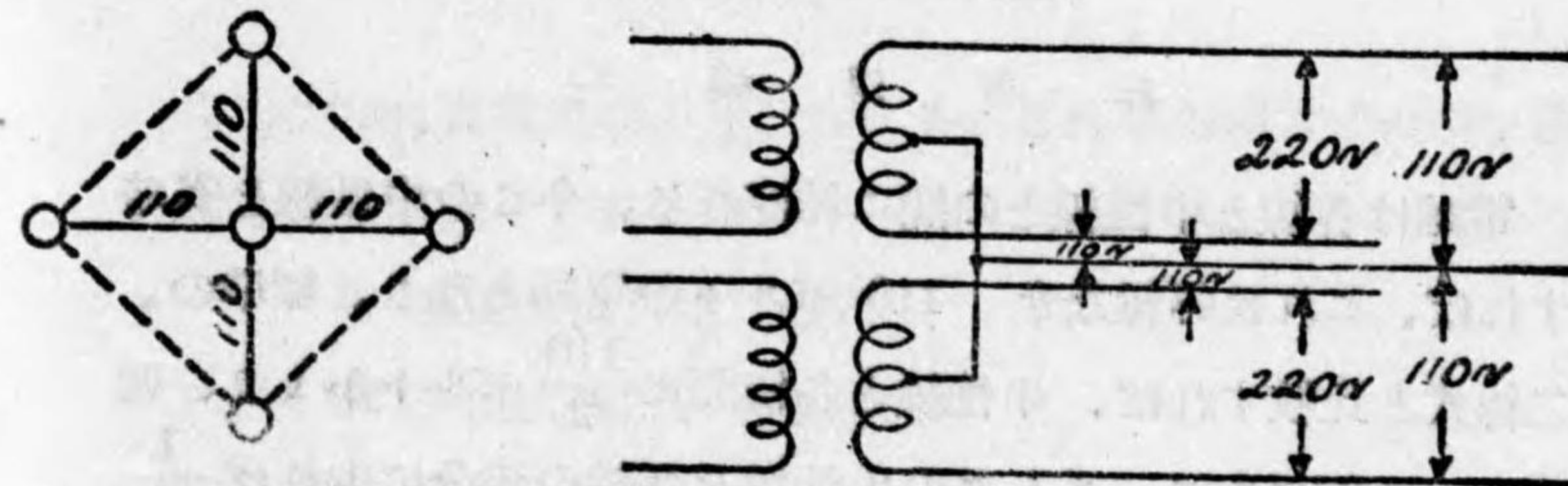
かくすれば、二線式單相と比較するとき、線間の電流は、各の二相回路と中性歸線を含むものとなる。

110 ボルトの單相式では一線と中性點との間には 55ボルトとなり、三相式では $110/\sqrt{3}=57$ ボルトとなり兩電壓の比は $55 \div 57 = \sqrt{3}/4$ この電壓比の二乗は $3/4$ 即ち銅量である。

$Cu, 3/4$ 。

6. 四相五線式 (第十一圖)

第十一圖



二相四線式

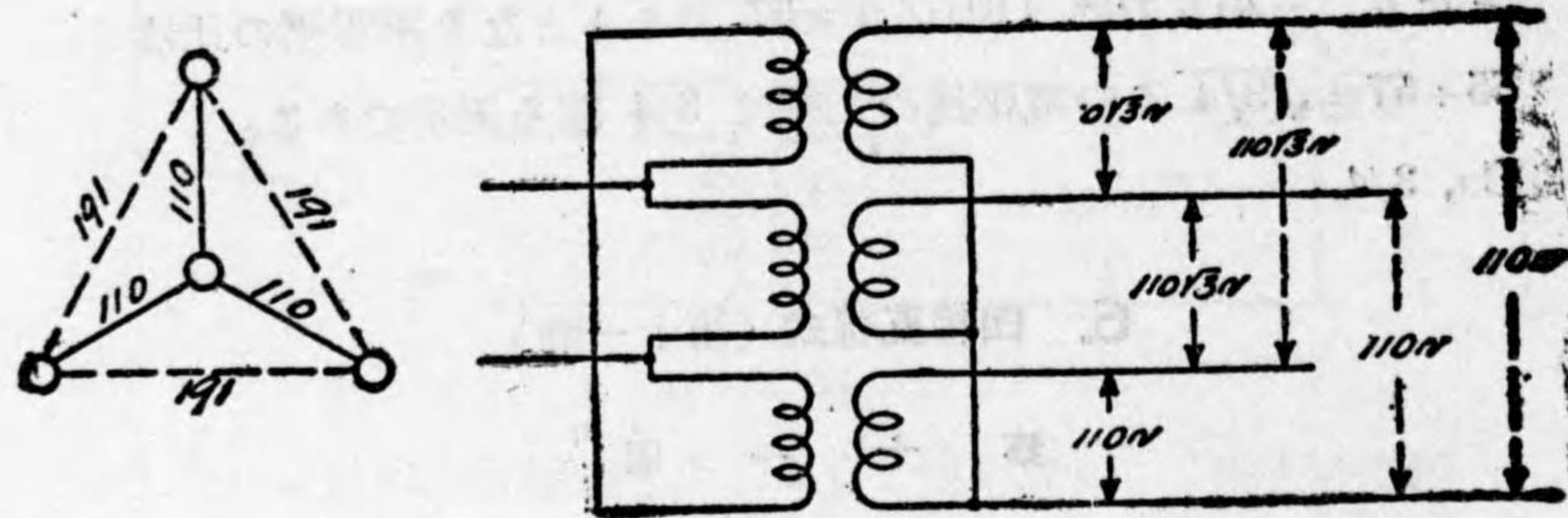
中性線を除去してこの四相五線式は四個の歸線なき單相と見做され、各線から中性點へ 110 ボルトを得。これを二線の回路に取直して、二個の單相が $\frac{110}{2}$ ボルトで歸線なきものとなる。故に標準の二倍の電壓を保ち、四分の一の銅量となる。

今中性線として他の線の半分のものを用ひたならば、一本の線の半分丈けを銅量に於て増し、 $\frac{1}{4} \times \frac{1}{8} = \frac{1}{32}$ を加へて、全銅量は $\frac{1}{4} + \frac{1}{32} = \frac{9}{32}$ の銅能率となる。 $Cu, \frac{9}{32}$ 。

これはあまり多くの線を要するので實用には不便である。

7. 三相四線式 (第十二圖)

第十二圖



三相四線式

電球は各線と中性線との間に結ばれる、今この中性線を省略すれば、これは歸線なき 110 ボルトの单相となり、標準の、二線式と比較すれば、中性線と各線間に $\frac{110}{2}$ ボルトかかり、四分の一の銅になる。もしこの中性線を各線の半分を取れば $\frac{1}{6}$ の増加となり、最初に比較して、 $\frac{1}{6} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{24}$ となり、全體の銅量は $\frac{1}{4} + \frac{1}{24} = \frac{7}{24}$ この方式は大部分の負荷が動力の場合に用ひられるが、全く別の電動機用三相配電線を備へる工場に於ても用ふ。

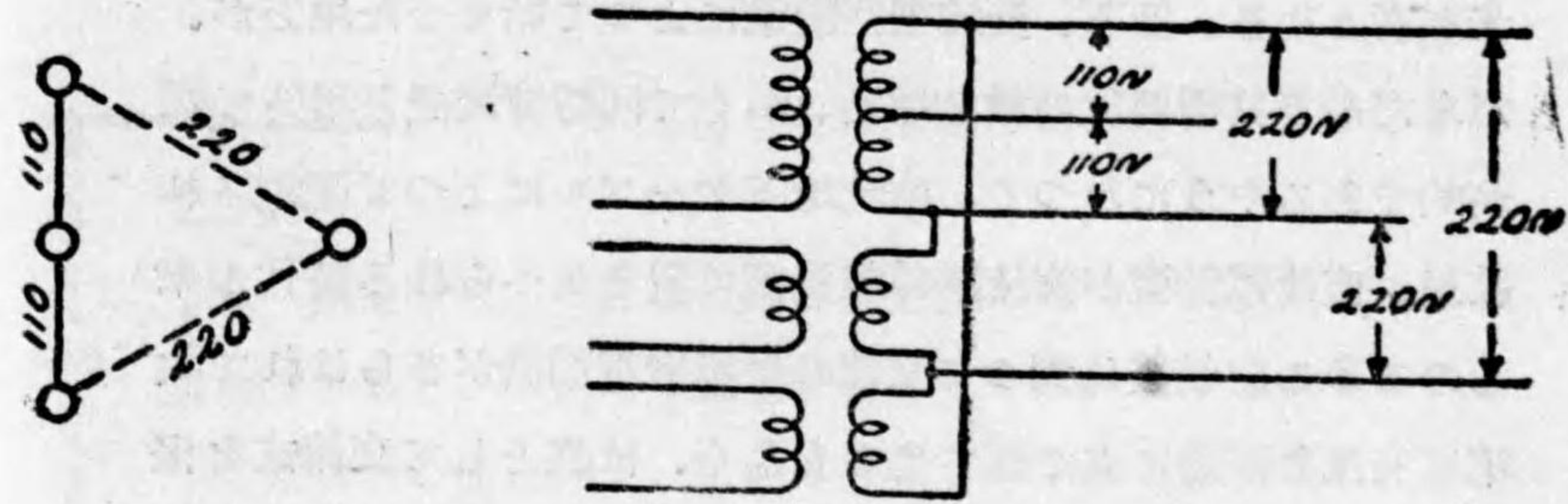
8. 单相、三線式電燈配電、三相式動力配電(第十三圖)

電燈配電はすでに述べた如く銅量は $Cu, \frac{5}{16}$.

動力配電には三相三線式の 220 ボルトで 5 の場合の二倍

電壓であるから、其の $\frac{1}{4}$ の銅量 $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4} = \frac{3}{16}$ $Cu, \frac{3}{16}$

第十三圖



单相式電燈及三相式動力

この方法は非常に廣く用ひられる。これ等の諸方式の中、現今最も多く採用せられるのは

2. 直流交流单相三線式
8. 三線式點燈、三相式動力
6. 四相五線式
7. 三相四線式

はあまりに用ひられない。

これ等の結果をまとめてみれば、一般に二線式は銅量から云ふて不利で高能率を得るためには直流单相交流を問はず第三線を必要とする。

然し三線式の多相交流は、4 や 7 の例の如く不利で、直流、单相、三線式に近い能率を得るためには多相式では少くとも四線を要す、換言すれば同一の銅能率では、单相或ひは直流の配

電に比して、一本以上の線を添加する必要がある。

由來直流は大都市の中心に、交流は小都市或ひは田舎町に於ける經濟的の配電法であるため、この點からして交流は直流の先驅者となる。即ち、交流架空配電によつて始まつた地方が、だんだんと其需要家の數を増し、かくて回轉變流機を用ひて經濟的であるやうになつて、直流地下ケーブルによつて配電され結局、直流電動機が交流誘導電動機に置きかへられる時代が來るのである。最後に到つて交流の昇降機電動機があらはれて次第に交流を直流に立て直すまでもなく、依然として交流式を保たふとする傾向がある。

かくて交流式が益々根強く各方面にはびこり、直流式は次第にビルディング、料理店、アパートメントハウス或は旅館等の如く單獨にまとまつた配電地帯にのみ生存することになる。

第四章

負荷率と電力料

需要家のメートルに供給せられる電力料は次の三部分から成立つ。

A. 固定費用、これは電力の使用高に關せず、全負荷なると無負荷なると、如何なる配電法たるとを問はず一定のもの、例へば發電所の投資利子、社員の俸給等の如きものである。

B. 使用電力に比例する費用で、例へば火力發電所に於ける石炭のやうなもの。

C. 發電所の信頼度を増すための費用、例へば、直流配電に於ける、豫備蓄電池、水力發電所の水源保護の森林に要する失費。

これ等の三つの費用の中、單に B だけが、使用電力に比例し、一キロ當りに一定値を取る、其の他の二部分は使用電力に無關係である。従つて發電所の容量に比して使用電力の少いほど一キロ當りの費用が多くなるわけである。換言すれば電力料は現在の出力と、出し得る最大の出力との比によつてかわるべきものである。

これ等の中 A に屬するものは、水力或ひは火力の發電所送電線、配電ケーブルの建設費の利子及びそれ等の建設物の償却費等で、火力發電所の石炭或ひは燃料油の費用は電力發生高に比例して増加すべき性質のものである。

其他俸給、傭人、番人、見廻人等も、Aの固定費用か或ひはBにも關係する條項である。

電球の取換、弧光燈の手入等は純然たる、B項の一部となる。

尙ほCにあたる條項を詳細に記せば、豫備發電所の出力とか、火力發電所は送電線の受電端の近くにおくとか、送電線を一本の鐵塔に二回線となすか、一回線となすか、或ひは直流電源に蓄電池を用ひるとか、隣接の變電所間を結ぶ別個の送電線とかいふもので、何れも配電の確實の程度如何にかゝわるものである。

かやうなわけで固定費用のAが出力に比例する部分のBに比して大きいときは、荷重の減少と共に一キロ當りの電力料が増々大きくなるものである。火力發電と雖も時としては $A > B$ であるから、水力發電所ではAはBに比して極めて大きくなるわけである。故に電力發生に比例するBは、水力發電所では一キロ當り極めて安直であるが、Aは主として土工及び送電線のために莫大となる。

かるがために、水力による電力料と火力による電力料とは、水力工事がきわめて容易である場合と、大容量のステームタービンで安直に電力を發生し得る特別の場合をのぞき、ほとんど似かよふたものとなる。但し、水力によるものは送電線の故障を保證するために多大の増費を來し、さもなくば大容量の蓄電池の如きものを備へて、送電線なき、火力發電所と其の信頼度を同じく設備した場合である。

故に水力、或は火力による電力料を比較するには、其の配電

の確實と、荷重の性質如何によらねばならぬ。

實際に於て電力料の大部分は出力の如何にかゝらぬものであるから、出力が少いときは一キロ當りの料金が著しく高價となるため、其の平均使用電力と最大出力との比が一キロ當りの電力料を左右する最大の條項となる。この比を稱して『負荷率 (load factor)』といふ。然しこの負荷率といふ文字は將來増設し得る餘地や、Cの如く確實性を保證する諸設備を含まないから、あまり適當でない。

かくて一般にこの負荷率といふものは、發電所の平均出力と最大出力との比であつて、この最大出力以上の如何なる餘力もそれを販賣するといふ目的でなく、單に故障の場合にのみ役立てやうとする部分はこの負荷率にこめてない。

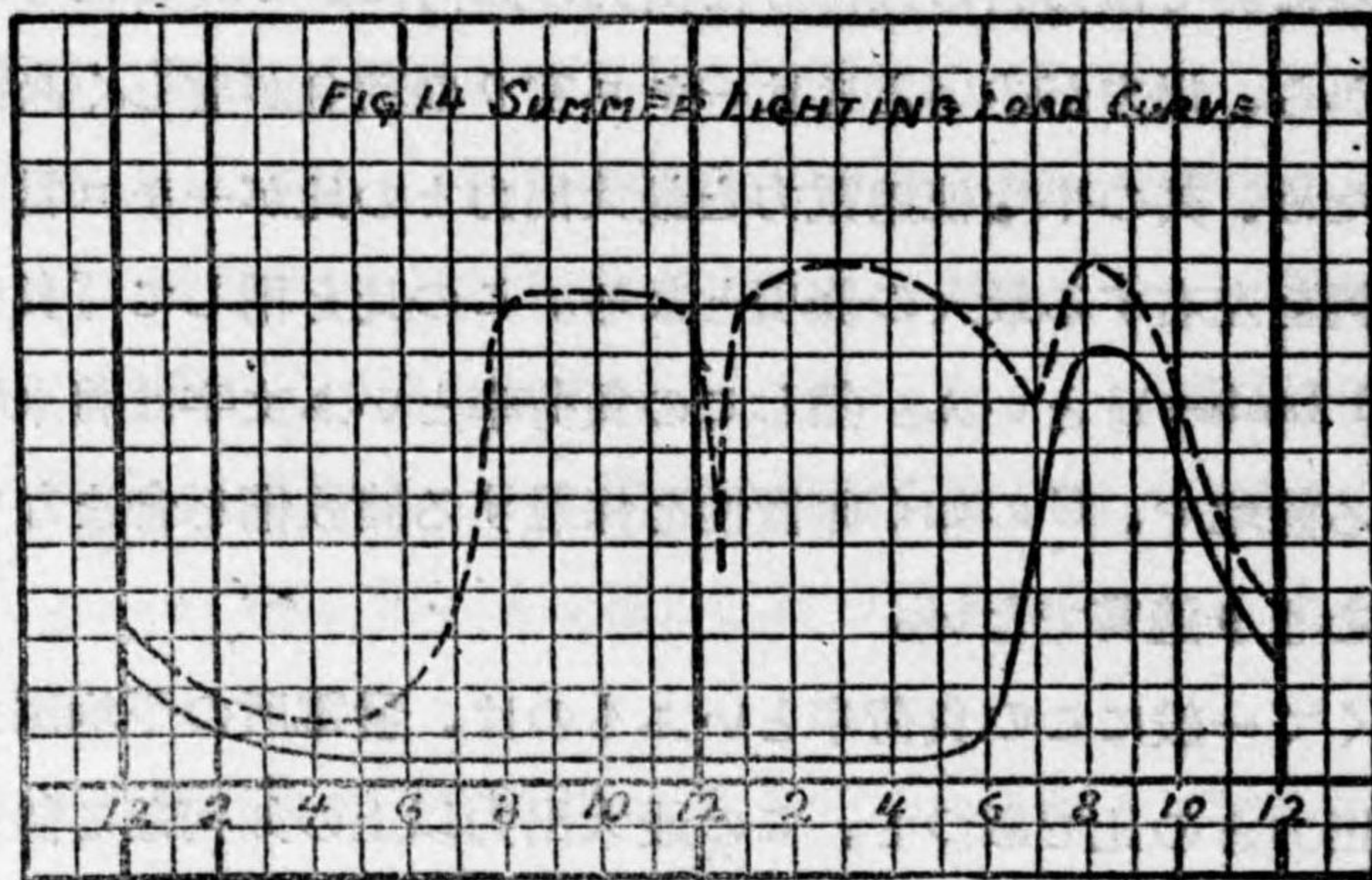
略言すれば電力料は主としてこの負荷率によるものとなる。かくてこの負荷率が高ければ電力料は安く、この負荷率が低ければ一キロ當りの電力料が著しく高價となる。この影響は火力よりも水力に於て著しい。

かくの如くして其の送電系統を經濟的に用ふるためには、出来る丈高い負荷率を得ることが大切で、電力料もこの負荷率の如何によつて差等あるべきである。

負荷の性質から、電氣化學は最高の負荷率で約90%電燈が最低で、電動機のない交流配電にすれば、時として10%から20%に下ることは珍しくない。

さきの負荷の平均と最大との比を負荷率といふからには、時間に対して、日、月、及び年の負荷率を考へねばならぬ。例へ

第十四圖



夏期の電燈及工場動力負荷曲線

ば第十四圖に示すは夏日の電燈の荷重を示したもので、夕方わすかの間のみ、高い負荷率を作る。こゝで一日中の最大負荷に對する、其平均荷重は 22.8% に過ぎぬ。

第十五圖は冬日の電燈負荷曲線で朝方に少し負荷を増し、夕方に最大負荷が来るが、其の幅は夏日の場合より廣く、ために一日の負荷率は 34.5% に改善されてゐる。

かくて一ケ年の負荷はこの最小と最大との間を往來し第十四圖と第十五圖との中間あたりがその値となる。故に冬日の最大の負荷が年負荷の最大なもので、これが一ケ年の平均負荷に比較すれば第十四圖と第十五圖の場合に僅か 23.6% 過ぎない。

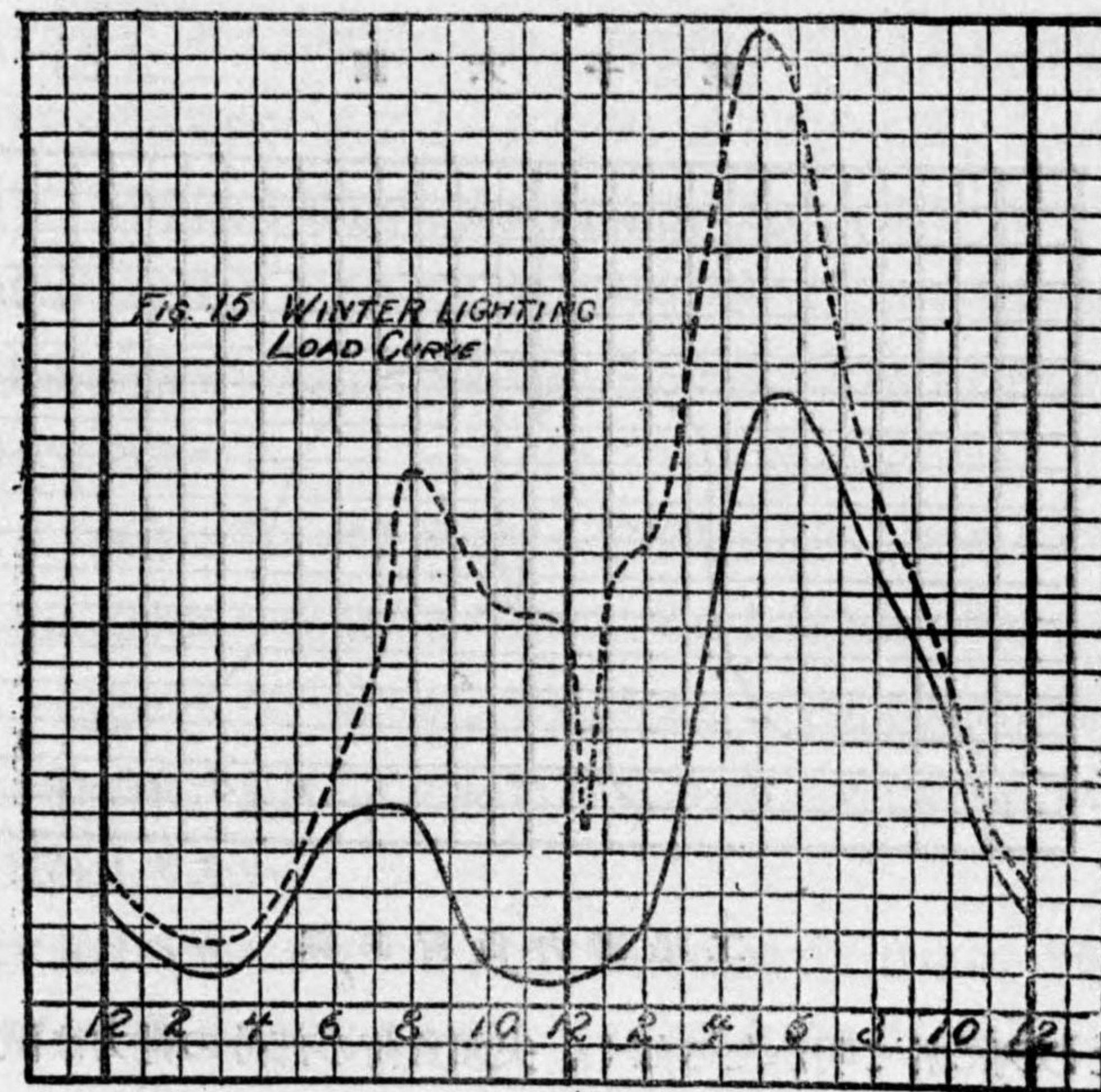
かくの如くして、電燈負荷の最大不利益はこの年負荷率がきわめて低いことで、夏日の負荷が、冬日に及ばぬことは明か

あるためこの改善方法として、諸外國では夏日野外活動寫眞とか電燈裝飾を奨励するわけである。

然るに工場に於ける電動機の負荷曲線は第十六圖に示すやうである。この負荷は晝間の小時間に一時減する他、朝から夕方まで大體に於て一定である。故に一日の負荷率は 49.5% を示す。

今この負荷曲線を夏日の電燈負荷に折り重ねるものとすれば最大電力はあまり増加せず、一日の平均負荷を増加し、點線を

第十五圖

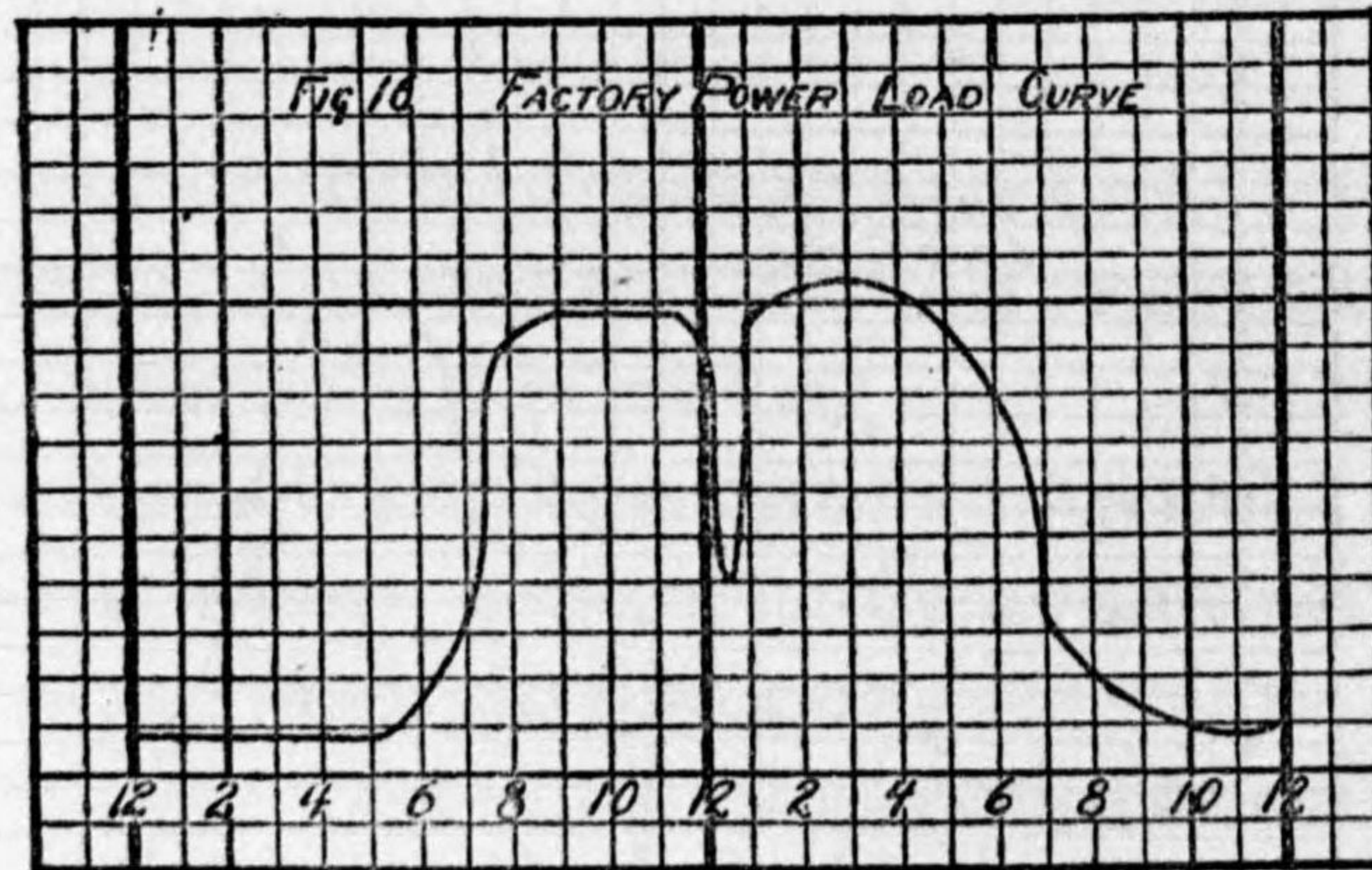


冬期の電燈及工場動力負荷曲線

以て示すが如き（第十四圖）曲線となり、負荷率は 65.4% となり電力料を著しく減ずることが出来る。但しこれがためには大動力の電動機負荷を必要とする。

然るに今日では、電動機の負荷が第十五圖に示す如く、電燈荷重に折り重り、最大負荷が増大し、負荷率が 41.7% に下る。これがために、直流の蓄電池を豫備においてこの一時的の過負荷を受けるやうにするか、或ひは、發電機と汽罐に過負荷してもよろしいが、むしろ夕方電燈を要するやうになる頃、工場に於て電動機の一部に運轉中止するやうに約束すればよい。

第 十 六 圖



工場動力負荷曲線

この例に於て明かなる如く、尖頭負荷の部分の電力は誠に不経済で少しの電力を増加するに多大の固定費用 A と C を要するため、最初動力に用ふる電力料を晝間夜間に區別するのが普

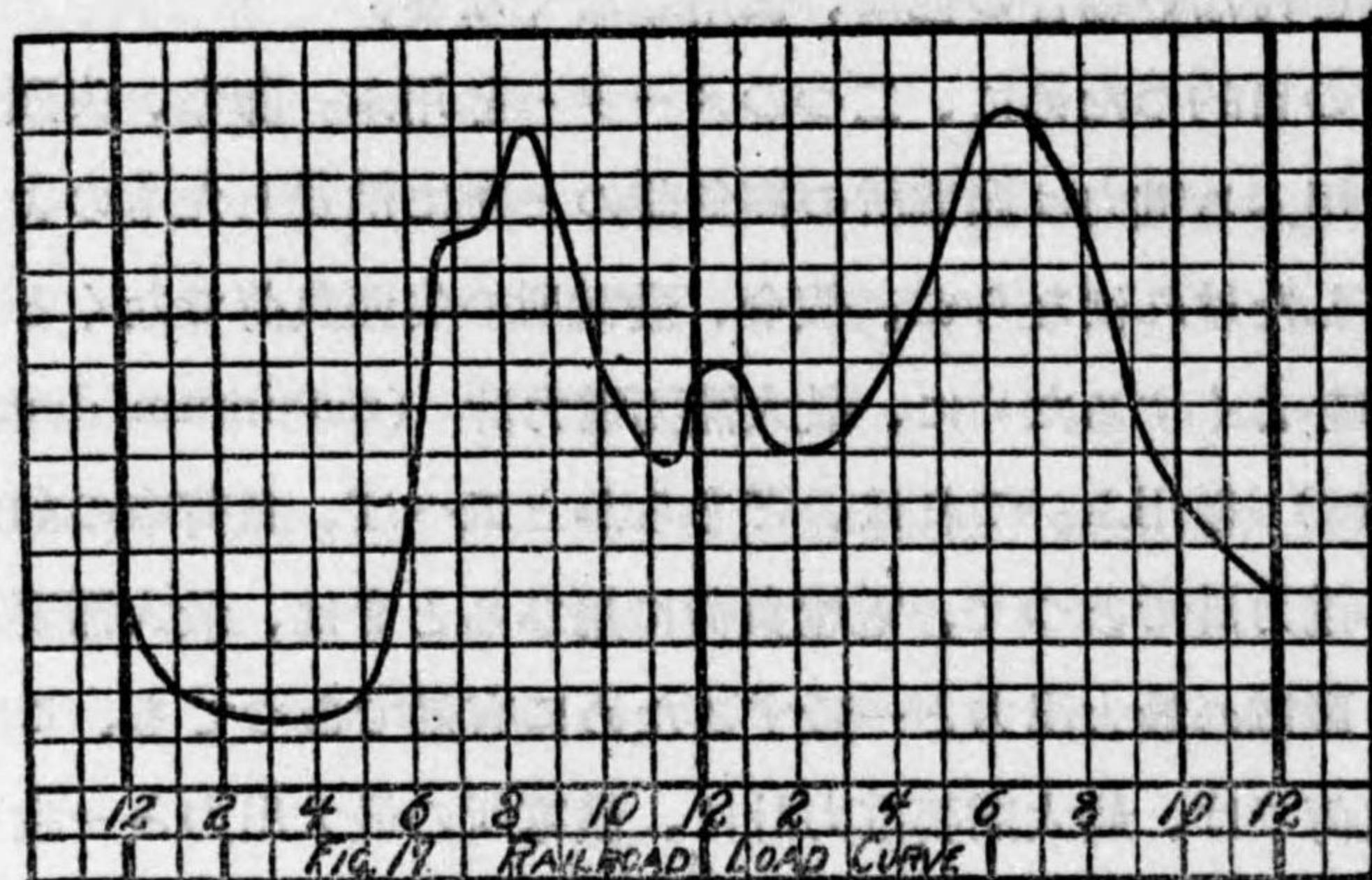
通で、勿論、後者の方が同じ一キロ當りが高價であるため、萬止むを得ない場合の他は、使用しなくなる。

この目的のために、二つのメーターを用ふ。即ち、尖頭負荷中に用ふる電力は發電所の輕負荷のときに消費したものより高價にしなければならぬ、假令、發電所の尖頭負荷でなくとも負荷率をよくするために、最大需要電力計 (maximum demand meter) を用ふ。これは、どちらかと云へば、負荷率の如何による電力計であつて、電燈負荷に用ひるときは、最大需要電力は、發電の最大出力と一致するために有効であつても、この他の負荷では、最大需要電力計は、發電所の最大出力と一致しない。例へば電動機の負荷は一日中の、或る部分に高い最大需要があり、發電所尖負荷のときは無負荷に近い有様で一日中發電所の尖頭負荷をもくるんで全體を均等負荷に保つことが出来る故に電動機負荷の場合には電燈の場合と異つた特性を最大需要電力計にあたへる。

夏日に於て、電動機を晝間に、電燈を夜間になるやうに注意すれば、直流式の配電法を用ひて、この負荷率を 50% から 60% に上げることが出来るが、これに反して普通の交流方式では電動機の負荷が思はしくないために、一年通じての負荷率はあまりよろしくない。

次に第十七圖に示すのは、電車負荷曲線で、日中は大體に於ておだやかな負荷であるが朝、晩の尖頭負荷あり、時としては晝間に一寸した負荷の増大がある。然して夜間から翌朝にかけて次第に其の値が減じ来る。この曲線から見れば、電燈負荷よ

第十七圖



電車負荷曲線

りは高い負荷率で 54.3% になつてゐる。

由來この負荷率といふ定義からして、負荷の最大値のみならずその最大値の引きつゞく時間を考へねばならぬ。例へば、非常に大きな電動機が短絡して、瞬間の電流は発電所の最大負荷以上のものとなることがあつても、フューズさへ飛んでしまへば、それ迄のことで、大した影響はないものである。即ち大負荷が短時間の間かゝつても配電にはあまり差支へないから、電燈負荷の如く、電壓降下の最も大切なる負荷では分を以て時間の単位に取り、この分に對する平均負荷を取るのである。然るに電鐵の如く、過負荷のために生ずる電壓降下のあまり影響しないものでは、半時間を以て、最大負荷を定める標準時間とすればよい。何となれば、この種の汽罐や發電機は半時間の過負荷

には安全で、それ以上の長時間に對しては、電壓降下云々よりも發電機の方から苦情が出るからである。

又、同一の發電所から、各種の負荷、或ひは、數個の長短配電線に電力を供給する場合には、全體として負荷率は、勿論荷重が重らぬため各部分の負荷率よりも大である。換言すれば、全系統の最大負荷は各部分の最大負荷の和よりも小である。この、全系統の最大負荷の和を、全系統の中の最大負荷で割つた比を、全負荷の『不等率 (diversity factor)』といふ。

この不等率が大であるほど全系統の負荷率が大となり經濟的であるため、最も經濟的に發電所を利用するには、電燈、動力電鐵等の廣い範圍の負荷の合同が必要である。

第五章

長距離電力輸送

長距離電力輸送には専ら三相交流が利用せられてゐる。二相式はもはや廢れて、新たに直流高壓輸送さへ提案され瑞西あたりの特別な事情の國では、既に二三この方法が實用になつてゐる。

然しながらこの直流高壓は其發生と利用に多大の困難が伴ふため恐らく今後とも餘り發展しないであらふ。かやうな理由でこの直流送電線はこゝで考へないことにする。

周波數

この周波數は 50 或ひは 60 サイクルが主で、直流に變流するやうなときにかぎつて 25 サイクルが用ひられる然るに後者は、充電々流及びインダクダンスによる電壓降下が少ないために、送電線に向つては多少有利であるが、非常に長距離大電力の送電線にあつても、いろいろ他の點からみて、到底 60 サイクル又は 50 サイクルに及ばない。

電 壓

短距離用には 11000 から 13000 ボルト、時としては 22000 ボルト迄の範圍内で送電してゐる。蓋しこの電壓は交流發電機から直接に發電し得る、最大電壓で、發電所に於ける昇壓變壓器

を不要とし發電所から、送電線を通り、直ちに電壓變壓器を以て配電に必要な電壓を得る方法である。

然しながらこの電壓で送電し得るのは、極めて狭い範圍で、かくの如く高壓にすることは、發電機のスロツトの絶縁をよくするため、熱の放散よろしからず、あまつさへ、コロナ現象が著しく、追々この方式は用ひられなくなり、更に更に大出力のものでも發電機に 6600 ボルトを採用する向もある。

次が 30000 ボルトの送電線で、發電端が 33000 ボルトで受電端で 30000 ボルトを得る方式である。此邊の電壓までは、送電線用高壓碍子製作に餘り困難を感じないために、前記の電壓から一足とびに、中間電壓なく、この値になつたのである。勿論のこと發電所には昇壓變壓器を用ひ、50 哩から 60 哩位の距離までは經濟的である。

40000 から 44000 ボルトが次の階段である、66000 ボルトの送電線もあるが、前者の 44000 ボルトまでが、ピン型の碍子の有効範圍である爲め、後者は、新しい送電線には採用されなくなつた。

この上はやはり懸垂碍子を用ひて、安全率を増し、光景が一段と展開されて來るもので、100000 ボルト以上の 150000 ボルト、更に 220000 ボルトの送電線網もあるが、現今のところ、最大の送電々壓は、碍子の問題よりはむしろ、コロナ損失で、制限されるのである。

かやうな高壓送電線には鐵塔が専ら用ひられる。

送電線の建設費はこれに用ふる電壓による。

「電線の価格は電圧の自乗に逆比例するもので、同一の損失で二倍の電圧になれば二倍の最大電圧の降下が許容され同一の電力を輸送するに電流は其半分で足るから、結局この二倍の電圧降下で半分の電流に対しては四倍の抵抗でよく、従つて四分一の電線——即ち価格となる。」

「碍子の価格は電圧の増加と共に増し、鐵塔も電圧が高くなる程、徑間を増し、腕木も亦大きくなり、高い丈夫な塔であるため、高壓で幾回線も同一の鐵塔の上に架線するわけには行かず、従つて線路の建設費を増加する。」

一般的に電線は 10000 ボルトに對して一呎の割合で間隔すべきものがある。

一般に、電圧が低い程、故障が少く輸送が安全であるが、大體に於て大差ない。然し更に特別の高壓になれば、雷によつて起る騒亂が低壓の場合程、著しくない得點がある。

かくの如くして、送電線の価格は、一方には電圧と共に増加する項目があり、他方には、電圧の増すほど減する項目があるために、これ等の制限を相當に満足する或る一つの電圧が最も經濟的である。

即ち低壓にすれば電線の価格を増し、高壓にすれば絶縁物や送電線の建設費を増す上、其の故障も多くなる。

最も經濟的な送電線の電圧は其の時の銅の値段に依り、もし銅價が非常に高い時は電圧の高いのが經濟的である。アルミニウム線を用ふる時も同様の關係が成立する。一般にアルミニウム線に撚線をつかふ様になつたのは、昔用ひた單線に多くの

「キズ」があるために折れ易く、故障を起すことが屢々あつたためである。アルミニウム線は温度の變化に對して銅より影響をうける事大で夏期に於て建設せられた送電線は銅よりも「タルミ」を多くせなければ冬期になりて温度の下降と共に強く引きはられて切斷することがある。のみならずアルミニウム線はこれを接合することが極めて困難である。

同一の電導率でアルミニウム線は銅線に比して二倍の太さとなるが重量は半分になり價格も一般に多少劣る。一方に於ては銅線は常に一定の値段であるがこのアルミニウム線は時々値段の上下があつて一定した價を持たないものである。

高壓に依る送電線路内の損失

或る電圧以上になると送電線に刷子放電即ちコロナ作用のために損失を起すもので或る電壓を越えると急激に増加する性質のものである。

送電線に於て刷子放電をなす程度の電壓となれば其の電線の表面又はこれに近接せる空氣中に所謂コロナ損失が始め、斯様にして次第に近傍の空氣に電導性を與へ終には美しき光輝を發するに至る。

現今に於る送電線の狀況にあつては一纏ごとに 21000 ボルトの割合となれば線間に放電を生ずる様になる。

今この電壓 e_0 を破壊極限電壓となづけ三相式送電線では次の式に示す様な關係にある。

$$e_0 = 84r\delta \log_{10} \frac{s}{r} \times 1000 \text{ volts}$$

ここで

$r =$ 纏で示した電線の半径

$s =$ 相隣れる線間の中心距離

$\delta =$ 空気の密度係数で 25°C 水銀柱 76 纏のときを単位とす、又 t を温度 °C、 b を水銀柱を纏で示したものとすれば一般に

$$\delta = \frac{3.92b}{273+t}$$

これは線の表面がよく磨かれた圓形のものについて言ふたので其面が荒いとか、風雨にさらされた場合には、前記の値より 5% 低くなる。

もしもこの電線が六本の撚線から出来てゐたとすれば、この r はこれに外接する圓の半径をとり、然かも e_0 の値を 15% 低くとる。

然しながら、この電圧 e_0 では餘り大な損失を生じないが、この極限電圧を越へると急に増加する。この電圧 e_0 を其線路の『可視極限電圧』と言ひ、こゝを過ぎると次第に損失を増し最後に暗黒なところでは光芒を出すやうになる。この e_0 の電圧は

$$e_0 = e_0 \left\{ 1 + \frac{0.2}{\sqrt{\delta r}} \right\}$$

この e_0 を越へ e_v となるに従ひ初めて損失を生ず。その値は e_0 を超過した丈の電圧の自乗に比例し、三相式で

$$p = \frac{244}{\delta} (f+25) \sqrt{\frac{r}{s}} (e - e_0)^2 10^{-5} \text{ キロワット/杆}$$

こゝに e は線間電圧、 f は周波数を示す。

このコロナ損失は周波にしたがつて増加し其の電圧に依り著しく其の値を増加するから送電線の電圧が此の e_0 を越えない様にしなければならぬ。

e_0 及び e_v は電線の太さと距離に関係し且つ空気の密度に比例するものである。即ち高温度で低い晴雨計の壓力ではこの e_0 及び e_v は少なくなる。斯様にして晴雨計の讀みが 24 寸になるところ即ち凡そ六千呎の高さに於ては海面上で起る場合の $24/30 = 0.8$ 倍の電圧ですでにコロナ作用を起すものである。

