

を接地する。

発電機の中性点の接地 — 先づ高圧特別高圧の発電機に就て論ぜむ、此の中性点接地の問題は大いに研究を要する處である (Peak 氏の Proceedings I.E.E. Vol. L, 1913 p. 150 誌上の "Earthed versus Unearthed neutrals in alternating current systems". 参照)。

接地した場合の重なる利益はケーブルの一相に故障が起つた時之れを他に波及せしめず相間の短絡を起すが如き事なからしむる點で、地下線にして居る発電機などの場合には之れは一大得點である。一方に一相を永久接地したまゝで運轉する事は不可能である。然しケーブル系が充分大であれば之れは出来るかも知れない。然し架空送電線の場合には之れと異り、多くの實例もある通り一相を接地したまゝで或は一相を全然切離して運轉し居る事は非常に望ましい事である。依て之等に就て一般共通なる法則を作るわけには行かないで各自其の得長に就て考慮せねばならない。

若し発電機が直接に低中壓の配電回線に (例へば炭坑の場合の如き) feed して居る時には接地、非接地の各得失を比較研究し若し接地する事に定めたら斯様な電壓に對しては接地回線に何等抵抗を使用する必要はない。若し漏洩保安器が使用される場合には (第三章漏洩保安器の項参照) 中性点を接地する必要がある。

猶中性点が接地されて居る場合には導線の電壓は相間電壓の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍だけ大地より高きのみなり。

接地されて居る回線は接地されて居らぬものより電撃を興へ易し。 ("Earthed V. Insulated neutrals in colliery Installations" 参照 W.W. Wood 氏 "Journal" I.E.E. Vol. XLV, 1910 p. 559.)

變壓器により高い電壓の回線に接続されて居る回線 — 斯様な回線の低壓側は常に接地するがよい。之れは單に高壓、低壓捲線間の逆流の保安となるのみならず又高壓側から靜電氣的誘導作用により低壓側に高壓の充電を受くるを防ぐ事が出来る。或る技術者は接地する代りに低壓側に放電間隙による接地装置を附す可しと稱して居るが、勿論之れを接地してしまつた方がよいのである。

高壓架空送電線 — 非常に高い高壓の送電線に於ては其の中性点を接地すればコロナ損失を減ずる事が出来線路の絶縁物に加はる壓力も減じ得るの利あり唯或る僅かな極端の例に於ては斯様な場合に豫防手段として insulator を earth 以上相間電壓に等しい壓力に堪え得る様製作し接地をなさぬ事もある。架空送電線の場合には一相に起つた故障が各相間の短絡を引起すが如き事は少い。高壓架空送電線に於ては接地をなさぬ方が確かに停電を少くする事が出来るので之を採用した方がよい。猶 Δ に接続された變壓の一相を切離して運轉し得る様にするには高壓側に中性点を求むる事は出来ない、之れ非接地式を採用する他の一原因なり。

中性点接地に使用する抵抗の構造

三相回線の接地抵抗のターミナル間にて受く可き最大電壓は

相間電圧の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ に等しい。これは一相が完全に接地された時に受く可き電圧である。抵抗を通じて流るゝ最大電流は最も重い feeder の遮断器を動かすに足るだけのものでなければならぬ。而して此の電流は feeder が漏洩又は平衡保安器でなく過負荷保安器のみで保護されて居る場合には頗る大である事は明である。然したとへ漏洩、平衡保安器具が用ひられて居る場合でも一般に過負荷保安器は使用さるゝものである。そこで接地抵抗は如何なる場合でも出来得べくんば最も重い feeder の過負荷遮断器を動かすに足る可き電流を通じ得る様なし置くを可とす。

斯かる接地抵抗の普通一般の構造はコントローラーに用ふる抵抗の如く grid で作る。而して抵抗の一部にあまり高い電圧が集中され絶縁を害するが如き事なき様充分の注意を以て區劃を施し、全體の抵抗は陶器の絶縁臺上に装置される。

Peak 氏の説によれば ("Journal" I.E.E. 1912 Vol. L. p. 153) 接地抵抗を耐火壁内に藏めたる場合には全電圧 即ち $\frac{E}{\sqrt{3}}$ volt. 但し E は相間電圧) がターミナル間に 15 秒間加へられたる時温度上昇は 300°C となる様な大さを撰む可し。然し此の設計では抵抗器が一般に甚だ大となり、例へば 6,600 ヴォルト回線にて全スター電圧が加へられた時 100 アンペア通るものとせば 332 K. W. を吸収せねばならぬ。抵抗を計算する時注意す可きはアースが起つた時には過負荷の爲め發電機の端子電圧が下降し猶故障の箇所にも又ケーブルにも相當の抵抗がある猶重要なる點は grid を使用した場合には之等は温度が上昇

した時には抵抗を増加するの缺點あり。

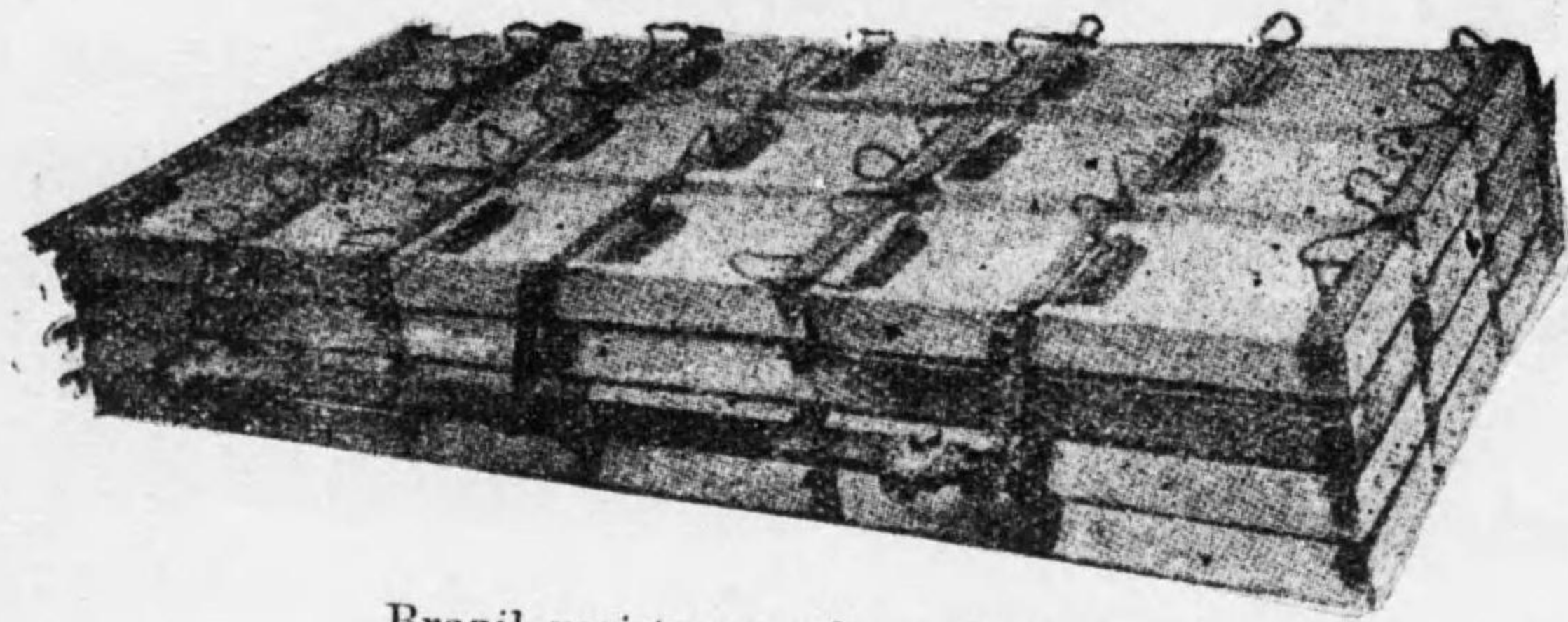
300°C も上昇した場合には其の抵抗は 45 乃至 50パーセントも増加するであらふ。従て初めの接地抵抗の値は Y 電圧を最も重い feeder に付いて居る circuit breaker を動かすに調整せる電流で除した値の $\frac{1}{3}$ の抵抗にして置かねばならぬ。Grid 抵抗には此の缺點があるから反對の性質を有せる即ち熱くなれば抵抗が減ずる性質の抵抗材料を使用する方がよい。

即ち液體、カーボン等がよい。

ケーブル網に接地抵抗を使用する場合に注意す可きは容量の大なる場合には接地が起ればケーブルは此の點にて激しい焼損を起し爆発を起す事さへあり従て之を除くには装置さる可き接地抵抗は過負荷遮断器を動かす様な電流を通じない様に相當に大なる抵抗を有せしむる必要あり。従て過負荷遮断器を動かす電流よりも遙かに少い電流で feeder の開閉器をトリップし得る或る種類の leakage 又は balanced protector を装置する事が必要である。

負の温度係数を有する接地抵抗——此の種の抵抗は Brazil の主張で**第三百四十二圖**、**第三百四十三圖**は其の一種なり。之れは多くの耐火粘土の種を重ねたもので之れに兩端にカーボンの端子を附し端子間には特殊なカーボンの粉末を充せり (Journal I.E.E. 1911 Vol. XLII, page 330 及び 1912 Vol. L, page 162)。此の種の抵抗は熱くなつた時抵抗を減ずるの性質を有し之れは赤く焼けた時には冷い場合の抵抗の $\frac{1}{12}$ になると稱せられて居る。従て初めの抵抗を grid に比して餘程大きく取る事

第 三 百 四 十 二 圖



Brazil resistance (through empty)

が出来る。若し初め電流が遮断器を動かすに充分でなくともしばらく電流が通つて居れば熱くなり漸次其の抵抗を減ずるから遂には遮断器を動かすに足る電流となる。従て故障による激變を緩和する。此の粉末抵抗では初めは feeder の開閉器を動かすに必要な電流の 30 乃至 50 パーセントの電流が通り 15-20 秒の後抵抗が充分減じて故障のある feeder を遮断する。

接地回線の抵抗——總ての場合接地抵抗と直列に接地回線にはカーレントトランスフォーマーを通じて電流計を結ぶを可とす。猶接地電流がある値以上に達した時には警鈴を鳴す様なリレーが必要である。