かくの如くなる爲め送電線が非常に高い土地を通る場合にはコロナ損失を著しくしますことを忘れてはならぬ。

通常のコロナ損失に加ふるに強雨特に吹雪の場合にはこれよりも低氣壓に於てすでにコロナ損失を生ずることがある。

一般に長距離送電線には普通の太さの電線を用ひ前記せる間隔 (一萬ボルトにつき一尺の割) を保つた場合には 100000 ボルト以下では驚くべきものでないがそれ以上の電圧を用ひる場合にはあらかじめこの損失を調査する必要がある。

第十八圖の縦軸には e_0 の電圧をとり横軸に線間距離を取り $\delta = 1$ の時海面上に於て種々の直径の電線について、三相式送電線の可視極限電圧を示したものである。

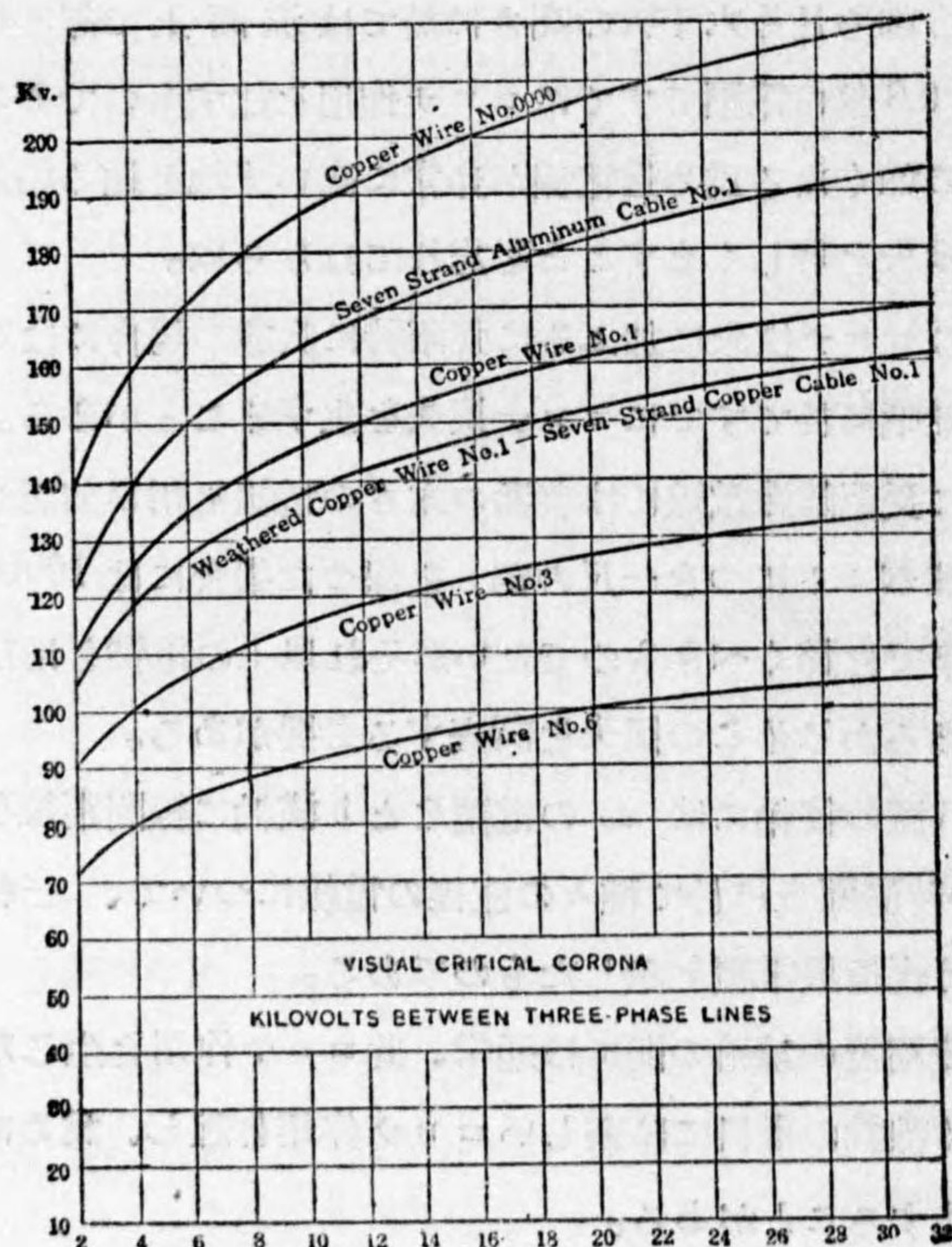
高壓變壓器の線輪の間には通常、此コロナ作用を生じないが相接する線輪の繼目には甚しいコロナ作用を起し、爲めに絶縁物を破壊することがある。

送電線路又は變壓器に於て一線が地氣を生じた時に、他の線

路は大地に対して全電圧がかゝり、時としては此コロナ作用を起す危険があるが、もし接地してないときは大地に対して、各線間の半分の電圧を受けることとなり、通常コロナ作用を生じない。尚前者は後者よりも端子電圧が低いにもかかわらず、破壊を生ずることがある。

例へばここに 200000 ボルトの變壓器又は送電線に於て、各

第十八圖



三相式のコロナ電圧

の端子からはそれぞれ 100000 ボルトで、電線の直径が $\frac{1}{2}$ 吋ではコロナ作用は起らない。

然るに一本の端子が接地してある場合には、他の線から大地へは 200000 ボルトかゝるため、コロナ作用を起し、次第に絶縁物を破壊して、高周波振動を起すことが多い。

かやうなわけで極めて高圧の場合には、静電的にも平衡にあることが大切で、すべての電線から大地に対して同じ電位差を保つやうにしなければならぬ。

特に變壓器の如くインダクチヴに結合はされたとき、高圧側の静電的不平衡は、低圧側が接地してない場合には危険なものである。

今 100000 ボルトの送電線の一線が接地してある場合を考へんに、電圧變壓器の高圧側が Y 結線であれば、大地に対して各線は 58000 ボルトの電位差となる。このとき送電線が完全に絶縁されてゐても大地に対して、高圧捲線を蓄電器の一板とし、低圧捲線を其の他板と考へて、各側から大地に向つて直列に二つの蓄電器に相當するやうな電圧が分配せられるがこの低圧側は 2200 とが 6600 ボルトといふ低圧で 58000 ボルトといふ静電々壓に比較すれば一小部分に過ぎない。それが爲に此の低圧側から大地に向つて刷毛放電を來し、遂ひに絶縁物を破壊するやうになる。

V 結線のやうな場合には、高圧側が接地しなくとも斯様な静電的不平衡が常に起つてゐるものである。

一般に此の様な理由で、高圧側が非常に高圧の時は低圧側が

極めて低い電圧であつても、高壓側に對すると同様に、低壓側も絶縁を施さねばならぬ。

これがため低壓側を接地するとか、静電放電器とて火花間隙に直列に高抵抗を入れる等、高壓に對して安全で、然かも必要なる力まで放電しない設備を要するものである。

共振作用

送電線に限らず、一般に如何なる電氣回路も亦、インダクタンス L と容量の C とを含むため、電磁的勢力と静電的勢力が蓄はへらる。

今其の回路の電圧と電流とを夫々 e 及 i とすれば、この回路に蓄はへられた

$$\text{静電的勢力} = \frac{1}{2} e^2 C$$

$$\text{電磁的勢力} = \frac{1}{2} i^2 L$$

となり、高壓送電線では、双方の勢力が殆んど等しく両者が交互に増減して、線路内に著しい共振作用を起し、高壓を誘起する傾向がある。この騒亂を少なくするためには C と L とのリアクタンスがなるべくかけはなれた値にするがよい。

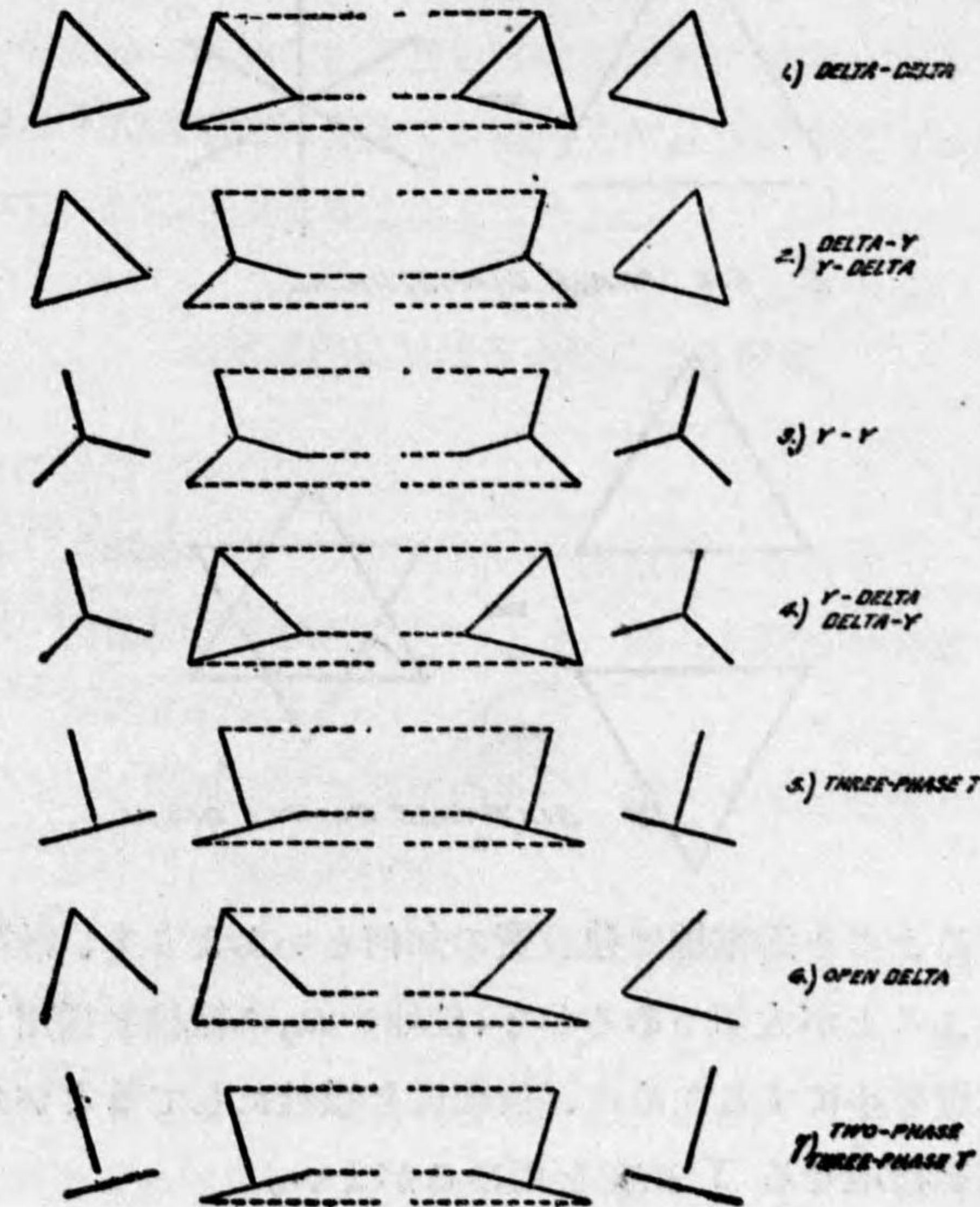
然るに 2200 ボルト或ひは其近くの低電圧では $e^2 C/2$ の値が極めて少く、ために線路内には、電磁的勢力のみとなつて蓄はへらる。これに反して、静電諸機械は一般に電流が極めて少く、 $i^2 L/2$ の値が省略し得る程小で、大部分は静電的勢力として其回路に保たる。

送電線と變壓器

送電線の電圧が 25000 ボルト以上になる場合には、昇壓降壓用の變壓器が用ひられ其電氣系統の中には、特別電圧線が存在する。

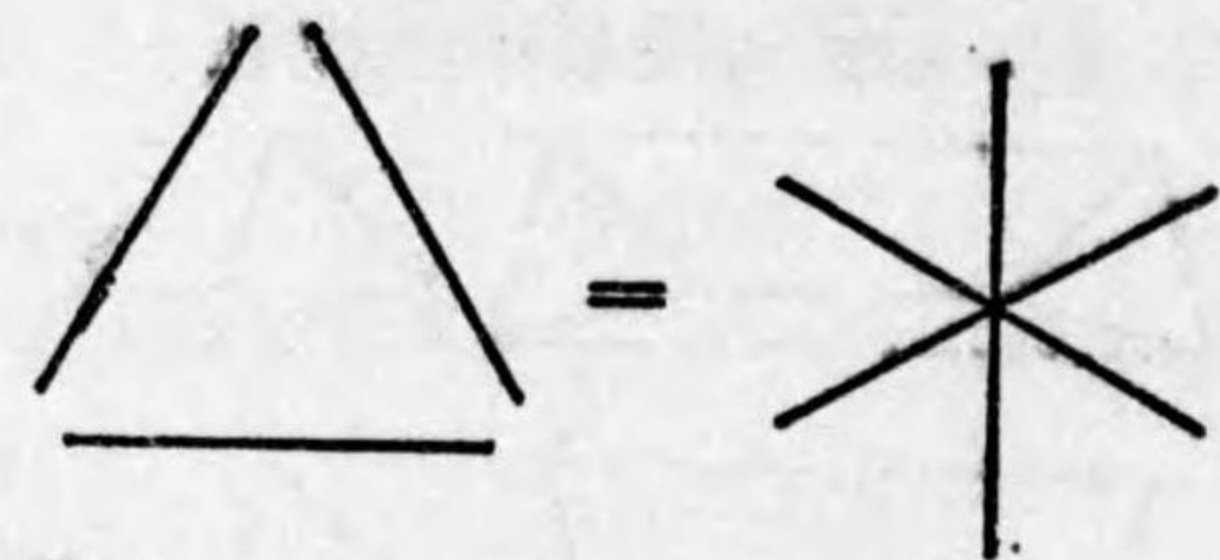
三相交流が現今では大部分この送電線に採用されてゐる。故に之に望ましい變壓器の結線法が第十九圖及び第廿圖に示されてゐる。

第十九圖 變壓器の接続方法

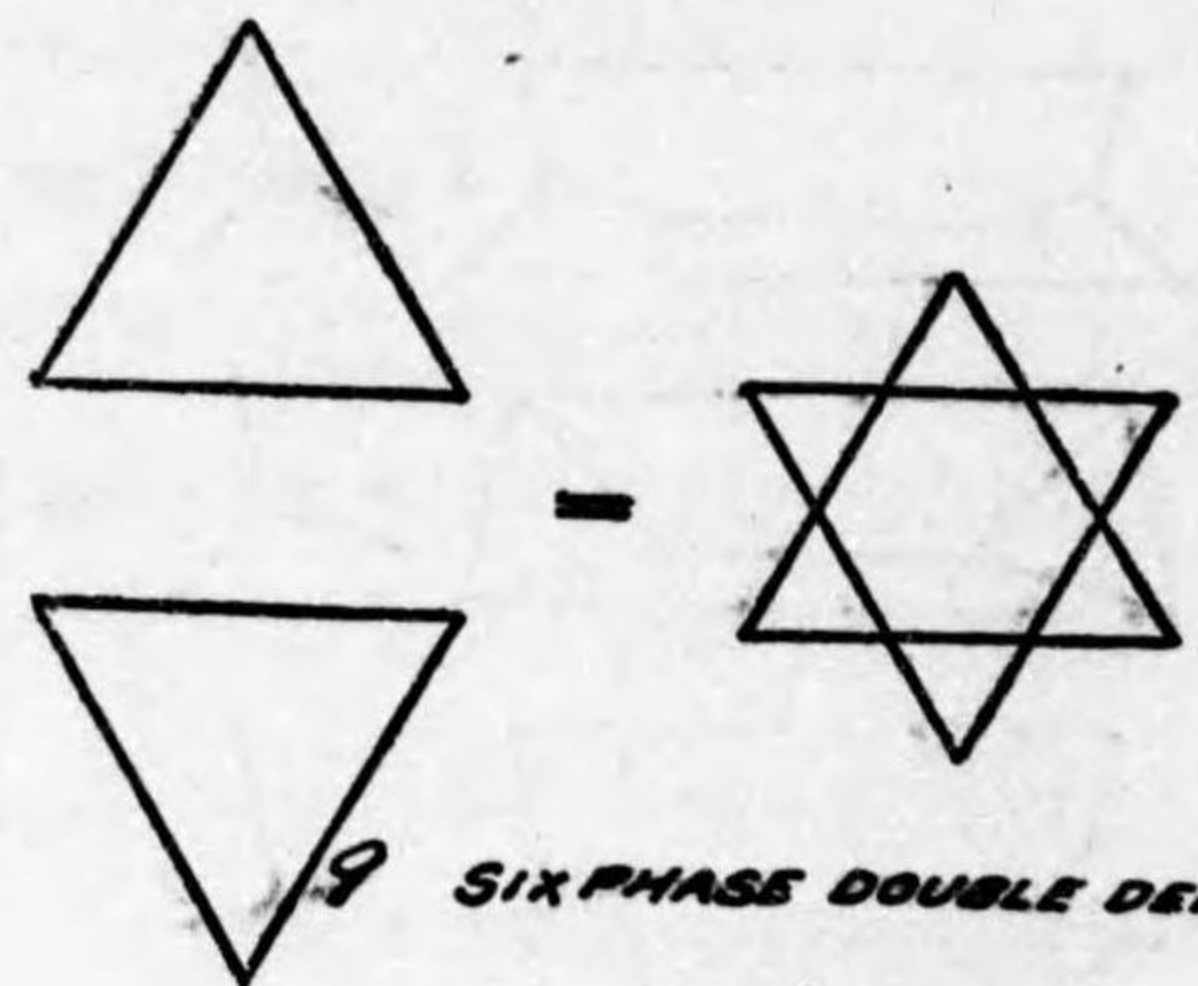


一般に中性点を接地して全體の靜電的平衡を保ち、一線の接地により線路内に生ずる共振と騒亂とを防ぐことが出来る。この中性点を接地するときは、一線の地氣は一相の短絡を意味し、ために全線の停電を來すおそれがある。もしこの中性線を接地せぬときは線路に靜電的の不平衡を生ずるのみである。それ故に中性点を接地するか否かといふことは、線路等の建設費と信頼度との争ひとなる。

第二十圖 六相式結線



8. SIX PHASE DIAMETRICAL



9. SIX PHASE DOUBLE DELTA

要するところ送電線は建設費の如何といふよりも、故障の無いといふことが大切であるから、接地せぬ、 Δ 結線を採用しもしも建設費を小にするために、信頼度を犠牲にしてもよいならば中性点を接地せる Y 結線を用ひるがよい。

第十九圖及び第廿圖の示すところに依れば、1と4とは接地されない結線法である。もしも接地しやうとすれば、別個の三つの變壓器を Y に結ばねばならぬ 2 及び 3 の結線では、變壓器の中性点を接地することが出来る。

T 結線の 5 と 7 は中性点は一方の變壓器の三分の一のところから中性点を取り出せばよい。

一般に、1 の結線が第一等に安全である。なぜなれば各の變壓器の結び目はつねに一定の電壓にある點のみで、高壓側は相互に直列に結ばれるため過剰の電壓を生ずおそれがない。

かくて充分に絶絶し、行きとどいた設計で建設したるものは電氣的には異常電壓の發生で、機械的には短絡等による機械力によつて、故障を生ずるばかりである。

送電線内に於ける高壓による騒亂

現象に大體三種の別がある。

- A 基調波 即ち交流回路の周波數によるもの
- B 發電機が高調波を含むとき 即ち基調波の奇數倍の周波數に依るもの。
- C 全く發電機に無關係のもの、例へば弧光接地の場合に於ける、高周波振動。

一つの回路に線路のインダクタンスと靜電容量が直列にはいつてるとき其等によるリアクタンスが等しむときは、お互に反對の性質を有して、打ち消し合ふため、この兩リアクタンスのために吸収される大部分の電壓がきわめてわづかの線路の抵抗

によつてのみ支へられるため、この、インダクタンスと、容量とを通じて多大の電流を通ずる様になる。

例へば 20000 ボルトの送電線が 10 オームの抵抗と 10000 オームの容量リアクタンスを通じて、加へられると、そのインピーダンスは $\sqrt{10^2 + 10000^2} \approx 10000$ オームで、この回路に流れる電流は 2 アムペアとなる。然るにこの抵抗と容量の他に、更に 1000 オームのインダクチヴ、リアクタンスを含む場合には全體のリアクタンスは零となり、電流はさきの抵抗のみで制限せられるために 2000 アムペアとなる。よつてこの蓄電器の端子には、容量に電流をかけた電圧 2,000,000 ボルトを生じインダクチヴ、リアクタンスの中にも其電圧があることになる勿論のこと、この電圧は破壊以上の値である。

前記の如く一般に、低い抵抗と高い容量とを直列に入れたところへ、高い、インダクチヴ、リアクタンスを入れると、異常高電圧を誘起するものである。

今送電線に於て、規定電圧で 10% の充電々流を吸収するものとすれば、其の容量を通じて、全負荷電流を流すには、全負荷の電圧の十倍の電圧を必要とする。又 20% の線路リアクタンスには全電圧の 20%——即ち $\frac{1}{5}$ で、全電流を流すことが出来るから、発電機の周波数では結局、容量リアクタンスは、インダクチヴ、リアクタンスよりも 50 倍大である。

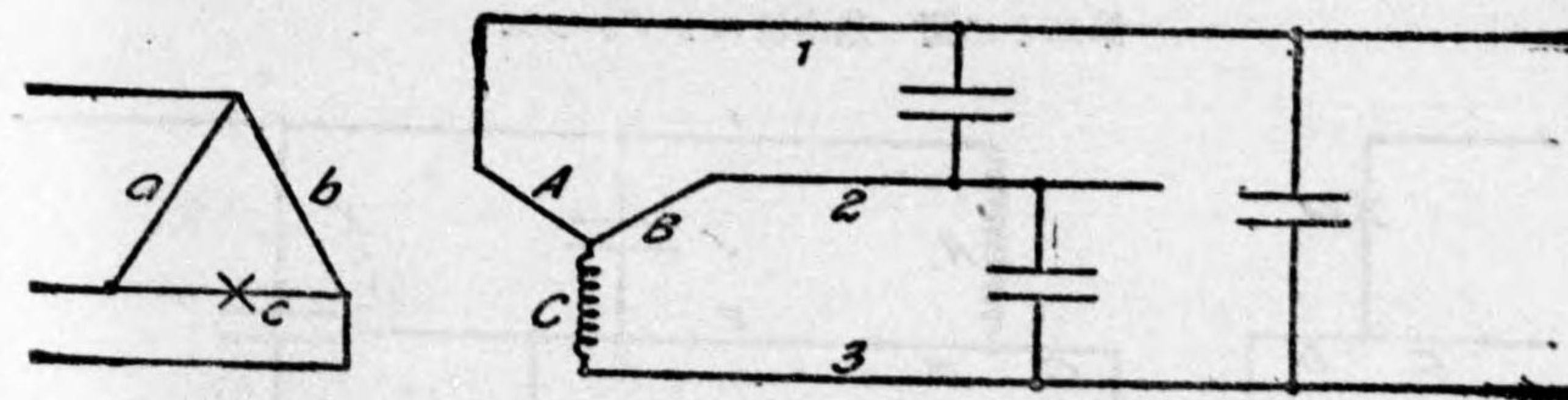
このときに用ひられるインダクチヴ、リアクタンスと云ふのは、變壓器の二次回路を開いたときの價で大體容量リアクタンスに等しい。なぜなれば、一般に變壓器の無負荷電流は全電圧

を加へた場合に、約全負荷電流の 10% で、さきののべた如く、中位の長さの、送電線では、後者のリアクタンスも約 10% の充電々流を要するからである。

かやうなわけで二つの値がほど等しいため、高壓側の變壓器捲線が送電線に直列に入り、且つ亦た其の二次側が開路になつてゐる場合には、高壓電線内に異常電圧を生ずるものである。即ち送電線間につながつてゐる數個の高壓捲線の中、二次側（降壓變壓器の場合）が何等かの原因で開路となつたものが、インダクタンスとなり送電線間の容量と直列になるおそれがある。

この共振異常電圧の起る場合は、第十九圖の 2 の結線の場合に起り得ることは、第二十一圖に示すやうである今低壓側の C の回路が何等かの原因で開路になつたものと考ふれば、其の高

第二十一圖 基本波のレゾナンス



壓側 C が 3 と 1 の間容量と直列の、インダクチヴ、リアクタンスとなり、A の變壓器から勢力を受け、C の變壓器は、B 電圧をうけて、2 と 3 との間の容量を直列にする、高いインダクタンスとなる。これがために、3 から 1、3 から 2 の間にきわめて高い共振異常電圧を發生する。

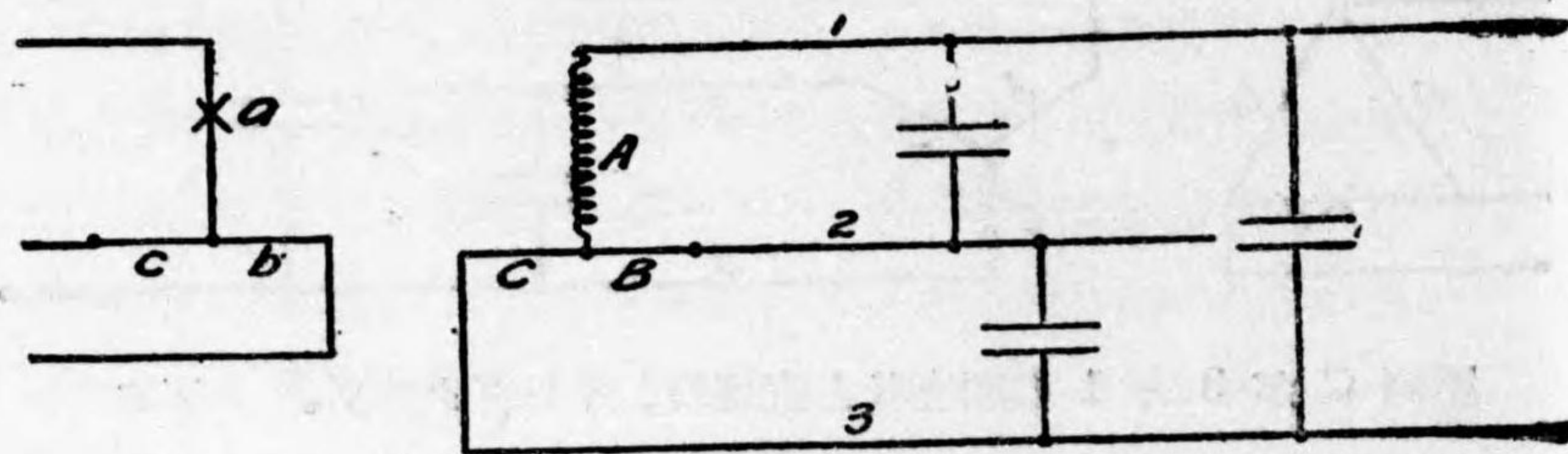
同様なことが、第二十二圖の T 結線の場合にも起り得るので、今低壓側の a の捲線が切れたものとすれば、これに対する A の高圧捲線は、高いインダクタンスとなり他の變壓器、B、C で勵磁され線間の容量と共振して、1 と 2 及び 1 から 3 の間に異常高電壓を生ずるものである。

然しながら、この低壓側の不時の開路によつて、高壓側に異常電壓を生ずることは、 Δ 形結線の場合には起らない。これは送電線間には、たゞ一個の變壓器のみしか存在しないためである。

この種の危険は、第二十二圖の L 結線 (6) の場合に著しい何となれば、このときは二つの變壓器が V 形に結んであるため、容量が小さくてよいか、一相の二次側が焼損したとき前記のやうな関係を忘れてゐることがあるからである。

かやうなわけで、異常高電壓を生ずるに足る、開路のインダ

第二十二圖 基本波のレゾナンス



クタツ、リアクタンスはないかといふことは、設備する以前にあらかじめ、研究して、其この發電機の周波數でかやうな線路の騒亂を、未然に防がねばならない。

然しながら、前記の騒亂は、むしろ單獨に起ること極めて稀で、多くの部分的共振と共に生起するものである發電機を過勵磁した場合とか、原動機のタービンなどが不時の高速度となつて異常電壓を発生したことが原因となつて、送電線の騒亂による故障を來すことがある例へば 150 哩から 200 哩で 110000 ボルトから 150000 ボルトの如く極めて長距離送電線に高壓を使用したとき、充電電流が空負荷電流の 50% の如くなつたとき。受電端に大負荷即ち相當の抵抗がはいつて居たとき定電壓を保つために自動電壓調整器が、界磁を最大に勵磁せるとき。並びに、大負荷にたへるために、タービンが全部弁を開いて居たとき、急に負荷を切り去つた時勵磁も速度も共に 50% 丈多いとすれば、端子電壓は結局 100% 上昇して線間の容量に、この電壓を加へることになるから、このやうな場合には特別の電壓調整法を用ひねばならぬ。

第六章

交流発電機波形中に含まる高調波

前章に於て説明した如く、変圧器の開路リアクタンスは、之と送電線の容量とで、交流発電機の基調波で共振するに十分な値である。

其の他の部分のリアクタンスはこの共振のためには不足である。然しながら、周波数に對して、このインダクチヴ、リアクタンスの増加は、其容量リアクタンスの増加は、其容量リアクタンスの減少と同じ割合に變化して行くから、二つのリアクタンスは、周波数が増すにつれて、近寄つた値になつて来る。これがために交流発電機波形中高調波を含んでゐる場合には、送電線のリアクタンスと線路容量とで共振作用をおこすことがある。それ故に、変圧器、送電線ケーブル等の共振作用を研究するには、其の発電機波形の根源たる高調波の存在するや否やといふことを最初に調査する必要がある。

高調波の原因

交流の回路で高調波を生ずる場所は、交流発電機とか同期電動機、回轉變流機等の同期機械と、變圧器とである。

この高調波には、定電圧特性のものと、定電流特性のものと二種類あつて、自ら其の除去方も異なるわけであるが、通常、この中の一方を除くことは、他方の高調波を増す特性を持つも

のである。

例へば、變圧器などから來たところの、定電流高調波による電圧は、變圧器の片側に於て、 Δ 結線を用ひて、短絡すればよろしい。然し一方に於て、発電機の高調波を短絡することは、定電圧特性から、大電流を通ずる恐れがある。

同期機械の高調波

同期機械の一例として交流発電機について、高調波の存在をしらべてみると、

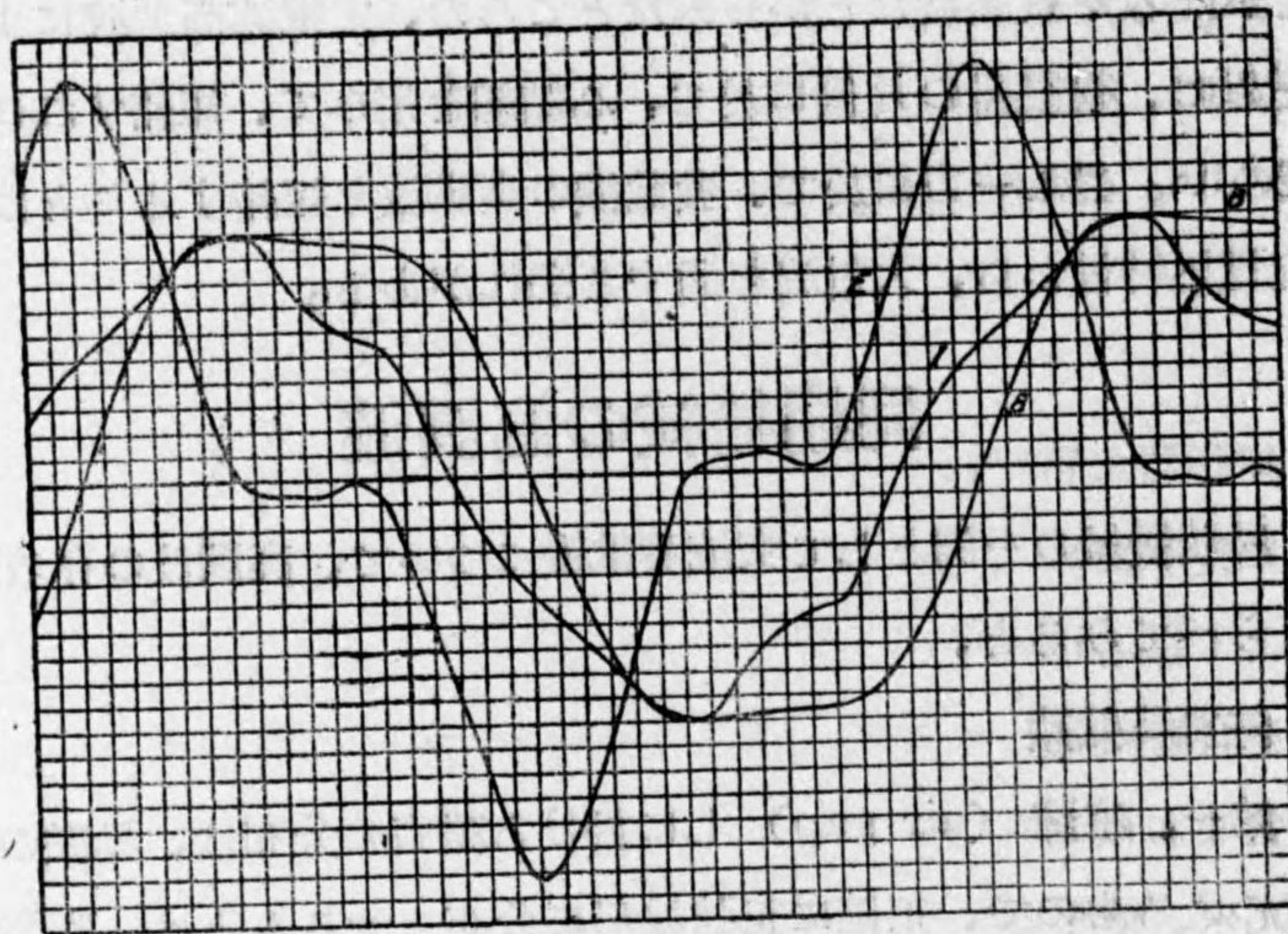
無負荷状態

第一、空隙 (air gap) しに於ける磁束の分布は、界磁の形状によるもので、正確に正弦波形に分布させることは、實際困難で、従つて、發電子捲線中に正しく、正弦電圧波形を誘導することが困難となる。この波形をよくするために、捲線を數個直列に結んであるが、それでも尙ほ正確な正弦波は得られなく、従つて變壓波形中に多少の高調波——特に第三高調波が含まれるものとみななければならぬ。

第二、スロット内に於ける磁束の振動による高調波の出現で、極めて大きな發電子のスロットを想像すれば、チーズのところより、磁氣抵抗が多くなり、主磁束の振動を來すもので、スロットの數が多い程、高周波の高調波を含むことになり、今一個の磁極に對し n 個のスロットがあるときは、 $2n-1$ と $2n+1$ の二種の高調波を含むことになる。

負荷状態

第二十三圖



變壓器の第三高調波を抑壓せる爲の波形の歪

第三、單相交流發電機の發電子反作用は、電流が零の時となり、最大電流の時最大値を取つて振動する。

然るに、多相交流機は其合成は一定であつても、各相について、局部的に高調波を生ずる原因をなす。然るに負荷状態ではこの發電子反作用と、主界磁との合成が勵磁作用なをすものなれば、前者の振動はひいて、合成磁束の振動となり、交流波形に高調波を含むやうになる。今 m を以て、相數とすれば、 $(2m-1)$ と $(2m+1)$ との二種の高調波を生ず。

第四、發電機の端子電壓は、負荷の状態に於て、其の誘發起電力と、發電子捲線内のリアクタンスに吸収される電壓との和に等しい。然るにリアクタンスに吸収される電壓は、捲線と磁

極との關係的位置によつて基調波の二倍の周波數を以て周期的にかはるため、決して一定したものでない。かくてこの變化のために、第三高調波を生じ、一般に同期機の中に含まれる高調波の中、この第三高調波が最も著しいものである。

變壓器の高調波

變壓器の電壓波形は其の磁束に大きな關係を持つものである故に變壓器に、正弦波を加へたならば磁束も時間的に正弦法則により鐵心中で變化する筈である。然るにこの磁束の中に高調波を含むために、これによつて誘發する電壓波形も亦、高調波を含まねばならぬ。

元來、變壓器の勵磁電流は其ヒステレシス、サイクルによつて變化すべきもので、正しい正弦法則に従はないこれがために第三を主とする、基調波の 20% 乃至 30% の高調波を含むものである。この作用は飽和度の著しいほど甚だしく大きくなる。

かやうにして、變壓器の電壓と、勵磁電流は共に正弦波形でない、今、磁束の第三高調波が 20% であるとしても、それによる電壓は、磁束と其の周波數に比例するから、 $3 \times 20 = 60\%$ の第三高調波の誘導することになる。

これは、外鐵型 (shell type) 變壓器の如く、磁路が各相について閉ぢてゐて他の相を通らないやうにした場合に起るもので、内鐵型 (Core type) 變壓器の如く各相は残りの二相と電磁的に關聯する様にこさへられてゐるものはお互に打ち消されて、其の作用はいちじるしくなく、又、磁路を開いておくと

は、この第三高調波の作用はほとんど現はれない。

この磁束が最大のときに勵磁電流の第三高調波は正で、磁束の第三高調波は負であるため、勵磁電流が零で、磁束が零から増さうとしておるときにこの第三高調波と基調波と、基調波とによつて電圧を誘導せやうとし、これ等の最大値は、全く同一方向にあつて、お互に添和される。かやうなわけで勵磁電流に第三高調波が含まれるときは、非常に高い電圧の第三高調波を生じ、基調波との合成波の最大値が非常に大きくなる。

即ち第二十三圖に示すやうに、一サイクルの大部分は低い波で、途中で急にとび上つて、正しい正弦波に比べて、この最大値は 50% も増加し、絶縁物を破壊し、共振電圧を生ずる如き傾向を有するものである。

高調波の作用

三相式では、三相が各々 120° づゝ位相差を有すから第三高調波は、 $3 \times 120^\circ = 360^\circ$ づゝの位相差を持ち、各自が同じ位相にあり、三相式では、第三高調波は単相式になつて居る。

この平衡状態にある三相式では第三高調波は中性線又はその接地をせなければ、電圧と電流波形も共に線間には表れない。なぜならば、線間、即ち、1 から 2、2 から 3、3 から 1 の三つの電圧は加へ合せて零とならなければならぬ。然るに三相式に於ける、第三高調波は、前に述べた如くお互に、同一位相にあるために三つ加へ合せて零にならない。故にそれ等は存在しない。

電流の場合も電圧の場合と同じ理由で、線間に表はれない。

平衡状態にある三相式では、Y 電圧の中性点から線路へ、或ひは Δ 電流の線間、並びに接地又は中性歸線を有する發電機、變壓器に於てのみ存在する。

若しも、三相 Δ 結線の發電機の一相の中に第三高調波を含んでゐた場合には、 Δ 結線を通じでこの三倍の周波数の電流が短絡される。

この第三高調波電流は Δ の發電機捲線の一角をひらいて電流計を入れて計り、三つの第三高調波電圧の和は此の一角に電圧計を入れて知ることが出来る。この局部電流の値は、高調波電圧を發電機のインピーダンス (三倍の周波数に對する静止インピーダンスの意味で所謂、同期インピーダンスではない。何となれば後者は、發電子反作用を含むからである。) で除した大さである。タービン發電機の如く低いインピーダンスの發電機では、この局部電流は、全負荷電流よりも大であるから、 Δ 結線は特別の場合の外用ひられなく、専ら星形結線が用ひられる。然し Δ 結線では發電機捲線中で短絡され端子にこの高調波が表れない。星形結線の場合には端子と中性点との間はお互に同一位相にある即ち、中性点から三つの端子に向つて、單相の第三高調波を含むためこの中性点は眞實の中性点でない。線間には、端子から中性点へ、中性点から他の端子へと二つの第三高調波が互に反対方向に作用するため、第三高調波は表れない。

この發電機の中性点を接地する事が中性線を添加する場合に第三高調波が、線路の容量と共振作用をおこすことを考へねば

ならぬ。

又發電機の中性點が接地された場合には、各相の電壓は線間電壓を $\sqrt{3}$ で割つた値よりもこれに附加する單相式の第三高調波に相當する電壓丈け大である。特に尖頭最大波形の點で絶縁物をも破壊するおそれがある。この單相式の高調波が各線へ出て行くときは靜電誘導作用で、近接せる添加電話線に騒亂をおこすものである。

この中性點からの單相第三高調波電壓は、發電機の三相回路のインダクタンスと並列に入り、三本の送電線から大地への容量を通つて中性點へ歸る回路を作る。即ちこの電流は容量とインダクタンスとを直列に入れ、もしもこの二つの値が相當に大きな場合には異常電壓を、誘起し、甚だ危険である。

この場合、Yに結んだ降壓變壓器の高壓側が同様に接地し、低壓側がYに結線されたとすれば、發電機の第三高調波電壓の電流の通路を防がれ、この電流は降壓電壓器の開路リアクタンスを経てかへらねばならず爲に其の値は、省略し得る程度のもとなる。然しもしこの變壓器の低壓側が Δ に結線されて、第三高調波が其の中を流れると、それが高壓側へ反對方向の電壓を誘導し、結局この降壓變壓器は發電機の第三高調波を短絡することになる。

かやうな制限の爲に、發電機の中性點を接地した場合に、降壓變壓器の高壓側の中性點を接地するときは低壓側をYにする他の結線は用ひられない。これに反して發電機及び變壓器の中性點を接地する場合に降壓變壓器の低壓側に Δ 結線を用ふる

ことは危険である。何となれば、この結線では發電機、送電線及び變壓器内に第三高調波を生ずるがため發電機のリアクタンスが非常に大きくて、發電機自身には何等の損害を與へなくとも、發電機の出力に比して變壓器の容量が小さい時は、後者を焼損するからである。

それ故に、此の場合の Δ 結線は第三高調波に依る故障をますものである。換言すれば、少なくとも、變壓器の一侧を Δ 結線にすれば變壓器の中に發生する第三高調波を除くことが出来るが、發電機の中性點を接地した時に生ずる第三高調波を援ける惧れがある。