高壓配電盤の計器

現今高壓配電盤に使用する測定器具はすべてカーレント又はポテンシアルトランスフォーマーを経て線路に結ばれて居る(計器用變壓器の項を参照)。

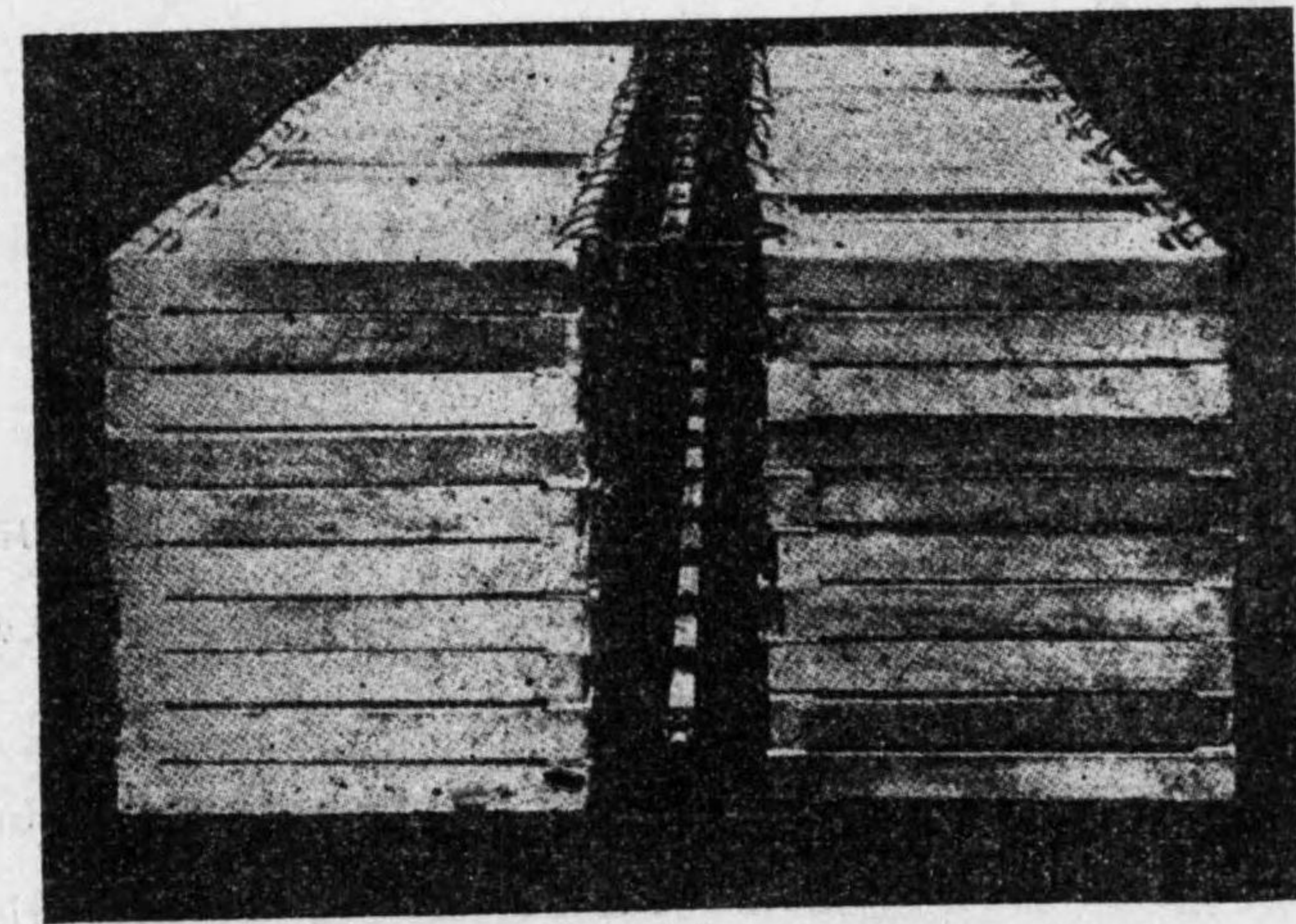
交番電流を測定する計器は moving iron の原理で作られ必

要なる任意の感度に作る事が出来る。

誘導型の電流計や電圧計は殆んど 300 度に亘る廣い範圍の目盛を必要とする特別の場合にのみ使用す可きである。ダイナモメーター型の計器は配電盤用としては不便である。勵磁電流其の他重要な直流の測定には moving coil の計器がよい。

指示電流計、電圧計の正確の度合は British Engineering Standards Committee の仕様第四十九號にて決定されて居る。

第 三 百 四 十 三 圖

11000 V 三相回線用 Brazil resistance 樋はシリ
ースパラレルとなる。350 アンペアの容量あり

重要な作業に對しては第一流の計器を使用す可きは勿論である。計器の最大の目盛は Engineering Standard Committee の規定によりて決定せねばならぬ(乃ち英國の製造家は)。

接続を簡単にし且つ不必要なる経費を省く爲め同一回線に多

くの計器が使用される場合には之等をすべて一つの變壓器にシリーズに接続するを常とす。従て計器や變壓器は其の捲線、壓比其の他の點に於て一定の標準型を定め置き同一の計器を唯目盛さへ書き變ふれば異つた變壓比の變壓器に使用し得る様になし置けば頗る便利である。

Switch gear の製造家が電流計其の他の過負荷容量に就て一定の規則を作つて置けばよいと思ふ。

次に著者の採用して居る標準を述べむ。

發電機に結ぶ電流計、指示電力計は發電機ノ全負荷以上50パーセントまで讀め。

Feeder の電流計及び指示電力計はあまり過負荷となる事も少く而も却て輕荷重の時でも明瞭に讀めねばならぬから 25 パーセントの過負荷まで讀めればよい。

電動機用配電盤に附する電流計は 100 パーセント指示電力計は 50 パーセントの過負荷まで讀めればよい。勿論之等何れの場合でも最も近似の標準目盛を使用す。

Motor panel に附す可き指示計器に與へたる注意は booster を運轉する motor には適用す可きではない。之等は發電機用配電盤の場合の如く取扱ひ 50% までだけの過負荷を讀み得るものとなす可し。Watt-hour meter に關しては之等の全負荷容量はいつでも其の回線の全負荷に相當する様定む可し。

前述の E.S.C. 仕様第四十九條の第十二項を参照するに茲では

“第一流第二流の計器に使用されたカーレントランスフォーマ

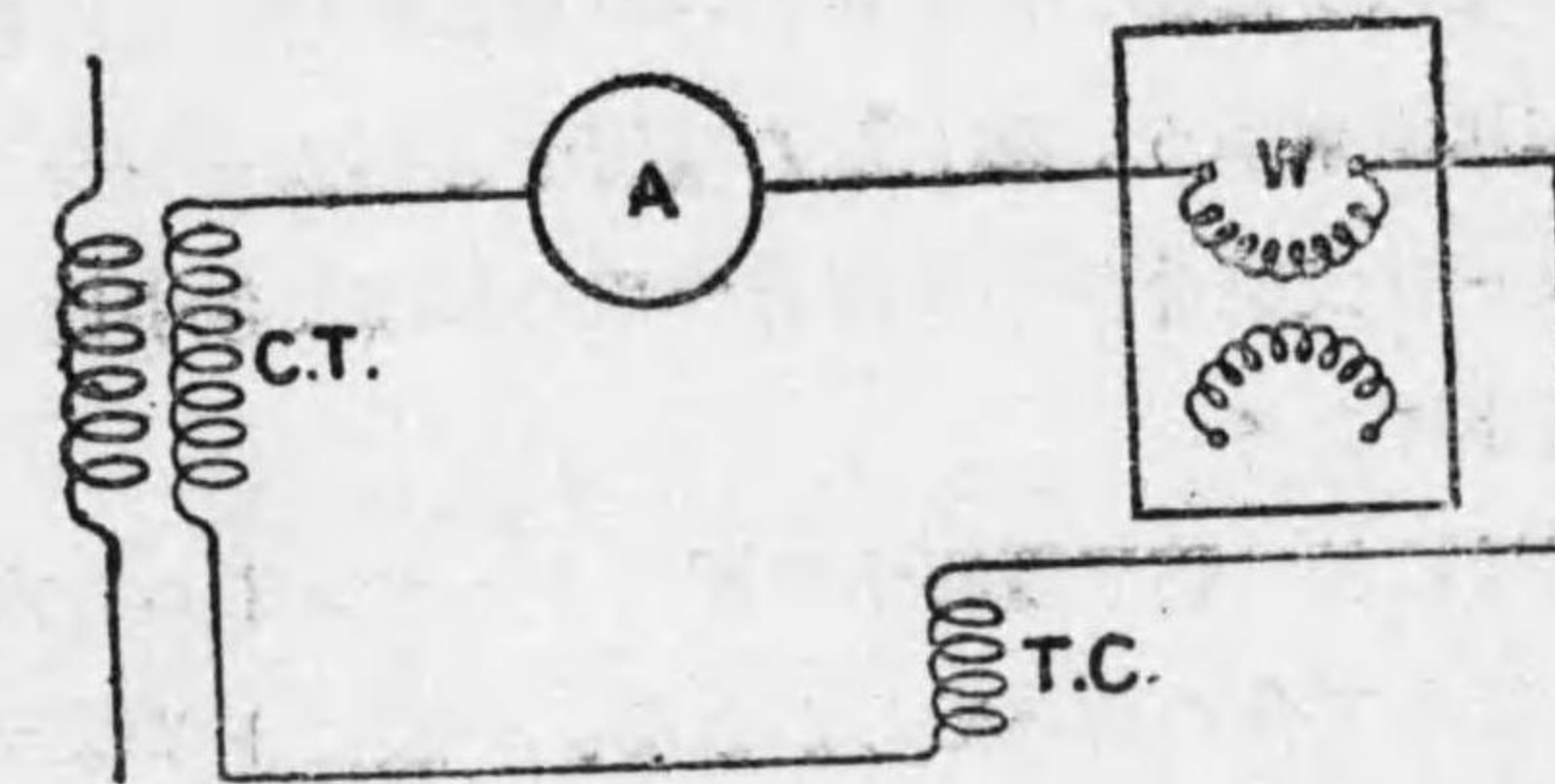
一の二次回線の電流は最大の目盛の處ろで5アンペアなるを要す’

と要求してある。

然し配電盤の計器に於ては此の要求に應ずる事は出來ない。(Electrician June. 23, 1912 Vol. LXIX, page 486) 之れは電流計を其の回線の過負荷を表示する様になす必要があるからで、例へば或る電動機の規定全負荷電流が 40 アンペアであるとせば此の配電盤に附する電流計は始動電流、過負荷の割合などを示す爲め之れより少しく多く讀み得る様になし置く必要あり。即ち配線、開閉器などは規定の 40 アンペアに作るとも電流計の最大目盛は先づ 80 アンペア位となすを要す。

猶全負荷電流 400 アンペアなる高壓交流發電機の場合を考ふ

第三百四十四圖



一個のカーレントランスフォーマーにて配電盤の各計器へ皆給電して居る場合

A = 電流計

W = ワットメーター又はワットアワーメーター

C.T. = カーレントランスフォーマー T.C. トリップコイル又はリレー

るに電流計は 600 アンペアまで読み得るものとせねばならぬ。若し E.S.C. の規定の如く 600/5 なる變流比のカーレントトランスフォーマーを使用したとすればどんな事になるか。