送電線から大地に向ふ第三高調波の電壓は降壓變壓器をY- Δ 結線にし發電機と變壓器の中性點を接地することに依つて短絡することが出来、靜電誘導作用に依つて近接せる他の回路の騒亂を除くことが出来ても一方に於て第三高調波の電流が送電線から大地に向つて流れ、電磁誘導作用に依つて變壓器を焼損するものである。

若しも發電機の中性點を接地しない場合には變壓器の中性點を接地することが出来る。然しながら、中性點を接地しない發電機の第三高調波の電壓は時としては共振作用のため發電機の絶縁物を壞す惧れがある。此の場合に起る發電機のインダクタンスと直列に入る送電線の容量は非常に少なく危険の度も亦少なくなる。

二臺又はそれ以上の三相交流發電機を並列につなぎ其の中性點を接地した場合を考ふるに。

(a) もし各發電機が異なる第三高調波を発生し一つの發電機から他の發電機から他の發電機の中性點を通つて短絡された時は此の第三高調波電流はこれ等の發電機間を流れ無効横流をなくすることが出来ない。即ち二つの發電機の第三高調波は丁度二つの端子の中一つは中性點他は三つの三相端子とする異なる電壓の單相發電機と考へらる。

(b) 勵磁電流を等しくする同じ大きさの二つの三相交流發電機が並列運轉をなし居る場合は接地せる二つの中性點間には電流は流れない。然しながら一方が他の方より強く勵磁せられ(即ち一方は進電流、他方は後れた電流を出す)たならば二つの端子接地中性點間には電流が流れる。若しも異なつた勵磁の場合には二つの端子電壓は異なつた後れの第三高調波を生ずる爲め假令二つの端子電壓が同一位相に在つても第三高調波は然からず、爲に二つの發電機間に接地横流を生ず。

ターボ發電機の様非常に低いリアクタンスの發電機では全く同一の設計であつても勵磁電流が少し異なつても時としてはこの接地横流が驚くべき價に成ることがある。

中性點を接地せる三相發電機の並列運轉の際には各發電機が多少異なつた波形を持つため、相當の接地電流を流すため只だ一方の發電機のみを接地してこの害を除く。

同様に數臺の同一發電機を同一の勵磁電流で運轉するも尙ほこの接地電流を流すものであるから、その中の一臺丈を接地して、他は接地しない。これがだめに何れの發電機でも任意の一臺丈を接地線に切りかへる装置を要す。尙ほ各發電機の中性

點は相當に大きな抵抗を通して大地に結べば、この接地電流を小さくすることが出来るが、一方一相に接地が起つたと、自働遮斷機を速かに開かせんには、やはりこの値を小にせねばならぬ。尙ほ此の發電機の中性點を抵抗で短絡すれば、第三高調波のために發電機のインダクタンスと、送電線路の容量との共振作用の度を著しく減ずることが出来るこれがためこの抵抗は無誘導でなければならぬのみならず、完全に接地しないと、若し接觸點で、弧光でも發生するやうなときは高調波のために恐るべき共振作用を起すことがある。

第七章

高周波振動、騒亂並に衝撃

一般に電気回路内には線路の抵抗により電力が消費される他線路の電圧に依る静電的勢力 $\frac{e^2c}{2}$ と、線路内の電流に依る電磁的勢力 $\frac{i^2z}{2}$ の蓄積となる。長距離送電線に在つてはこの兩勢力が莫大となり、且つ双方の値が殆んど等しくなる。

何等かの原因で此の送電線路の電圧又は電流が変化するとか兩方の比が變るといふことは、即ち線路内に蓄積される勢力の變化となり、結局兩勢力が相互振動して其の電圧と電流に相當する平靜なる状態になる。時々かやうな定常波振動は、衝撃となり、其の回線の騒亂の原因となり、送電端から受電端の間を移動往復し所謂振動を生ず。かやうな、移動波による衝撃が非常に高周波である場合はあまり作用しないが、急峻進行面を有する波形が線路内を移動することがある。

これ等は線路の状態が急にかわつたとき其平衡状態にならんと、するときに生ずるものであるから、25 サイクルたると、60 サイクルたるとを問はず、直流式高壓送電線たるとを問はず、同一の周波數で、同じ有様で生起するものである。

然しながら結局これ等の振動の勢力は、發電機自身から供給されるもので、發電機の波形とか、其の中の高調波によるものでない。即ち、線路の容量と、發電機のインダクタンスの中に

蓄積される、静電、及び電磁的勢力はもとより、發電機から供給され、目つその、回路の状況の變化に供ふ兩勢力の交互振動勢力の根源も亦ここに存するわけである。かくてこの振動に要する電圧と電流は所要の規定電圧と規定電流とに加はるべきで前者が増加すればする程、この電気振動も大で、時としては發電機を焼き、線路内に異常電圧の上昇を來す危険がある。尙ほこの振動勢力は、急激に多大の電流の變化をあたへたとき、特に短絡した回路を急に切り開いたやうな場合に、回路内に含まれた莫大の勢力變化を起したときに生ずるもので、吾人が弧光接地をなした場合に、經驗するものは實におどろくべき損害を及ぼす。

この移動波の振動波長は、其の調整すべき、勢力の蓄積された回路の長さ如何による。例へば全線の短絡振動に於ける波長は、發電機と變壓器を含む線路の全長にわたり、全線が一波長か半波長で表はされるため其波長たるや、實に驚くべき長さとなる。然るに、高壓送電線が各所の變電所で分岐して、其の一部分だけに勢力の補足を生じた場合には、従つてこの波長も亦短いわけである。例へば、雷雲が送電線の一部に平行して、静電氣を誘發し雷光が線路に向つて放電するも、此振動作用を起さない。然しこの振動の半波長一哩間に、著大の荷電が生じたとしても、全波長は二哩にすぎない。もし、瞬時的に大地に向つて放電すれば、避雷器がはたらく爲其の線長はわづか數呎にすぎないものである。

電波が送電線内を移動する速度は實際光の傳達速度に等しく

毎秒 188000 哩で、線路内に相當の抵抗のある場合はそれより多少減ぜられる傾向がある。地下ケーブルの如く、其の容量がきわめて大きいときは、其速度は大いに減ぜられて、光の速度の 50% から 60% になる。由來この波長と、其の速度は、振動の周期に比例する。例へば、前の例に取つた如く、落雷のために、二哩の波長の振動波を生じたとすれば、二哩の間をこの移動波が傳達されるには $2 \div 188000 = \frac{1}{94000}$ 秒で線路上の一點に於て一秒間に 94000 の電波が通過するわけで、即ち其周波数は 94000 サイクルとなる。又今、90 哩の送電線の一端に於て、短絡が起つたために、他端の開閉器が開いたために、全線が半波長の振動を起したものとすれば、全波長は $2 \times 90 = 180$ 哩で、もしこれが一線から他線を経てかへるものとすれば $2 \times 180 = 360$ 哩となり、一回往復のために要する時間は $\frac{360}{188000} = \frac{1}{521}$ 秒で周波数が 521 サイクルとなる。然しこの高調波振動が發電機並びに變壓器内まで及ぶものとすれば、尚ほ低い周波数となる筈である。

同様の計算によれば、100 呎内に振動を生じたとすれば、9900000 サイクルとなる。

かやうにして實際起り得る送電系内の勢力均等分割のために生ずる振動の周波数は、交流機自身の周波数から、數百萬サイクルに及び、騒亂を起した部分が全線の一小部分であればあるほど高周波となり、従つて其の部分に蓄積せられた勢力も少く、ためにあまり、大きな災害を及ぼさない。これに反して、振動の波形が大きく、これにあづかる蓄積勢力の消長も亦大な

る範圍にわたり、全線の騒亂も亦著しくなる。

かやうな送電線内の振動作用の原因は、

(a) 前例に取つた如く、空中電氣による外部よりの原因。

(b) 送電系統の平常状態に於て、負荷の變化とスウキツチの開閉による騒亂、其作用著しからず。

(c) 線路の故障 例へば弧光接地とか、火花放電によるもの、送電線又は地下ケーブル中に起る最も恐るべきこの種の騒亂はこの最後の弧光接地、或は火花放電によるもので、例へば 44000 ボルトの、50 哩の中性點を接地しない送電線では、大地に對して、 $44000 \div \sqrt{3} = 25000$ ボルトの耐力を要する。この送電線の中央附近の電線が地上へ落ちるとか、碍子の軸金或ひは腕金から 2 吋以内のところへ行つたとすれば 25000 ボルトを通じて、大地へ火花放電をなす。この火花が弧光に變じ、電線の靜電的電荷は、電流となつて大地へのがれ去り、この線と大地との間の電位差は零となり、この電線或ひは大地に對し、残りの二線は 44000 ボルトの全電壓をうけ、従つて、靜電的電荷を著しく増加するのであらう、かくてこの電荷が放電し終ると共に火花は消へて故障を起した線は、大地と、切り離される。かくて再びこの 25000 ボルトで大地に對して充電され、残りの二線は 44000 ボルトの放電後は 25000 ボルトの耐力を受ける。かくて再び 2 吋の空隙を放電して、以後同様に放電を繰り返して、其の故障が除かれるか送電を停止するまでは永久に引き續き、遂ひに送電線を破壊するに至るものである。これを線路の騒亂といふ。

かやうな弧光接地に要する時間は

1. 弧光の發生
2. 線路の電荷の放電
3. 弧光消滅
4. 放電

前記の例題では、兩端から 25 哩の所で、弧光接地のため充電放電を行ひつゝある、これに要する時間は $25 \div 188000 = 1 \div 7250$ 秒である。今、この弧光の速度を毎秒 2000 呎で移行くものとすれば、2 吋の弧光が發生又は消滅するに要する時間は、 $2 \div (12 \times 2000) = 1 \div 12000$ 秒を要す、結局以上の四つの順序を完成するに 2300 分の 1 秒を、必要とし、毎秒 2300 サイクルの高周波を發生することになる。他の二線も亦 2300 サイクルの周波數で電壓が生滅する。

これ等の電荷は、兩端の變壓器と線路が大地に對して持つ容量から受取るもので、他の二線はこのインダクタンスと、容量を直列にし 2300 サイクルの高周波を以て、これ等の線と大地との間に異常電壓を生ずるやうに共振作用をおこし、變壓器や變流器 (Current transformer) の絶縁を破壊し去るものである。

かやうな譯でこの火花放電は、長距離高壓送電線又は地下ケーブルに於て屢々起ることであるが、最も恐るべき災害を引きおこすものであつて、多くの技術者が送電系統の中性點接地の必要を説く所以である。然しながら、これは、單にこの弧光接地を一相の短絡にかへた迄でのことで、弧光接地をされるより

も寧ろ一相を短絡させて、送電を速やかに停止する方法を取つたまでのことにすぎぬ。

地下ケーブルは通常多く並列回路につながるものであるから弧光接地したケーブルは、切り去つてしまふがよろしい。

然るに架空送電線は、空中の電場に曝されるため、近接せる空中の騒亂は、大地への落雷と雲と雲との間の放電たるとを間はず、送電線の附近に於ける電場の變化となり、所謂、靜電誘導作用とゆふべきものを生ず。

又此の送電線に平行なる落雷放電は、電磁的にも送電線の放電を誘發し、この大地と送電線との電位差は、靜電的誘導作用によつておこり其の結果は放電となり、且つ送電線路内の騒亂電流を起し、此の電流が線路内に餘分の電壓を生じ、通常きわめて急激な性質を帯びた數百萬サイクルの高周波振動となる。

一般にかやうな高周波——即ち非常に急激な落雷或ひは開閉器の操作による騒亂は、次の三種に分つことが出来る。

(a) 衝擊 即ち振動的特性を持たない突飛な電壓又は電流の出現で、これは普通送電線によくあることで、開閉器の操作や其の他の如何なる狀況の變化に依つても多少づゝは必ず生ずべきもの、この度合を示す爲に假定の周波數、即ち一つの衝擊を半分長と考へてあらはす。

即ち 50000 サイクルの衝擊と云へば、これと同一の速さを以つて、同じ最大價に達する振動波形と同じ作用をするものと考へる。

(b) 振動 次第に減じては來るが兎に角周期的に働らく線路

内の亂調で、其の時間は回路の抵抗の如何に依る。

(c) 騷亂 振動の折り重なつたもので、其の振幅が次第に増加し、勢力の供給さへたしかであつたならば、線路を破壊しなければ止まぬ特性を持つ

由來蓄電器の放電は、回路の抵抗に依て或は振動的となり、或は安定せる單一衝撃に終ることもあるが、兎に角急峻なる侵入面波形 (Steep wave front) のものである。

送電線では純然たる蓄電器放電ではないが、この振動的性質と、其の他の亂調の原因に依つて衝撃の性質を帯びたものと、一處になつたものである。

かくて、其の回路の抵抗が少いときは、この振動作用が重なつて其の波の振幅が次第に増加する定常波となり、極めて危険なものである。かやうにして、回路の抵抗が其の容量とインダクタンスと比較して割合に小さな、大出力の變壓器の高壓側にはこの種の定常波を生ずるため非常に危険である。之と同様のことが直接送電線につながる様な、高壓三相交流發電機内にも起るものである。

第八章 電力の發生

交流發電機を運轉するには次の諸方式がある。

1. 水力タービンを原動機とする。
2. 蒸氣機關
3. 蒸氣タービン
4. 瓦斯機關

原動機の比較

1. 水力が火力に優る點
 - a. 運轉費の輕小、燃料不要、所員減少
2. 水力が火力に劣る點
 - a. 建設費著大
 - b. 水力發電所の位置は、火力の如く自由に選擇すること不可能なため、電力を需要地まで送るに、長距離送電線を要す。
 - c. 送電線が氣象の影響をうけること多く、發電所の信頼度が一航に低い。

尙ほ、タービン中の水の速さは、其の落差によつて大體、次の如く定まる。

$$480 \sqrt{h} \quad \text{呎/分}$$

こゝで h は、呎で示した落差である。故にタービンの周速は

落差によつて定まり、従つて 500 呎乃至 2000 呎の落差を有するところでは發電機の高速度が高いため、其の形及び價格が安直である。これに反して、垂直軸の低落差用發電機は磁極力數を増加し、形狀並に價格は安直ならず、さりとて齒車とか、調革をロープで運轉することは不適當である。それ故 20 呎から 30 呎のやうな落差では、莫大の電力を要するか、又は電力料が法外に高價のところではなくば不經濟である。

二種類の水力タービンの中、反動タービンの周速は水速に等しく、他の衝動タービンは其の半分の速度で回轉するから、同一の落差に對しては、反動タービンの方が高速であるため、低落差及び中位の落差に用ひられ、これに反して衝動タービンは反動タービンではあまり高落差で即ち高速度にすぎるときに用ひらる。

かやうな、水力の得がたい土地では、燃料を以て火力で發電する。火力發電所は、電力消費地で、冷却水のあるところで、且つ石炭の運搬に便利な様に其の位置の選定が自由であるため送電線は不要となり、大出力の火力發電所は、6600, 11000、或ひは 22000 ボルトの地下ケーブルで、特別な高壓變壓器を用ひずして配電される便利がある。

火力發電所の原動機には、蒸氣機關、蒸氣タービン、或ひは瓦斯發動機を用ひる。

蒸氣機關と蒸氣タービンの比較

蒸氣タービンが在來の蒸氣機關に優る點

(a) 能率曲線が平たく、低い負荷でも相當に能率がよく、蒸氣機關では、急に下るところの過負荷に對しても高能率である。

(b) 形狀、重量、据附面積の小さであること。

(c) 回轉運動であるため、往復動の如く、機械の振動及び同期機のハンチングを著しく減ずることが出来る。

(d) 運轉の安全と人の手數が少なくてよい。

(e) 過熱蒸氣及び凝結器の眞空度が蒸氣消費に著しく有効な事、これに反して、蒸氣タービンは小出力の場合には比較的多く蒸氣を消費し、無凝結器に到つては甚だしい不經濟となる。

尙ほ製作上の容易な點からしても、今日に至るも數百馬力程度の蒸氣機關を原動機とする發電所が自家用に用ひられる。然し、數千キロ以上の發電用には全く其の跡を絶つて専ら蒸氣タービン全盛の時代となつた。

蒸氣タービンの速度特性は、定電壓直流分捲電動機に又は多相誘導電動機に似てゐるが、往復動蒸氣機關はむしろ直捲電動機に似てゐる。即ち同一の回轉力 (Torque) を生ずるために、蒸氣タービンは速度の如何にかゝらず、同量の蒸氣を消費する。即ち或る速度附近に於て最大能率を發揮し、他の速度では急に能率を減ずるが、同一の回轉力で往復過動機關の蒸氣消費量は、大凡速度に比例する。即ち一分間に用ひられた蒸氣に對するタービンの回轉力は大體に於て一定で速度に無關係である。往復動機關の一封度の蒸氣消費量に對し其の回轉力は速度に逆比例する。少くとも速度の減少と共に著しく増加するこ

と直接電動機に似て居る。かやうな理由で此の蒸氣タービンは直接高速度の列車運轉には用ひられないが船舶推進には適當して居る所以である。

又經濟的速度調整には誘導電動機の極數を變ずる様に、膨張の階段を増すと、噴出口を負荷に應じて變化するがよろしい。

瓦斯機關と蒸氣機關並に蒸氣タービンとの比較

今日瓦斯機關が存在し、其の最も得意とする所は高能率であるのに基く。即ち同量の石炭を瓦斯にかへて良く設計せられた瓦斯機關を運轉した方が、大出力の蒸氣タービン以外は、これを汽罐にあたへて蒸氣機關を運轉したよりも有利である。この原因は前者が後者よりも高温度の下に作働することが出来るからである。

其の他の點からしても極めて大出力のものでなくば蒸氣機關は勿論のこと、タービンにさへ後れを取らない。然るに瓦斯機關が高温度にて作働し得ると云ふ利點は、一方に於て、高温従つて高壓の瓦斯を用ひ且つ尙ほ平均壓力が割合に低いため、勢ひ廣範圍の壓力に耐へるものでなければならぬ。従つてこの利點が他方から見て不利な點となる。

かくの如く最大壓力が非常に強いため、各部の構造はこの最大値に耐へるやうに極めて丈夫に作られるため、据附面積も價格も同一出力に對して他の原動機に比して大である。

尙ほ勢力が突發的な瓦斯の膨脹のために生ずるもので、回轉

の割合が不平均で、きわめて大きな蓄勢輪を用ひるか或ひは多數の氣筒を用ひなければ、この發電用には不向きである。

次に瓦斯機關を蒸氣機關に比較すれば

- (a) 信頼度低く、維持費、修繕費、償却率も大きい。
- (b) 同一出力に對して、形狀及び、据附床面積大である。
- (c) 起動困難。
- (d) 一般に回轉不平均。

この瓦斯機關には汽罐が不要であるが、其の代はり瓦斯發生裝置が必要で、特別に、熔鑛爐の可燃瓦斯とか燈火用瓦斯とか或ひは天然瓦斯の産出する地方にはこの要なく、今日多くはこの方面に、生存して經濟的である。

尙ほ、出力が小で汽罐を据附ける不便があり、燃料が問題でない場合に重寶されるが、一般に特別の場合の他は瓦斯機關で電力を發生することはあまり重要でない。

發電機の種類

一般に經濟的電力發生は其使用するに便利なることを標準とする。然しながら、其他の送電とか配電とかの便利のために通常三相交流が専ら用ひられる。

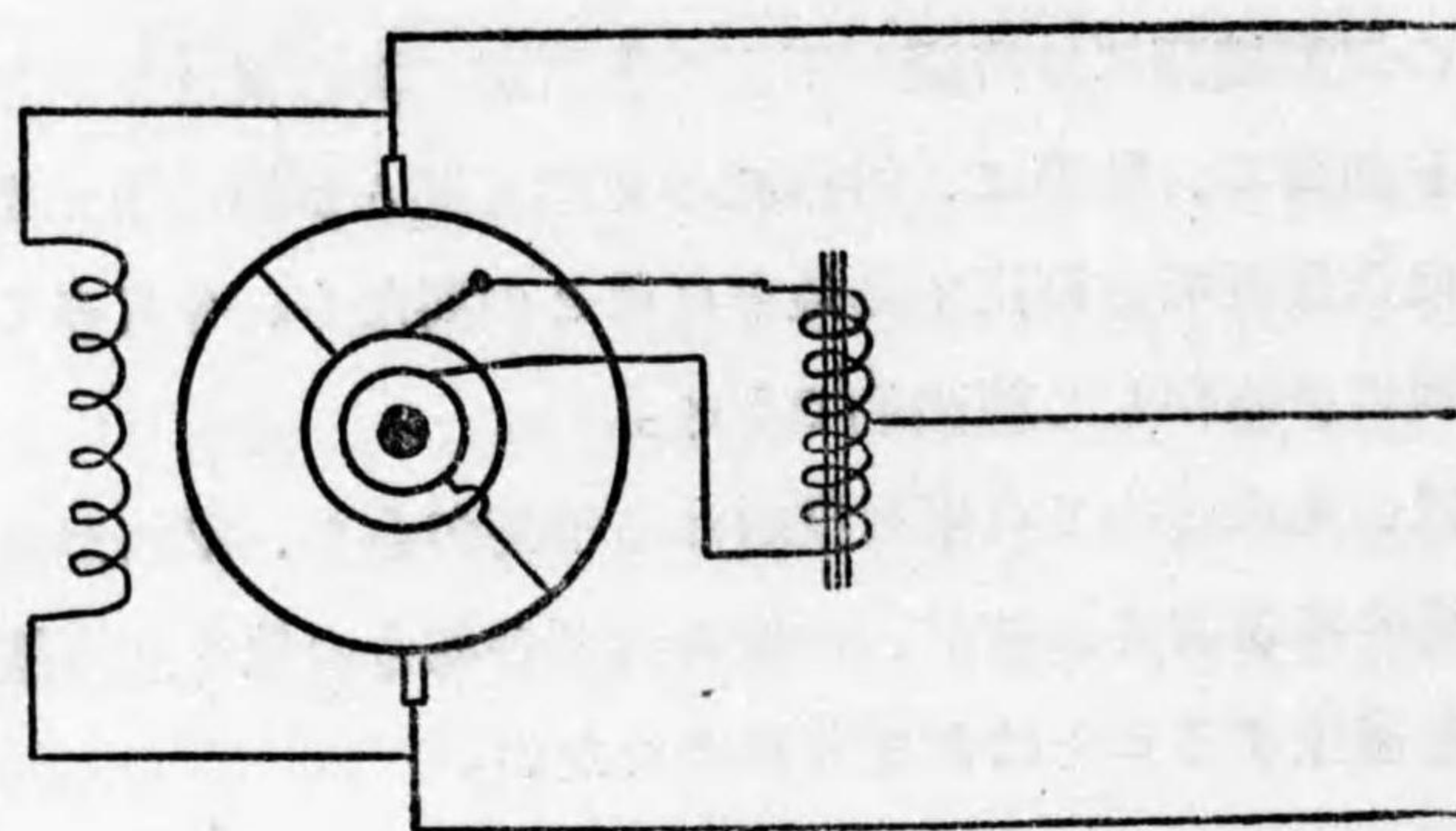
1. 獨立發電所

このやうな狭い範圍の配電には 220 ボルトで充分で普通に三線式 220 ボルト發電機を使用する。在來これがために二つの 110 ボルト直流發電機を直列に結び、回轉式均壓機又は蓄電池

を用いたが、近來、補償單捲變壓器を二つの滑動環につないで中性點を取つた 220 ボルト直流發電機を用ふるやうになつた (第二十四圖)

然し出力が次第に増加すれば、變電所に回轉變流機を据へつけて 25 サイクル 60, 50 サイクル、6600, 11000 又は 22000

第二十四圖



三線式電發機

ボルトの三相交流を變流するがよろしい。この方法は單に獨立發電所のみならず、大商店、事務所アパートメント、家屋等にも用ひられる。

2. 市街電车用

これは 600 ボルトの直流發電機が今日も尙ほ残存してゐるが大都市電車には、地下ケーブルにより三相交流を變流機或ひは電働發電機で直流にかへて用ひる。

3. 配電用

交流配電には、2200 ボルトの饋電線を用ひ長距離送電を市内で受け入れる。

4. 電氣化學用

これは所要の場所で種々の電壓で發電する (直流) か特に變壓器を用ひて低壓を得る (窒素固定を除き)。

單相式は誘導電動機及び同期電動機變流機に取つて多相式より不利であるのみか、單相交流發電機は、形狀が大きくなり、且つ能率も亦よろしくない。故に電燈には三相式から單相回路を作つてゐる。

尙ほ現今の大配電系統ではこの電燈負荷は動力の需要に比較してきわめて小であることを忘れてはならない。

多相交流機内の勢力の流通は常に一定値であるに反し、單相交流機内は振動的である。従つて發電子反作用が振動的であるため、單相交流發電機を蒸汽タービンで運轉するやうな場合には、磁極内の磁束が著しく振動的となり、能率を損するのみか發電機内部の發熱作用多く、従つて同一の出力に對して形狀を大きくしなければならぬ。

元來交流發電機には、發電子反作用の他に自己誘導作用がある即ち、前者は發電子電流の主磁束を其の位相によつて強めたり弱めたりし、従つて同様の變化

以下第六巻の第 95 「ページ」より第七巻、
第八巻へ直ちに接続するものとす。

即ち 84—94 ページは缺頁とす。

欠

を端子電圧に生ぜしめる。従つて發電子反作用は「アムペア・ターン」を以て其の大小を示す。

後者、即ち自己誘導作用は發電子電流の作る磁力の内主磁界に反作用を及ぼさぬ磁束に原因するもので、之の磁力は發電子捲線自身のみを切りて其内に或る電圧を發生する。而して之の電圧は電流の位相次第で主磁界の發生する起電力を増加又は減少する。故に之の自己誘導又は發電子リアクタンスは「オーム」で示す。

發電子の自己誘導も反作用も、何れも電流が進電流であるか、遅電流であるかに従つて發電子の端子電圧を或は上げ、又は下げる作用を爲す點に於ては同一である。

交流機の計算の場合に、上記の反作用を自己誘導作用と兩作用を考へに入れると計算は甚だしく複雑となる。故に或る場合には自己誘導のみを考へて、其の値を幾分大きく見込み、以て反作用の計算を省略することが有る。之の場合の自己誘導（即ち反作用の大きさをも適當に見込みたる）を「同期リアクタンス」と命名し、之れと發電子抵抗とを加算したものを「同期インピーダンス」と命名する。或は又、逆に自己誘導を省略して反作用を適當に増加した値に見込むこともある。

反作用のみとして考ふる方法は交流機の設計の場合に使用し、又同期リアクタンスのみとして考ふる方法は機械と送電線路とを合せ計算する場合に使用する。

交流機の瞬間的短絡を取扱ふ場合には反作用を自己誘導とは全く別々に切放して考へねばならぬ。夫れは此の兩作用は同時

欠

に働かずして別々に作用を呈するからである。

交流機が短絡した瞬間に於ては自己誘導は即座に働らき短絡電流を限定する、然るに反作用は兎かく即時には働らき得ない。それは反作用の結果が現はれる迄には相當の時間を要するからである。なぜ相當の時間を要するかと云ふに、主磁界を作る勵磁捲線が発電子電流に對しては短絡せる二次捲線として作用し、即ち交流機の短絡電流による減磁作用は、磁極の捲線内に誘起する二次電流が主磁界の減退を阻止して主磁極の強さを元通りの値に保たんとするが如く作用するが故に其の減磁作用の進行が大に遅緩さるゝからである。

故に短絡の起つた瞬間の發電子電流は、自己誘導のみで局限せらるゝのであるから、後刻に至り反作用も徐々に働らき出して來る時の電流の値に比すれば數等大きいのである。

高周波交流機の如く、自己誘導作用が大で、反作用の低きものでは、瞬間短絡電流は永久短絡電流に比して左程大ではない。然るに好く分布せる捲線を有し自己誘導が低くゝて反作用の大なる交流機（ターボ發電機の如く一極に對する出力の大なるもの）に於ては瞬間短絡電流は數秒後に達せらるべき永久短絡電流に比し數倍に大である。

斯の如き交流機の短絡に當つては界磁電流は常規電流の數倍に増加し、且つ振動電流が通ずる。しかし之の振動電流も發電子の短絡電流と共に徐々に減退する。

又斯の如き交流機の電壓變動は主として其の自己誘導よりもずつと大なる反作用の効果に依つて定まるものであるから、瞬

間短絡電流を局限する爲めに機械の外に特に大なる限力リアクタンス (reactive coil) を挿入することがあるが、斯くしても自己誘導と反作用との合成能力には大した影響は與へない、即ち電壓變動に餘り影響しない。尙ほ又、大なる送電方式に於ては發電機自身の電壓變動率が幾分低いと言ふことは何等害を爲さぬのである。

大型スチームターボ發電機では瞬間短絡電流は規定電流の二十倍乃至三十倍にも達する。故にかゝる大型交流機數臺を同一母線に入れて居る大發電所では、一朝母線附近に短絡が生じた場合には、其の短絡點には數百萬 KVA に値する大電流が流れる。之の大短絡電流は油入遮斷器や母線に等し、又は變壓器の捲線間に非常なる機械力を作用する危険がある。故にかゝる發電所では各發電機や、饋電線やに限力リアクタンスを挿入したり、又母線を限力リアクタンスで區分したりする。之の限力リアクタンスは如何なる短絡大電流によりても飽和すること無き爲め鐵心を使用せずして air core に作る。

第九章 同期機のハンチング

交流発電機間には、勵磁電流の差による電圧の差、位相差及び回轉部分の位置の相違によつて、横流を生ずるものである。

この中、勵磁電流の差によるものは、勵磁不足の場合と過勵磁の場合とによつて夫々減磁或ひは増磁作用をなす。無効横流 (Wattless Cross Current) である。

次に回轉子の位置による横流は、お供の交流機を引きとめたり、加速したりする、有効電流 (Watt Current) である。この電流の電磁作用によつて磁束分布をかへ、磁極の一角には高い密度を他の一角には、低い密度の磁束を生ぜしめるものである。

今二つの交流機が同時に位相外れとなるか、同期電動機の負荷がかわるとかして、発電機につながる原動機が位相外れを起さすやうな場合には、二機は相助けて同一位相へ飛び込まふとし、此外れんとする力とで振動を起し、この同期化力が大であるときは、この振幅は次第に小となり、結局安定な運轉を期せられる。

然しながら、この振動が少しも減ぜず、引きつゞく場合をこの機械が「ハンチング」すると云ふ。このハンチングも小なる間は、大した害もないが、次第に増加して、電圧の動揺を生じ電燈であれば「チラツキ」等を起し、更に増大すれば同期機は位相外れとなる。

ハンチングの原因には下記の通四種ある。

1. 磁氣的振動
2. 原動機速度の動揺
3. 原動機調速度のハンチング
4. 誤れる原動機特性

1. 磁氣的振動

一機が位相後れを爲やうとすれば、磁極の吸引力によつて之れを元に押し込まふとする。かやうにして位相があつても尙ほ同期化力が連続的に働くため、行きすぎて再び反對方向に進み過ぎる。勿論各部の擦摩があるため、最初の場合よりは、その進み角度は減ずる傾向のもので、斯様にして結局は同一位相に落ちつく筈である。

然しながら此磁極の吸引力が都合悪く後れて、位相外れを増加するやうに働くときは、反對方向により多く進ませる。即ちハンチングを増し、位相外れとなるのみか遂に其のための勢力損失が大きくなり、電動機は停止するやうになる。

この種類のハンチングを防ぐには其の振動勢力を早く消費されてしまふために磁極間に銅片を架すとか、或ひはアルミウム製の輪を磁極にはめるか、殊に磁極面に籠形捲線を施すが一番有効である。

このハンチングの周波数は其磁極の吸引力——即ち勵磁電流と、其の回轉部分の重さによるもので、即ち強い磁極では回轉子を早く引き動かすために高周波となり、回轉部分の重量が大きい程、運動が容易でないために、低周波となる。この種のハンチングは、主として磁極の勵磁電流によつて變化すべき特性

を持つ。

2. 原動機速度の動揺

原動機速度が變化すれば従つて發電機速度——即ち周波数が振動する。故に二臺の並列運轉中に一方が最大速度で、他が最小速度であつたとすれば、二機は完全に同一位相ではたらくことが出来ないため、位相が近づいたり遠ざかつたりして振動を起す。

實際並列運轉の場合に均等速度であればこの位相はづれは電氣角の三度を越へることはない。従つて同期化のために用ひられる、横流は、この振動が漸次加はらない性質なれば殆ど無害である。

もしも原動機の蓄勢輪の効果が大きければ、この種の速度の變動は少くなり、此ハンチングは小くなる。然しこのために1及び3.のハンチングを起し易い傾向があるため、蓄勢輪はある程度以上に重くすることが出来ない。従つて他の方法——例へば蒸氣の衝撃とか、往復動部分の運動量をかへるとかして設計上の注意から、等速回轉動をする原動機を作らねばならぬ。

又一個の交流發電機を、中位速度の往復動原動機を以て運轉し、これに、ダンパーなく、唯、極めて大きい發電機反作用の同期電動機を運轉すれば、良好なる安定を得られ、發電機電流の振動を少なくすることが出来る。これに反して同じ電動機の其磁極面にダンパーを備へ他の交流機で、回轉部分の運動量の大きくなる様に高速度で運轉したなれば、この發電機電流の振動

が可成り大きくなる。この原因は前の場合には發電機周波数の振動に應じなくて、一定速度を以つて回轉するが後の場合にはダンパーの同期化力のためにこの電動機は、原動機の振動周波に應ずるからである。然しこの電流の振動はハンチングのためでなく、電動機を原動機速度の動揺に應じさせやうとする有効電流のためである。

この電動機の周波数の振動は、原動機の回轉數と同じであるため、引きつゞき同じ瞬間に原動機が受ける衝動は電動機のハンチングを起すものである。

この場合には漸加的のハンチングは、原動機の衝動に原因し、その振動の周波数は、原動機の衝動と一致する。

3. 原動機調速機のハンチング

もしも一方の發電機が少し多くの負荷を負ふために少しく高速度であるとすれば、原動機の調速機は蒸氣の進入を減少し、規定速度に降下する。然るに蓄勢輪の作用が著しいと、一寸辨をとちた位では、速度は下らない。従つて必要以上に動作し、再び規定速度になるまでにこの交流機の方がずつと後れてしまふ。それ故に他の交流機はこの間により多くの負荷を負ひ蒸氣のはいる度合がずつと増加する。従つて最初の發電機が規定負荷になつたとき、他の發電機原動機に多大の蒸氣が入りすぎる。かやうな作用を交互に行ふために、調速機自身が所謂ハンチングを起す。

このときのハンチングの周期は、原動機速度及び勵磁電流にはあまり關係なく、過負荷のときよりも輕負荷の方が著しい。

なぜなれば過負荷のときには、蒸氣が多量に弁を通過しつゝあるから、多少その蒸氣の量が増加しても、あまり速度を上すやうなことはないが、輕負荷のときは、元々弁を通る蒸氣が少いので、これに少しの増加を來すも、速度を増す割合が大きいからである。

4. 誤れる原動機の特性

並列運轉する交流機を運轉する原動機は負荷の増加と共に、減速するものであつてこそ負荷を等分に分配されるものである。然るに速度が少しも變はらないとすれば、結局一方が全部負荷を受け、他方は零となる。もし原動機の世界曲線が無負荷から中位の負荷の間で、急に下らなかつたなれば、輕負荷に於て、負荷を程よく分配することが出來ず輕負荷に於てハンチングを起し、負荷が増大するに従つて漸次安定となる。

ハンチングの發見と其救濟法

以上の諸ハンチングは次の如くして區別される。

1. 勵磁電流の變化によつて周波が著しく變はるハンチングなれば、これは主として磁束ハンチングのためである。
2. 發電機速度と同周波のハンチングなれば、これは主として原動機の世界曲線に原因する。
3. 一臺の發電機につながるときのみ同期電動機や同期變流機が安定になれば、これは主として、原動機調速機の世界曲線のためである。
4. ハンチングが輕負荷のときに著しく負荷を増すとき安

定になるやうな場合には、主として原動機調速機の世界曲線である。然し時としては磁束又は原動機自身の世界曲線によることがある。

5. 一つの世界曲線の調速機を除外し、一方のみで原動機の世界曲線を調整したときに現はれないハンチングは除外した調速機に關係したものである。次に尙ほハンチングするとき二つ共調速機を取外して手動調整で注意して運轉したときにハンチングしなければ、勿論調速機にかゝわるものである。このときにも現はれるものは、磁氣ハンチングである。

又二つの交流機の世界曲線を不同にしたときハンチングが現はれなかつたり、減少したりする場合には、世界曲線によるハンチングである。

同期交流機がハンチングを起した場合には次のやうな諸點について夫々調査する必要がある。

A 同期電動機或は同期變流機

1. ハンチングの周波數を取るために、一定時間内の「ウナリ」の數をかぞへよ。然して、このウナリが周期的に増減したなれば、二つの周波數が重疊したものと推定せらる。次に一定時間内に音の節の數をかぞへれば、二つの周波數は、このウナリの數に節の半數を加へ又は減じたものとなる。

もしこの二つの周波數が原動機の世界曲線にほとんど一致すれば、大體この周波數と假定する。これ等の原動機の世界曲線も同時に數へねばならぬ。

2. 並列にせる數多の交流機の中何れが一番測定せるハンチングの周波數に一致するかをしらべよ。

3. 多くの變流機を有するところでは何れの電流計が最もハンチングするかを見よ。負荷電流がハンチングせず變流機の電流のみがハンチングすればお互に反對にハンチングするものである。このとき一方の變流機の界磁を強め他方を弱め或ひは必要に応じて電壓をも調整したならば、各機のハンチングの周波數が干渉を起すやうになるか、或はハンチングが止ることがある。

何れの電流計も共にハンチングしたならば、二つの同期機（變流機、發電機、電動機を含む）が互に逆方向にはたらくことを知り、電流計を注視すれば一方が増すとき他が下り、他が上るとき下ることを知る。

4. 界磁電流を變へて、何れを變化したときに、ハンチングの周波數がかわるかを知れ。又何れの勵磁を減じたときに近づくかを知る。ここで時々勵磁電流を減ずるとハンチングがなくなることは、後れ電流の下に運轉するからである。

5. 變電所で數個の同期變流機で同一の負荷を分配するときハンチングが起れば、別々に切りはなして、其の原因を調査せよ。

救 濟 法

1. 若しも、同期變流機或ひは同期電動機相互間の電磁的のハンチングである場合には、界磁の強さを不揃ひにすることで大いに減ぜられる。或ひは又一方の變流機に蓄勢輪をつける

か調革で他の回轉機をまわすこと、其他誘導電動機と並列運轉をしてハンチングの共振作用を破壊する必要がある。

2. 同一變電所内で數個の同期變流機を並列に運轉するとき、滑動輪をお互に結ぶとき——即ち變壓器と變流機との間に均壓線をつけること、このハンチングがなくなることがある。このとき特に整流子面の火花を發生するおそれがあるから刷子つ位置を適當に調整する要がある。

3. 最も有効なのは、同期變流機或ひは同期電動機の磁極間に銅棒を架すとか、磁極の表面に籠型捲線を施すことである。其他磁極に短絡輪を加へる法もあるがこれはあまりハンチング防止には有効でない。

B. 交流發電機のハンチング

1. 前節と同じやうにハンチングの周波數を算へる。

2. 發電機か或ひはこれに並列に入る他の大きな電動機の何れに此周波數が最も近いかを知る。

3. 何れの勵磁電流をかへたときに、ハンチングの周波數がかわるか。

4. 何れが軽い負荷のときよくハンチングするか。

5. 原動機の中どの調速機を取除いたときに、ハンチングが止むかを知る。

救 濟 法

1. 原動機の調速機を除外したときに止まるハンチングは何れに附屬する制動壺 (dash-pot) の作用を強めよ。

2. 前記の如くして尙ほ、ハンチングが止まなかつたならば、鐵棒を磁極間に架設せば大底止むものである。

3. 原動機がハンチングするときは、蓄勢輪の作用を増し、或ひは減することによる。さもなくば同一發電所内の誘導電動機を並列に入れて、それと共振することを防ぐ。

一般に異つた出力の發電機、同期電動機、變流機、或ひは誘導電動機等が同一回路に多數はいつてゐるときは、此ハンチングを越すことが稀である。それ故最もハンチングを起し易いのは、同一出力の發電機ばかりか、變流機ばかり、或ひは同期電動機ばかりの時である。

回路の抵抗は一般にこのハンチングを増加する傾向を有するから特に、抵抗による電壓の降下が 10% から 15% も及ぶときは、磁極面にダンパーをつけるとか、甚だしきに至つては、全然同期機を避けて、誘導電動發電機を用ひねばならぬ。

これに反して回路のリアクタンスは、其の値が法外に大でない以上は、このハンチングを止める傾向のものである。

尙ほ長距離送電線の受電端で發電機から非常に遠方なところにある同期機は著しくハンチングを起すことがある。

同期機の發電子反作用がきわめてはげしい場合には、ハンチングを起すことが少い。特にこの種の同期機内の電流は、磁極の位置の如何によつて發動することが少いからである。

又 60 サイクルの變流機は 25 サイクルのに比して、發電子反作用をはげしくするために充分の發電子面がない——即ち極數が多くて電氣角で 2π が空間角に比して少なくなるから、兎

角ハンチングを起し易い。

第十章 電壓變動と其制御

A. 直流方式

直流 220 ヴォルト配電の場合には外線の母線を数段に分けて、負荷の増減に応じて或る饋電線は一の母線から他の母線に結替へる。

之等の多數母線は各異なる機械や、蓄電池端子や、昇壓機等に結ばれ各電壓が少しづつ異つて居る。

電燈用昇壓機には、母線から勵磁さる低電壓發電機である。主發電機は分岐捲といふよりは、寧ろ母線より勵磁さるゝ機械なるか、又は廻轉變流機で、電壓は 250 ヴォルトであり、且つ其の中性點は集電環とコムペンセーターを経て引出してある。

電氣鐵道に送電する場合には、電車線と歸線用軌條の外に電車饋電線と絶縁歸線、即ち正及負饋電線を使用すればそれだけで普通の交直變式用の變電所には充分である。若し配電距離が遠くなりすぎる如き場合には適當の地點に新たに變電所を新設するが常である。