扱此のカーレントトランスフォーマーは電流計を動かす外多くの場合ワットメーター、ワットアワーマーター、或はトリップコイル、リレーコイル等に電流を送る(第三百四十四圖参照)。

若しワットアワーマーターが 5 アンペアに捲かれて居れば此のカーレントトランスフォーマーと組み合はされたるワットアワーマーターは 50 パーセントだけ大き過ぎ従て夫れだけ正確の度合が悪くなる。正確の度合と云ふ見地から見れば斯様な場合には 600 アンペアでなく 400 アンペアのワットアワーマーターを使用す可きで回線の過負荷はメーターの過負荷容量で充分安全に處置し得べし。ワットアワーマーターだけに就て考ふれば例へば 3 アンペアに捲いたメーターを用ふれば此の困難は一部免ぬかる事が出来やう。然し此の装置でさへカーレントトランスフォーマーは大部分低い範圍を使用せねばならず従て正確の度を害する事になる。

上述の回線に於て**第三百四十四圖**トリップコイル(或はリレー)にもやはり工合の悪い處ろがある。一般にトリップコイルの目盛は全負荷以上に就て行ふ可きであるが若し 5 アンペアのトリップコイルが使用されるれば 3.3 アンペア以上で働かねばならない事になり之れは一般に甚だ困難な事である。猶其の全負荷電流の $\frac{2}{3}$ で作用する場合にはカーレントトランスフォーマーよりコイルに入るワット数は比較的少い。斯くの如く少い電流で

も作用する様に作るにはトリップコイルに用ふる線を細くし回数を増加せねばならぬ。従て抵抗を増加し一層害を多くする。

実際にはカーレントトランスフォーマーの電流比を回線の全負荷電流に適する様に定むればよい即ち上述の例に於ては 406/5 なる變流比のカーレントトランスフォーマーを使用すればよい。此の場合に計器は標準型の 5 アンペアに捲いたものを用ふるを得べく唯其の制御スプリングを調整して必要なる最大目盛に合はせばよい。

變流器の變流比はいつでも計器に明記して置く必要がある。猶**第三百四十四圖**に於てトリップコイルに限時フューズを並列に結ぶ事があるが之れはトリップコイルのイムピーダンスの變化によりワットアワーマーターの讀に誤差を來すを防ぐ爲めである。此の限時性は一般に利益がある。リレーはトリップコイルよりイムピーダンスが非常に少いからカーレントトランスフォーマーの二次回線にワットアワーマーターと直列に接続しても差支ない。

高壓交流回線に於ける電力の測定

指示電力計

現今信頼し得べき電力計はダイナモメーター型又は誘導型に製作され、荷重が三相電動機の如き場合には平衡荷重指示電力計を用ふる事が出来る(即ち單相の計器を用ひてよい)。

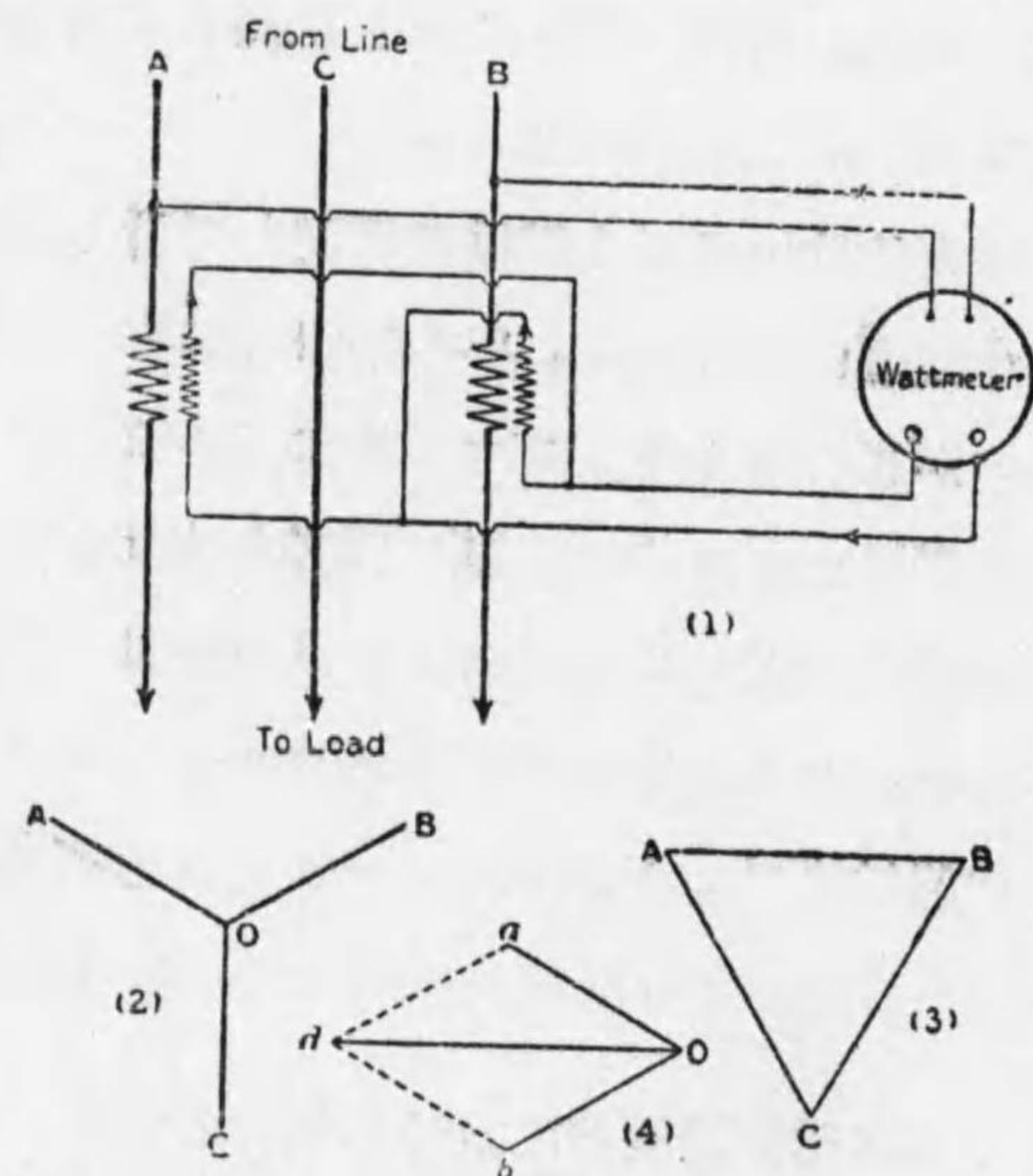
之等は周知の種々の方法に接続する事が出来る。其の内で“Reversed V” 接続法は他の方法の如くよく知られて居ない。