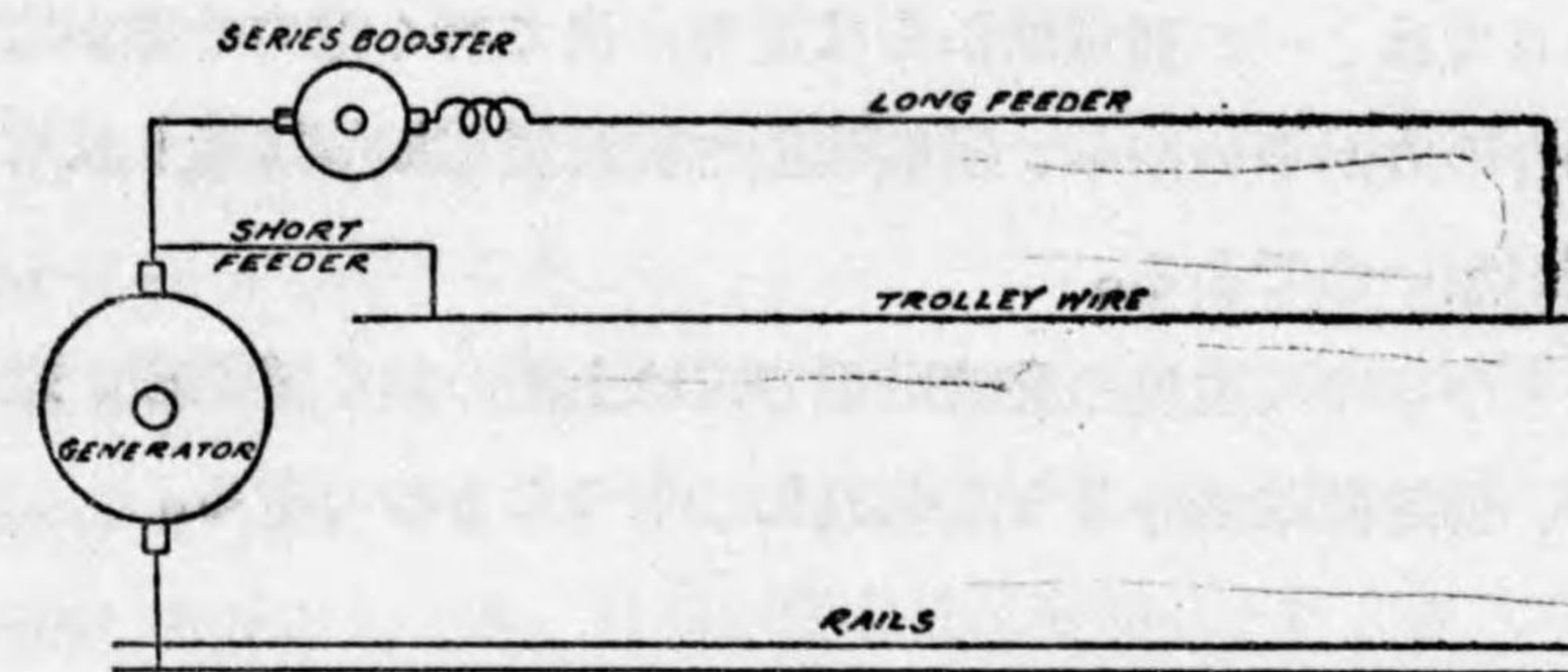
直流發電機を使用する場合には、饋電線の距離が遠すぎる様になると其の電壓降下を補ふ爲めに 200—300 ヴォルトの昇壓機を饋電線に直列に入れる。しかし 200—300 ヴォルトもの電壓降下を許すことは電力の經濟上より反つて不得策であるから、之の方法は新變電所を増設するが不經濟なる如き特別の場合、例へば日曜とか其他極く稀れに特に重き負荷のかゝる日に

限り使用して、平日は使用する要なき如き場合に實施せられる。

上記の鐵道用昇壓機は直列機である、即ち直列磁界と機の端子電壓とは共に負荷電流に正比例するのである。

この直列用昇壓機的设计に當つては下記の如き注要が要る。即ち短距離饋電線と長距離饋電線とで短絡された昇壓機回路内(第二十五圖)に昇壓機が短絡電流を流さぬ様にするこゝ

第二十五圖



鐵道用直列昇壓機

直列機は其の回路の抵抗が一定界限より低きときには自己勵磁によりて短絡電流が通ずる、之れは一般に直列機の特長であるから注意を拂ふ必要があるのであるが、圖の如き場合には電車線を区分して短絡の起らぬ様にするか、又は昇壓作用を回路の界限値以下に保つ様に計算する。

鐵道用の電源が直流發電機である場合に、鐵道線路の亘長が漸次延長して其の電壓降下が昇壓機で補償し切れぬ様になつた場合には、之の直流發電所内に可逆變流機を置き、交流を作り變壓器で遞昇して送電線で新設變電所迄送電し、爰で再び變壓

器と變流機で直流に變式することもある。

遠方に相當大なる電力を送る必要ある場合には、上記の變流機を使用する代りに、發電機を復流發電機とし、即ち整流子の外に集電環を備へて一機より直流と交流と双方を發生せしめ、其の交流部分を他變電所へ送電することもある。

次に又遠方變電所に送るべき電力の方が發電所附近で使用する電力よりも大なる場合には、發電機を交流機とし、之の發電所内に附近配電用としての一變電所を附屬施設するのである。

今日では、一の發電所からは遠方に出て行く電力の方が大なる場合の方が多いから、逆變流機や復流發電機等は餘り使用する例が無いのである。

即ち今日の大規模の交流送電方式は上記の如く昇壓機、逆變流機、復流發電機等より漸次進化し來つたものである。

B. 局部交流式

發電機の調整——〔第一〕——發電機の固有電壓變動率を低くすること。

之れには發電子の反作用を小に作り、磁界は十分に飽和せしめ負荷の大小によりて電壓の變動無からしむる。

其の利點:—

簡單にして、他に機械や設備を要せぬこと、動作瞬間的なること、

其の缺點:—

發電機大型となりて價格も増し、且つ電壓調整餘り低きとき

は並列運轉を爲すに不都合である。

〔第二〕——整流子を附しにて整流せしむること、

交流發電子電流の一部を整流子を經過せしめて直流に變ぜしめ、之れを磁田捲線に通ぜしめてコムパウンディングの作用を呈せしむること、之の方法は今日では採用されざるに至つた。

其の利點:—

他に特別の器具を設置せずして復捲の作用を呈せしめ得ること、

其の缺點:—

直流に整流さるゝは發電子電流の一部のみ故、小型の機械のみに適用し得ること

復捲作用は又、負荷の力率が一定なる場合にのみ良好に實施得らるゝに過ぎず、例へば無誘導性負荷の時完全に動作する様調整し有りとしても、負荷が誘導性に變ずると、より大なる勵磁を與へねば端子電壓は降下し來り、つまり復捲の目的が達せられぬ。

其の上負荷の力率が變ずると共に電刷子の位置を變じてやらぬと整流子は火花を發するに至る。

故に之の方法は昔日の如く負荷の大部分が電燈であつた場合には採用の價値があつたが、今日の如く電力が主に成つては使用に不適當である。

〔第三〕——電壓調整器 (Potential Regulator)

チリル調整器——勵磁機の磁田回路に充分大なる抵抗を入れて置いて、其の挿入され居る時は勵磁機の電壓は零に近く、其

の短絡せられたる時は相當高き電壓を發生する如くする。

交流機の回路に入れた電壓作用の磁石 (Potential Magnet) の力で絶へず前記の抵抗を開閉せしめる、即ち勵磁機の界磁電流は或は流れ或は切られ、寸時も一定に靜止することなき様にする、そうすると開と閉との時間の長短の率に應じて磁界には其の最大限と最小限との間で色々に變じうる電流が流れる。

故に交流機の電壓が降下せんとする傾向を示すと、前記の Magnet は勵磁々田回路に抵抗を入るゝ時間を長くし、切る時間を短くする様に作用し (特別の機構が附しありて)、磁田は強められ、交流機の電壓は上昇する。若し交流機の電壓が上昇せんとする傾向を示せば抵抗は前とは逆に短時間接觸し、長時間切らるゝ如き開閉を爲し、其の結果磁田は弱められ端子電壓を低くめる。

其の利點:—

甚だ簡單なること、

如何なる交流機にも使用出來、且つ特別に調整を變ずる必要なきこと、

其の缺點:—

調整と不斷の検査を要する器械を必要とすること。非常に大容量の發電機では、負荷が靜かに變動して行くため、電壓も手働抵抗調整器で加減すればよい。

交流發電機の負荷の中に大きな同期電動機とか回轉機のある場合には、それ等にも前記の界磁調整器をつけるがよろしい。

電壓調整器

(a) 補償調整器

昇壓、降壓變壓器の電壓は低壓側にタップを出して、回轉式切換器で調整することが出来る。然し變壓器を用ひないところでは單捲變壓器のタップで同様の結果を得られる。

其の利點:—

最も簡單で、最も安價で、最も有効である。

其の缺點:—

圓滑な電壓の調整を得られないこと。

(b) 誘導調整器

これは全く誘導電動機と同じく靜止せる一次側は線間に分流し、二次側は直列に入れたもので二次側の回轉子をうごかせば電壓の増減は自由である。

通常この調整器は三相式で、單相の場合には自己誘導作用を減ずるために、ステータ中に一次側と電氣的に直角な短絡捲線を備へる。

其の利點:—

完全な連續的の電壓變化を得らる。

インダクタンスが可成りあるため回轉變流機には有利である。

其の缺點:—

高價

(c) 電磁調整器

靜止せる一次側は線間にシヤントに、直角におかれた二次捲

線を静止して、線路に直列にはいつてゐる。その中に回轉し得る鐵心を入れ、其の位置によつて、一次側から二次側を切る磁束の方向をかへる。第二十六圖に於て點線で示された位置と圖の位置とでは磁束の方向は反對になる。

其の利點:—

連続的の電壓變化を得らる。

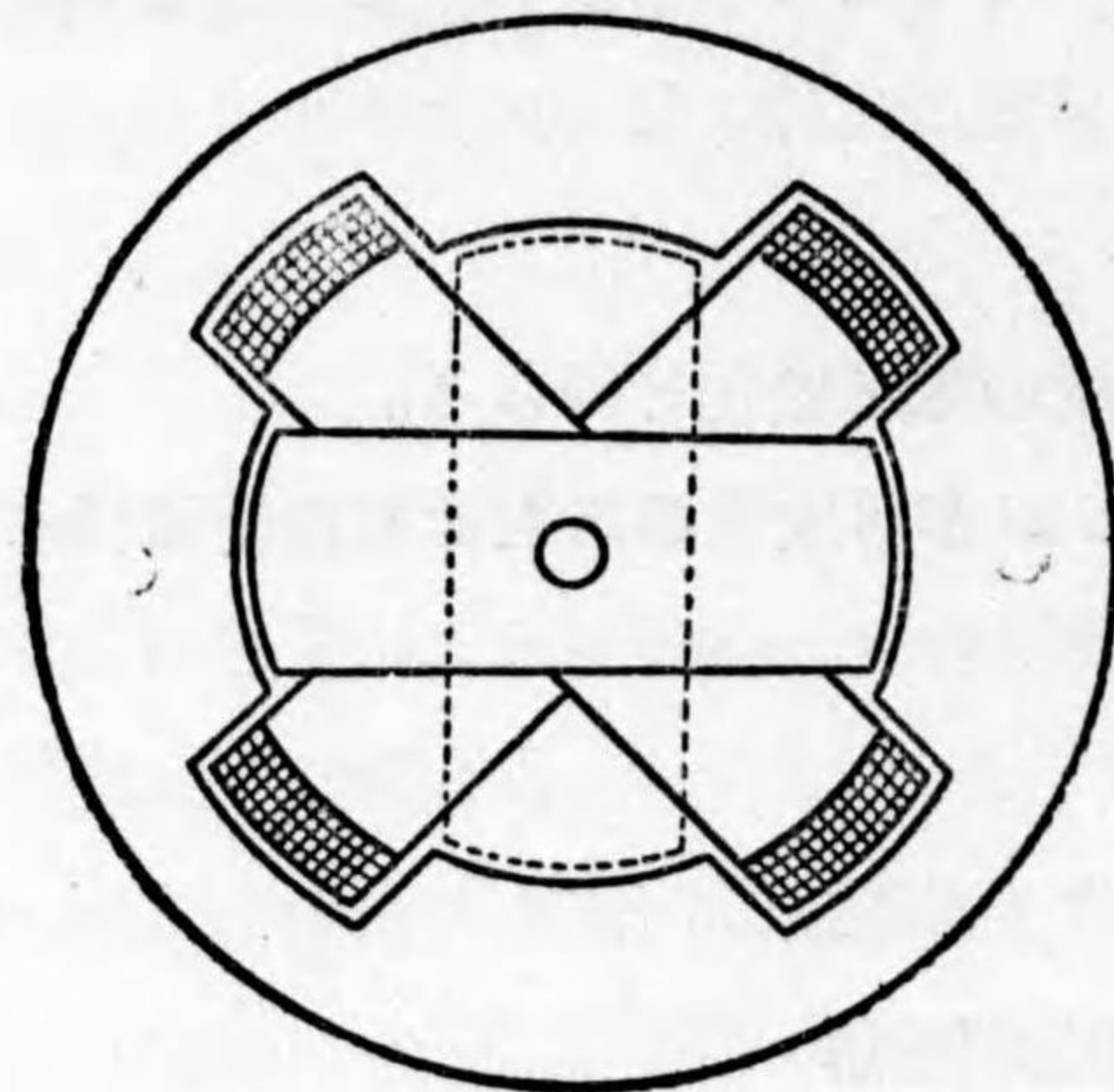
其の缺點:—

補償調整器より高價なり。

C. 電力發生の一般の場合

近年電氣事業の大發展と共に電力は電燈、家庭及び工場、或ひは電氣鐵道等各種の用途に向つて、三相高壓を水力と火力とを以て大規模に發生するやうになつた。かやうな大發電所の全

第二十六圖



磁石型調整器

出力は數萬キロワツトに及び電壓の變動率は負荷の急激なる變化に對してもあまり甚だしくないやうにする必要がある。

これ等の發電機は通常チリル調整器で定電壓を保つやうにせられるが、こゝでは電壓の調整よりも寧ろ不時の出來事——例へば短絡で全系統を破壊せやうとする電力を制限することが大切である。

この目的のために、發電機の端子、母線、饋電線に許容される最大のリアクタンスを入れ、尙ほ發電機も出來る丈大きいリアクタンスを持たすやうに——(例へば深いスロツト)設計されるやうになつた。

これは良好な電壓變動率のみに注目した昔の單獨發電所に逆流する思想である。

第十一章 避 雷

最初電信線が村落を通過するやうになつて避雷装置として、火花間隙を通じて線路を大地へ結んだ。

然るに電燈及び電力線が出現するに及んで一つの火花間隙では不十分なことが分つた。即ち雷を放電した後に、これに引つゞいて、発電機の電流を大地へ伴ふことを防ぐ必要がある。

この問題は電磁作用による電弧吹き消しで今日も 500 ボルト回路の避雷の目的を達してゐる。次に角型避雷器で角状に上方程廣がつた導體間を落雷放電させ、火花が次第に上昇して、遂ひに消へ去るものである。次には、無弧光性火花間隔を多数直列に大地と線路間へ入れ、落雷放電をするが、つゞいて交流が通らふとすると、半波長で消しとめ、他の半波長逆方向には非常な高壓でないと弧光が成立しない。これは所謂無弧光金屬とて、銅と亜鉛との合金の特性をうまく利用したものである。

これ等避雷器は何れも小発電機で、限られた電力系統で過ぎなかつた昔の技術に對しては充分であつたが近年のやうに電壓變動率の少い大出力の過負荷に耐へる発電機が出来、尙ほこれ等が多数並列に這入つたときは、この種の避雷器では不十分となつた。即ち、発電機電流が多量に落雷放電に供つて一方から他方に通過し、其の反対方向にも其餘勢を以て交流をも引きつゞき通過させ遂に焼損する。

近年に至つて、交流発電機と並列に同期電動機が運轉される

やうになつてこの放電後の閉路が大切な問題となつて來た。何となれば、若しも落雷放電後の発電機短絡のため、數秒間停電したとすれば、同期電動機や同期變流機は、位相外れとなり、従つて発電機も同期速度を破り遂に全線の停電となる。又角型の端子を形成する避雷器では、直列に抵抗を入れて、同期機が位相外れにならぬ中に元へかへすために早く短絡電弧を消すやうにしなければ、一般回路には用ひがたい。

これがために、停電止むない場合の外は働作しないやうな補助避雷器を送電線の何處かに備へるやうになつた。この直列抵抗によつて引きつゞく電力を減ずることは、一方に於ても、放電電流をも制限する作用が供ふため、非常に大電流を瞬間的に放電せねばならぬ高電壓に對して保護の目的にならない。この不便は分流抵抗を入れ抵抗が火花の一部分のみを消す作用で除かれた。即ち主要火花の外に分流する多くの火花は其抵抗によつて発電機電流を切りはなそうとする傾向がある。かやうにして雷の放電が少し弱くなると主要火花間隔まで開いてしまふ傾向がある。

然のみならず、負荷の特性や大きさによつてこの避雷方々も適當に變化を來すであらうから、非常にこの問題は困難なことになる。尙ほ、昔のやうに小電力短距離の場合には生じなかつた形式の雷が出現し、今日では空中電氣による雷の外、回路中に原因を有する所謂「内部落雷 (internal lightning)」とて前者よりも恐るべき騒亂を防止しなければならぬ。

廣義で落雷と云へば、吾人の制禦せられぬ電氣作用を指すの

である。又制禦しがたい電力といへば、非常に大なる、電壓及び電流、或は急激性突角の前面波形の衝撃又は高周波を意味する。

非常に大なる電流は、大送電線系統に限つておこり、主として發熱による損害で、尙ほこれも高温を發するまでは相當の時間があり、その間に自動遮斷器や、自動開閉器等で防止せられるから、發熱による損害もこれの開閉器が働く瞬間に其接觸面を溶解する種類のものである。尙ほ、近年盛んに用ひられるタービン發電機では多量の電流のために電氣的よりも機械的に破壊することが多い。

過大電壓の作用は瞬間的にはたらくもので避雷器によつて除く。

この避雷器の作用はあたかも汽罐の安全弁のやうなもので、高壓に對して保護する者で出来る丈少い衝撃で大地へ不用の電力を逃れさすのが主旨である。然しながらこの過剰電壓の原因たるや、其の分量たるや何れも豫想しがたいものでこの避雷器の設計は、安全弁の如く容易簡單なるものでない。

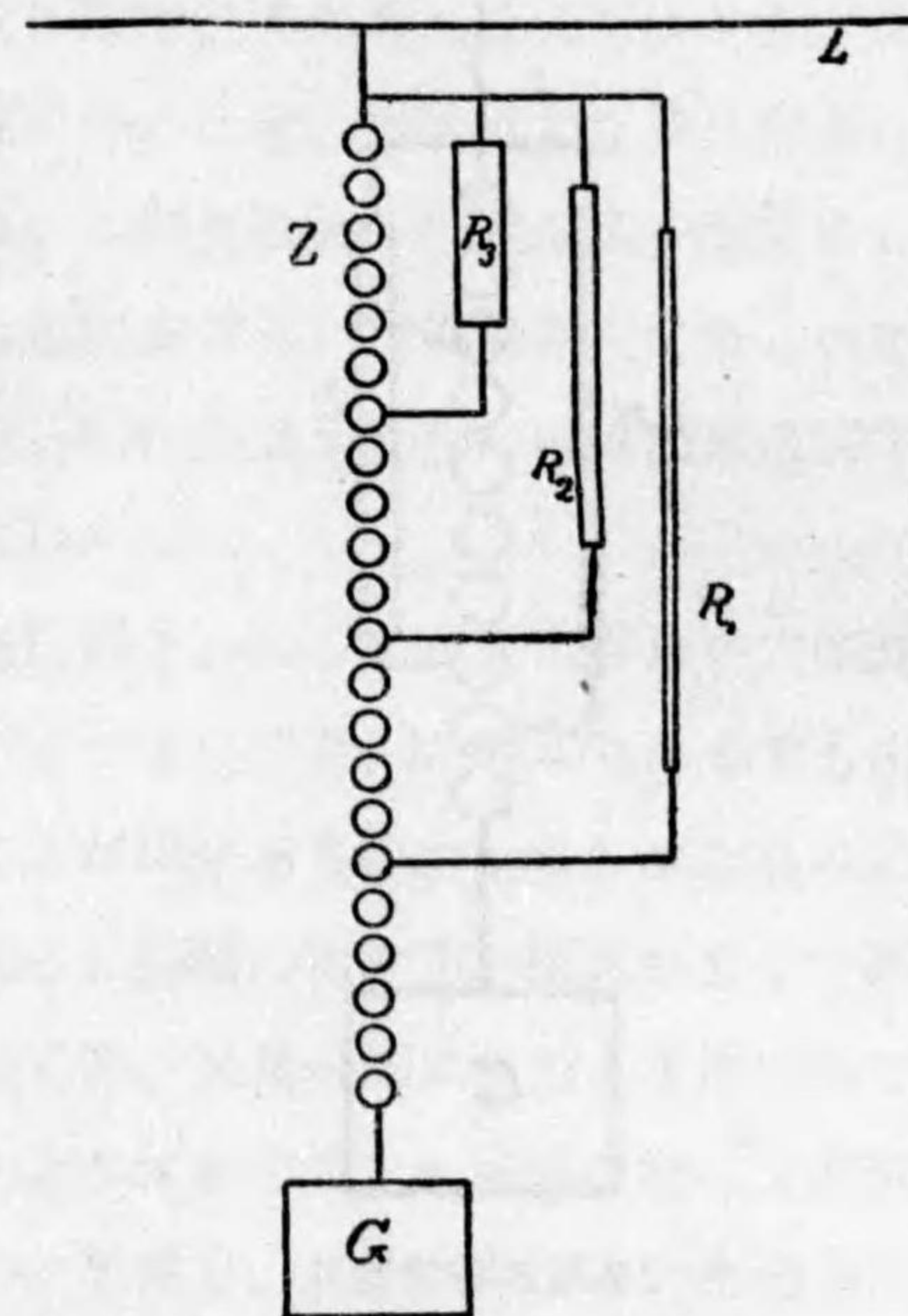
すでに述べた如くこの原因には回路の内外に存在し、其の過剰電壓の形も一つの尖頭電壓あり、或ひは、引きつゞき數個の尖頭電壓が普通一秒の數分の一毎に互り行くあり、一秒間に數千づゝ、時としては數時間つゞくことがある。

空中の電氣的騒亂——例へば落雷、放電は、通常一度の衝撃が線路を互るものであるが、送電線から記振器 (Oscillograph) で取つた記録によれば數個尖頭電壓が起ることもある。かやう

にして避雷器は、放電の直後に作用するものでなければならぬ、何となれば最初の放電が起つて後一秒又はこれよりも短い時間内に第二第三と放電が行きつゞくからである。

連続放電或ひは騒亂は主として其回路の弧光接地、破壊せる碍子を通じて火花放電をする如く、自身の中に原因を持つてゐる。然しこの原因はやはり、落雷放電に在るもので結局回路騒亂の原因は落雷に存することになる。

第二十七圖

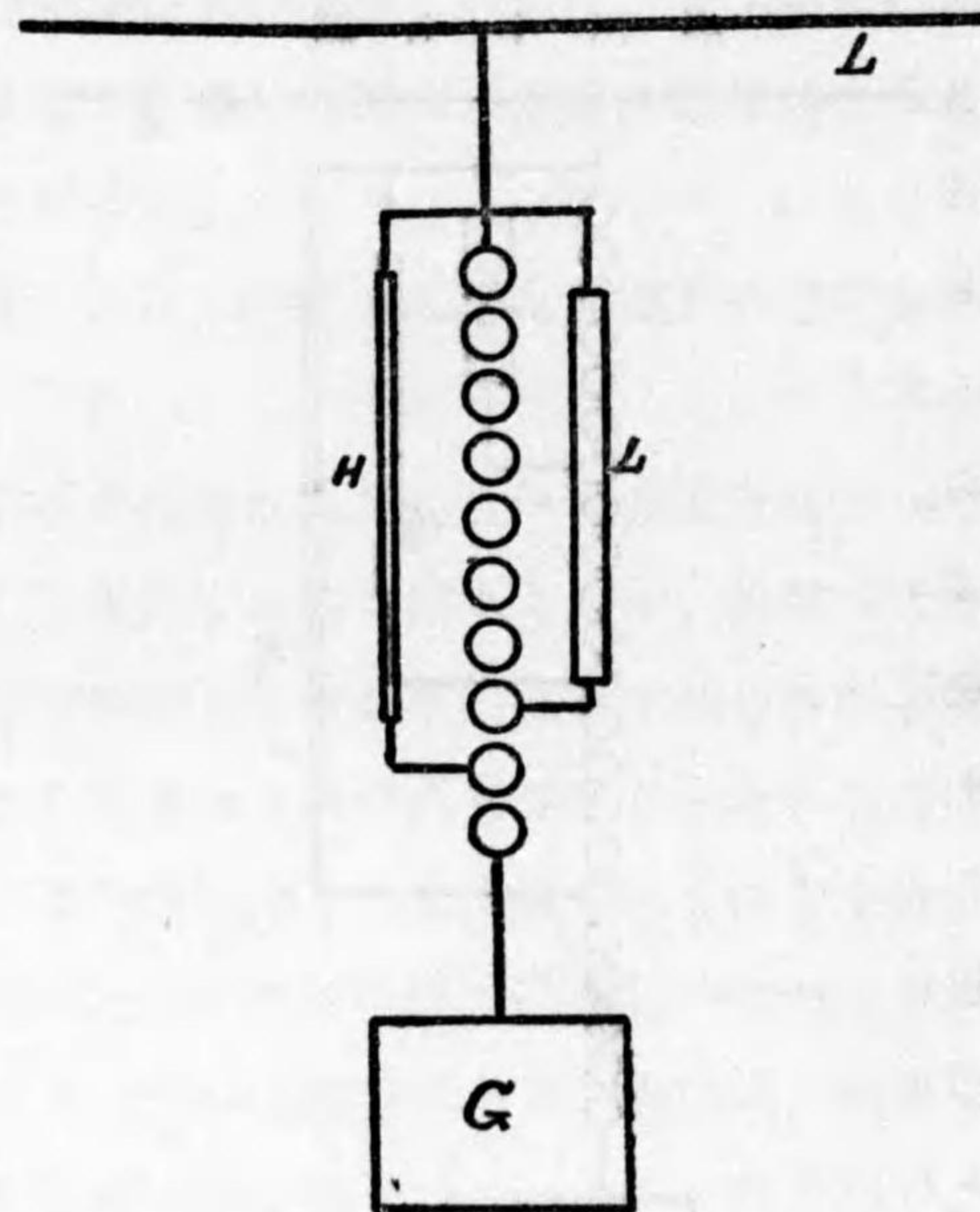


高壓用多隙式避雷器

これ等の現象は最近に到つて特に大電力、高電壓、長距離送電が流行するために甚だしふ起るものである。

この中雲間放電のために送電中に起る、一つ或は數個連続の尖頭電壓は、現在の多數火花間隙で充分保護される。この避雷では第二十七圖に示すやうに線路と大地との間に高抵抗の分岐回路を有する多數の火花間隙を備へたものである。きわめて少量の高壓放電は R_1 の最高抵抗線を通つて大地 G にのがれるためほとんど眼に感じない程度の火花を發生する。それより

第二十八圖



多隙式避雷器

も更に大なる電力は R_2 の中位抵抗を通つてのがれ、次の電力放電は低抵抗 R_3 を通つて大地へ向ひ、最大電力は Z 回路を通る。中位の電壓には凡そ二つの抵抗を用ひる。第二十八圖は

2000 ヴオルトの多間隙避雷器で高いのと低いのと二種の抵抗を用ひてゐる。

2300 ヴオルトから 10000 ヴオルト用には通常一個の抵抗を分流させる。これ等の火花間隔と抵抗は密閉管に収めて開路するための放電々壓を助けるやうにしてゐる。それ故この型の避雷器を壓搾室避雷器といひ交流饋電線（柱上變壓器の高壓側）へ用ひられる。

かやうな譯で放電抵抗は放電々力に逆比例することが大切である。それ故に放電電力が著しく大きいときは其の放電々壓を安全なる程度に保つには、無抵抗でなければならぬ。

然しながら、この無抵抗の放電は又一面に於て、電撃以外の電流を通ずる傾向が著しいため全系統に恐るべき障害を來すものであるから、特に必要な場合の他は出来る丈このやうな放電は許さぬがよい。

如何なる避雷器も、其の火花放電が單一尖頭波であらうと、如何に屢々引きつゞいて數列の電撃波が來ても出来る丈け小い騒亂になすことが出来るものでなければならぬ。然しながら回路の内部に起る、連続の雷放電、騒亂は假令一秒間に數千回起るものであつても、又長時間にわたるものでもこれに應じてはならぬ。何となればかやうな、騒亂に對して在來の多間隙避雷器は其の度毎に放電し、長く引きつゞいた場合にはそれ自身が破壊してしまふに至る。

それがために、高壓大電力送電系統では線路の電氣容量のために、時々この種の連続的放電を生じ、その中の最も大きいも

の丈けでも放電し、然かも連続使用に耐へる必要のために近年電解作用を應用したアルミニウム避雷器を用ふるやうになつた。これは火花間隙と直列にアルミニウムの圓盆を電解質の溶液中に積み重ねて、大地へ結んだもので、異常高電壓が火花間隙を通ずるやうになれば放電は殆んど無抵抗で大地へのがれ始める。然しながら、アルミニウムセルに反起電力によつてこの放電の通過する量は規定電壓を超過したのに比例するもので其の使用電壓には關係しない。かやうな譯で一秒間に數千の火花放電に對して半時間以上も連続的に耐へ得るのみならず送電系統の電力は少しも短絡しない。かやうにして超過電壓の消滅するかこれを發見するに充分の間何等の損害も來たさず利用するものである。

これと全く同様の作用が、酸化膜避雷器 (Oxide film Arrester) でアルミニウム、セルの如く電解液もなく従つて毎日の充電の手數もなく行はれるやうになつた。

尙ほアルミニウム、セル避雷器は線路内の少しの騒亂に對しても火花間隙を通過する丈けの超過電壓を要するため、この火花間隙を全然なくして、此避雷器を直接線路へつなぐことが特に地下ケーブルの如く、少しの衝撃にも影響する回路には望ましい。

其他、電磁吹消し避雷器が 500 ヴオルトの電鐵用避雷器にして用ひられてゐるが追々と、このアルミニウム、セル型に置きかへられるやうになつた。

又、多間隙式の避雷器は其の整流作用を利用したもので交流

にのみ用ひられ直流には不適當である。弧光點燈の定電流回路では、角型避雷器に抵抗を入れて一般に用ひられるが特に直流電弧回路で多間隙型の避雷器が用ひられぬときは便利である。このときの回路は制限せられた分量の電流を流すためリアクタンスが大で此の火花に直列に入れた抵抗はあまり損害を起さない。又この角型避雷器は、送電線にて變電所及發電所の避雷器にはあまり高電壓であるとき補助として無抵抗の空隙を用ふ。然し一方、高周波振動を引きおこす原因となる。

抵抗を直列に入れた角型避雷器は時々安價の避雷器として小さい變電所や、分岐線等の如く價格の點からアルミニウム、避雷器を用ふるに不適當なところに用ふ。然しながら一部分で中位の電力回路の避雷を果すに過ぎないことを忘れてはならぬ。

過剰電流保安のためには、フューズ、遮斷器を、或ひは、發電機母線饋電線にリアクタンスを添加して自動遮斷器が働き得る範圍の電力に制限するやうになつた。

高周波突角前面波形に對しては、避雷器が働き得る以上についてのみ防禦されるが、それ以下の電壓に對しては避雷とならぬ。

然しながら送電系統の容量増加の爲めに、ケーブルとか高壓架空線等により靜電容量を著しく増した場合には高周波現象、衝撃、及び突角前面波形等が時々侵入して系統の騒亂を起すことが稀でない。かくてこの高周波は線路と大地の間をとびこへるのは稀であるが、變壓器、電壓調整器、變流器及び發電機の

端子に近い捲線で食ひ止められて其の絶縁を破壊する危険が多い。それ故にこの高周波による捲線の破壊は一小部分の短絡であるが、遂ひに全體をも焼損するに充分な發熱の原因となるものである。

尙ほこの作用を利用して塞流線輪を作り、高周波の發電所又は變電所内へ侵入するを防げば、これは線路の避雷器で取り押へることが出来るが、他方に於て、開閉器を開く場合の如く發電所又は變電所の内部に起つた高周波を線路の抵抗で放散させることが出来ない危険がある。のみならずこの塞流インダクタンスに有利な周波数は、雷による様な數百萬サイクルでそれ以下の高周波に對しては例へば 20000 から 100000 サイクルの範圍内では非常に大きなものとなり、經濟的には利用しがたい。電氣容量を回路に分流せしめたならばこの高周波を除くことが出来るのみならず、衝撃のやうに突角前面の波形で、インダクタンスを破壊する種類のもを柔らげるに有効である。

抵抗は高周波並にこの衝撃の勢力を吸収するから、一面に於て、電氣容量に直列に抵抗を入れて、急激な衝撃や突角前面波形に對抗し抵抗を分流させたときは直接抵抗を入れた容量を主回路として、低周波電流の通過を減少する。

かやうに直列及び並列抵抗を有する電氣容量を用ひ、或ひはインダクタンスを結合して高周波に對して保安となる。

既に述べだ如く突角前面波形に對しては電氣容量のみを以て最も有効に保護されるが、高周波勢力吸収には抵抗を附加する必要がある。

第十二章 電氣鐵道

第一節 列車特性 (Train characteristics)

電氣鐵道の過程は加速 (Acceleration)、走行 (Motion) 及び減速 (Retardation)——即ち起動 (Start) 運轉 (Running) 及び停車 (Stopping) よりなる。

電氣鐵道用電動機の具備すべき要件は

(1) 信頼度 (Reliability)

(2) 取附場所の制限から電鐵用電動機は他に此して高温に耐へ、短い期間使用する如く設計される。従つて此種の格定は全く其温度上昇に支配され或値以上過熱せぬ範圍の馬力を以て表はす。尙ほ一面に於て出来る丈高率を要求することも内部損失が直接其出力を制限するからである。

(3) 廣範圍の速度調整——電鐵用電動機は廣い範圍の廻轉力 (Torque) と速度とに對し常に高能率を要求するから根本的に其運轉法の改善を行はなければ分捲電動機或ひは誘導電動機は全然此目的に使用されない。

加速中に吸収される電力は定常運轉状態に比して數倍となる。従つて高速電車 (Rapid transit) の如く屢々加速を繰返へす場合は此加速能率は何はさておき最も重要視される。之に反し長距離及び市間電車線 (Interurban lines) の如く停車數少く全體の走行時間に比し此加速時間が短かく、従つて加速中に吸収する電力が全消費電力に比し極めて少い場合は此高能率加

速はさまで重要でない。

代表的電氣鐵道の種目を分つて

(1) 高速電氣鐵道 (Rapid transit) —— 大都市の高架電車及び地下電車の如く停車場多く特に高速度である。

(2) 市街電氣鐵道 (City surface lines) —— 各種都會の架空式電車で、低速、停車場多く、種々の運轉速度を有する。

(3) 郊外及び市間電氣鐵道 (Suburban and interurban lines) —— 市内電車に連絡せる郊外電車及び隣接兩都市間電車の如く比較的人口少き地方を通過するもの。停車場數割合に少く、可變速度で低速運轉は勿論、可成の高速度をも發揮するを要す。

(4) 長距離及び幹線電氣鐵道 (Long-distance and trunk line rail-roading) —— 高速、停車數少く勾配 (Profile of road) の如何に依り荷重と共に速度が變化する特性を有する。

(5) 特種電氣鐵道 —— 登山電車及び昇降機類の如く、定速、中位以下の速度で一定大荷重を負ひ、加速中の電力は運轉状態に比し著しく大ならぬ事を要す。之れは比較的停車度數の多いためでこの種の電車に限り三相誘導電動機の如き定速のものを使用し、下降状態で電力を再生 (Regeneration) せしむ。加速及び減速率は全く乗客の愉快度に依つて制限され通常毎秒毎時 2 乃至 2.5 哩を標準とする。例へば一秒後毎時 2—2.5 哩の速度を得、5 秒後には 5×2 乃至 5×2.5 即ち 10—12.5 哩 (毎時) の速度に達する如きである。

電氣機關車の牽引する貨物列車では此加速及び減速率は機關

車の自重が残りの列車重量に比して極めて少いため、其働輪 (Driving wheels) の滑りに依り寧ろ牽引力からの制限を受ける。

蒸氣機關車では其最大馬力が非常に少い爲め普通毎秒毎時 0.5 哩の加速率を得、更に重い列車では之より更に減少する。

第二節 速度時間曲線 (Speed time curves)

高速電車 (Rapid transit) 又は其他の電氣鐵道に於て加速中に吸収する電力が全消費電力の大部分をなす如き場合には此速度時間曲線は殊更大切となる。即ち此曲線は電車の走行特性を表はすもので横軸に時間、縦軸に速度を畫いたものである。

今電車の最大加速率及び最大許容制動率を毎秒毎時 2 哩とも自然減速率——即ち水平直線軌道上各部摩擦のみに依る速度減少率を毎秒毎時 1/4 哩とすれば第二十九圖の AB で示された或距離を行くに要する指定時間を知つて此曲線を作ること次の如くである。最も簡単な場合は圖に示す如く Aa 線上で A から C までを毎秒毎時 2 哩の傾斜に引き、C に於て電車は電源を斷ち CD 線——毎秒毎時 1/4 哩の傾きで D に達すればこの點で隋力運轉を止め制動機をかけ毎秒毎時 2 哩の傾きある bB 線の方向 DB 線上をすぎ B で全く停車する。此全走行距離は各階段の速度に其時間を乗じたもので面積 ACDB を以て表はされる。同型の速度時間曲線は常に同じ面積を覆ふ。

即ち加速中に電車體にあたへられた電力は運動量 (Momentum) の形で常に全重量と速度の自乗との積に比例した勢力で蓄へら

れる。従つてこの運動の勢力は C で最大となりこの點から惰力運轉中、各部摩擦や風壓のため次第に失はれ最後に制動機で完全に放擲される。

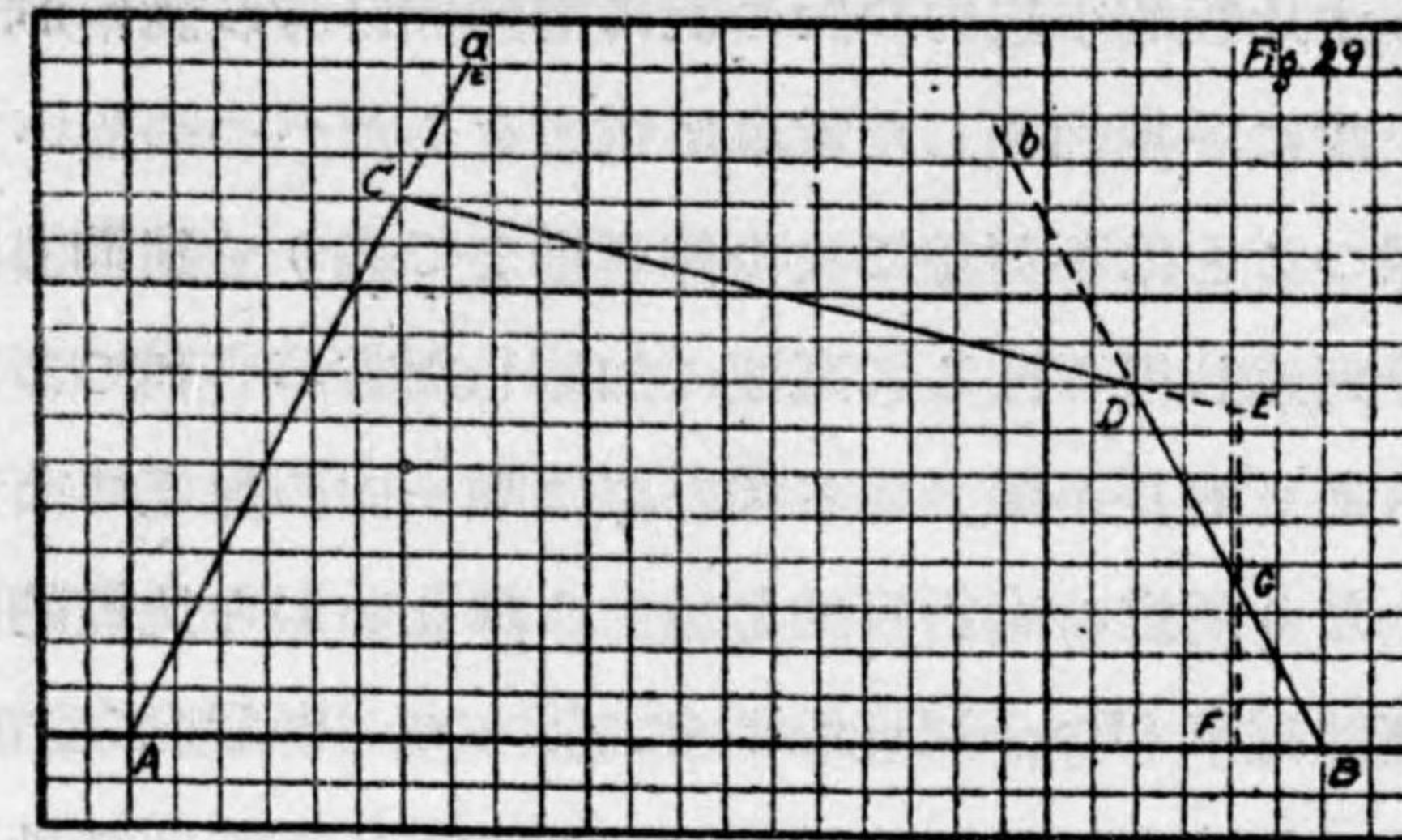
今大體に於て一定摩擦失と考へ、同じ走行距離に對し此摩擦のために失はれる勢力は一定となる。又制動機に依つて失はれる勢力は之を用ひ初める D 點の速度を以て代表されるからこの D 點が低い丈此損失少く従つて全體の運轉能率を高めることができる。更に極端ではあるが CD の惰力運轉を E までのばし圖に於て面積 $DEG = BFG$ に取れば ACEF も亦兩停車場間の走行距離を表はし此 EF 線は AB の時間軸に垂直で B の停車場に到着した時の速度で急に制動機をかけて此點で停車したとすれば最も高能率の運轉法である。

此兩停車場間に或重量の電車を運轉するに要する勢力——即ち諸々の摩擦損失（若し阪道があれば之をのぼるに要する所要増加勢力を加へる）と全消費勢力（電力）——即ち摩擦損と制動機に失はれる勢力の和との比を此走行に於ける運轉能率（Operation efficiency）と云ふ。

例へば第二十九圖乃至第三十七圖に示す如く一定時間（130秒）内に一定走行距離（AB 兩停車場間）——即ち速度時間曲線の包む面積が一定な場合に於ける各種の運轉法がある。

- (1) 毎秒毎時 2 哩の加速率、毎秒毎時 1/4 哩の惰力運轉、毎秒毎時 2 哩の制動率で最大速度毎時 60 哩、制動機内で失はれる勢力は速度 $EF = 34.5$ 哩（毎時）で表はされる。（第二十九圖）

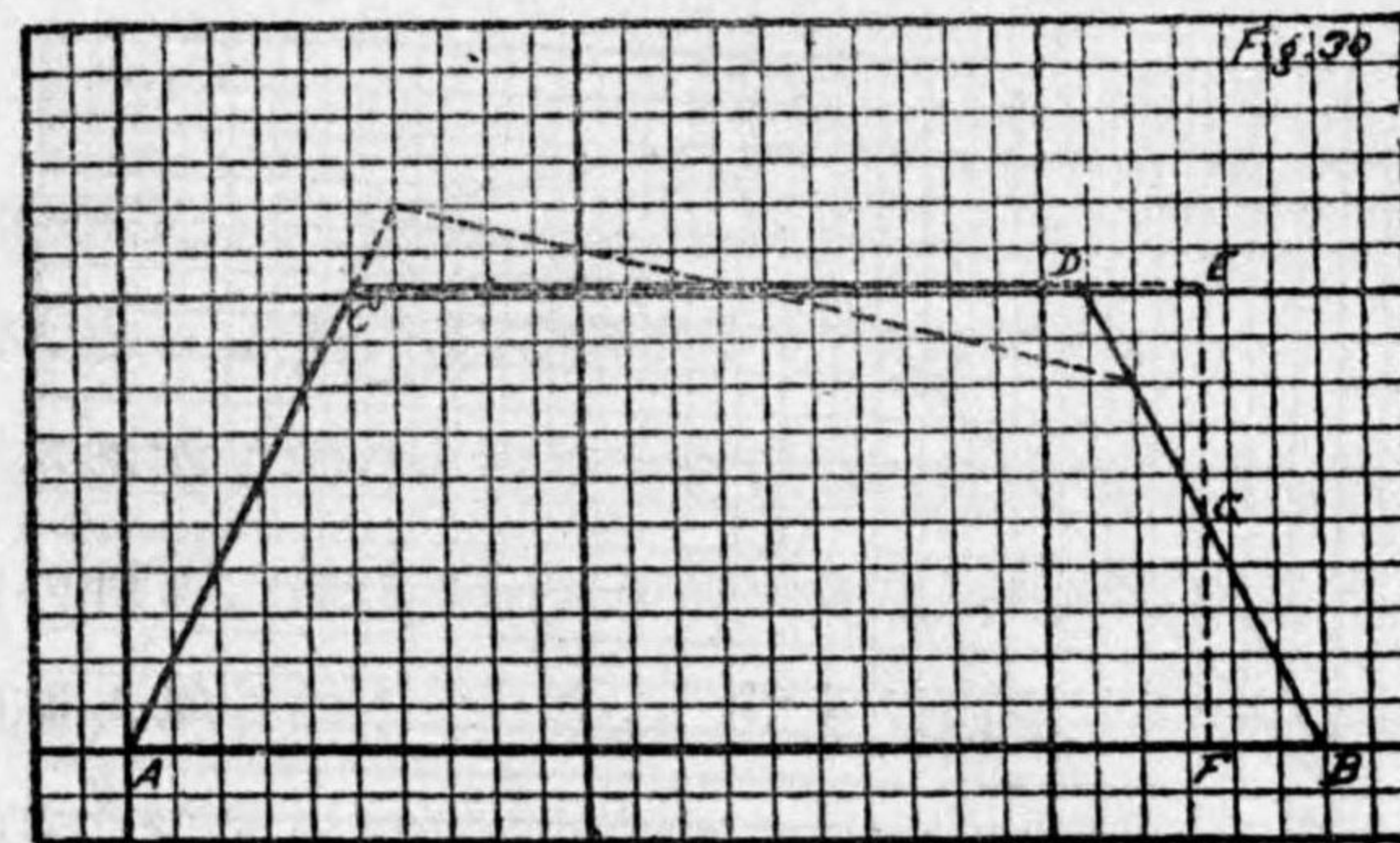
第二十九圖



高速電車の速度時間曲線

- (2) 加速及び減速率は各々毎秒毎時 2 哩で一定速度運轉は第三十圖の如く第二十九圖と比較のため之を點線で折重ねれば最大速度は多少減ぜられ毎時 51 哩となるが制動機をかける瞬間の速度が高く其損失を増す。

第三十圖



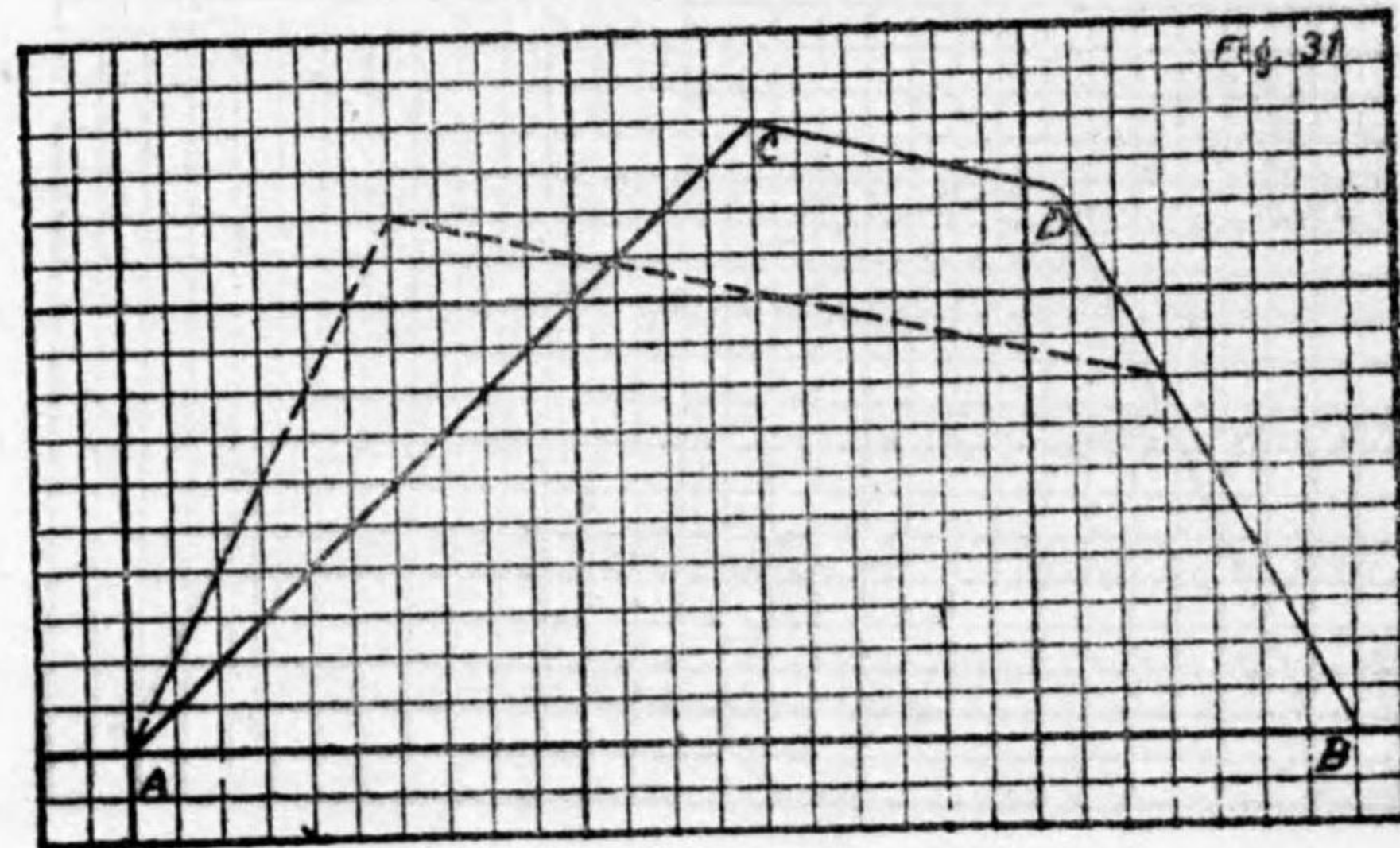
定速運轉と速度時間曲線

従つて一定速度運轉は惰力運轉に比して其運轉能率を減ずるのみならず比較的小馬力のため既に電動機自身の能率が著しく減ずる。故に一旦加速した電車に電力をあたへつつ強いて一定速度を保つことは不利益で次の停車場まで終りで制動機を掛ければ充分到達し得られる迄高速に加速した方が有利である。然しながらあまり長距離である場合には唯一回の加速では到底時間が長くなり所定の走行目的を達せられないから比較的短距離停車の高速電車 (Rapid transit) に於てのみ此原理が成立する。

(3) 加速率毎秒毎時 1 哩、制動率 2 哩、(毎秒毎時は以後省略せり) 惰力率 1/4 哩 —— 即ち比較的加速率が低いため第三十一圖に示す如く一定時間内に所定の走行距離を得るには更に大なる最高速度、従つて比較的高い制動速度となり全體の運轉能率を低下する。

尙ほ第三十一圖の點線は第二十九圖を折り重ねて比較に便す。

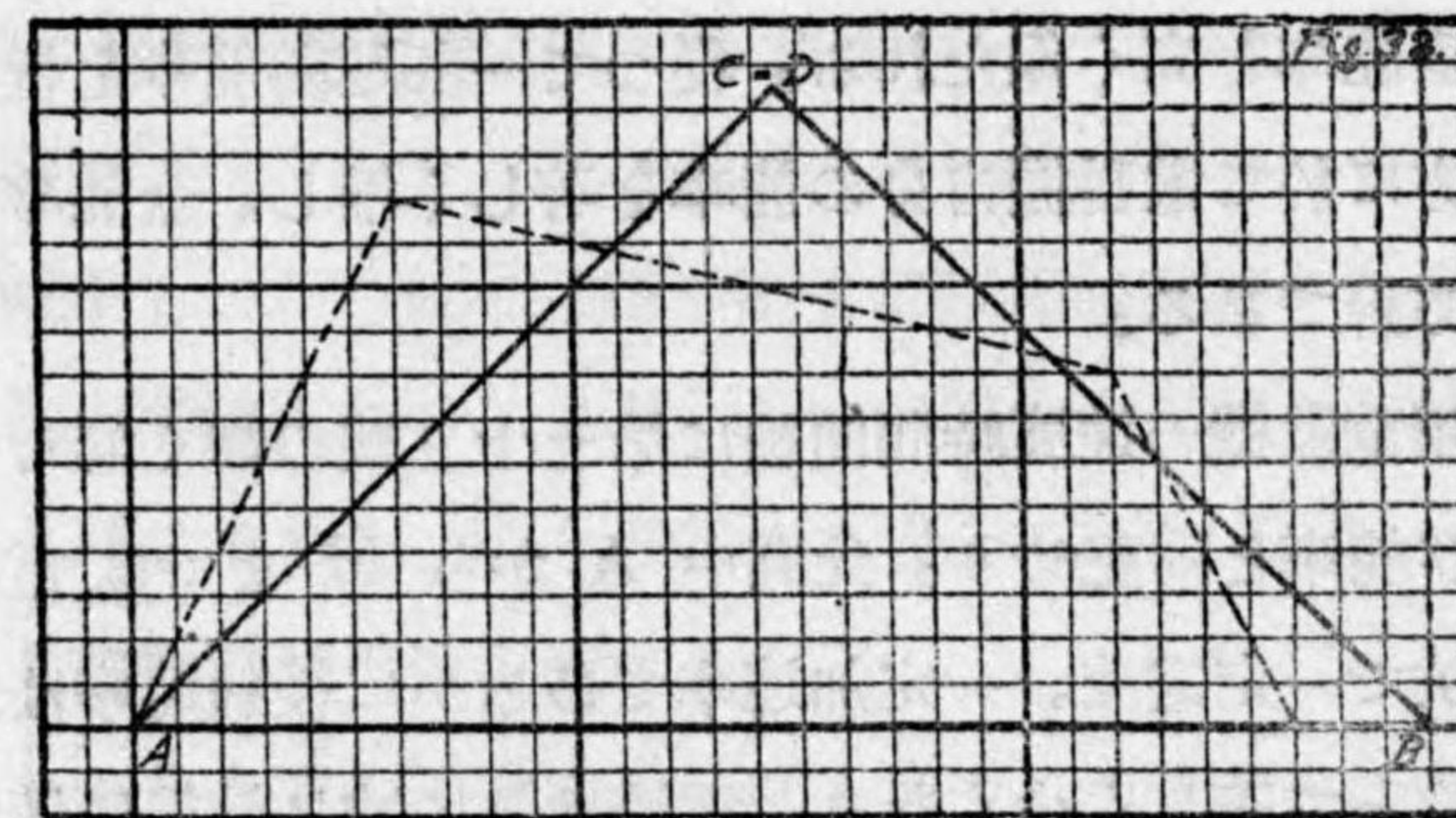
第三十一圖



過少加速率と速度時間曲線

(4) 一定加速及び減速率 1 哩、惰力運轉 1/4 哩とすれば既定の 130 秒では兩驛間を走りきれぬ。第三十二圖の點線は第二十九圖と比較したこの種速度時間曲線で更に大なる損失速度を有し——従つて運轉能率が低いことは勿論のこと最少限 145 秒を要す。換言すれば一般に加速率及び制動率が大となれば所要最高速度が減じ運轉能率を増す。又最大速度迄一定の加速率とすれば加速率の大なる程高能率を得られる。然しながら加速率を増すには一層大きな電動機を要するが所要全電力は此強大加速率のため時間が短く結局少くなる。(低加速率の場合に比して)

第三十二圖



低加速率低制動率の速度時間曲線

停車数の多い場合に高能率を保つには出来る丈加速率を増し惰性を利用し、最後に出来る丈大きな制動率に設計される。第二十九圖に示す如く A から C までの間一定加速率を保つには電動機と直列に加減抵抗器を入れ、最大速度 C と同様の廻轉力を常に保たねばならぬ。然るに速度に比例する有効吸收電力

は特に一定廻轉力運轉では低速度に於て著しく電力を失ひ、起動の瞬間から最大速度迄を平均して半分の電力を利用し残りの半分は徒らに抵抗器内で損失となる。従つて此起動加速時間中の電動機自身の能率は 50 パーセント以下である。

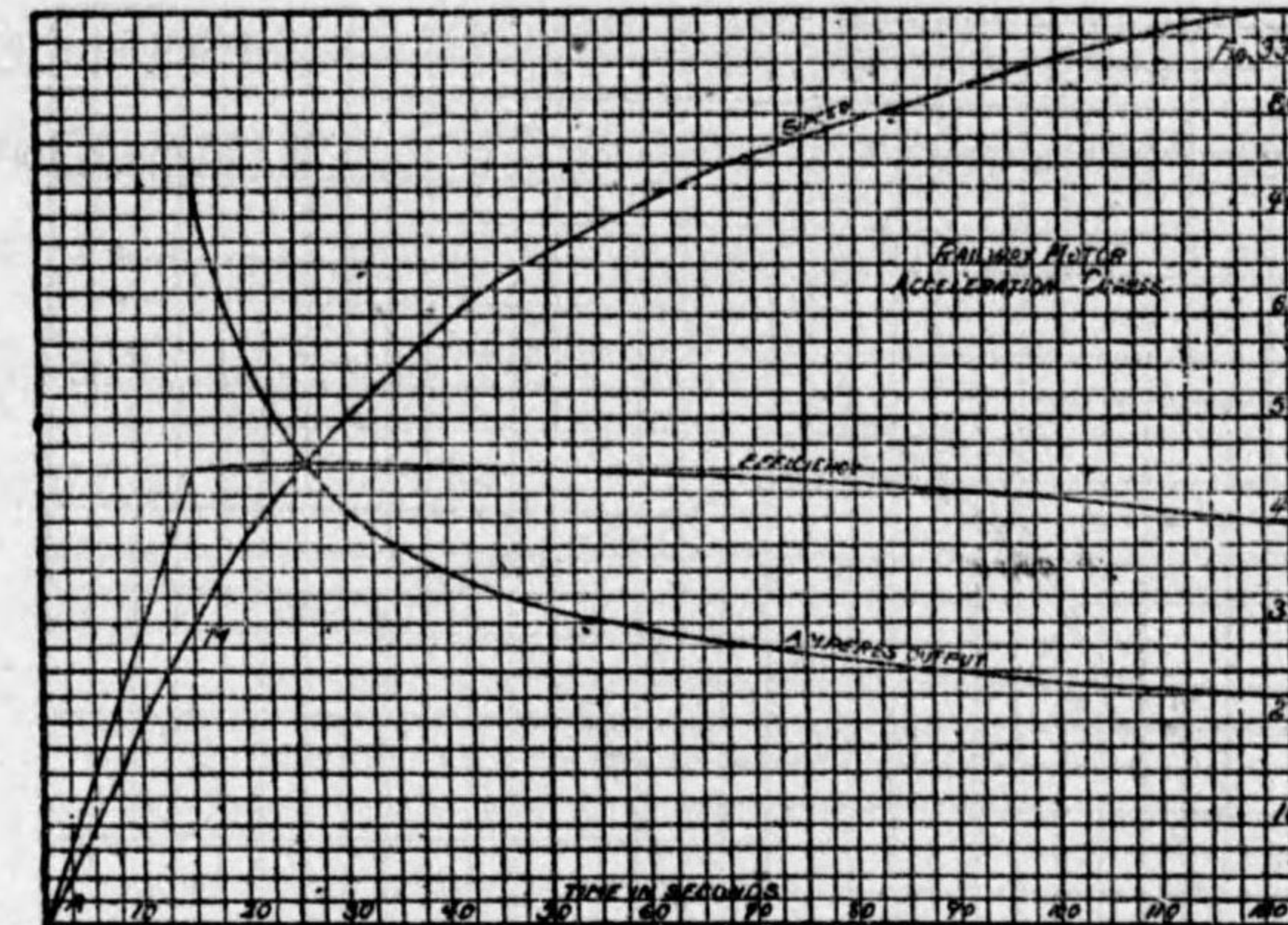
故に最大速度迄の一定加速率運轉は電車自身の運轉能率 (Operation efficiency) には良い結果をあたへるが一方電動機の能率が低下するため合成能率 (Combined efficiency) ——即ち運轉能率と電動機能率の相乗積は更に低下する筈である。

換言すれば誘導電動機の如く定速度特性を要する譯であるが、全能率 (Total efficiency) からすれば最適と云はれないで寧ろ一部は加速率は減じてても電動機自身の特性曲線上を利用する方が全能率を高く保たれる。従つて一部運轉能率を犠牲にするが他方に於て電動機自身の能率を著しく増し、全能率の改善を計る方針である。

電车用電動機 の速度時間曲線は第三十三圖の如く同時に吸収電流及び能率を附記せり。此圖中 A から M までは電動機の直列抵抗で一定電流、一定加速率であるが以後加速率は最初多少減じ次いで著しく少くなり。電流は急に減じ最後に僅か宛減するが能率曲線は A で零 M までは次第に増し最大 90 パーセント附近で速度の増加にかゝらず大凡この一定値を保持する。

(6) 第三十四圖は電車の速度時間曲線で電動機 の特性曲線を利用し、加速及び制動率を最大 2 哩惰力率を 1/4 哩としたもので第二十九圖が點線となつて折り重なつてゐる。A から

第三十三圖



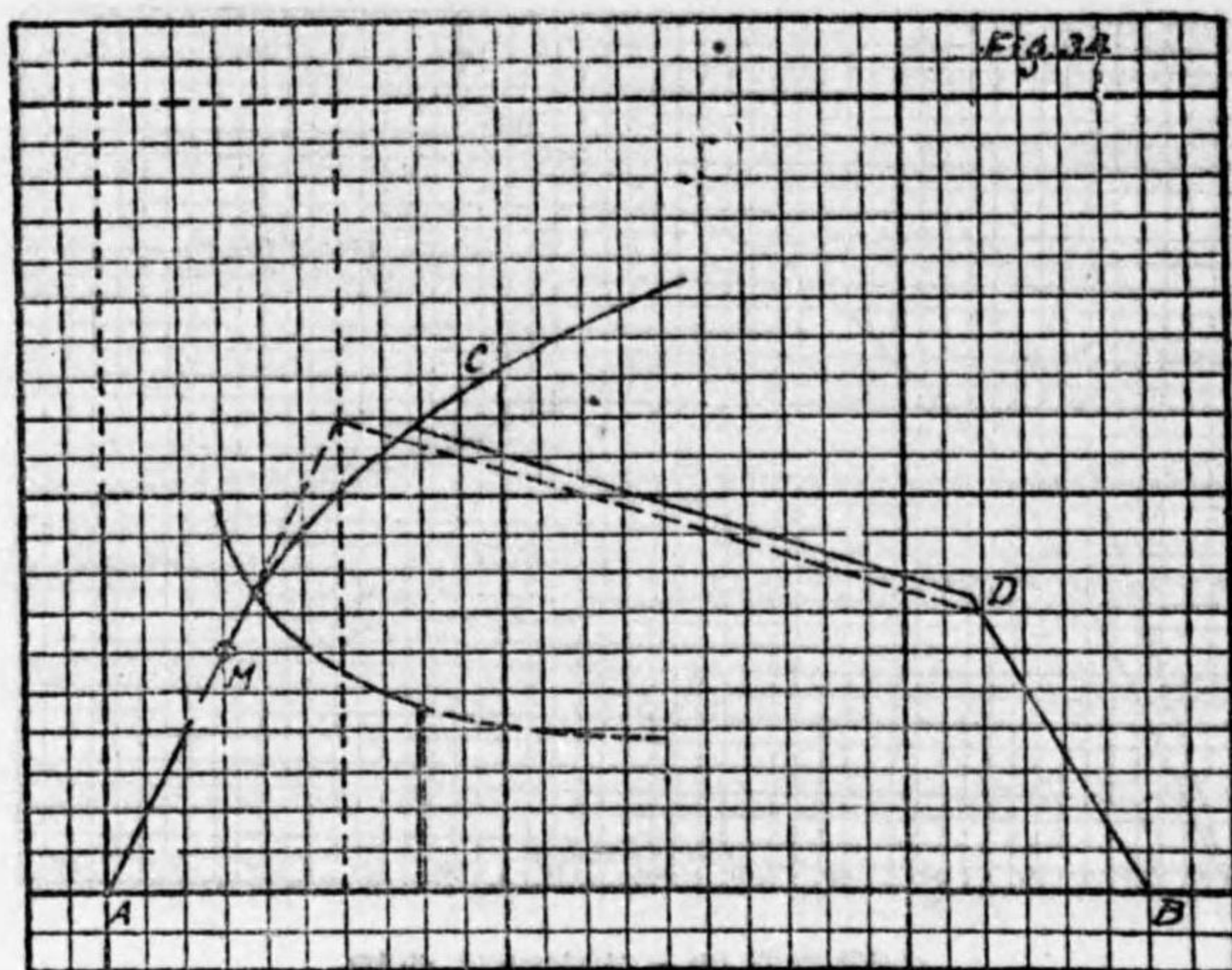
直捲電動機 の速度時間曲線

M までは起動抵抗を利用し一定加速率一定電流が M 點に到つて全部直列抵抗を除き以後電動機 の特性曲線に従つて加速率は次第に減少し、C に於て電路を断てば以後制動機をかけるまで電車は惰力運轉となり、AMCDB が兩停車場間の距離で第二十九圖と同じである。即ち理想的の場合に比し D 點が多少上るから此運轉能率は僅か減する。

然しながら全體の消費電流は低く従つて消費電力は著しく減じ合成能率は非常に増加する。

(7) 第三十五圖は他の速度時間曲線で電動機は減速齒車であまり減速しすぎ M 點があまり早く來たため電流を長時間流し著しく電力消費を増し低い合成能率となる。即ちあまりに長く電動機 の特性曲線に促はれことの不利なことを明示する。従つて最も通常な電動機特性曲線は最高速度の半附近で第三十

第三十四圖

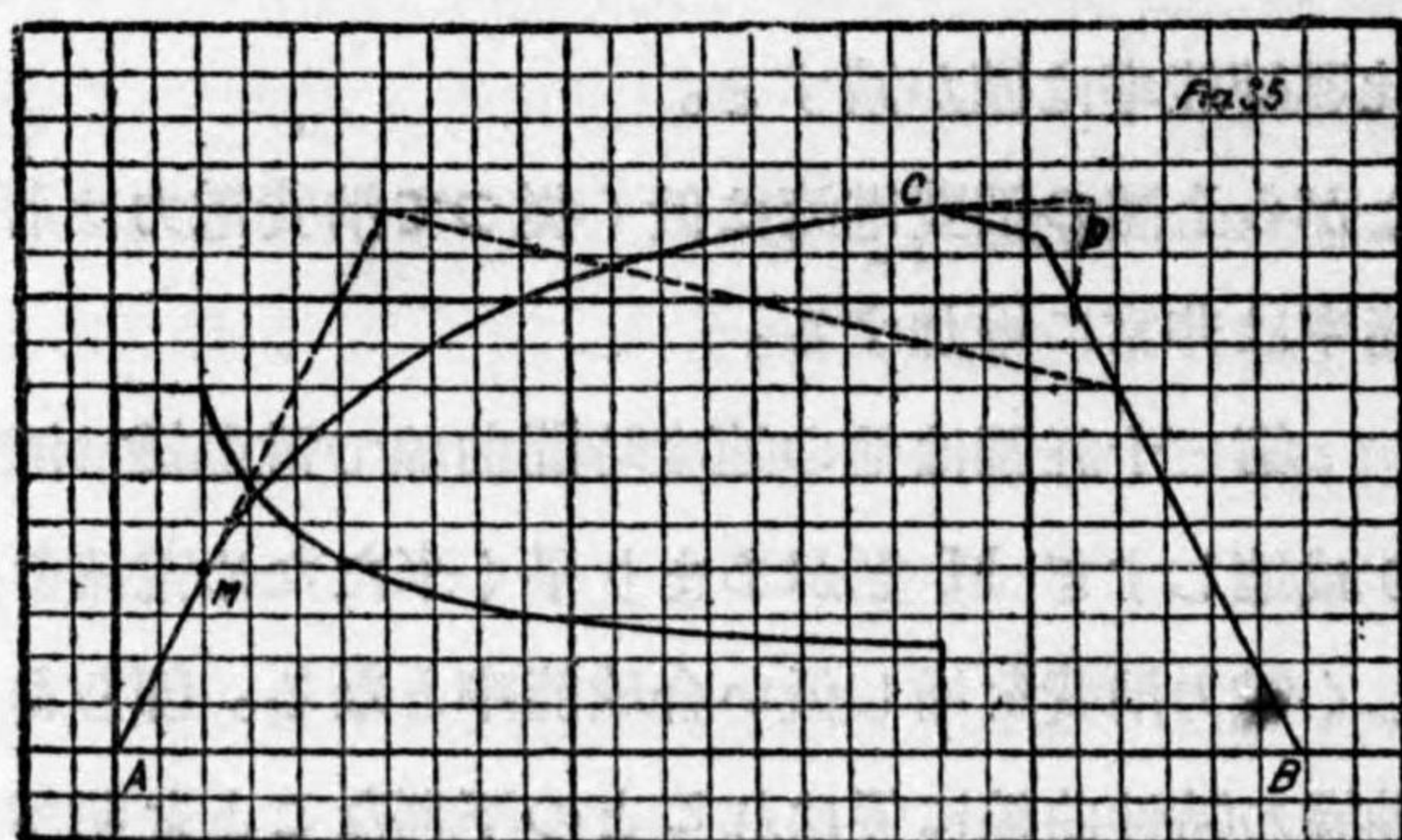


直捲電動機の速度時間曲線

四圖に示す如く抵抗加速と電動機特性とを半々に選ぶがよい。

(8) 尚ほ一定電壓では抵抗器による速度調整中に二臺の電動機を直列に結べば第三十六圖の直併列制御特性の示す如き

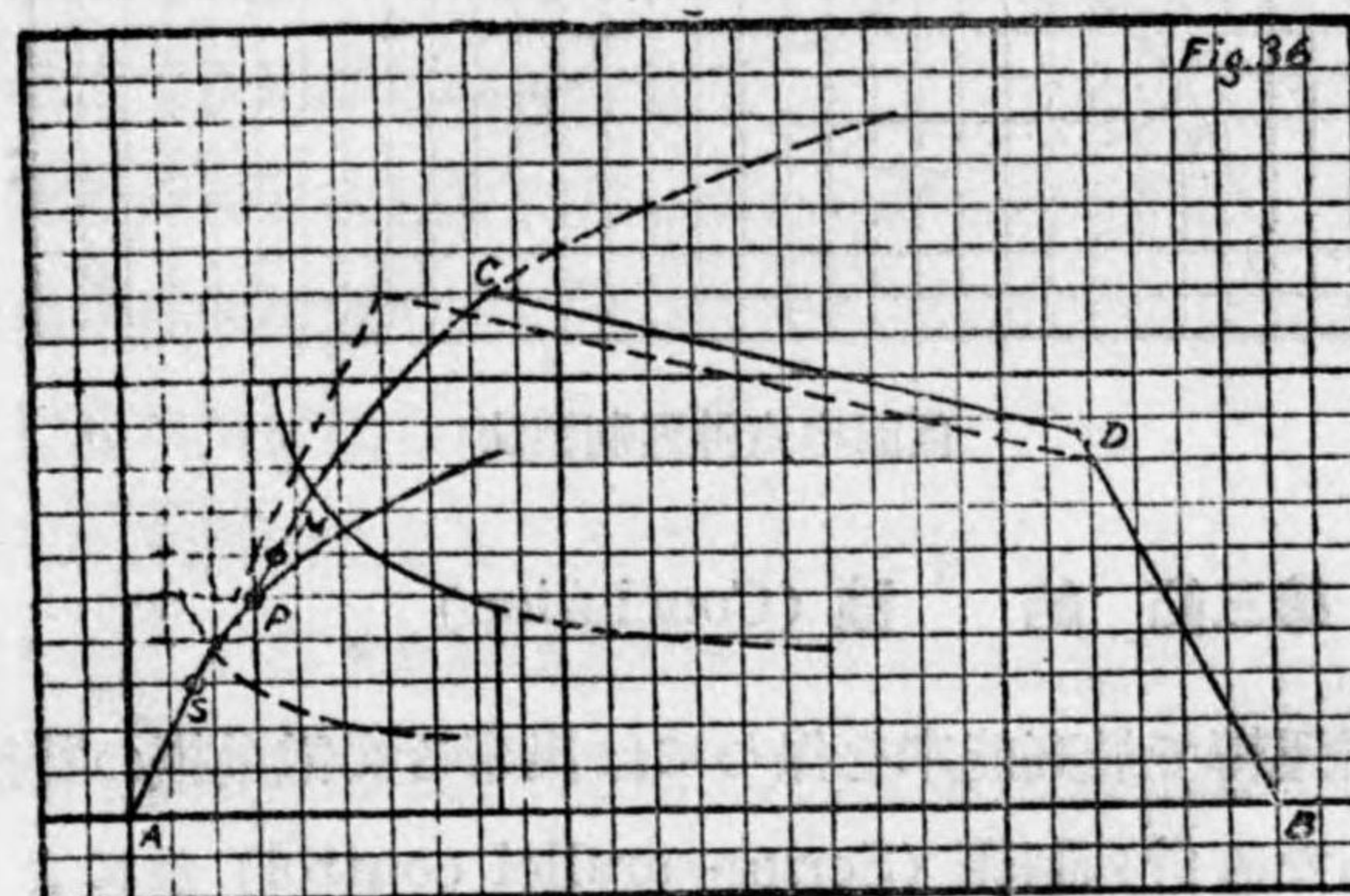
第三十五圖



能率低下速度時間曲線

電力節約を得るが之れ亦あまりに直列運転に従へば第三十七圖の SP が非常に長く平均加速率及び運転能率を著しく減ずる。即ち損失面積が大きく之を補ふため比較的高速度で制動機損失を増す事になる。故に此直列運転は直列抵抗がなくなれば直ちに次の併列に侵入せねばならぬ。

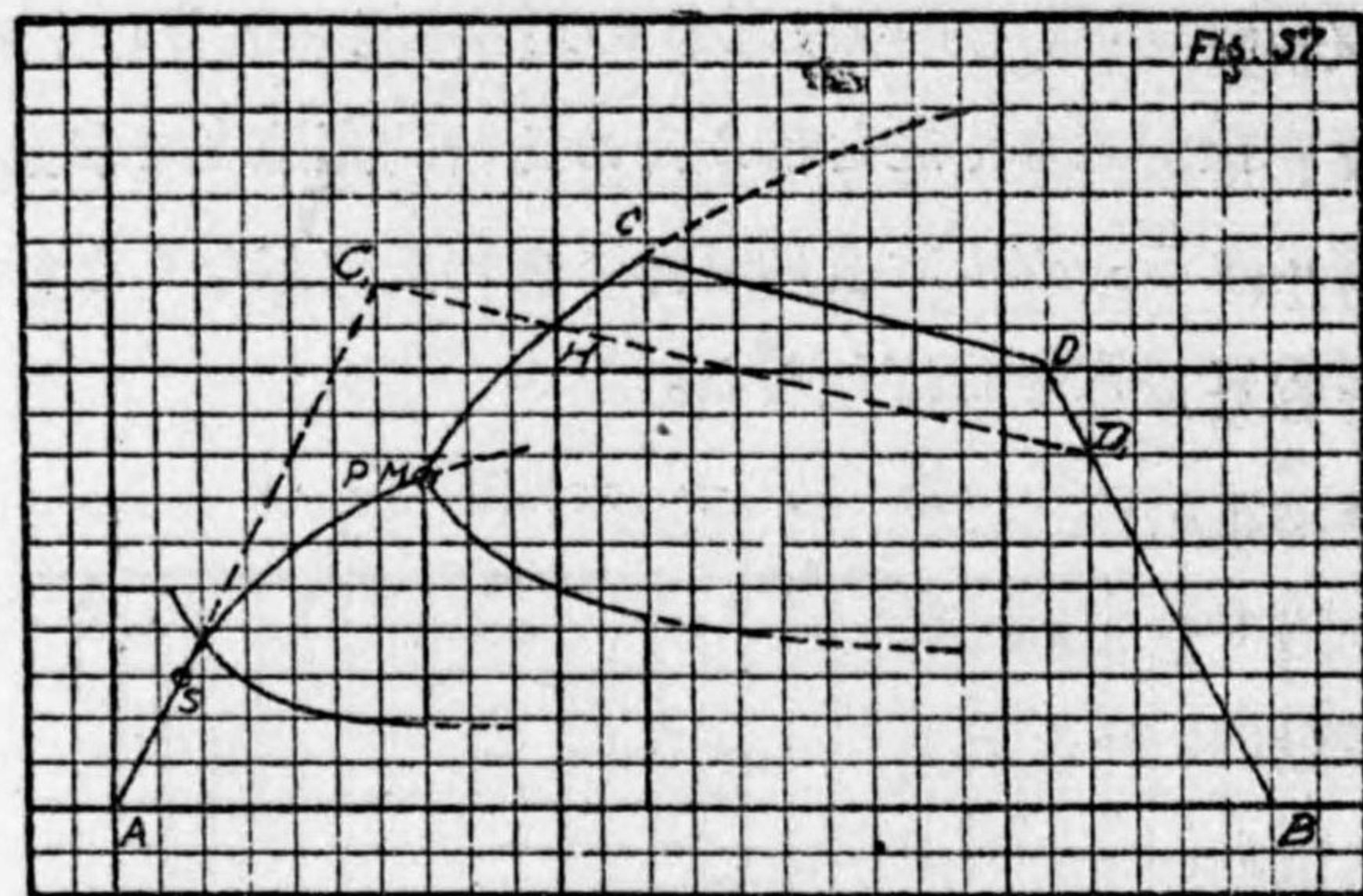
第三十六圖



高能率直併列制御法

第三十六圖及び第三十七圖に示す如き直併列結線で特に直列結線の場合を比較せんに AS 間は直列抵抗で直列の儘加速し、SP 間は直列で電動機特性曲線の上を走り、PM 間では併列結線で抵抗を再び直列に結ぶ。最後の MC は電動機併列特性を其儘に用ふ。この時標準の第二十九圖を點線で之に折重ねるに ASPMHC₁ の面積は失はれてゐるが之は HCDD₁ で取りかへしてゐる。然し兩度とも標準曲線に比し制動速度が高く制動機損失が増すが一面それ以上電動機能率を利し結局合成能率を増加する事になる。

第三十七圖



低能率直併列制御法

第三節 結論 (Conclusion)

短距離運轉で最高能率を保つには出来る丈電動機特性曲線に近づいた直併列制御 (Series-parallel control) 法により、平均加速率及び制動率をなるべく高く保ち必要以上電流を適せずなるべく惰力運轉を爲すこと。

又走行距離が長くなる程加速率及び制動率は重大問題でなくなる。

短時間大なる加速率のため電動機の發熱度は低い加速率で長く電流を通じた場合に比して低くなる。

高速電車 (Rapid transit) では電力再生法を用ひない。何となれば有効な速度時間曲線は惰力特性を利用するに在り且制動機をかける頃もはや著しく速度が低く徒らに複雑な結線を用ひた丈有利でない。然のみならず停車にも電動機を使用すること

は此種の發熱度比較的高い電動機には再生 (Regeneration) は勿論電氣制動法もなるべく使用を避けた方がよい。

之に反し長距離電氣鐵道が特に山地を横斷する如き場合には此電力再生は一面電力の節約となるのみか制動機の壽命を増し運轉法を容易ならしめる。

尙ほ誘導電動機は同期速度以上にかぎつて電力を再生するから山岳地方で長距離運轉には望ましいものである。(但加速中に於て電動機特性曲線を利用しがたいから起動能率は低い)

又直捲電動機は最も多く用ひられるが次の如き諸缺點を有することを忘れてはならぬ。

即ち速度が無制限であるため特に昇降機の如く輕負荷でも速度の狂騰を防ぐ必要上複捲電動機が速度制限上望ましい。即ち直捲々線はこの場合加速能率を増すため起動後短絡するを普通とす。

第十三章 電鐵用電動機の特性

電氣鐵道方式の運轉經濟は使用電機の数、電線路の減少と共に向上し、是等は電源負荷の變動と共に其量を増し不經濟となるから此系統に於ては出来る丈電力の増減する程度を減ぜねばならぬ。

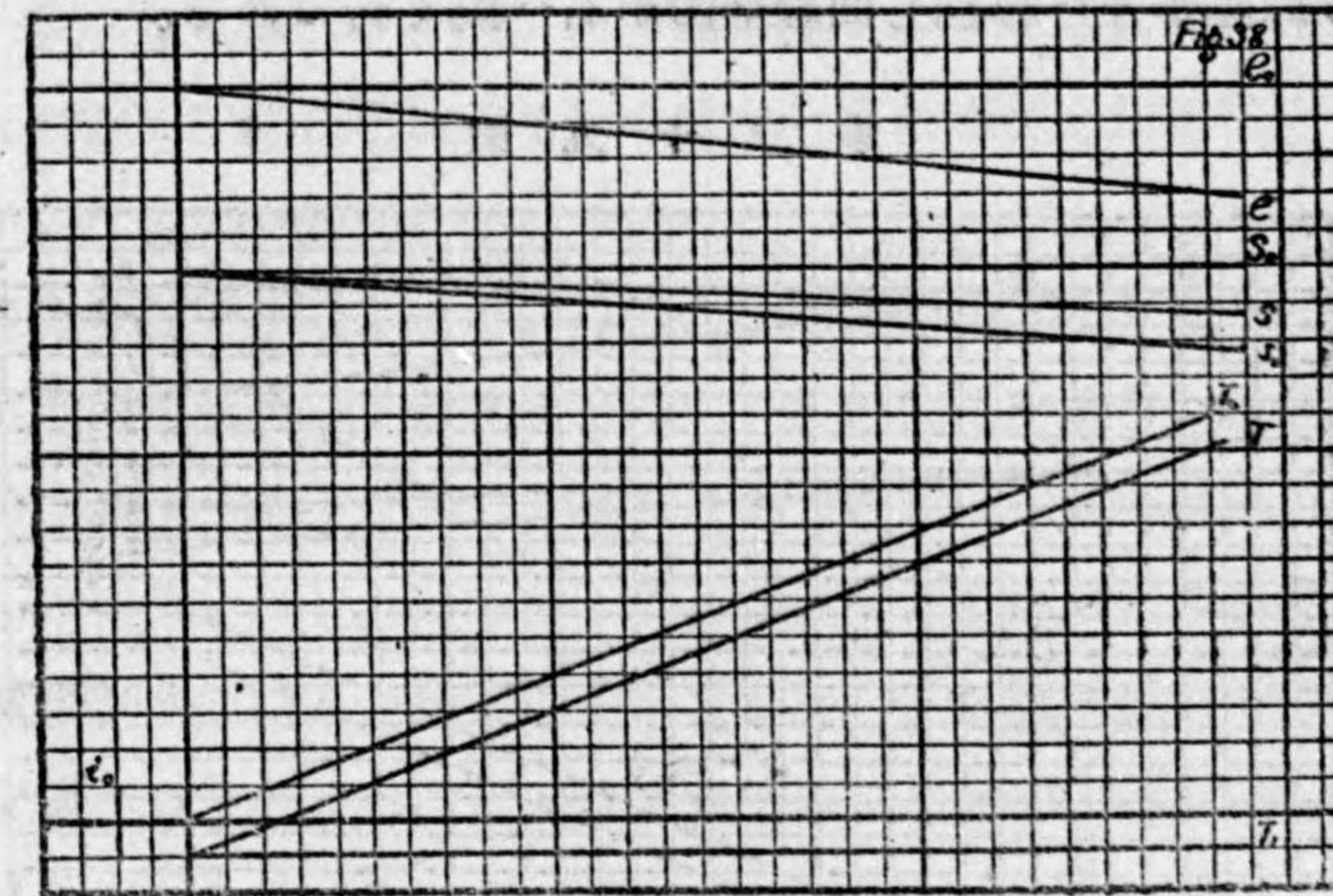
然るに電鐵用電動機は起動及び急勾配等に於て水平直線軌道で正規の運轉中に比して著しく大きな牽引力を要する。従つて直流分捲電動機、或ひは交流誘導電動機の如く定速特性のものでは電動機の廻轉力（即ち牽引力）に比例した電力を吸収し電源電流の變動がはげしく到底此目的には使用されない。

之に反して直捲電動機の如く自變速（Varying speed）のものでは此電力消費は速度と廻轉力の相乗積に比例し、廻轉力は負荷の増加につれて著しく速度が下るから吸収電力は所要牽引力の如く變化しない。従つて直捲電動機を使用すれば分捲電動機或ひは誘導電動機に比し電源電流の變動が少く、且速度の減少につれ著大なる牽引力を出すため現今電鐵用電動機として専ら用ひられるやうになつた。