之れを用ふれば配電盤の接続を簡単ならしむるの利あり。今次に其の概要を述べむ。

Reversed V 接続

(a) カーレントトランスフォーマーを逆にする方法**第三百四十五圖**(1)に於ては三相平衡荷重の指示電力計が此の方法にて

第三百四十五圖



平衡三相回線の全負荷を指示す可き单相指示電力計の逆 V 接続

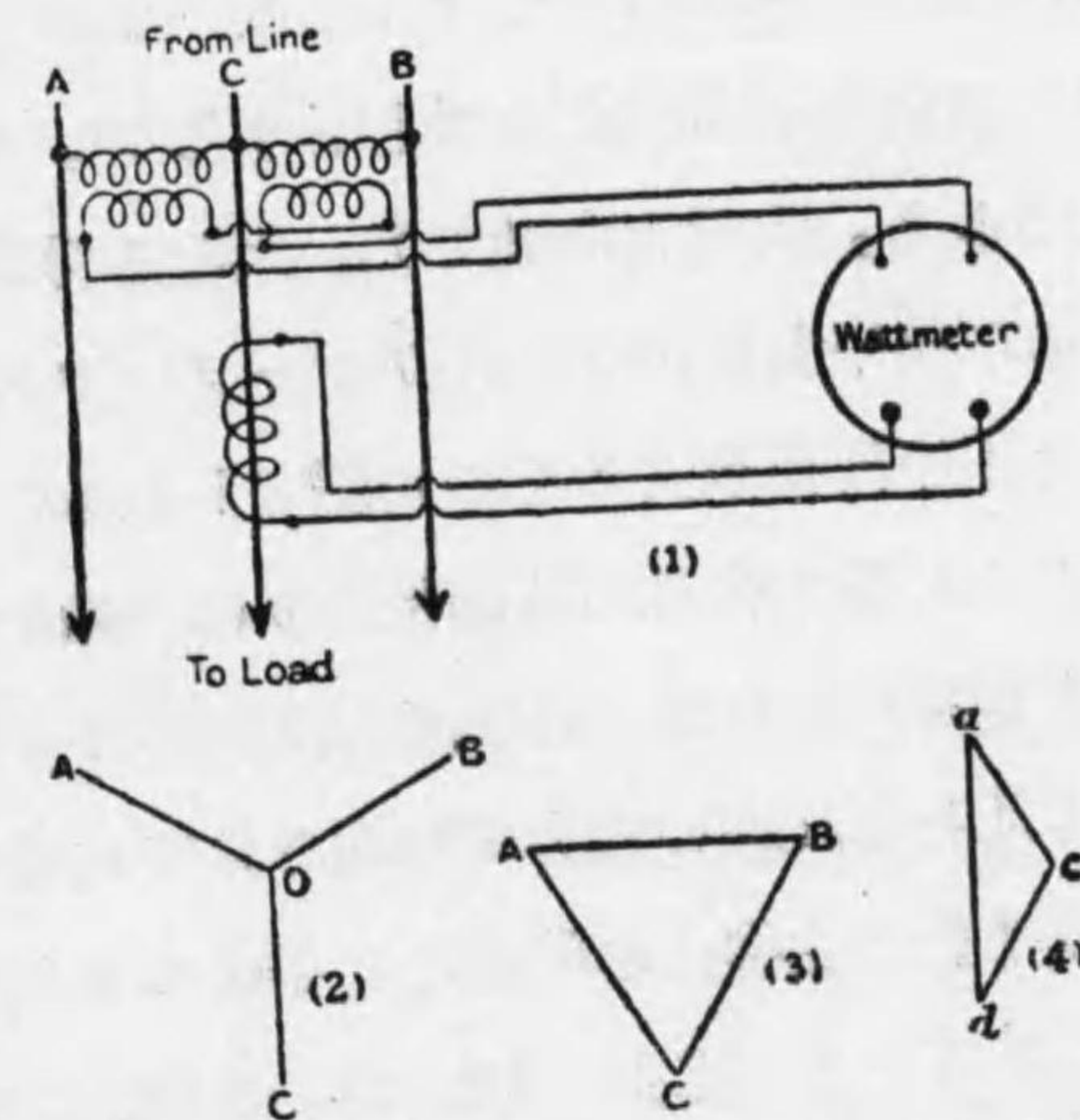
(カーレントトランスフォーマーの逆接続)