一般に電動機の廻轉力は大體に於ける磁極の強さと發電子電流に比例する。但此場合には電動機の内部損失を省略し能率100パーセントと假定せり。

分捲電動機では第三十八圖に示す如く一定の供給電壓 e 、一

第三十八圖

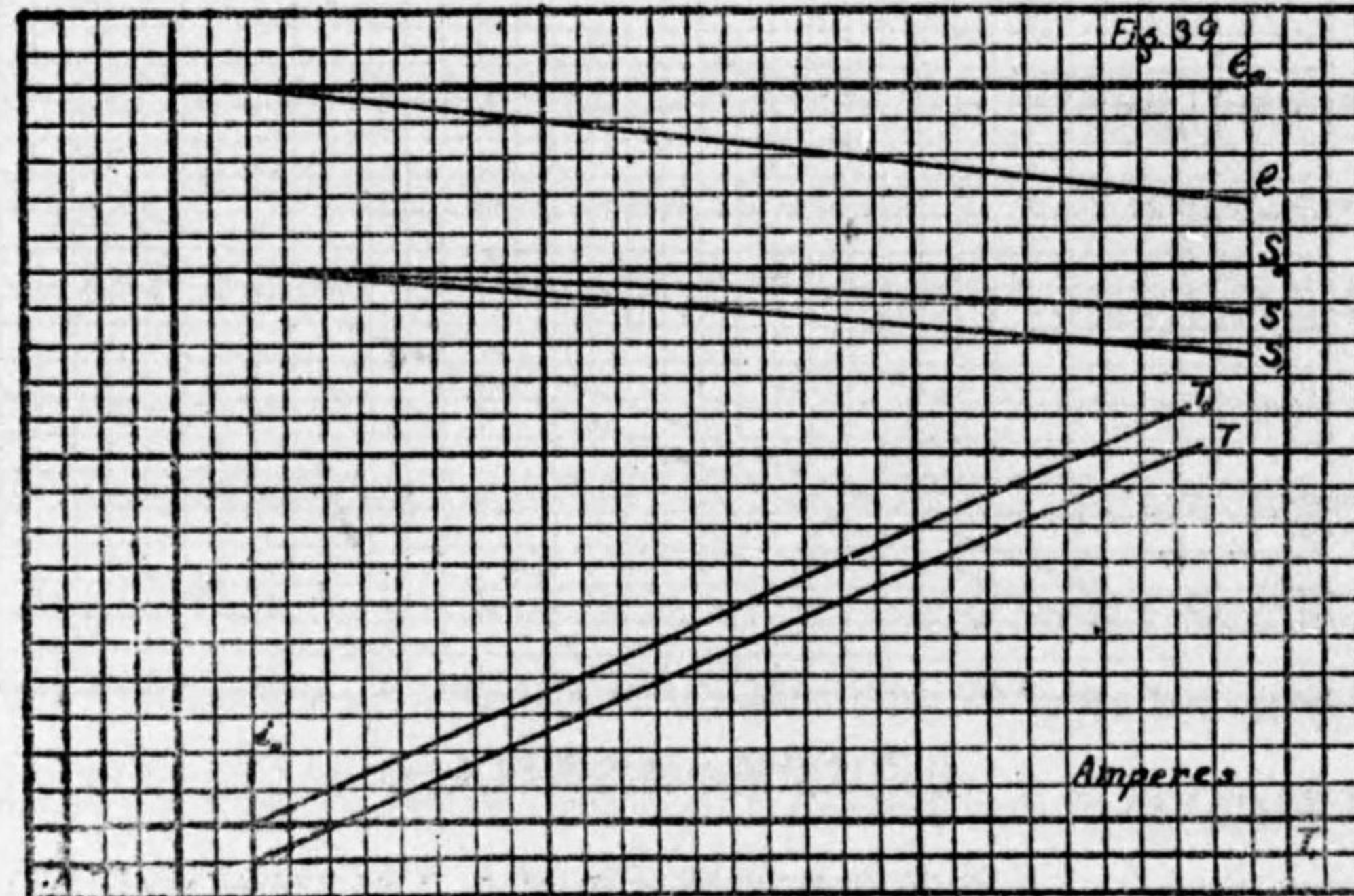


分捲電動機の特性曲線（一）

定勵磁電流——一定の磁極強度であるから此廻轉力 (T_0) は發電子電流に正比例する。然しこの廻轉力から更に摩擦損失、鐵損（大體の一定速度、一定磁束に對して T_1 に示す如く一定値を保つ）の廻轉力を差引き T が正味の廻轉力となる。内部損失を省略して電動機は速度は磁束が一定なため S_0 の如く一定であるから、一定の供給電壓 e_0 を吸収してこの速度を保つ筈である。然るに負荷の増加につれ電流が増し發電子内の電壓降下のため一定供給回路で廻轉に用ひられる有効電壓は ir に比例して減じ e の如くなる。従つて一定勵磁では S_1 となる。然るに一方に於て勵磁電流の有効度は空際に於ける磁束分布の歪と減磁作用とのため速度を回復し、 S 曲線の如くなる。第三十八圖は横軸に發電子電流を取るが全電流は僅かの勵磁電流 i_0

丈け大きく、若し全電流を横軸にすれば第三十九圖の如く i_0 丈け原點が左へ移動し曲線全體が右へ動く筈である。

第三十九圖



分捲電動機の特性曲線 (二)

若し分捲電動機で供給電壓を變化すれば同時に界磁電壓が變化し、電壓減少に對して同じ廻轉力を保つには之に比例して發電子電流を増加する必要がある。又磁路が飽和以下であれば供給電壓の減少に比例して吸収電流を増し、速度は一定に保たれる。即ち發電子には同じ速度で以前より低い反起電力を生ずる。然るに著しく飽和した磁極では僅かの供給電壓が變じても磁束にかわりなく同じ廻轉力を生ずる發電子電流には何等影響なく速度のみ減じて反起電力を供給電壓の如く減少せしめる。

之を要するに分捲電動機では磁極の飽和せないと飽和せるとに依つて一定廻轉力の下に供給電壓の減少は發電子電流の増加

と速度の減少とに分たれる。

一般に饋電線内の抵抗による電壓降下は分捲電動機の数には無影響で電流を増加する如くはたらきなるべく此電壓降下を減ずるため太い電線を要する。

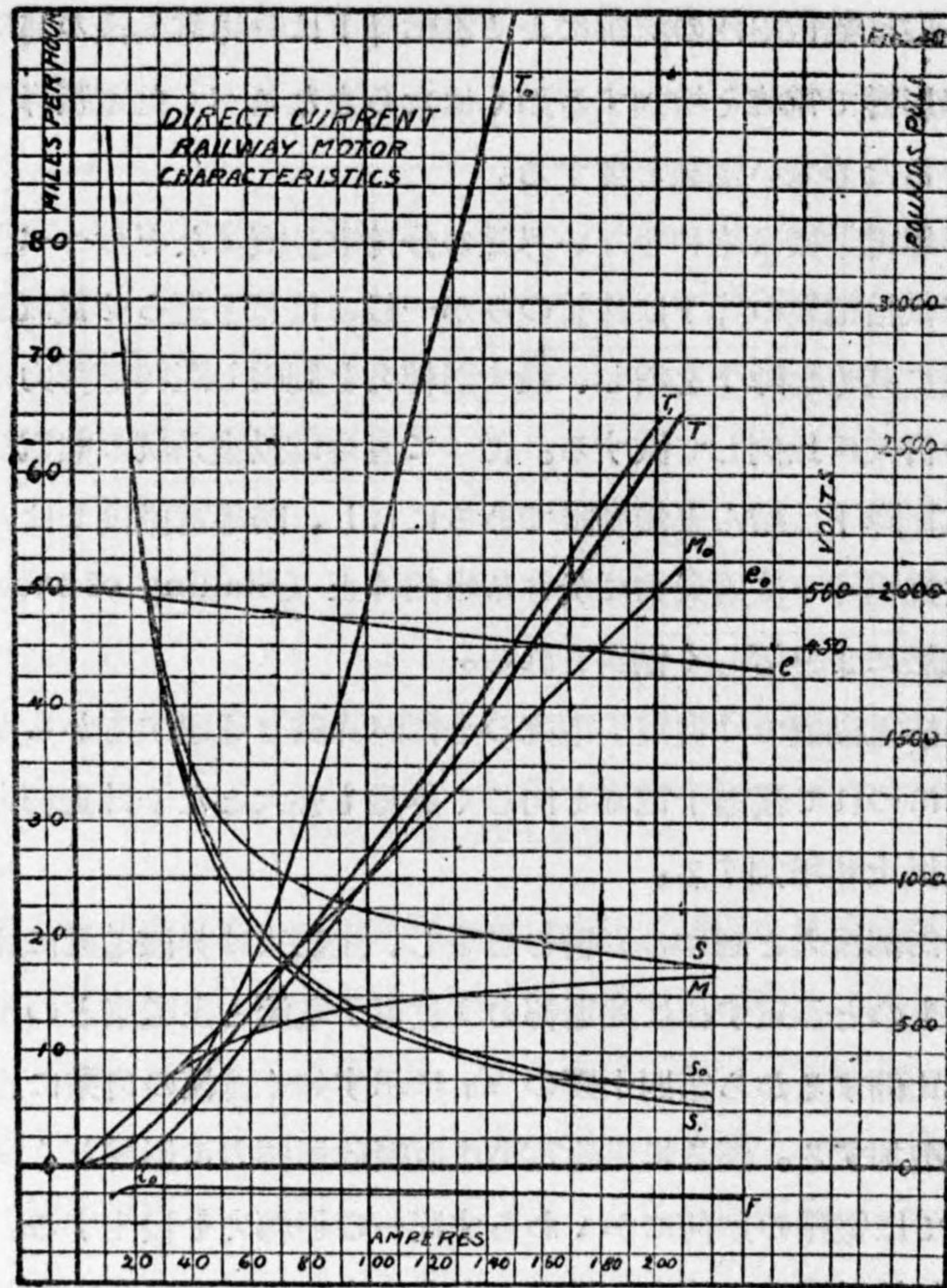
誘導電動機は飽和せない界磁の分捲電動機になぞらへべき特性で供給電壓の降下は其値のみが一般に位相を遅らせ電流を増し更に其電壓降下を増し、最大廻轉力を制限し運轉廻轉力は電壓の自乗に比例して減ずる。従つて直捲電動機系統の饋電線内の電壓降下は殆んど無制限であるに反し、誘導電動機では許容最大電壓降下は過負荷に於ける自然停止 (Stalling of motor) の危険により著しく制限される。

直捲電動機では發電子電流の全部が界磁を通過するから荷重増加につれて發電子電流と同じく界磁も強大となり此廻轉力は電流以上に増加する。

今内部損失と飽和の影響を省略し、主磁束は界磁電流に比例するものと假定すれば此廻轉力は發電子電流と主磁束との相乗積に比例するから第四十圖の T_0 に示す如く電流の自乗に比例して増加する。然るに供給電壓は直接此廻轉力に影響なく同じ電流では電壓の如何にかゝらず同一の廻轉力を發生する。又一定供給電壓では速度は界磁の強度に依り界磁の強度は負荷電流に左右されるから直接電動機は速度は電流に逆比例し第四十圖の S_0 の如くなる。

發電子の廻轉に有効な電壓は電流増加と共に e_0 から發電子及び界磁の電壓降下 ir を除き e となり同時に速度は S_0 から

第四十圖



直捲電動機 の 特性 曲線

S_1 へ同じ割合で減少する。

然し實際に於て界磁の強度は第四十圖の M_0 で表はされる如く比較的小電流の部分のみ此負荷電流に正比例し速度以上の電

流では磁路の飽和に依り M の曲線に示す如く著しく減ずる。かくて非常に大電流では殆んど一定値を保つに到る。界磁強度の減少と同様にこの速度は増加し、廻轉力は減じ實際の速度は S_1 から M_0/M の比に S 曲線の如く増加し同じ比で廻轉力は T_0 から T_1 に減ずる。この T_1 から更に摩擦、齒車損、鐵損等による損失廻轉力を差引かねばならぬが之等は又各一定値、他は電流の自乗に比例し、損失廻轉力は損失電力を其時の廻轉力で除すもので大體は一定値と考へられるが、第四十圖の F に示す如く低速度及び特に高速度で多少増大する。傾向がある。

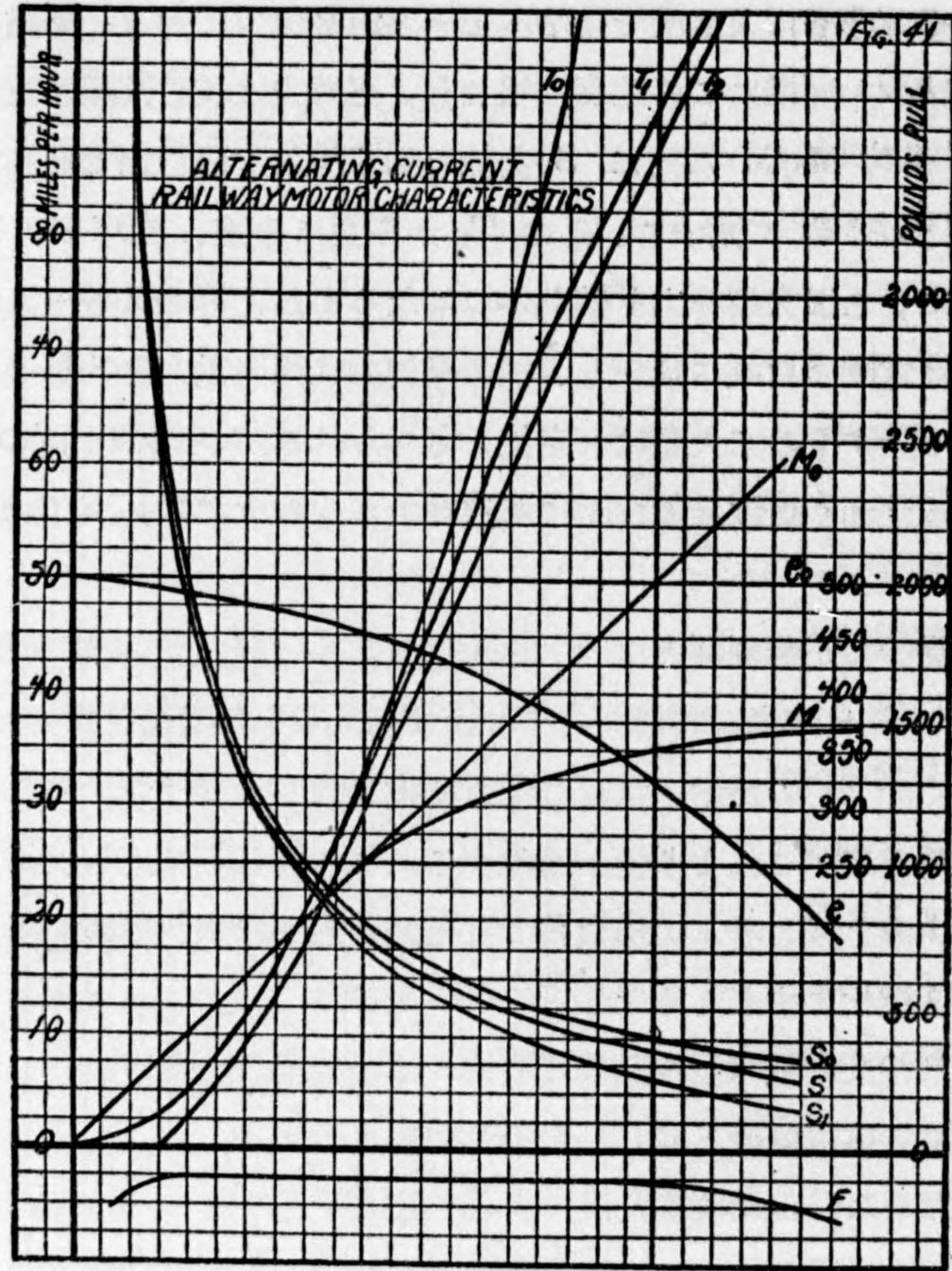
従つて正味廻轉力は T で示す如く i_0 點を通る直線となる。但し i_0 は無負荷電流で之に相當する速度を無負荷速度と呼ぶ。かくて i_0 の發電子電流で此直捲電動機は速度は最大となり、負荷電流がこれより僅か増加するにつれ著しく減速し次第に其減少率を減じ著しい過負荷では磁路の飽和に依り極めて僅かの速度變化にすぎなくなる。

單相交流電鐵用電動機は直接又は誘導型の直捲電動機で全く直流直捲電動機と同じ一般特性曲線を有する。

然しながら交流電動機では i_r 電壓降下の他 i_x によるもの、換言すれば各捲線の抵抗電壓降下の他、絶大の自己誘導作用の影響を受け發電子の廻轉に有効な電壓 e は第四十一圖に示す如く更に更に大きな電壓降下を有する。

即ち自己誘導作用に吸収される電壓は電流と直角の位相に起り、此電壓降下は直接電流に比例せず輕負流電流では少く、大

第四十一圖



交流直捲電動機の特性曲線

電流では著しく増し e の曲線に示す如く電流の増加につれ急に下方に彎曲する。速度 S_1 は誘導電壓降下のため更に多く減じ、磁路の飽和で S に増す。一般に交流電動機では飽和の影響

響更に少く之は交番磁束のためと、低い勵磁に於て良い力率を保つため豫測する如く高い飽和に到達することができないためである。

廻轉力曲線は大體直流直捲電動機のやうであるが前記の理由で飽和の影響が少いまでである。

能率については分捲電動機も誘導電動機も共に直捲電動機と五角で何れも廣い負荷の範圍で比較的高能率を發揮する。然るに直捲電動機の廣い範圍の電流變化は即ち廣い範圍の速度變動を意味し、分捲電動機は或特定速度のみで高能率を得るに反し、前者は速度變化に對し常に高能率を保つことができる。

又饋電線内の電壓降下に對しては速度が變化するのみで吸收電流は變化しない直捲電動機と、電壓降下により定速度で吸收電流を増す分捲電動機或ひは誘導電動機は普通の配電系統で寧ろ電流を制限するから前者が定電流で速度を減じて引きつゞき運轉するに反し、後者が過負荷電流のため有効電壓を減じ遂に停止するの危險あるに於て電鐵用電動機として何故に前者が後者に勝るかの理由が明かとなつた。

第十四章 電鐵用交流電動機

分捲電動機でも直捲電動機でも供給電圧の方向を變化すれば界磁及び發電子電流が同時に逆轉し其廻轉方向は依然同一である。かくの如く直流電動機の供給電圧の方向如何にかゝらず常に一定の廻轉方向を有する電動機は同時に交流電動機として使用することができる。但し交流では界磁電流が交番し鐵心内に渦流を生ずるから直流電動機の發電子鐵心の如く磁極も亦薄鐵板を積重ね作らねばならぬ。

交流電動機は發電子回路の抵抗及び其廻轉に要する吸收電壓の他前章に於て記した各捲線の自己誘導作用に打勝つ電壓を要する。回路に於ける抵抗に依る電壓降下は電力の損失となり徒らに其部分を熱するからできる丈け之を少く設計せねばならぬ。此發電子の廻轉に用ひられる有効電壓は又廻轉の起電力 (E.M.F. of rotation) と稱へ抵抗による電壓降下の如く電流と同位相に在る。界磁の逆轉に依る自己誘導作用の吸收電壓は一名交番の起電力 (E.M.F. of alternation) と稱へ、電流と直角の位相にあり無効電力を吸収し電力の損失とはならぬが電流の位相を遅らせ電動機の力率を低下させ同じ馬力 (Output horsepower) に對して大なるヴォルトアムペアを吸収する有害な分力である。

電動機の有効電壓——即ち廻轉の起電力は速度に正比例し、

(廻轉の周波數 f_0 に比例すると云ふが正當である。) 界磁の強度 F と發電子の有効捲數 m に比例する。無効電壓 (Wattless voltage) 即ち界磁の自己誘導に依る有害電壓は供給周波數 f と界磁の強度 F と界磁の捲數 n に正比例する。この有効電壓と無効電壓との比——即ち $m f_0 \div n f$ で有効電壓を大きく無効電壓を小にするにはなるべく發電子の廻轉周波數 (f_0) を大に供給周波數 (f) を小にする必要がある。従つて整流子電動機では 25 サイクル以上では著しく力率が低下し、あたへられた廻轉の周波數——即ち毎秒の廻轉數と極の對の數の相乗積に對しなるべく極數を多くするから一般に直流電動機に比して全極數が大となる。

又良き直流電動機は主磁極を強く、發電子磁束を弱く設計し良き整流作用を得るため主磁束の歪を減ずる——換言すれば $n > m$ となつてゐる。然るに交流電動機では前記の如き設計では假定供給周波數 f が低く廻轉の周波數が高くとも力率が著しく低く實用とならぬ。

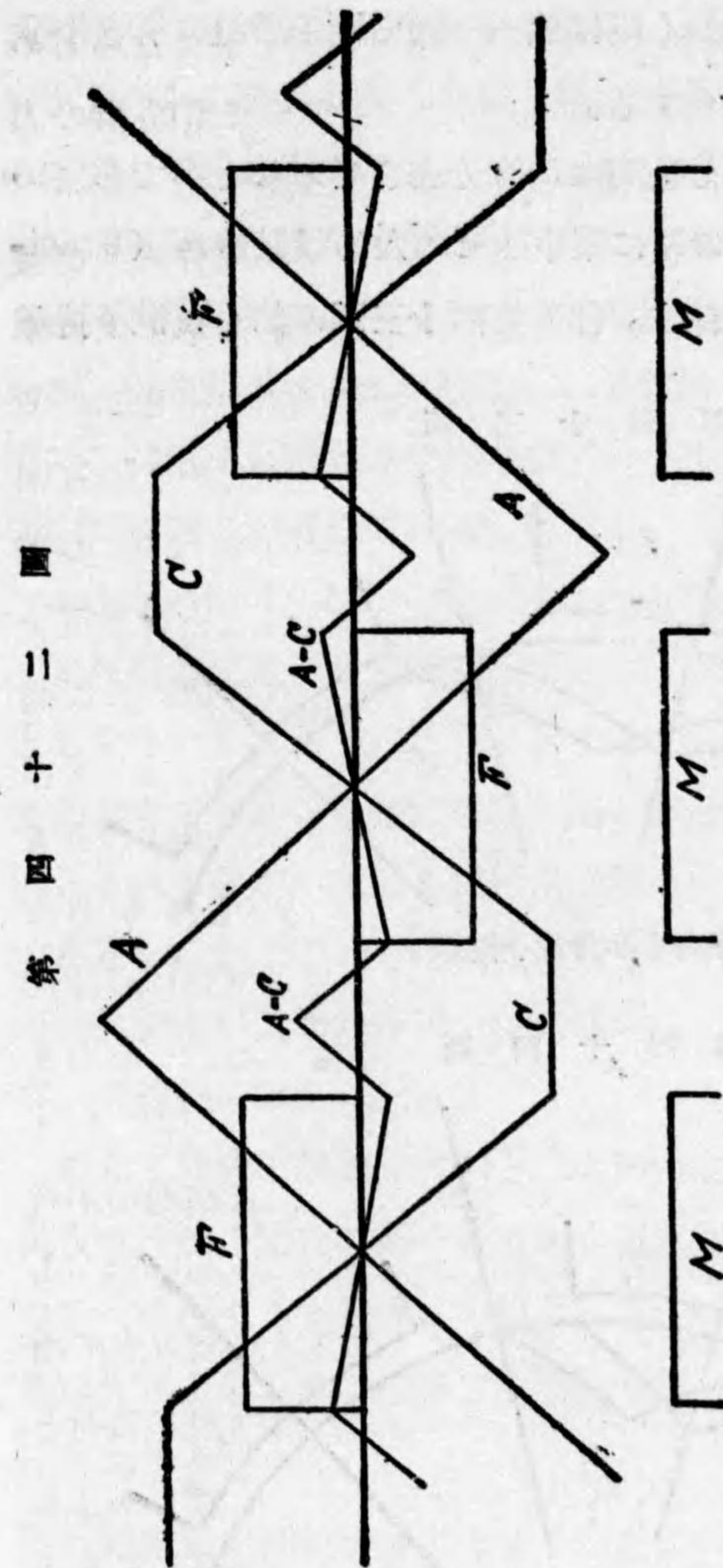
従つて交流整流子電動機ではなるべく主磁束を弱く、發電子磁束を強く——即ちできる丈け $m > n$ の差を大に作らねばならぬ。然しこの方面にも實際の設計に或制限を生ずる。即ち主界磁の歪が大となれば一面直流電動機の如く整流作用を害するからである。かくの如く發電子捲數を多くすれば發電子自身も相當に自己誘導作用を起し發電子電流の交番に基く無効起電力を吸収する。此發電子の自己誘導作用は直流電動機では小でも交流電動機で發電子の捲數が大きく界磁の捲數が小であるため各

捲線の捲数の自乗に比例する自己誘導作用は前者に於て可成り著しい。要するに兩捲数の比は全自己誘導作用を最小ならしめる方針で $m:n=2:1$ に取る。然し此比例でも尙ほ電動機の力率低く特に中位以下の速度に於て著しい。

故に交流整流子電動機では發電子捲線の自己誘導作用及び發電子反作用を中飽し前記の捲数比を保つても良き力率を保持する特別の装置を要す。之がため發電子捲線に近く主磁極面に所謂補償捲線 (Compensating winding) を備へ發電子と逆方向の電流で發電子と同じアムペヤターン (Ampere-turns) の捲線を施し、發電子のアムペヤターン相互に打ち消しあひ發電子の反作用——即ち發電子電流に依る磁束及びこれに依る自己誘導作用が現れない。

この發電子の自己誘導作用を中飽させる補償捲線は古き昔 R. Eickemeyer に依つて交流整流子電動機に用ひられ今日ではすべてのものに備へられる。従つて交流整流子電動機には何れも發電子捲線 A 界磁捲線 F 及び補償捲線 C の三つを有する。

發電子捲線と補償捲線とは全然同型に作ることは絶対に不可能であるため發電子の自己誘導作用は漏洩磁束 (Leakage flux) として僅かながら残存する。又發電子捲数は或度以上に増されずに反し此漏洩磁束に依る發電子自己誘導作用が負荷と共に其度を増せば此電動機の力率は再び減少する。然し $m:n=3:5$ でも補償捲線で得る最小自己誘導作用の時實用になる程度で低速高力率を發揮することができる。



第十四章 圖二

補償捲線を有する整流子電動機内の磁束分布

最もよき結果——即ち完全に補償し發電子反作用による磁束を全くなくするためには單に同じアムペヤターンを要するのみか發電子の全周にわたつて同じやうに之を分配する必要がある。然るに發電子捲線は全周に、補償捲線は主極面部分弧のみに分布し(主極の中間は主磁極捲線を埋める)結局第四十二圖の如き形をなす。

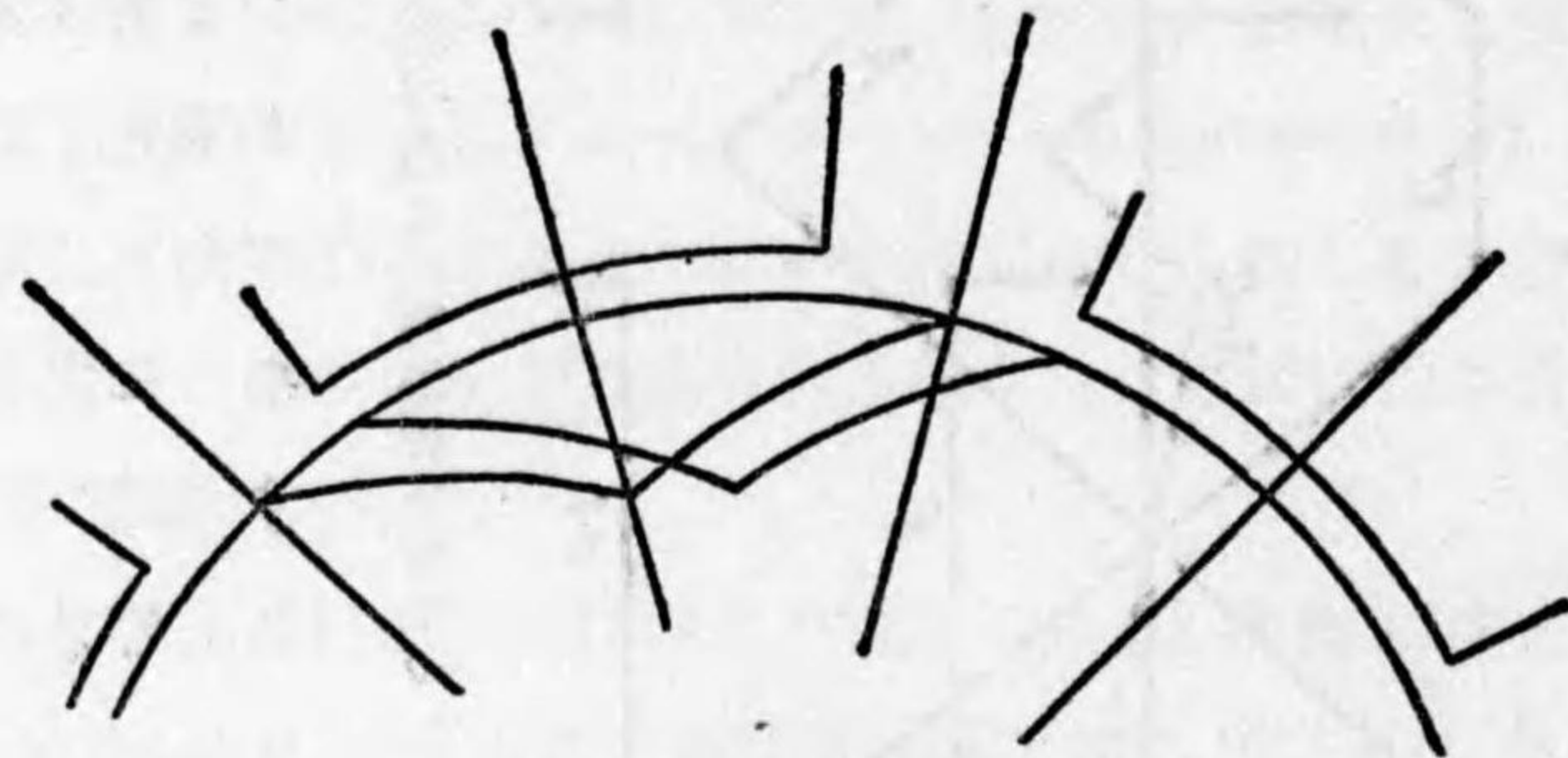
即ち主磁界 F

は水平頭 (Flat top) 發電子 A は尖頭 (Peak) 補償捲線 F

の磁束は梯形で A と F は全體として同じアムペヤターンに保たれる。かくて圖の如く兩極間——即ち刷子附近に有害な發電子反作用の磁束が残存する。

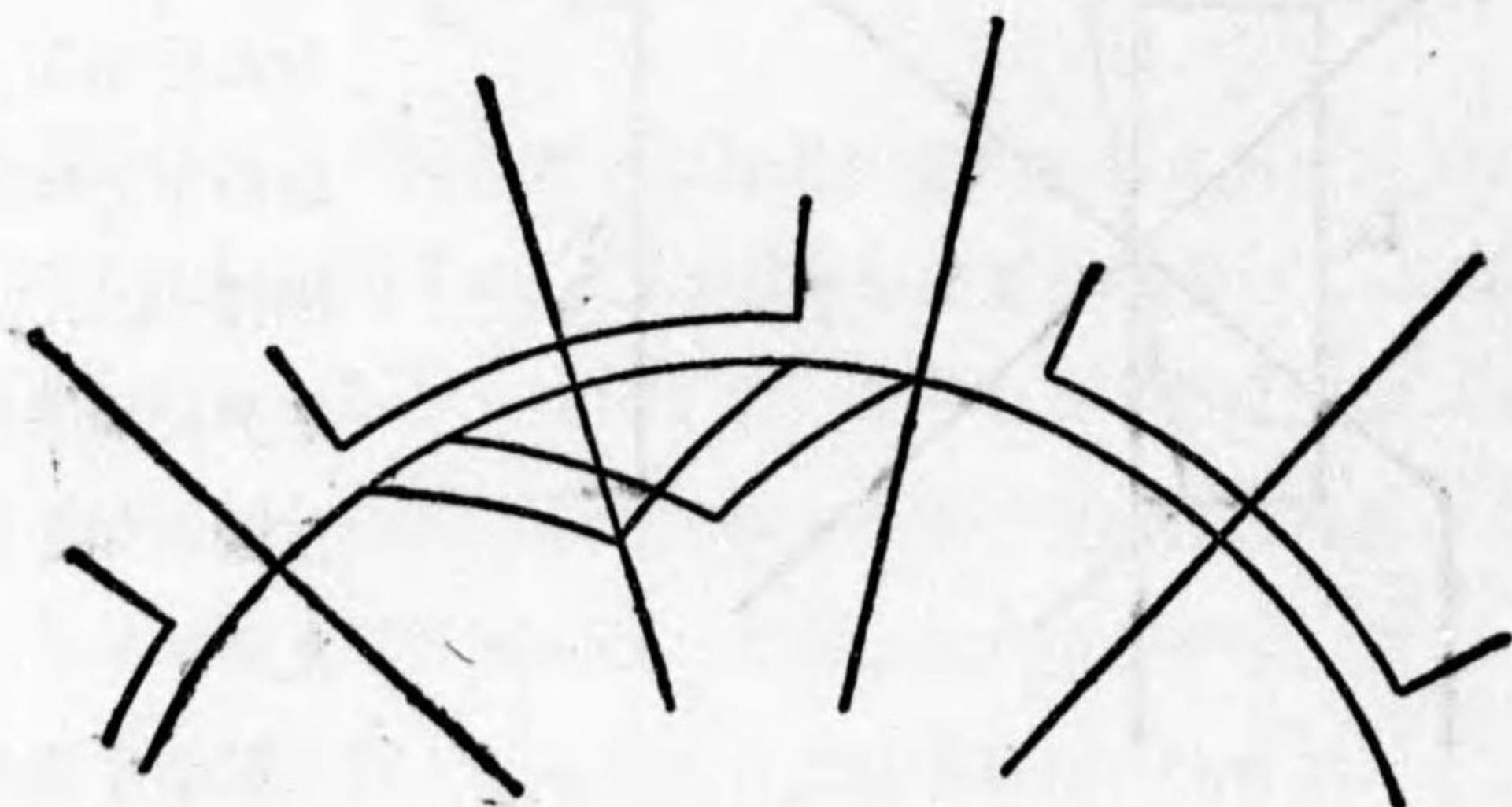
かくの如く補償捲線を全周に均等分布させることができないから發電子捲線を極面のみに集中させるため端數歩み (Fractional pitch) の捲線を施す。即ち第四十三圖の如く發電子捲線

第四十三圖



完全歩み發電子捲線

第四十四圖



端數歩みの發電子捲線法

の歩み (Pitch) を完全歩み (Full pitch) 捲線と云ひ磁束と同じ丈けのスロット間隔を有するに反し、第四十四圖に示す如く極面下のみの極弧を張る發電子捲線で磁極中間では發電子捲線の上層と下層の電流が逆行しお互の發電子反作用は中和され前記の補償捲線で完全に發電子反作用が中和される。

此補償捲線は主電流で勵磁される如く界磁、發電子と直列に結び、別に補償捲線丈け短絡し、發電子を一次とする變壓器作用で二次電流を誘發させ兩者のアムペヤターンは相等しく且つ方向が反對で導電補償の如く作用し、誘導補償法 (Inductive compensation) として層々用ひられる。

又反對に發電子を短絡し變壓器の二次とし、補償捲線を一次としたものなどあり、之等は要するに一次及び二次回路を成すため發電子と補償捲線は供給回路と直接結んでないが誘導的に結合され界磁が一次即ち供給電流或ひは二次電流で動作するにすぎない。かくの如き電動機は全く變壓器の作用をなし、一方が一次で他が二次の作用し供給電壓は任意の比で是等の一次及び二次捲線に加へられる。

かくて此變壓器の一次側と二次側の電流はお互に比例し、負荷及び速度の變化に基く各回路の電流變化が直接又は變壓によつて行はれやうと速度、廻轉力、電流特性は全く直流直捲電動機的作用と異らぬ。唯第二の附隨狀態——主に整流作用が變化するにすぎない。

供給電壓を變化することなく變壓器作用で之を同じ効果を得るため界磁捲數を變更し、或ひは一次と二次回路を取りかへる

ことができる。例へば發電子の捲数を補償捲線のに比し半減し
 半分の電壓で二次の電流を通ずるため界磁を償補捲線と直列に
 結んだものを發電子と直列に結びかへ、界磁電流を二倍に、即
 ち磁極を二倍の強度にし界磁捲数が二倍になつたと同じ結果が
 得られる。

かくの如く三つの回路——發電子 (A)、補償捲線 (C) 及び
 界磁 (F) の結合法如何に依り直捲交流整流子電動機は第四十
 五圖の如く分類される。

一次側	二次側	特徴 備考等
A+C+F	—	導電補償直捲電動機 (2)
A+F	C	誘導補償直捲電動機 (3)
A	C+F	誘導補償二次勵磁直捲電動機別の各 逆轉反撥電動機 (4)
C+F	A	反撥電動機 (5)
C	A+F	二次勵磁反撥電動機 (6)
C→A+F	—	直捲反撥電動機 A (7)
C+F→A	—	直捲反撥電動機 B (8)

之等の諸型式の主なる差違は整流作用の如何による。

中性點に刷子をおいた直流電動機 (直捲電動機の如く逆轉用
 のものは兩極間の中央) では整流中刷子下で短絡される發電子
 捲線は磁極から出る全磁束を包含し廻轉によつて此磁束を切る
 こともなくこの中に全く起電力なく若し發電子反作用が補償さ
 れたり微少な場合には短絡捲線内には無電流である。然るに此

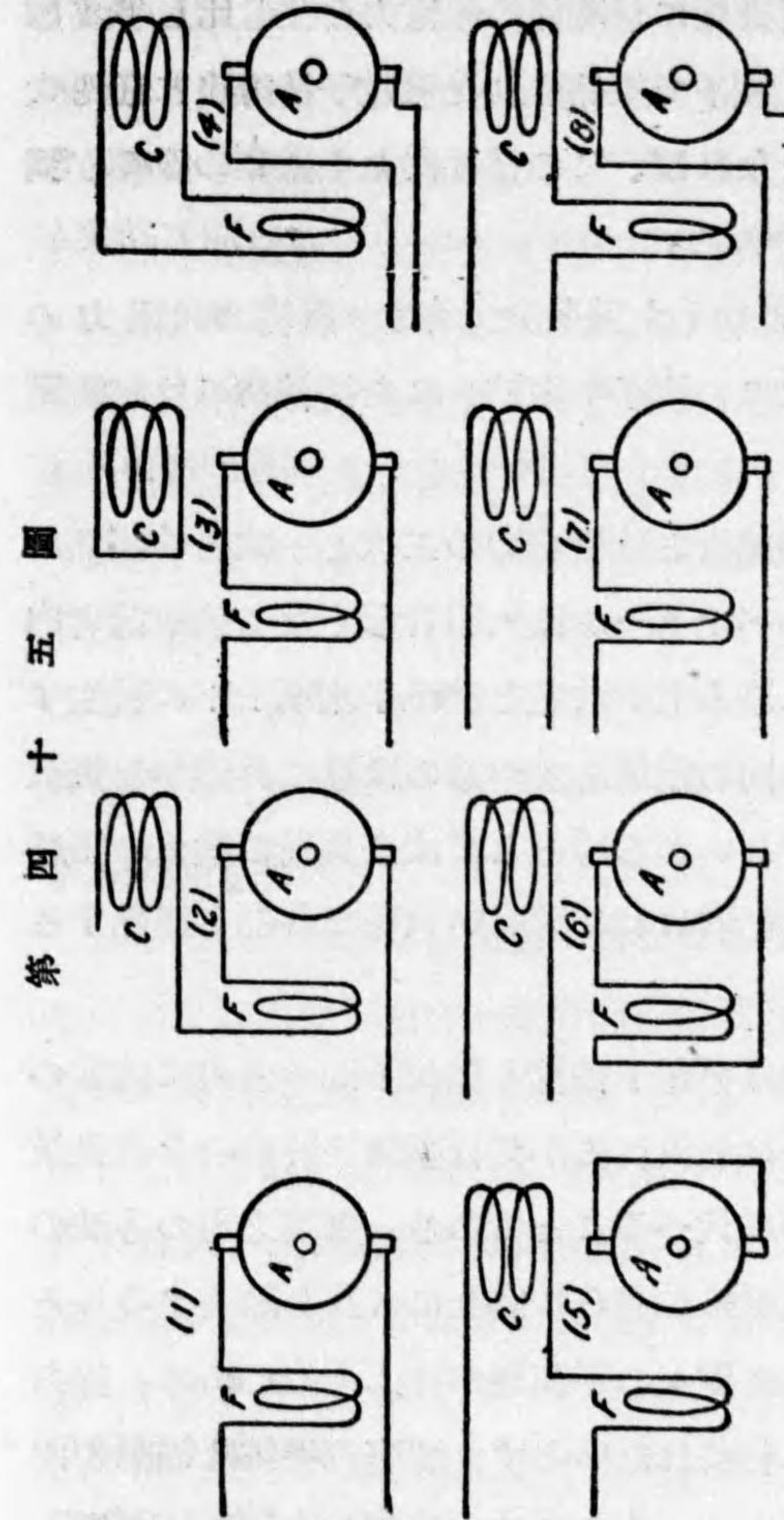


圖 五 十 四 第

直捲整流子電動機の種類

電動機が莫大の
 發電子反作用を
 有し刷子附近に
 磁束があれば發
 電子の廻轉で刷
 子で短絡された
 捲線中に電流が
 流れ火花の原因
 となる。

換言すれば大
 なる發電子の反
 作用は電動機の
 整流作用を損
 ふ。

同様にして交
 流直捲電動機の
 發電子反作用は
 補償捲線で中和
 され發電子反作
 用の磁場は存在

しないから刷子下で短絡される捲線には廻轉のための起電力を
 誘發しない。

然しながら此磁束は交番するからこの捲線内は交番起電力が
 存在し刷子下の火花の原因となる。従つてこの短絡捲線内に含

まれる磁束は全く廻轉速度に無關係の起電力を生じ電動機が靜止せる場合にも存在し刷子で短絡された發電子捲線中に最も大なる値を有する。何となれば、この捲線内を主磁束の全體が同方向に交番するからである。

(然るに直流發電機の如く主磁束が交番せず廻轉の起電力のみを發生するものではこの刷子で短絡された捲線内には無電壓たるべき筈である。)

この短絡捲線と界磁捲線とは變壓器の二次と一次との關係に在り兩捲線によるアムペヤターンは大體著しくなる筈故前者内に莫大の電流を誘發し恐ろしい火花を整流子兩刷子下に發生する。此時二次短絡捲線内の電流を支へるのは單に其僅かな抵抗とリアクタンスにすぎないから時としては全負荷の數倍の短絡電流を流し特別の考案を附けねば著しい火花で各部を過熱するに至る。

こゝに一路の放濟法は發電子捲線と整流子間へ直列に適當の抵抗線又はリアクタンスを入れるか又は整流子片自身を高抵抗大リアクタンスのものに代へることである。勿論之等の方法及ぶべきところは或範圍にかぎられ完全に火花を除去することができないのみか一方に種々の不利益が伴ふものである。即ち起動が極めて短時間に行はれないとすれば直列抵抗は過熱のため熔斷し、運轉中と雖もこの直列抵抗が有用なのは極めて僅かの整流時間にすぎない。尙ほ發電子捲線に比し比較的大なる直列抵抗を挿入する整流子附近の空間に餘裕なく又あまり小さなものを入れると過熱のため時々熔斷する心配がある。

直流電動機ではこの整流作用は補償極即ち整流極で刷子下で短絡される發電子捲線に發電子の反作用と逆方向の磁束をあたへ整流中の捲線中の廻轉の起電力を相殺することができる。かくの如き整流極は大型直流電鐵用電動機に専ら用ひられ發電子と直列の補極界磁捲線に結ばれ、交流電動機にも利用される筈であるが廻轉による起電力は整流極の磁束と同位相——即ち其中の電流と同位相、換言すれば主磁束と同位相にある。従つて主磁束の交番に依る短絡捲線内の起電力を中和するには両者がお互に直角の位相にあるため用ひがたい。かくて両者が相加はつて益々整流作用を要するにすぎない。従つて之を要するに直流電動機で有効な直列整流極は交流電動機では位相が不適合のため利用しがたい。

かくてこの主磁束の交番に依る短絡捲線内の起電力を中和するにはこの短絡捲線内と逆方向の起電力を廻轉によつて作り整流極又は直角磁界正當な位相を保たねばならぬ。又この短絡捲線を通る主磁束の交番による起電力は主磁束 F と供給周波數 f に比例し、主磁束と直角方向の位相を有す。又短絡捲線が整流磁場中を廻轉するために誘發する起電力は發電力廻轉の周波數 f_0 と整流極の強さ F_0 に正比例し之と同位相にあり主磁束の交番による起電力を同じく方向が反對せねばならぬ。従つて主磁束と直角の位相にあるを要す。前記の關係から

$$fF = f_0F_0 \quad F_0 = \frac{f}{f_0} F$$

であるから整流磁場は主磁束に周波數の比をかけたもので且主

磁束と直角の位相を保たねばならぬ。

従つて同期速度 $f_0 = f$ では此整流磁束は主磁束に等しく、
 $f_0 = \frac{1}{2}f$ では $F_0 = 2F$ 、 $f_0 = 2f$ では $F_0 = \frac{1}{2}F$ であるを要す。

故に交流電動機の整流作用を支配するには整流極の強さを適
當にし主磁束——即ち供給電流と直角の位相を保たねばなら
ぬ。

變壓器の二次側に無誘導又は大體無誘導の負荷を加へると主
磁束は一次電流に直角の遅相を保ち二次電流より 90° 進相に在
る。従つて交流電動機の補償捲線と發電子間の乘壓作用はこの
お互に直角な磁束を作り補償の目的に使用される。

導電補償直列交番電動機が完全に補償された状態では此直角
磁束なく、過補償又は不足補償に於て電流と同位相の直角磁束
を生ずるが整流磁束としては用ひがたい。

誘導補償直列交流電動機では發電子から補償捲線に變流する
直角磁束は微弱なものである。何となれば補償捲線が短絡され
極めて僅かの電壓を吸収するにすぎないためである。

然しながら補償捲線が一次側發電子が二次側となる反撥電動
機では直角磁束を存す。何故なれば發電子内で變壓作用で誘發
した起電力は廻轉の起電力と相反し、多大の起電力を要し従つ
て多くの變壓器磁束を有するからである。

故に反撥電動機の如く補償捲線に電壓をあたへ發電子に短絡
され前者から變壓作用で後者の發電子内に起電力を加へるもの
では此變壓作用の磁束は供給電流と直角——即ち整流磁束とし
て正當な位相に在る。従つてこの電動機内には電流同位相の主

磁束に之と空隙及び時間で直角位相を保つ變壓磁束のため整流
磁束を有し後者を適當の強さに設計することで良き整流作用が
保たれる。

此反撥電動機では發電子が其中で短絡されるから變壓作用で
補償捲線から此中に誘發される電壓は主磁束に依る廻轉のため
に生ずる起電力と等しく、前者は供給周波數 f と變壓器磁束
 F' に後者は速度 f_0 と主磁束 F に比例する。従つて $fF' =$
 f_0F であるから

$$F' = \frac{f_0}{f} F$$

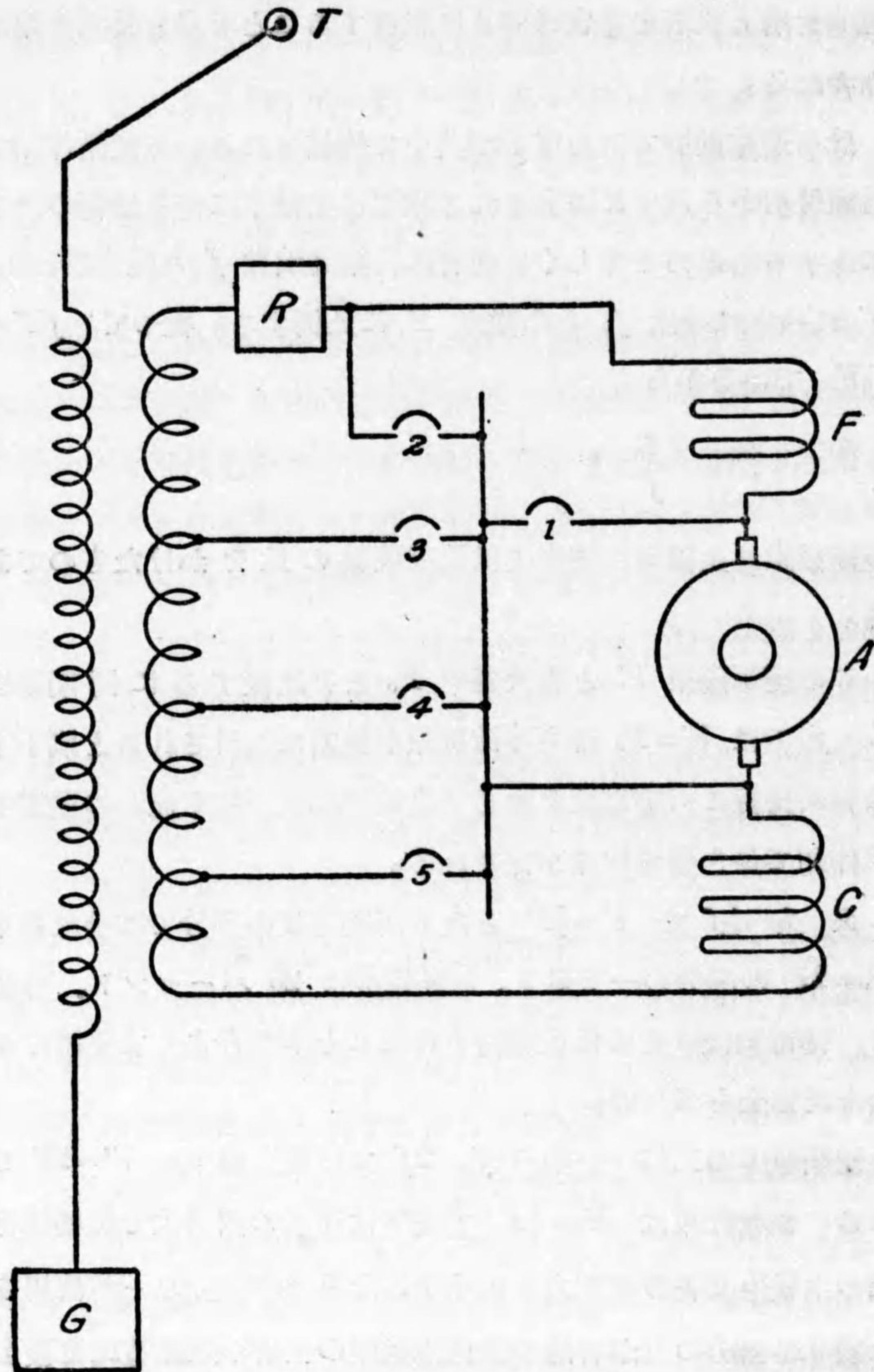
變壓磁束は主磁束へ速度と供給周波數の比をかけたものであ
る。

この變壓磁束 F' と整流磁束 F_0 とを比較するに同期速度
 $f_0 = f$ では $F' = F_0$ 即ち整流磁束が適當に設計されると刷子下
の短絡捲線に何等電流を生ぜず直流電動機の如く僅かの發電子
反作用で良き整流作用が保たれる。

又 $f_0 = \frac{1}{2}f$ で $F' = \frac{1}{2}F$ となり同期速度の半分では整流磁束
 $F_0 = 2F$ の四分の一で足り、短絡電流は 25 パーセント、普通
の直捲電動機は更に低速運轉されることが都合よくて整流作用
は末だ完全と云へぬ。

同期速度の二倍——即ち $f_0 = 2f$ では變壓磁束は $F' = 2F$ で
あるに整流磁束は $F_0 = \frac{1}{2}F$ で前者は後者の四倍大で短絡捲線
内の主磁束交番の起電力を中和するためその四分の一が使用さ
れ残りの四分の三が普通の直捲電動機の三倍の短絡電流を發生

第四十六圖 交流整流子電動機の制禦法



するものである。換言すれば刷子下に短絡された電流が火花の原因を作り、反撥電動機はかくの如く高速度では普通の直捲電動機に比して著しく火花を發生する缺點がある。

従つて此反撥電動機は整流作用丈から考へると短絡電流との補償ができない靜止状態では全く、直捲電動機と同じ特性であるが次第に加速し同期速度では全く直捲直流電動機の如く良き整流作用を保ち、更に高速におもむくにつれ再び交流直捲電動機の缺點を起し、更に更に高速では急に其特性を害す。

従つて整流磁束として利用される高壓磁束を適當に保ち同期以上でこの値を減ずるには補償捲線から發電子へあたへる供給電壓を加減せねばならぬ。即ち同期速度以上では供給電壓の一部分を變壓し残りを直捲發電子へ加へる。例へば前記の二倍の同期速度で四倍の變壓磁束があるから之を四分の一にするには又四分の一の電壓を補償捲線へ残りの四分の三を直捲發電子へあたへる如きである。

同期速度以下で良き整流作用を得るため補償捲線の供給電壓を規定以上に上げることは一寸困難であるが、同期速度で全供給電壓を補償捲線にあたへ、發電子は反撥電動機として短絡し、速度が漸次増すにつれて供給電壓を次第に補償捲線から發電子へ移動する。即ち同期速度で全電壓を補償捲線に發電子には零電壓を加へ、次いで次第に高速になれば補償捲線の電壓を下げ、發電子電壓を増す。最後に二倍の同期速度で前者を1後者を3の比に配分する。かくの如く良き整流作用を保つため變壓磁束を變化するものを直列反撥電動機 (Series repulsion

motor) と稱ぶ。

この際主磁束の交番による電流中の發電子捲線内の起電力を除去し(特に同期速度以上では完全に除去せねばならぬ) 良き整流作用を保たねばならぬ。然し整流中火花を完全に除去するには短絡電流をなくするのみか、刷子下で短絡される間に發電子電流を逆轉するための起電力をこの變壓磁束に依つて作らねばならぬ。これがためこの起電力は廻轉による起電力と共に電流と同位相にするを要す。即ち電流と直角な整流磁束の中和分力と電流を逆轉するため電流と同位相の他の整流磁束を要する。

従つて兩者の合成たる合整流磁束は主磁束——即ち電流より 90° 以下の遅相を保たねばならぬ。

一般に變壓器の二次側に無誘導負荷があれば一次電流より大凡 90° 遅相の磁束を生じ誘導負荷なれば 90° 以下の遅相を保ち其値が誘導を増せば更に少い遅相を得る。

この理に依つて電動機の發電子回路にリアクタンスを入れ誘導回路とすれば此變壓磁束は電流より 90° 以下の遅相となり中和のみならず逆轉磁束をあたへ之等が正當に作られると理想的の整流作用が得られる。

然しながらこのリアクタンスを添加することは電動機全體の力率を減ずるからなるべく避けたい。幸に主磁極は相當にリアクタンスを持つから之を發電子と直列に結び、所謂二次勵磁法に依り此變壓磁束を逆轉磁束として働くべき主磁束から 90° 進相を保つ。これでもやはり多少力率の低下は免かれぬ。

かくの如くして交流整流子電動機は同期速度以上でも直流電

動機の如く良き整流作用を保ちつゝ運轉される。

即ち直捲反撥電動機の B 型式で償補捲線と發電子間へ適當の電壓を分配し、界磁は發電子と直列に結べばよい。

電鐵用電動機では第四十六圖に示す如く數段のタップを用ひこの理想的運轉状態は或程度まで容易に實現される。即ち T は供給回路、F は主磁束捲線、C は補償捲線、A は發電子で 1 だけ閉ぢれば反撥電動機で次に 2 と 1 を閉ぢると二次勵磁となる。次に 3 又は 4, 5 等を閉ぢ他を開けば夫々直捲反撥電動機で次第に補償捲線の電壓が發電子へ移動する。

今發電子電壓が補償捲線の半分で二倍の電流を誘發すれば 1 から次へ移る時、無補償の起動の瞬間には主磁界には二倍の電流が流れ二倍の磁束を生じ直捲特性を發揮し整流作用を調整した場合より大なる出力が得られる。

第十五章 電氣化學

電氣化學工業は電力應用中最も大切なものの一つで是が充分に行はれた際には必ずや其時の電氣鐵道以上の電力が此方面に必要とならふ。

此電氣化學工業は一般に之に要する原料又は勞力に比し其電力料が最も大なる經費を占るからなるべく水力發電所の附近で最も安直な電力を使用せねばならぬ。

此電氣化學工業を分つて次の二部間となす。

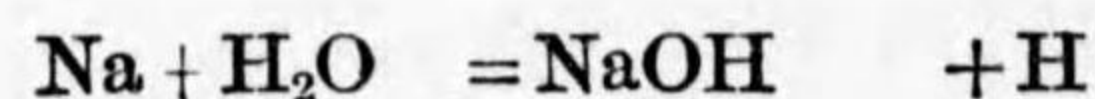
- A. 電氣分解 (Electrolytic)
- B. 電氣冶金 (Electrometallurgical)

A. 電解工業 (Electrolytic work)

これは鹽類溶液又は熔解鹽等の中を流れる電流の化學作用——即ち電氣分解を利用する工業である。

元素の水溶液の電氣分解は常に水素より化學的親和力 (Chemical affinity) の弱い金屬——例へば銅、鐵、亞鉛を含む水溶液は電氣分解されるがアルミニウム、マグネシウム、ナトリウム等は其目的を達せられない。

電氣分解の一例に食鹽 (NaCl) を用ひるとナトリウム (Na) が陰極板面に遊離し直ちに水と化合して次の如き化學反應を起す。



(ナトリウム)+(水) =(荷性曹達)+(水素)

この時水を電離 (To electrolyze) させるため 1.4 ヴォルトを要し更に電氣分解にはこれ以上の電壓を要するから 1.4 ヴォルトに於ては單に水素を發生するのみで何等金屬の電氣分解の現象を呈しない。かるが故に水溶液の電解槽に使用される最大電壓は $(1.4 + ir)$ ヴォルトで經濟上の立場からすれば電槽抵抗に依る電壓降下 ir はなるべく少くせねばならぬ。

斯他最高電壓を要すると云ふ熔解金屬 (Fused metal) 鹽の電解にも 3-4 ヴォルトを越へない。

斯くの如く各電解槽は極めて低電壓を要するから最十個を直列に結ぶがそれでも電流に比して電壓が低すぎる傾向がある。

電氣分解を應用としては次の如きものがある。

(1) 電氣鍍金法 (Electroplating) — 銅、ニッケル、銀、金等を鍍金する法

(2) 電鑄法 (Electrotyping) — 銅の鑄型を送る法

(3) 精鍊法 (Metal refining) — 金屬の精製法

現今使用せられる大部分の銅は此電氣精鍊に依るものでこの法は先づ材料の鑄銅塊を陽極に薄い純銅板を陰極とし硫酸銅溶液中に浸し電流を通ずる時は原料銅内の純銅は陰極板に混入せる銀及び金は其儘沈澱し鉛は硫酸鹽となり、錫は酸化物に其他セレンウム、テルリウム、砒素等は沈澱する。若し電氣密度が低い時は亞鉛及び鐵は硫酸鹽として溶液中に混入する。若し電流密度が高い時は亞鉛及び鐵は銅に比して化學的親和力 (Chemical affinity) が強いから是等の兩元素が電解され反つて銅が沈澱する。即ち電流密度が低い時は銅を電解するに要する電壓

と ir 降下を加へた所謂電解槽の全電圧が亜鉛及び鐵を遊離 (Deposit) させるには不足し、單に陽極で電解されたものが陰極に達せずして電解液中に残留する。是に反して電流密度が大なる時は ir 降下が大きくなり前記の全電圧が高くなり充分に亜鉛及び鐵を電解されるからである。

此時陽極が不純銅で陰極が純銅である時は一般に陽極附近の方が陰極附近より大きな電壓を吸収し各槽所要電壓を増すが、是は原料銅が不純な程はげしい。従つて不純な原料程高電壓を要するがその程度は小ヴォルト程度のもので電解槽は何れも最十個直列に結線するを要す。

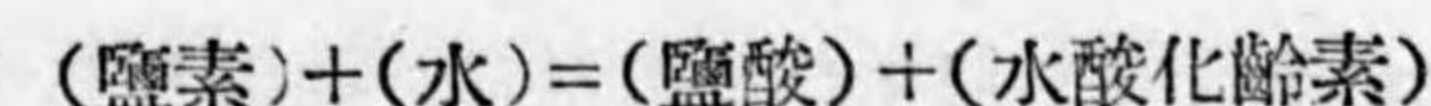
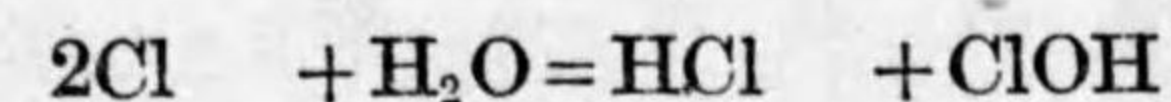
勿論電解硫酸銅溶液は使用中次第に不純となるから時々之を取換へる必要がある。

時として此電気精鍊法は亜鉛、鉛、鐵等の金屬にも亦應用されるが銅の如く廣く行はれてゐない。

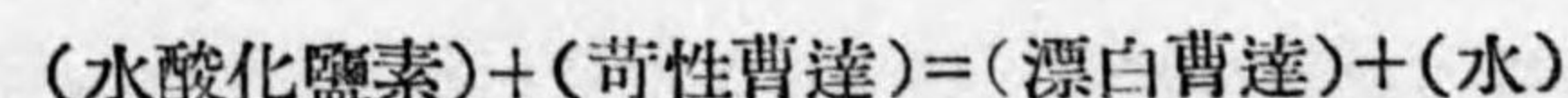
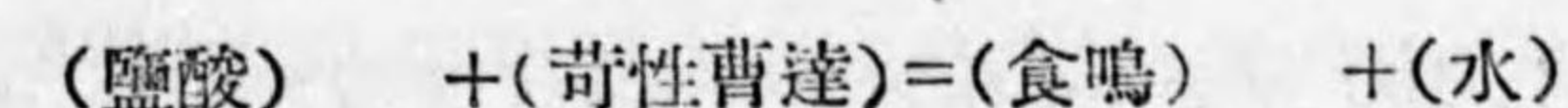
金屬の還元 (Metal reduction)—特に普通の冶金法で炭素と共に酸化物の原料を高温に熱しても分解せない様な強い化學的親和力ある金屬に此電氣的還元法が用ひられる。即ちアルミニウム、マグネシウム、カリウム、カルシウム等の如く水素よりも親和力の強いものは水溶液から遊離させることが困難で是等の熔解鹽 (Fused salts) 又は熔解鹽中の溶液 (Solution in fused salts) の形のみで初めて遊離する。例へばカルシウムは溶解せる鹽化カルシウム (CaCl_2) を電解し、アルミニウムは溶解せる氷州石 (Cryolite) 中の礬土 (Alumina) を電解して得られる。

副産物 (Secondary products)—電氣分解は時として直接電解されるものを目的とせず其溶液と電解物との化學反應の生成物—即ち副産物を着目する事がある。例へば食鹽 (NaCl) の溶液の電解に依り陰極にナトリウム (Na) 陽極に鹽素 (Cl) を發生するから此陰極を水銀にすれば所謂ナトリウムのアマルガム (Amalgam) となり、又水溶液が陽極附近にあればこのナトリウムは水と化合し直ちに苛性曹達 (NaOH) を作る。

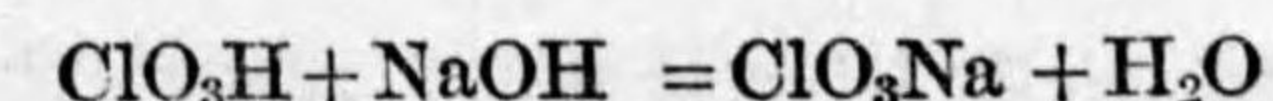
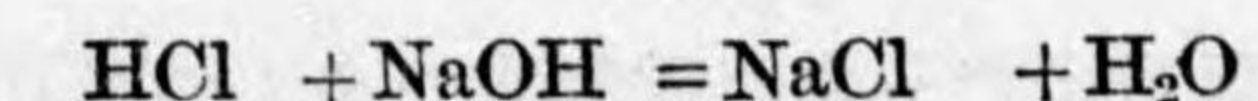
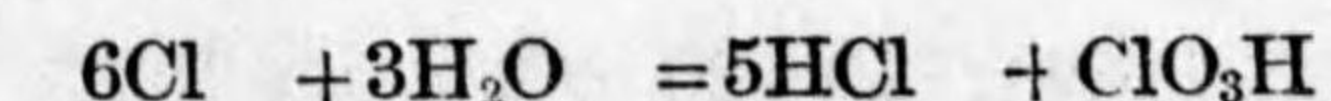
又陽極の鹽素 (Cl) は水 (H_2O) に作用して次の如く鹽酸及び水酸化鹽素を生ずる。



つづいて他の NaOH と次の如き反應で食鹽と漂白曹達を生ずる。



若し此溶液が高温に保たれると前記の反應は更に進んで次の如き結果となる。



かくの如き操作に依り電解から苛性曹達、漂白曹達、鹽素酸等の製造工學が盛大に行はれてゐる。

普通斯くの如き電解工学に交流を用ひることはない。即ち各元素の化合物は半サイクル毎に酸化と還元を繰返へし其意義をなさぬからである。然しマンガン及珪素の如く活潑な金属 (Active metals) は半サイクルで溶解する (Dissolve) が他の半サイクルでは沈澱せないからその目的が達せられ、又白金の如く不活潑は交流の半サイクル (Negative) で分解するが他の半サイクル (Positive) では溶解しないから共に交流による電気分解も亦可能である。

B. 電気冶金工業

此電気冶金は化学反応を起す爲めに電熱を利用するもので直流又は交流の何れでも差支へない。所要電圧は電解の如くではないが一般に低いのを尙ぶ。例へばカーボランダム (Carborundum) 電爐は 250-90 ヴオルトの範囲内で最初 250 ヴオルトで起動し 100 ヴオルト附近が最も長く放置される。即ち最初は原料炭素で且低温であるから高抵抗であるが次第に全體が高温となり且つ炭素が石墨に變ずると抵抗が減じ所定電流を通ずるに必要な電圧が降下する。

カーバイド電爐——一般的に此種の弧光爐 (Arc furnace) は 50-100 ヴオルト、石墨爐は 10-20 ヴオルトを用ふ。

かくの如く比較的低電圧で一臺の電気爐で多大の熱を發生するためには多大の電流——時としては數千アムペアから數萬アムペアを要するから今日では交流が全盛である。即ち此種の電流を得るに充分な變壓器の製作が可能であるのと直流に比し此

程度の電圧の調整が容易な爲である。

然るに此電熱は石炭による熱に比し極めて高價であつたから此電気爐は主として次の如き場合に限つて工業的に有利である。

a. 温度の精密なる調整及び不純物の混入を除く必要ある場合

b. 所要温度が燃焼に依つて得られるものより高き場合。

即ち前者の實例には高級工具鋼の製造及び焼入れの如く精密なる温度の制限と不純物混合を避けねばならぬ時石炭其他の燃料の燃焼による不純物即ち炭素或ひは室中の酸素混入を免れぬからで之に反し電熱では低温で抵抗線加熱式、高温で誘導爐を使用するとき全く前記の如く燃料中の炭素或ひは燃焼に必要な空気を要しないから是等の惧が全く除去される。

次に後者のため一般の燃焼は之と直接關係のない全體の約 $\frac{4}{5}$ の空中の窒素が熱せられ徒らに外部へ放出されるから折角の炭素と酸素の化合に基く發生熱量の一部分を奪ひ去るから其燃焼温度が著しく低下する。従つて純粹の酸素と他の燃焼熱の大なるものとの化合——例へば酸水素焰 (Oxy-hydrogen flame) 又は酸素アセチレン (Oxy-acetylene flame) の如き妙法と雖も僅か白金を溶解し得るにすぎぬ。又非常に高温に於ては水が熱分解 (Dissociates) し酸素が水素又は炭素と化合する作用を失ひ燃焼に依る最高温度は或温度で制限されてしまふ。例へば水は 2000°C 附近で酸素と水素とに分解し去るが酸水素焰すら最高温度は 2000°C 以下である。尙ほ 1500°C 附近で普

通の燃焼生成物たる炭酸瓦斯 CO_2 は酸化炭素 CO と酸素 O に分解され 2000°C 近くでは酸化炭素 CO が更に炭素 C と酸素 O とに分解し去るものである。

かくの如くして炭素及び酸素の燃焼温度以上のものを得るにはアルミニウム及びカルシウムの如く其酸化物が高温に於ても尙安定なものの燃焼を利用せねばならぬ。この方法でクロム及びマンガン其他の金属の如く炭素を用ひては其酸化物から還元する事ができないけれどもアルミニウムに依り所謂テルミット法 (Thermite process) の如くして初めて還元される。即ちこの法は酸化物を粉末状アルミニウムと混和して着火する時はアルミニウムの燃焼の爲其酸化物中の酸素を奪ひ著しい高温を生じ其金属或ひはコランダムの如きものも容易に熔解することができる。然しながらこのテルミット法に使用するアルミニウムは亦電気分解に依つて得たものである。かくて炭素弧光の電熱はこのテルミット法の生成物礬土 (Alumina) をも蒸發させる如き高温である。

故に $2000^\circ\text{C}-2500^\circ$ は勿論冶金等に於て屢々必要な 3500°C 附近までは此電熱法で得られる。

次に電気爐を分つて次の二種とする。

(1) 弧光爐 (Arc furnace)

(2) 抵抗爐 (Resistance furnace)

抵抗爐は抵抗線の材料たる炭素が熔解する 3500°C 附近までの任意の温度が得られ、弧光爐は弧光自身が 3500°C であるが一ヶ所に密集させ得るから其効果から考へて一層高温と同じ結

果が得られる。

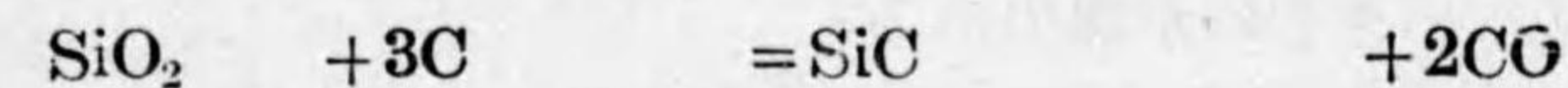
電気冶金法は次の各種の工業に用ひられる。

(a) 炭化カルシウム——弧光爐を用ひ生石灰及び炭素を原料として次の反應を利用する。



(生石灰)+(コークス)=(カーバイド)+(酸化炭素)

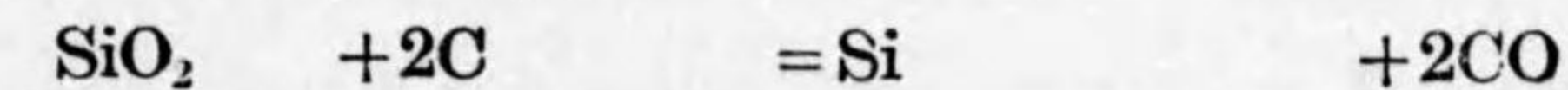
(b) カーボランダム——炭素心の長さ 24 呎のものを熱し其周囲にある原料を熱する抵抗爐で約 1000 キロワット級のものがある。原料には砂コークス、鋸屑及び鹽を用ひ次の化學反應を利用するものである。



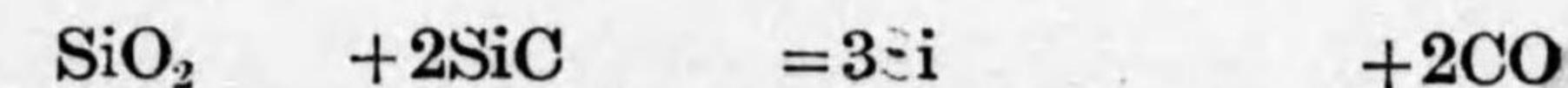
(硅酸)+(コークス)=(カーボランダム)+(酸化炭素)

(c) 石墨——これはカーボランダムと同型の抵抗爐を用ひるが更に低電圧大電流を要し、原料はコークス又は無煙炭を用ひ高温で中間金属カーバイド類を経て遂ひに炭素を石墨の形に變ずるものである。

(d) 硅素——弧光爐又は抵抗爐の何れかに依り次の二種別の化學反應を用ふるもの。



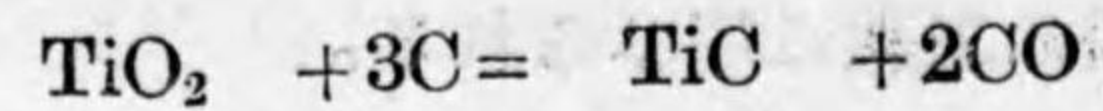
(硅酸)+(コークス)=(硅素)+(酸化炭素)



(硅酸)+(硅化カーバイド)=(硅素)+(酸化炭素)

(e) チタニウムカーバイド——弧光爐又は抵抗爐の何れかを用ひカルシウムカーバイド以上の高温で次式の如き化學反應

を用ふ。



(二酸化チタニウム)+(コークス)=(チタニウムカーバイド)+(酸化炭素)

其他電氣爐の生成物としてシロキシコン (Siloxicon) 硅化酸化炭素其他多くの耐熱合金——主として鐵、ヴァナヂウム、タングステン、モリブデン、チタニウム等の如き製鋼原料である。

製鋼等では最近鋼を溶解するに電氣爐を利用し、空中窒素の固定には高壓螢光放電を、水の殺菌にオゾンを用ひる等此方面にも見るべきものが澤山ある。

第十六章 白熱電燈

電球に二種類——即ち白熱燈 (Incandescent lamp) 及び弧光燈 (Arc lamp) がある。

前者は大體一定の抵抗を保つ固形導體 (Solid conductor) に電流を通じ普通之を真空中で白熱して光を得るもので電燈回路は無誘導抵抗となるから定電壓又は定電流何れにも使用される。然るに多くの配電方式は定電壓式であるから此電燈も亦この式で 110 ヴォルト回路に結ばれる。唯街燈の如く長い長い電路で 110 ヴォルトの如き低壓では先端に於て到底定電壓を保つことができない場合には止むなく直列式點燈法を採用し弧光燈の如く直流又は交流の定電流法を用ふ。この方法の變形として高能率及び高力率を主眼とする爲 50—100 個の白熱燈を直列に結びこの一群は定電壓回路に結ばれた普通變壓器又は單捲變壓器を用ふ。但し此直列回路では其中の一個が斷線しても他に迷惑を及ぼさぬ如き適當な保安装置又は特殊な單捲變壓器の設計を要す。又定電流回路に於て時として弧光燈と白熱燈を直列に使用することもあるが後者は前者に比して著しく電流及び電壓の揺動に感じやすいから弧光燈にはさまで必要の無いのに白熱燈の壽命から特に優良な電壓變動率を保たねばならぬからあまり上乘の方式とは云へない。

今日迄約 40 年間はエヂソンに依つて實用化された白熱燈が用ひられて來たが之は炭素纖維條が眞空球中に發光するため白金

の導入線を使用してゐた。其他織條としては白金等が試料に供せられたが何れも其溶解點が炭素に比して著しく低いのが缺點となつて何れも失敗に了つてゐる。又各種の植物性纖維を炭化して作つた織條は何れも其發光能率 (Efficiency of light production) に著しい差異を生ずるから最善の纖維高能率を保ち得る高温に耐へるものに就いては世界各國から天然の原料を取寄せ數年間に亘つて研究された。然して日本産の竹の纖維が最もよい結果をもたらしたが遂ひに人工的の纖維素 (Cellulose) が最後に發見され専ら用ひられる様になつた。即ち此純粹の纖維素は精製された木綿を鹽化亞鉛 (Zinc chloride) 又はアムモニウム銅 (Cupric ammon) 或ひは硝化棉 (Nitrocellulose) を氷醋酸 (Glacial acetic acid) に溶解し極めて濃厚な糖蜜状溶液 (Molasses-like solution) を細い硝子毛管から纖維素の溶媒——例へばアルコールに鹽化亞鉛を混ぜるもの、アムモニア銅を稀鹽酸に溶かしたものの醋酸の水溶液等の如きものの中へ押し出し其纖維を硬化させる。次にこの角質 (Horn-like) 均質にして同じ斷面積の纖維を作り所要の寸法に切斷して炭化させるこの様な工程はなかなか面倒でこの炭化せる纖維を原料織條 (Buse filament) ととなへ更に半眞室中にガソリンを収めた室で電流を以て高温をあたへるとこの表面に灰色の遊離物が表はれ更に高温で安定に保たれ之を精製織條 (Treated filament) と稱へ前者に比して更に高能率を得ることができる。

是等の數年間に於けるエジソンの研究努力に依つて遂ひに炭素織條電球が完成し、其後約四分の一世紀間全くこの方法のみ

に限られてゐた。然るにこの後遂に製品の均一と製作費の輕減から一面能率も僅か宛變化向上してゐる。即ち當時最高能率は毎燭光 3.1 ワットに達したが、これ以上の能率改善の目的から遂に炭素織條に代へるに金屬化織條に改良する傾向になつた。

この時の根本的改善は米國 G.E. 社の研究室で電氣化學的研究の結果金屬化炭素 (Metallized carbon) 織條の發明で電氣爐内で高温に熱し炭素内の揮發分を完全に除去するとこの炭素が電氣的に金屬の特性を得る。例へば低抵抗、正の溫度係數、金屬性の光澤等を發揮し長時間安定で且發光能率が著しく向上した。かくてヂエム (Gem = G.E. Metallized の略字) 電球は毎燭 2.5 ワットで足るけれども之は今日の金屬織條には遠く及ばないから僅かの間で實用の望も絶えてしまつた。

然して炭素織條の最初の強敵は發光能率がこの二倍にあたるネルンスト電球 (Nernst lamp) で獨逸のネルンスト教授の創案にかかり米大陸に於て一時廣く用ひられた。尙ほこの發光體は空中に暴され別に眞空を必要としない或特殊の酸化物であたかも瓦斯マントルとして其能率を著しく増進したウエルスバツハマントル (Welsbach mantle) の如きものを用ふ。然しながらこのネルンストランプは炭素又は金屬織條の如く死抵抗 (Dead resistance) でなく孤光と種々の電氣的に類似な特性を有するピロ電氣導體 (Pyro electric conductor) で定電壓回路に用ひられるが自然發光を防ぐため固定抵抗 (Ballast resistance) を入れ加熱線輪 (Heater spiral) で初めて點火する如く設計される。

然しながら此ネルンストランプには前記の如く固定抵抗、加熱線輪及び一旦點火せるものは加熱線輪回路を開く装置を要し且發光體が常に高温であるため製作上種々の困難が供ふからこの種の電球は大型のもので特に高能率を主目的とするものに限つて經濟的であることが分つた。

かれこれする中に更に高能率のタングステン 織條の發明があつてネルンスト電球はあまりの壽命で此世から 葬られ今日では全く其跡を見なくなつた。

所謂金屬織條の最初のもはオスミウム ランプ (Osmium lamp) でこれは獨逸あたりで局部的に使用せられ發光能率は毎燭光 1.3-1.6 ワットで相當の壽命を保つ事ができた。然しながらこの原料は極めて稀れて世界中の全産額でも一ケ年の電球製造の原料に足りないのこの點から全然工學的價値がなかつた然るにこの最初の金屬織條が炭素織條の二倍の能率を得られる新事實に依つて後者の運命が決められたのである。かくの如くにしてオスミウムは厚料不足で且其製法は炭素織條の如く 押出法 (Squirting process) に限られてゐたが次いで耐熱物質タンタリウム (Tantalum) が奴適とされ今日の如くタングステンが全盛となる直前歐州で専ら費用された。

此タンタルムはオスミウムよりも熔解點低く 後者の如く高能率を保つことができないが毎燭光 2.0 ワットであつて金屬化炭素織條又はオスミウム織條を用ひたよりも高能率で且つ其原料の特質が進歩してゐる利益がある。此タンタルは亦稀有金屬ではあるがオスミウム程の缺乏を感じないのみか其金屬の如く引

伸自由のため所要の細線となし所要の長さに切り之を真空球中の支持桿に取付ける。然し一方引伸線であるため特に交流回路に於て壽命が短い事がこの前途をあやぶまれる様になつた。元來このタンタル電球は獨逸で發明され次いで米國へ流入したが其原料は依然獨逸に仰がねばならぬ事及び米國では既にタングステン織條の製造が大體物になりかゝつてゐる所から米大陸ではあまり廣くならなかつた様である。

最後にタングステン電球が出現した。初め金屬化炭素電球(毎燭光 2.5 ワット)は専ら米國で改良せられ、ネルンスト電球(毎燭光 1.5-2.5 ワット) オスミウム電球 (毎燭光 1.5 ワット) タンタルム電球 (毎燭光 2.0 ワット) 等は獨逸で改善されたが此タングステン電球は米獨兩國の競争的研究の結果今日の如く完成したものである。

一般にこのタングステンは柔軟性なく延性タングステンは數年間多額の研究費と困難に打ちかつて初めて完成されたものである。従つて最初はこのタングステン織條も亦炭素及びオスミウムの如く押出法に依るものである。其一法には酸化タングステンの押出織條となし之を水素の蒸氣内で電氣的に還元する。第二法はコロイド狀の金屬タングステンを押出し、第三法は特に太き織條の製造に用ひられタングステンの細粉を更に熔解點及び蒸發點の低い他の金屬と合金にし最後に電氣的加熱に依り後者を取去つて純タングステン織條を得る如きである。

最近に到つて G.E. 社の研究室では伸延性タングステン織條の研究が完成し商名マツダランプ (Mazda lamp) とて全くタ

ンタに織條の如く引延したものができ遂ひに前記の如き面倒で寿命の短い押出法は全く其跡を斷つた。

然るに此タングステンは炭素に比し其抵抗が著しく低く且同じ燭光では高能率のため其消費電力が少く従つて更に電流を減ずるため細くて長い織條を要する。故に燭光の低いもので電圧が 220 ヴォルト以上となる時は其製作が極めて困難で押出法時代には數個直列に結んで使用せねばならず其製造も高價となるは止むを得ない。従つて會社側で電球を取換へる料金制度ではこの伸延性 (Ductile) タングステン電球が發明されるまで安直な炭素電球が相當の競争者となつてゐた。

此タングステン電球は最初毎燭光 1.25—1.5 ワットで出現したが次第に其製法及び真空の調整等に依り最後に毎燭光 1.0 ワットまで改良せられたが次いで真空球に代へるに一部へ熱容量の低い中性瓦斯を封入した所謂瓦斯入電球 (Gas-filled mazda lamp) に到つて大型では毎燭光 0.45—0.5 ワット迄消費電力が減ぜられてゐる。斯くの如く此種のタングステン電球は他の何れの白熱燈よりも高能率を示すのみが火焰孤光及び發光孤光 (Flame arcs and luminous arcs) を除く何れの孤光燈よりも常に高能率である。是れに加ふるに一般孤光燈は室内に用ひられぬ缺點がある爲タングステン電球は益々この方面に發展して來た。即ち短燃型 (Short burning type) の黄色開放火焰孤光燈 (Open yellow-flame lamp) は尙ほ大型マツダ電球より高能率であるが取扱ひ不便のためあまり實用的價值がない。又長燃型 (Long burning) の黄色火焰孤光燈はより高能率でないの

みか安定度低く複雑せる取扱法のため著しく信頼度を減じ、尙ほ白色火焰は比較的low能率を示す。

こゝに於てタングステン電球は室外に於ける發光孤光及びマグネタイト孤光燈のみが競争者で是等は大体大型の白熱燈と同じ能率であるが取扱ひの不便と定電壓の直流電源を要する不便がある。然るに白熱燈中最もよいマツダ電球は幾分の黄色であつて之を白色にするには色附硝子球で黄色中の過剰の赤色を吸収させねばならぬ。従つて是れがため約 75 パーセントの光を失ひ結局毎燭光 2.0 ワットとなる。是に反し前記の弧光燈は完全白光を得られる利點がある。即ち多くの場合マツダ電球の如き黄白色の光は差支へないのみか場合によつては反つて有利であるが特に街燈及び公園の照明等一般に木葉の多い所では此黄白色が綠色の木葉にあたつて物だるい黄色を呈し著しく外觀を損する缺點がある。かくの如くして其白色光を必要とする屋外照明に於て前記の弧光が其高能率と共に確かに今日も尙此マツダ電球の強敵である。