接続されたるを示す。各相の電流の位相関係は**第三百四十五圖**(2)に示す如く電圧の関係は同(3)に示す如し。但し荷重は無誘導と假定せり。ワットメーターを流るる電流は明かに A の電流と B の電流との合成されたもので後者は逆になつて居る。第

三百四十五圖(4)は其のベクトル圖で od がワットメーターを通る電流である。 od は AB に平行であるから A と B とはワットメーターの電圧捲線を結ぶ可き適當なる位置である。高壓回線ならばポテンシアルトランスフォーマーを使用す。

ワットメーターの電流はカーレントトランスフォーマーの二次電流の $\sqrt{3}$ 倍であるから二次電流が全負荷に於て 5 アンペアならばワットメーターには 8.66 アンペアの電流が通る荷重が平

第三百四十六圖



三相回線の全負荷を指示す可き指示電力計の逆 V 接続 (ポテンシアルトランスフォーマーの逆接続)

均して居れば力率がどんなに變つても實際の電力を示す。

(b) ポテンシアルトランスフォーマーの逆接続

此の接続は**第三百四十六圖**(1)に示した通りでポテンシアルトランスフォーマーの一次電圧の関係は**第三百四十六圖**(3)の如

く二次電圧の關係は同(4)の如し。 ad なる電圧がワットメーターの電圧捲線に加はる電圧で無誘導荷重の場合には ad は oc (即ち c 相の電流)に平行であるから此の相にカーレントトランスフォーマーを接続す可きである。

三相回線のワットアワーマーター

高壓回線には主として誘導型のワットアワーマーターが使用されて居る。之は電動機等の電量を測定するに前項に述べたる如く単相のワットアワーマーターを使用する事もあつたが、前項にて述べた様な指示電力計には使用し得べきも種々變化する荷重の本に於て正確なる測定をなさむとするワットアワーマーターは不適當である。大電力會社で元、大なる得意先の三相電量を測定するに單相平衡荷重ワットアワーマーターを使用した處ろも漸次之を不平衡荷重式のものに變更したものが少くない次に或る三相の大電力會社の技師長よりの書翰を紹介せむ。

本月八日附貴書拜見仕り候。小生は單相ワットアワーマーターは單に電路に凡そどれ程の電力が輸送されて居るかの概念を得る爲めとか或は全く支拂上の關係なき場合の多相電量測定には極く好都合なる可くと存じ居り候。かゝる場合は概ね電力用なる可く從て三相は各平衡が保れて居るものと考へらる可く候支拂上の關係ある三相回線の電量測定用として單相メーターを二個使用せず一個のメーターを用ふるは最も不可なる可く其の指示は決して信頼し得べきものにては無之事實小生共は實際上頗る相違して居るものなる確證を有し居り候。

單相メーターを一個使用するには各三相に於て電流電壓位相

の角等が全く相等しきを要し此の状態は仲々實際には無之と存じ候。

小生は從來使用したる單相メーターの大部分を不平衡のものに變更致し候。

計器用變壓器

高壓又は特別高壓回線に於てポテンシアルトランスフォーマーやカーレントトランスフォーマーは絶大の効果を表はして居る。之等の計器用變壓器は電流計電壓計其の他の計器に用ひらるゝ外リレーや其の他の保安器等種々なるものに利用されて居る。從てかゝる變壓器は計器の書物中にて論議する方が適當であるかの如く考へらるゝが決してそうではない。

計器の製造家もカーレントトランスフォーマーを供給する場合にカーレントトランスフォーマーは計器の一部分であると考え、之れと共に調整した計器以外のものに此のカーレントトランスフォーマーから feed しようとする場合には一向責任を持たない。若し斯の如くんば各計器は各別々な變壓器を有せねばならぬ事になり高壓の配電盤には澤山な計器用變壓器が附屬さるゝ事となる。之れは悪い方法で斯様なものは成る可く少くせねばならぬ。出來得べくんば一個の變壓器で全部の計器に feed せしむる様になす可きである。即ち配電盤の設計者は此の目的に適する様な計器用變壓器を選定せねばならぬ。從て配電盤設計者にはポテンシアル、カーレントトランスフォーマーの設計試験、特性等に関する知識が必要で、之れ本書に於て之等の事

項を述ぶる所以である。

ポテンシアルトランスフォーマー

ポテンシアルトランスフォーマーの製作は現今最も優良の域に達した、其の第一の要件は信頼し得べき事と破損せぬと云ふ點なり。ポテンシアルトランスフォーマーの絶線は同一の電圧の回線に使用する電力用變壓器などより一層充分に行はねばならぬ。配電盤の計器用變壓器が破損すると後に述ぶる如き重大なる災害を醸成するに至る可し。磁氣漏洩を少くする爲め一次線と二次線との間隙は不必要に廣くすることは止め、陶器の如き、太い絶線は避けなければならぬ。2,000 ヴォルト以上の電圧には充分の厚さを有するマイカ又は之れと同等の絶線筒を使用す可し。此の絶線筒は變壓器を油入に作る場合でも使用す可く唯油入の場合マイカ筒を用ふれば油に犯されないバニシにて impregnate せねばならぬ。5000 ヴォルト以上の電圧に使用するものは油で絶線するが方がよい。ポテンシアルトランスフォーマーの高壓回線は多數のコイルに區分し一つのコイルに加はる電圧が 1000 ヴォルト以上とならぬ様に製作す可し。區分せられたる各コイルはバニシで處理したる布テープで包みて變壓器の鐵心に組み立て更に全體をテープで包み試験電圧に對して充分な絶線となす可し。