可鍛伸延性 (Ductile) のタングステンは今日のマツダランプに用ひられ特に面白い性質がある。即ち非常に重いから之を重石 (Wolfram) と稱へ硬く強い金屬であるが細く引延ばされ五六十本の一束がやふやく人間の毛髮位にしかならぬ。又此細く引延ばしたタングステンは引張に對し最も強く毎平方吋 400000 封度に耐へ最強鋼の數倍にあたる。一般に今日迄電球織條に使用された諸材料の適否を決定する條件は最も興味あることで特にタングステンに於て然り。例へばタングステンに就

いて研究すれば由來この金屬は古來廣く用ひられ、鋼との合金は其鋼の硬度を増し高温に於ても強靱性を失はず特に永久磁石として最も優秀なものである。又タングステンの鹽類は劇場裝飾の如く耐火性織物 (Fireproofing inflammable fabrics) となる。かくて昔一度は電球織條として研究されたこともあつたが其不純性により熔解點が低いのと若し純粹に近いものを得んとすれば微量の炭素を除くため極めて面倒な化學的操作を要する。例へば炭素との化合物タングステンカーバイドの 1 パーセントを純粹の金屬タングステンに加へると非常に其熔解點を下げる。然るにこのタングステンカーバイド中には 96.9 パーセントのタングステンと 3.1 パーセントの炭素から組成されるから結局全體の 0.03 パーセントの炭素が混和するに過ぎないが到底電流織條として實用にならぬ程度に其熔解點を下げる。

若し多くの元素を其原子量の順序に配列し所謂元素の周期率表 (Periodic system of elements) に従へば其表中の位置は其原子の特性を明示するものである。例へば揮發性極 (Poles of volatility) はお互に反對方向の二點で、一つは非金屬元素のヘリウム及び水素、他は金屬元素の水銀が是にあたる。

又耐火性極 (Poles of refractoriness) の一方は非金屬元素の炭素 (其附近に硼素、硅素等あり) 他は金屬元素のタンタルム、タングステン、オスミウム、イリジウムがある。

かくて合理的の電球織條用原料は是等周期率表上の二點に限られ炭素及び其附近の元素並びにタングステン及び其附近の元素に限られる筈である。

總ての元素中炭素が最も耐火性に富み其融解點は實に攝氏 4000° で次がタングステンの 3400°C である。従つて電球織條として第一に熔解點の高い炭素は高温で使用されるから其發光能率を高める事ができる。然し之は炭素がタングステンの如く熔解點の近くで連続的に使用されるものと假定した場合であるが實際には其熔解點以下に於ける著しい蒸發作用のため炭素は熔解點が高い割合に連続使用温度が低い缺點がある。

一般に總ての元素は其蒸發點より遙かに低温で否熔解點より遙かに低温で幾分づゝ蒸發するから氷や雪は次第に蒸發し去るものである。然し或元素例へばタングステンの如きものは此蒸發作用が熔解點の非常に近い所まで殆んど起らないから連続使用温度を前記の熔解點 3400°C に極めて接近し(數百度以内)初めて相當の蒸發作用を認めるに過ぎない。之に反して樟腦の如く特に熔解點より遙かに低い温度でも盛んに蒸發するものもある。残念ながら炭素は後者の部類に屬しなるほど此熔解點は 4000°C の特別高温でも 2000°C に於て既にタングステン(熔解點 3400°C) の同温度より遙かに著しい蒸發作用を認める。(タングステンの同程度の蒸發作用は 3000°C にて起る) かくてこの炭素蒸發が電球硝子の内面に附着して著しく黒化し結局光力を減ずるに到る。

かくの如く炭素は熔解點又は蒸發點より遙かに低温でも甚だしい蒸發作用を認めるから他の熔解點低くとも蒸發作用の少い他の金屬に比し著しく低温で使用せねばならぬ。

即ちこの原因は全く各元素の原子の大きさに關係するだらう

と考へられる。例へば炭素の原子量は 12 であるがタンタルム、タングステン、オスミウムは夫々 185, 187, 191 で前者は後者よりも 1/15 の重量で比較的飛散し易きに反し後者は其事少なきに依るものであらう。

この事たるや又他方に於て變種の炭素の織條能率 (Filament efficiency) に著しい差異を期待すべき理由となる。例へばヂエムランプの如く固形金屬化炭素は同じ温度でも普通の炭素織條よりも著しく蒸發の少いことは當然で又同じ壽命と同じ蒸發作用について比較すれば前者は後者よりも更に高温で連続點火され従つて勢ひ發光能率を増進することができる。

従つて其發光能率を向上させる上からすれば金屬が最も望ましい原料であるのは當然で是れを要言すれば次の如くである。即ち炭素の如く熔解點は高いが蒸發作用がはげしいから折角の連續使用温度を熔解點よりかけ離れて低く用ひるよりも金屬は其熔解點は炭素に比して極めて低い其蒸發作用が少い爲著しく此熔解點の近くで連續使用されるものを用ひるが得策である。

この蒸發作用に就いて更に考慮すべきは硝子球内の壓力で此作用を減ずるには在來の如く眞空内で點火するよりも出來得べくんば高壓瓦斯内で點火した方が高い連續使用温度に保たれる利益がある。例へば完全眞空内で或織條を熱するに此消費電力は光 (可視及び不可視) となつて織條から飛出し之が高温であればある程可視の光の割合が増加する。若しこの硝子球中に瓦斯を封入し前の場合と同じ電力を送入すればこの織條の發光熱量

の大部分は其周圍の瓦斯體で運び去られ著しく其温度を低下させる。かやうにして同じ温度即ち同じ發光状態に保つ爲には更に多くの電力を要するから同じ織條温度では瓦斯入電球の方が發光能率を低下させる。然しながら内部の瓦斯壓力に依る織條の蒸發作用を減ずる變更に温度上昇が許容され更に更に吸收電力を増加し發光能率を高めかくて有効な光線の割合を増す。然しながら此所に豫想しなければならぬ二つの影響を考慮せねばならぬ。即ち一方に於て充填瓦斯の傳導及び對流作用による勢力の損失に基く能率の低下と他方に於ける連續的織條の高温に基く能率の向上如何の經濟的比較である。

此瓦斯の存在する爲めに失はれる勢力は此瓦斯が接觸する織條の表面積と全體の瓦斯容積とは關係するもので小型電球の如く瓦斯容積に比し比較的織條表面積の大きなものは唯能率を低下させる他何等利益がないが大型で 100, 300, 500 ワット級以上の如く太い織條を小ぢんまりとコイルに捲いて置く時は此織條面からの熱損失を減じ、使用温度も高く従つて高能率を保つことができる。かくの如くして近年其發光能率が二倍となつた瓦斯入マツダランプが全盛の時代である。前述の如き理由から此充填瓦斯も最低熱傳導性を有し且熱容量 (Heat capacity) の低い窒素又はアルゴンが望ましく之に反し熱傳導率高く、比熱の大きな水素の如きは最も有害な瓦斯である。かくて充填瓦斯の壓力は冷時大氣壓より僅か低く熱するに従ひ大體この大氣壓に設計すれば最も安全である。

この能率を論ずる上にはこの白熱燈は元來一定の能率なく之

は供給電力、供給電圧等の如何による事を考慮せねばならぬ。

かるが故に 110 ヴォルト 25 ワットのマツダランプは約 25 燭光となり毎燭光 1.0 ワットの能率となるが若し此電球へ 130 ヴォルトを加へ 35 ワットの電力を送入すれば約 70 燭光となり前の場合の二倍の能率——即ち毎燭光あたり 0.5 ワットで定る。之に反し 100 ヴォルトを與へ 20 ワットの電力を加へると約 10 燭光、毎燭光 2.0 ワットの能率にあたる。

然るに一面に於て毎燭光 1.0 ワットに使用すれば壽命は約 1000 時間であるが更に高能率の毎燭光 0.5 ワットでは僅か 100 時間となり毎燭光 2.0 ワットに用ひれば實に 5000 時間の壽命となる。

故に此發光能率も亦此壽命を考慮してゐるもので且能率の増進と壽命の向上は幣に相反する傾向を示す。かやうな考へなきため古來自稱發明家の聲明せる素張らしい能率の改善ができてもそれは畫餅に歸する他ない。

由來此電球は光を發生するが目的故毎時毎燭光の消費電力を得るため常に最高能率を保たねばならぬ。但し此光發生には電力料及び電球の取換損を同時に考へねばならぬ。即ち供給電壓を高めると電力料は減するが壽命を短かめ毎ランプ時に對する取換費を増加する。故に電力料と取換費との兩者の和が最小なる如き供給電壓を發見せねばならぬ。

今 110 ヴォルト、25 ワットで 25 燭光である時(毎燭光 1.0 ワットの割合) 1000 時間の壽命と假定する。此時全體の發光出力 (Total light out put) は 25000 燭光時で毎キロワット時

16 錢の電力料 (2.5 キロワット時消費される) と電球取換費 1.00 圓と假定すればこの發光による全費用は $2.5 \times 16 + 1.00 = 5.00$ 圓で毎 1000 燭光時に對し 20 錢にあたる。

次に此電球を 130 ヴォルト、35 ワットで 70 燭光 (毎燭光 0.5 ワット) を 100 時間内發生するから全體光出力は 7000 燭光時で全消費電力は 3.5 キロワット時で金額にして $3.5 \times 16 + 1.00 = 1.56$ 圓、即ち毎 1000 燭光時 22.8 錢にあたる。かくて第一の場合よりも二倍の能率を示しながら其壽命の激減に基きかへつてランプ時の光の價格を増加してゐる。

最後に此電球を 100 ヴォルト、20 ワット、10 燭光に使用すれば毎燭光 2.0 ワットであるが 5000 時間の壽命で全體の光出力は 50000 燭光時で全體の費用は $100 \times 16 + 1.00 = 19.00$ 圓で毎 1000 燭光時 34 錢にあたり何れの場合よりもかけ離れて高價の光發生となり結局壽命を長くする事必ずしも經濟的でない。

然して電力料及取換電球料の如何に依つて最も經濟的な發光状態は多少變化するが何れも大體近い數値である。従つて電球の能率と一言に云へば勿論工學上電力料及び取替料の和から毎燭光時當りの最低費用を得られる状態に於て指定すべきである。

この問題は炭素球に就いて數年間研究され結局は最も經濟的の壽命は 500 時間で前述と同様に依り、炭素球は平均 500 時間後破壊又は硝子球内面の黒變に依り到底使用に耐へない如くなるやうな使用状態の能率を指すべきである。但しこの黒變使用に耐へぬ程度は最初の燭光より 20 パーセント降下——即ち 80 パーセントの燭光となる時を期限とする。

この硝子球内の黒變は既に金屬化炭素纖維にても著しく減じ、金屬纖維では其作用が殆んどないから後者では止むなく破壊壽命、真空不良壽命（及び纖維の抵抗増加）等で決定すべきものとす。

又マツダランプでは電力消費少く取換費高く炭素球を 500 時間とすれば普通のもので 1000 時間、直列點燈用は 1500 時を標準壽命として製作する。

尙ほ懐中電燈用の小型電球の如く電力料及び取換料が普通の場合と著しく趣きを異にする場合がある。即ち乾電池では毎キロワット時 20-100 圓で非常に高價であるから安直な電球は數時間の壽命で充分であるからなるべく電力料を節約する爲高能率の電球を使用せねばならぬ。

同様にして自動車用電球、活動寫眞用電球等を考へると普通型の壽命 1000 時間より遙かに短命を以て經濟とするに至る。

最後に普通用ひられる燭光は炭素球時代から面倒な水平燭光 (Horizontal candle-power) を用ひたが之は眞の燭光、平均燭光、平均球面燭光 (Mean spherical candle-power) とて發生せる全光束 (Total flux of light) を考慮せるもの、80 パーセントにあたる。この公稱水平燭光 (Nominal, horizontal candle-power) と平均球面燭光との比を球面的減率 (Spherical reduction factor) と稱へ大體 0.77-0.82 の間にある。然しながら普通の金屬纖維電球はこの係數 (Factor) が 1 に近く水平燭光と球面燭光とが相等しいため最近前者を全然用ひなくなつた尙ほ電球の格定にはワットを用ひる習慣が盛になつて來た。

第十七章 孤光點燈

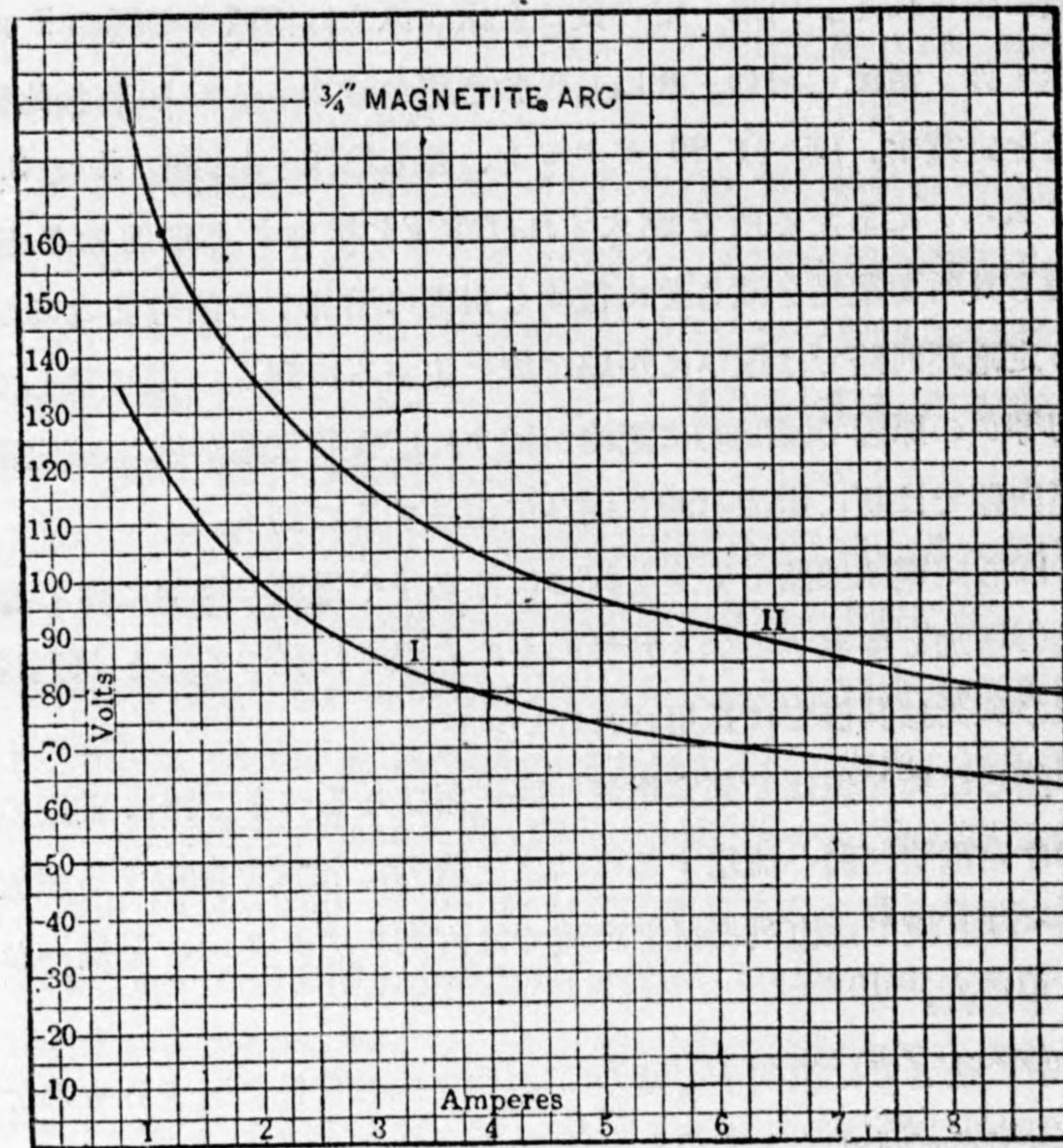
白熱燈は定電壓 (Constant potential) 回路及び定電流 (Constant current) 回路に兩用されるに反し此孤光燈は定電流現象に限られる。由來一定の長さを保つ孤光は第四十七圖の I に示す如く電流の増加と共に其吸收電壓が減少するから若し此孤光を定電壓、例へば 80 ヴォルト、即ち第四十七圖の I で 3.9 アムペアにあたる所で點火すれば電流を増加する如何なる原因も其所要電壓を減じ更に電流を自然に増加する傾向となるから定電壓回路では遂ひに短絡現象を生ずるに到る。是に反して何等かの原因で瞬間的に電流が減れば吸收電壓が増し或定電壓回路では更に電流が減じ遂ひに消滅するに到る。

即ち定電流回路で安定を保つには必ずや電流の増加に従ひ電壓の増加を要求する如き特性のものに限られ従つて之と反對現象の孤光は其儘では採用されない。

然るに孤光燈は元來定電流回路に用ひらるべきで持に前記の如き定電壓回路へ流用するには之と直列に電流を制限する装置例へば直流では直列抵抗を交流では直列リアクタンスを備へねばならぬ。

故に後者では第四十七圖の I の如き孤光特性を有するものを點火するには少くとも II の曲線に示す如く更に高電壓を要す。かくて II の曲線をこの孤光の安定曲線 (Stability curve) と稱へ、例へば、4 アムペアの孤光では 104 ヴォルト以下では點火しないことを表はす。即ち 104 ヴォルトで安定の極限

に達し、この 104 ヴォルトより高い電圧を興へた時初めて安定な孤光が保たれ、この電圧よりも高ければ高い丈其安定度を増す。この II と I との間の電圧の差は孤光安定用抵抗内に吸収される電圧である。



第四十七圖 マグネタイト弧光燈特性

直流孤光に強大なリアクタンスを直列に結ぶ時は其電流變化を自然制止し其値を減ずるから普通直流の孤光にも直列リアク

タンスを備へこのリアクタンスの無い場合よりも一層此供給電圧を II の曲線に近く保たせることができる。従つて此リアクタンスは直流孤光に於て其直列安定抵抗 (Steadying resistance) と共に重要なものである。此時は勿論のこと I の孤光を點火するに直列リアクタンスなき時は此供給電圧は II よりも幾分下方の供給電圧で使用される筈である。

故に定電圧回路の孤光燈は此安定抵抗を直列に接続する必要があるため定電流回路に用ひるよりも多くの電力を消耗し従つて其能率を低下させるに到る。

然し交流回路ではこの直列抵抗内の電力損失はリアクタンスを用ひるから著しく減ずることができるけれども一面其回路の力率を甚だしく低下させ、例へば定電圧回路の交流孤光の力率は概ね 70 パーセント以下である缺點が供ふ。

かくて高壓定電流回路、即ち屋外點燈、街路點燈の如きものに孤光直列法が用ひられ一つの回路に 50-100 個の孤光燈が直列に結ばれる。米國に於て大都市に於ける二三の例外を除き殆んど全都の孤光燈は直流及び交流の如何を問はずこの定電流法が用ひられてゐる。

直流の定電流電源には昔孤光燈發電機が作られ今日も二三共遺物たるブラッシ型 (Brush type) が残存してゐる。この種の定電流直流發電機は比較的弱い界磁を強大な發電子及作用で打ち消して其定電流特性を得るもので界磁のアムペアターン (Ampere-turns) と之に逆ふ發電子のアムペアターンは殆んど相等しく且兩者は是等の差 (合成アンペアターン) よりも非常

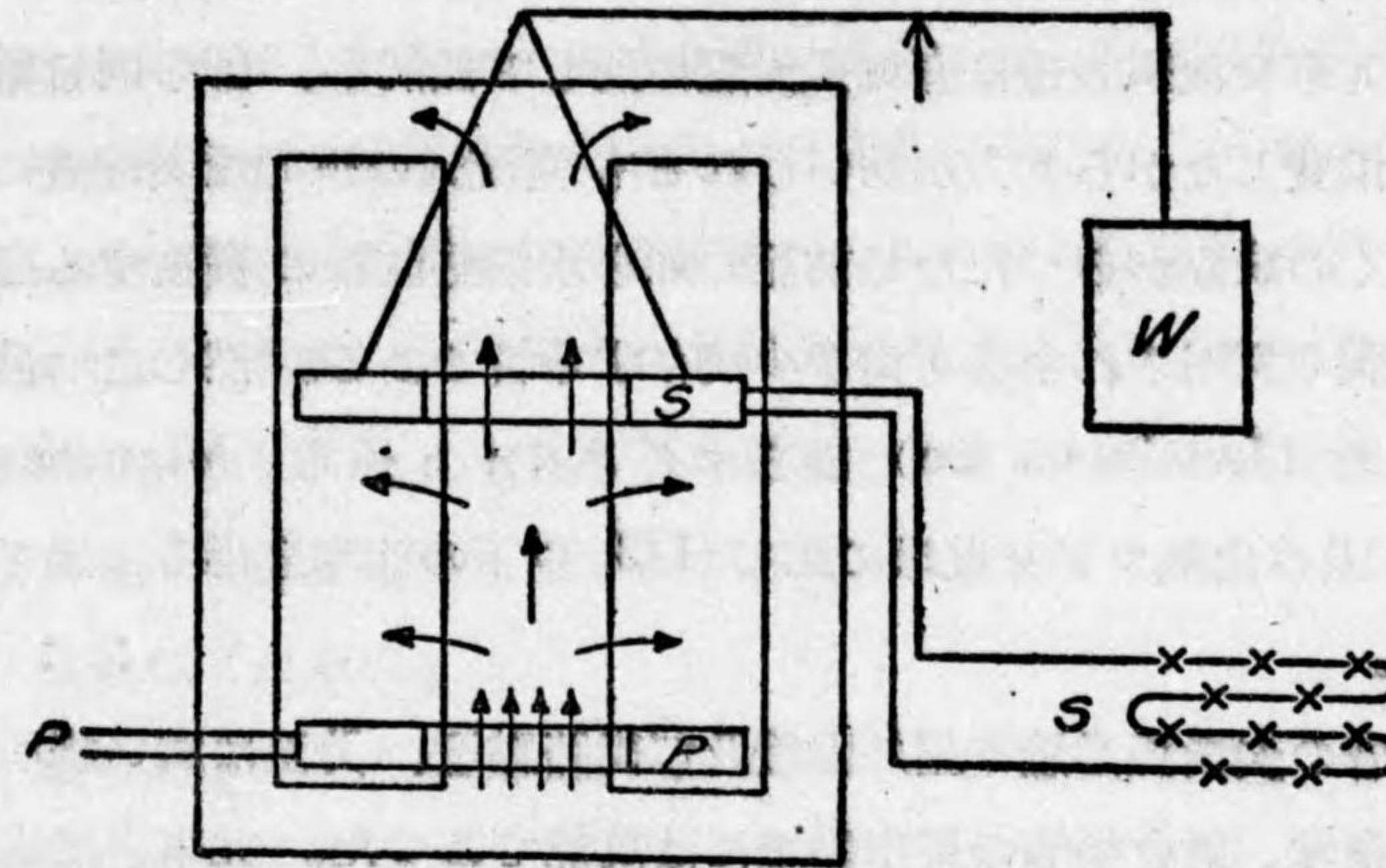
に大きく設計されてゐる。従つて中位の電流増加は發電子のアムペアターンの増加となり合成アンペアターン、即ち有効磁束を減じ端子電壓が下るからこの發電機は常に定電流を保つ如き傾向を保たせることができる。然し完全な定電流は他の調整装置一例へば直列界磁を分流する抵抗を自働的に變化する方法を施す。然しながら此發電機の調整器 (Regulator) 自身が定電流特性を生ずるものでなく單に發電子及作用によるものをこの調整器で其作用を完全に遂行させるに過ぎないから、今全くこの調整器を除いても或範圍の定電流を發生することができる。

次に水銀孤光整流器 (Mercury-arc rectifier) が發達して定電流式の交流が容易に定電流式の直流に変更され在來の孤光燈發電機が其跡を斷つた。此水銀整流器は交流の定電流變壓器を併用し之と交流定電壓回路に用ひて何等の廻轉機を使用せず極めて高能率で直流の定電流を得られるものである。

又定電流式の交流は定電流變壓器又は定電流リアクタンスで得られ前者は第四十八圖に示す如き接繼を用ふ。

此圖の P は一次線輪で固定し S は可動二次線輪で W の重錘 (Counter weight) で挺子式に支へられる。今 S が P に極めて接近した最下段にある時は P に依つて生ずる磁束の大部分が二次線輪 S 内を通り此二次電壓は最大となる。然るにこの S が P から離れるに従つて P と S の中間を大部分の磁束が通り二次線輪内には次第に其値を減ずる。かくて S が P より最も遠い最上端に在る時が最低二次電壓となる。

然して一次電流と二次電流とはお互に方向が反對で兩線輪 P,



第四十八圖 定電流變壓器

S は互に反撥し其反撥力は兩線輪内の電流の相乗積、即ち二次電流の自乗に比例する。若し S 線輪は自由に運動する如く設計し且 W で全く平衡するものとす。但し二次電流は既定全負荷を保ちこれに相當する P との反撥作用も存在するものとす。今負荷の減少に伴ひ二次電流が増加すればその反撥作用の増加で更に S を P が遠くへ押しやり二次電壓を自働的に減ずるか、其反對に負荷の増加で二次電流が減れば S が P に接近して二次電壓を増し電流を或値に保たんとする傾向がある。かくの如くして兩線輪の最大距離の如何に依る或極限迄の間この變壓器特有の定電流を發生することができ普通は全負荷電流から其 1/3 迄の間に亘る範圍に有効である。

次に定電流リアクタンスも亦同理で P と S とが定電壓電源へ直列にして結ばれ兩線輪の相互距離を自働的に變化して其り

アクトランスを調整し此定電流特性を保つものである。

元來交流孤光燈は直流孤光燈に比して低能率、即ち同じ電力を消費しながら光力が弱いけれども直流式の孤光燈發電機には多くの缺點があつたため前記の如き水銀整流器の發達する迄随分廣く採用され今日も尙多少殘存する筈である。然し之は發光孤光 (Luminous arc) 即ちマグネタイト孤光 (Magnetite arc) 及び白熱マツダ電球に比し $1/3$ 以下の能率を得るに過ぎない。

昔の炭素孤光燈は屋外點燈及び街路點燈、乃至は廣い場所、公會堂、集會場等の屋内點燈には萬能であつた。元來之は炭素纖維白熱燈以前に發明されそれより大型に限つて用ひられ非常に高能率である所から此白熱燈の發明された當時に於てすら大型電燈を要する場所には相當に賞用された然るに金屬纖維白熱燈、殊にマツダラムブの出現以後此普通型の炭素孤光燈は歴史的遺物となるに到つた。

即ち普通型の炭素孤光燈の光の大部分は其炭素の白熱端から出で其孤光 (Arc flame) からはあまり出ないが之に特殊の電極原料を使用し其孤光に發光性をあたへる時は更に其有効度を増し現存の金屬線白熱燈に匹敵すべきものとなる。發光孤光燈 (Luminous arc lamp) 及び發煙孤光燈 (Flame arc lamp) は是れに屬す。かくて水銀 (Mercury) カルシウム (Lime, calcium) 及びチタニウム (Titanium) の三元素又は其化合物に限つて此孤光自身の發光に極めて有利な原料であることが明了になつた。

この中水銀孤光燈は完全に安定で且長命 (Long life) で數千時間何等手入を要せず可成り廣い燭光に對し常に高能率を得られるが多くの場合其青味がかつた光質が用途をさへぎつてゐる。次の發煙孤光燈は其炭素電極へカルシウム化合物 (弗化カルシウム、硼酸) が浸透され其孤光は橙黄色 (Orange-yellow color) を示し、この電極混合物は其能率を高めると共に煙を發生するから之は開放孤光燈又は何等かの方法でこの煙と混合物を集めねばならぬ。

然し開放型孤光燈 (Open arc lamp) は昔採用せられたが多少此能率を犠牲にしても密閉型 (Closed carbon arc) が用ひられ前者の如く電極消耗はげしく毎日の手数を除くことができた。由來かくの如き理由で開放型は市街點燈の如く屋外の一般點燈用としては不適當である。

密閉型發煙炭素孤光燈は二重の硝子球とし孤光から生じた瓦斯は光の發散に差支へぬ部分で沈澱させる方法を用ひてゐる。即ち長命型 (Long burning) 密閉型 (Enclosed) 又は再生型 (Regenerative) 孤光燈はこれに屬し比較的黃白色の光質を得られるから市街點燈に賞用された。然しながら一面此種の發煙孤光燈は開放型及び短命型 (Short burning) 等に比し能率が低下し、遂ひに 0.5 ワット級の瓦斯入マツダ白熱燈が出現するに及び其能率に於て大型の發煙孤光燈は多少優れるも其安定度低く且其取扱の複雑せるため今日では密閉型黄色孤光燈は全く不用となつたものと考へられる。之に反し白色孤光燈は能率に於て黄色孤光燈に比し多少劣るから其能率を以てのみ争ふ場

合にはあまり用ひられまぬが、特に光質を主目的とする或限られた範囲内に於て尙ほ残存すべき資格を有する。

マツダランプに對して競争される唯一の孤光燈は炭素電極を要しない發光孤光燈で電極は鐵チタニウム、クロムの酸化物と孤光の安定を保つため弗化アルカリの微量を含む。此時鐵の酸化物及びマグネタイトは孤光の電極の大部分を占め、チタニウムの酸化物は光をあたへるもの (Light-giver) 故孤光の安定と電導度を失はぬ範圍でなるべく多く混入するがよく、酸化クロムも殆んど同じ作用をするが此量を増せば増す程孤光が不安定となり無壽命を減ずるから少くとも 150-300 時間の壽命を保つ如き割合に混合する。殊にクロムの分量があまり多くなると反つて能率を低下する傾向があるから其量には一層制限を要す。

此發光孤光燈の商用能率は大體瓦斯入マツダランプ最高の値が保たれ尙ほ電極の取換費は後者の電球取換費より安直であるが普通の孤光燈の如く直流式定電流で水銀整流器を用ひる場合には定電壓回路のマツダランプより複雑する缺點がある。然し光質から云へば此發光孤光燈は完全に近い白光で青葉ある所の照明には黄色炭素孤光燈、黄色白熱燈及び瓦斯入マツダランプより遙かに優秀である。故に今日では屋外點燈にはマツダランプと共に此種の孤光燈が併用され屋内點燈には全部マツダランプが充當される有様である。更に交流式發光孤光燈は整流器を用ひず直接交流定電流回路に用ひられると更に更に此屋外點燈に勢力を得、其能率と云はず光質に於ても遙か白熱燈を凌駕する譯である。

此種の孤光燈では一般に電極の蒸氣の流れに依り兩端子間を電流が流れるもので此電極は當然早く消耗する。従つて使用中此電極を供給する装置が必要となつて来るが之は孤光燈自身の電流、電壓又は兩者共用で動作されるからこの方面から直列燈 (Series lamp) 分流燈 (Shunt lamp) 及び差働燈 (Differential lamp) の三種類に分類される。

此中直列燈は電磁石が孤光燈の電流で作られ其力が重錘又は彈條で平衡し電極が消耗し電流が減少すれば彈條又は重錘自動的に電極が供給される。勿論これは定電流回路又は數千直列に使用されぬが單に一個定電壓回路に用ひられる。

又分流燈ではこの調整用電磁石が孤光と分流し孤光が長くなれば孤光電壓が高まり此電磁石が強くなつて電極を供給するものである。故に定電流回路ではこの種の孤光燈はハンチングを起し非常に高いリアクタンスを直列に結ばねばならぬから結局交流回路では其力率を悪くする缺點があるから次の差働式を用ひねばならぬ。唯電流の變化に對し光力の變動が多くないのが利點である。

次に差働燈は直列電磁石を分流電磁石が打ち消す如く作られ孤光の抵抗を一定になる如く調整される。この調整法は最も安定であるから直列式定電流回路及び併列定電壓回路に専ら用ひられる。但し定電流回路では其電流を正しく一定に保つ場合でないと電流が少いときこの孤光が短かきに失し光力が激減して其用をなさず又電流が多い時は孤光の長さが其壽命にかゝる如く長く危険である。

普通之等の調整器の動作はクラッチに依り電極に傳はり、電極はこれと動作を共にし或ひは全く外れてゐることもできる。

昔の炭素孤光燈のこの機構は中ぶらり (Flcating) で上端の炭素極は分流及び直列電磁石に逆つて動作し、孤光抵抗の變化に伴つて運動し孤光に吸収される電壓を正しく一定に保つことができた。長命發光孤光燈の如く光が孤光から來るものでは安定な光を發生するには其孤光の長さを嚴密に一定とする必要がある。故に中ぶらりの機構、即ち孤光抵抗の變化に基き孤光の長さを常に變化するから孤光の長さを一定に保つ如き機構は取除き分流線輪が動作する迄孤光電極の消耗に放置し或程度に及んで初めて電極が供給される如くなり、或一面に於て分流燈 (Shunt lamp) が喜ばれる。

昔の開放型孤光燈は 9.6, 6.6, 4.0 アムペアの直流が毎燈 40 ヴォルトで點火された。この中 4.0 アムペアのは殆んど發光しないので直きに中止された。

密閉型孤光燈は電極の周圍が全く氣密 (Air-tight) の硝子管に包まれ唯炭素の燃焼に必要な丈の空氣の導入を許し、8-10 時間の壽命が 70-120 時間に延長した。かくの如きものは電流少く電壓の高いのが賞用され従つて孤光も亦長く直流では 6.6, 5.0 アムペア、70-75 ヴォルト、交流では 7.5, 6.6 アムペア 70-75 ヴォルトが最も多く用ひられた。

又直流のマグネタイト型 (發光孤光) には 4.0, 6.6 時としては 5.0 アムペアで 75-80 ヴォルトといふのがある。

屋外照明に於ける發光孤光及びマツダランプは共に同じく市

街點燈には 250-500 ワツトのものを相當の距離を有する電柱上に兩側又はこゝに樹木のある所は街路の中央に點火する。其他公園の各部に依つて小型電球を數個一群とする時にはむしろマツダランプがよいが芝草、樹木等の廣い所をまばらに照すには光質の優秀なマグネタイト孤光がよい。

第十八章 現今の電力発生と其分配

最近電氣工學の著しい進歩に依り現代文明の要求する動力には萬能の電力を用ひ、在來の各種の動力は勿論局部的の發電所も亦次第に大きな發電系統に接続替され廣い面積に亘る電氣的機械的、化學的勢力を一手に供給するやふになつた。

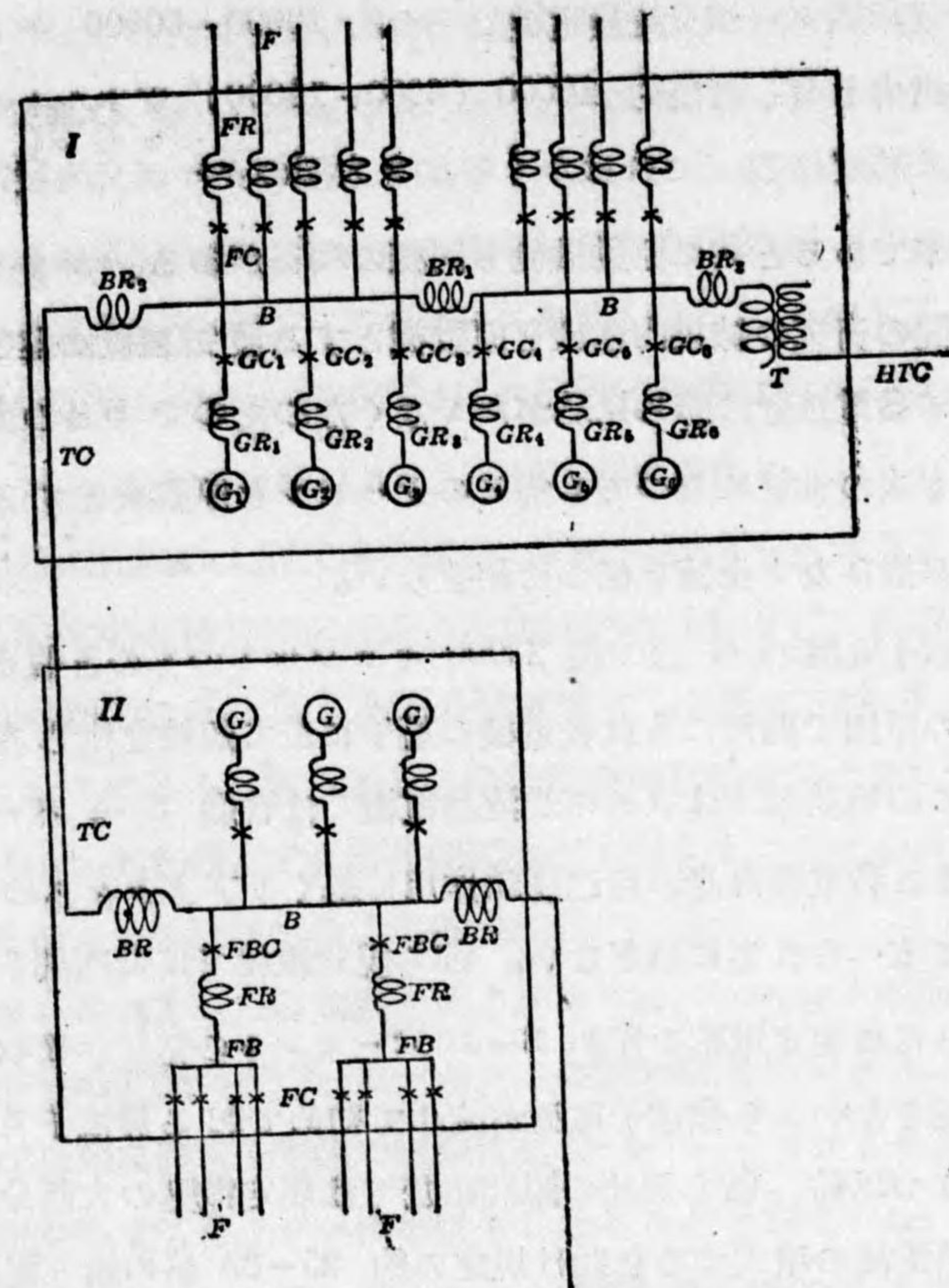
従つて電力利用者側と電力の發生者側とは別々の分學になつた。

斯くの如き數十萬キロワットの大發電所に於ける運轉の圓滑を期するには次の如き三要件を滿たす必要がある。

1. 多くの電氣機械は同一發電所内で同じ母線 (Bus bar) に併列に、數箇所の發電所は中繼電纜 (Tie cable) で同じ消費系統に接続されねばならぬ。即ち一つの母線に集中される一發電所の電力は第五十回の太い點線で示す如く環狀母線 (Ring bus) で一丸とし發電所間の相互連絡が保たれる。若し兩系統の周波數が 25 及び 60 サイクルの如く二種類あれば兩者間に周波數變換機 (Frequency changer) を置いて相互間の電力の融通に圓滑を期せねばならぬ。

2. 發電系統は發電所の擴張、新設又は既設發電所との連絡等に依り何等の運轉上の危険を増すことなく無限に其系統を廣げられること、即ちこれがため運轉の信頼度 (Reliability of operation) を減じ或ひは故障の機會を増してはならぬ。故に

3. 其系統制御は最大電力を偶然の機會に任意の點に於て調



第四十九圖 リアクタンス電流制限器の利用法

整又は切斷される如く設計せねばならぬからこの發電系統の取扱ふ電力は自ら現在の遮斷装置及び制御装置の危急に對する動作の如何に依つて或程度に制限される筈である。

第四十九圖の I は斯くの如き大發電所で六臺の發電機 G₁, G₂, G₃, G₄, G₅, G₆ を有する接続圖である。これ等の各發電機

は高圧三相式ターボ交流発電機で一台約 10000—50000 キロワットの出力を有し直接約 10000 (6000—15000) ヴオルトの配電母線に結ばれる。これはかくの如き大型のターボ交流発電機が高効率であると共に原動機側も同様の利益がある。かくて長日月の間の研究の結果内燃機を原動機とする発電装置は遂ひに此ターボ発電装置に勝る見込がたゞなくなつたので今日の如く少くとも次の世紀に亘つても尙このタービンを原動機とする火力発電が疑ひなく全盛を保つに相違ない。

今第四十九圖の G は一臺 20000 キロワットのもので假定し何等かの原因で偶然にも此発電機の端子に於て短絡を生じたとすればこの短絡電流はターボ交流発電機では普通 3—4 パーセントである発電機自身の自己誘導作用に基くリアクタンスのみに依つて支へられるに過ぎない。即ち規定電流では此内部リアクタンスには規定電圧の僅か 3—4 パーセントの電圧が吸収されるに過ぎないから發電子電流が流れて初めて起る發電子及作用の役立つ以前、即ち短絡の瞬間に於ては規定電圧の大部分は所謂短絡電流の増大するを助け規定の約 25—33 倍の過大電流を通ず。然して第四十九圖の如く六臺の交流発電機が直接母線に結ばれるからこの點に於ては規定状態の一臺の約 150—200 倍の瞬間電流が流れ其電力は最大實に 1500000—2000000 キロワット (これは普通無負荷電圧に短絡電流を乗ず之を 2 で割つた値) に及び如何なる自働遮断器等もかくの如き大電力を遮断及び制御することは到底不可能の事に屬す。

かくの如き発電機電流の放流を防ぐため各発電機を直列に第四十九圖の $GR_1, GR_2, GR_3, GR_4, GR_5, GR_6$ の如き電力制限リアクタンス (Power-limiting reactances) を用ふ。但し第四十九圖は單に一相に就いてのみ示してあるが勿論三相交流発電機の各臺に三個宛のリアクタンスを要し且これ等のリアクタンスは発電機自身と一臺に取扱はれ自働遮断機は夫々このリアクタンス (GR) と母線 (B) との間に接続される。

一般に此種の大型交流発電機の系統に於けるリアクタンスの値は瞬間的短絡電流が規定発電機電流の 10 倍位に制限される如く設計される。即ち全體の発電機リアクタンスが 8—12 パーセントになる見當である。今発電機固有のリアクタンスが 4 パーセントと假定すれば外部に流がすべきリアクタンスは 4—8 パーセントに設計せねばならぬ。

かくの如き電力の制限リアクタンスはパーセントで示されるのが普通で例へば 8 パーセントの電力制限リアクタンスと云へば規定の發電子電流で規定電圧の 8 パーセントにあたる電圧がこのリアクタンス内に吸収されることを意味する。

然るに其系統が更に擴大すれば假定発電機のリアクタンス GR で最大の短絡電流を自制しても一本の母線へ多數の発電機が結ばれこの母線に於て危険な程度の短絡電流の集合となる。今第四十九圖で三個所の發電所が何れも 20000 キロワットの交流発電機を夫々 I が六臺、II が三臺、III が六臺で合計 300000 キロワット (是は現存の最大發電所より少いが) で電力制限リアクタンスで各発電機が 10 倍の短絡電流とすれば母線に於て