捲線中の空氣や濕氣は眞空乾燥室で充分に除去する事が緊要で變壓器は全體として良質のバニシを以て impregnation を施さねばならぬ。工場より變壓器を出荷する前には必ず第一章に擧げた試験電圧を一次捲線と二次捲線鐵心間に加へ計器に使用

する變壓器なれば 30 分以上加へて置かねばならぬ。

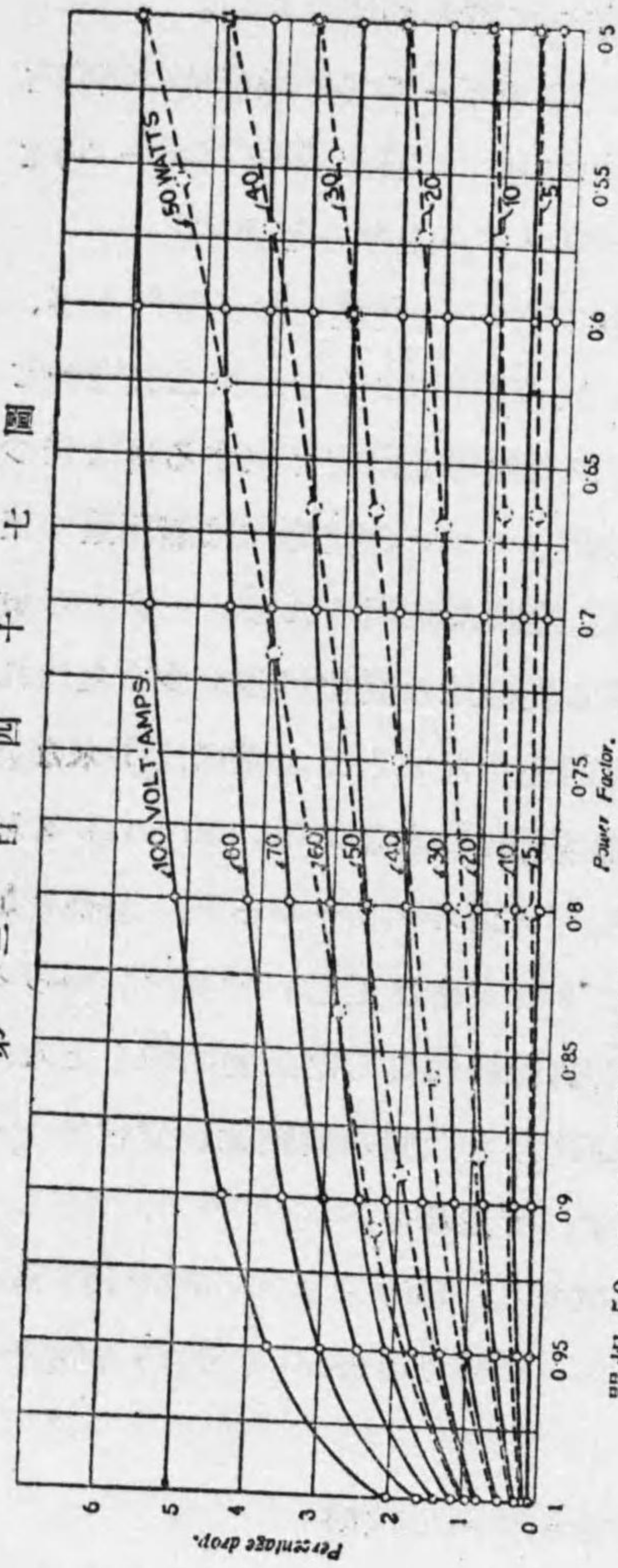
此の試験の外 1000 ヴォルトのメガにて絶縁抵抗の測定をなさねばならぬ高壓捲線は "infinity" (或は 50 メグオーム) を降つてはならぬ。低壓捲線も 30 メグ以上なるを要す。

充分安全であると云ふ問題に次いでは變壓比の正確なる事、位相の誤差なき事が必要である。設計がよくて一次二次捲線を同心筒に捲けば位相の誤差は少く實用上差支を生ずる事は先づない。ポテンシアルトランスフォーマーの變壓比は無荷重で正しい計りでは満足が出来ない。之れに使用されるメーターの數即ち荷重の大小に應じて生ずる變壓比の變化が極く少くなければならない。勿論極く僅かな誤差もないと云ふ様には出来ないから最も正確な結果を要する場合にはある volt amperes の時に……之は其のポテンシアルトランスフォーマーから電圧を加へらる可きメーターの數によりて定まる正しい變壓比が得らるゝ様に指定するを要す。然し實際にはこんな必要は殆んどなく唯 no load full load (無誘導の) との間の變壓比の變化が 1 パーセント以内に在る様指定すれば足れり。

第三百四十七圖は標準型 50 ワット 50 サイクル 6600/100 volt のポテンシアルトランスフォーマー (Ferranti Co. 製) の電壓變動率の曲線を示すものなり。

ポテンシアルトランスフォーマーの試験

實用上最もよい方法は直接にポテンシアルトランスフォーマーの變壓比を測定するに在り。之れは高壓の測定をも含みどこの電氣製造所でも其の補給工場でも之を測定する装置を供へて



单相 50 ヲット 6500V/10V 50~potential transformer の regulation を示す

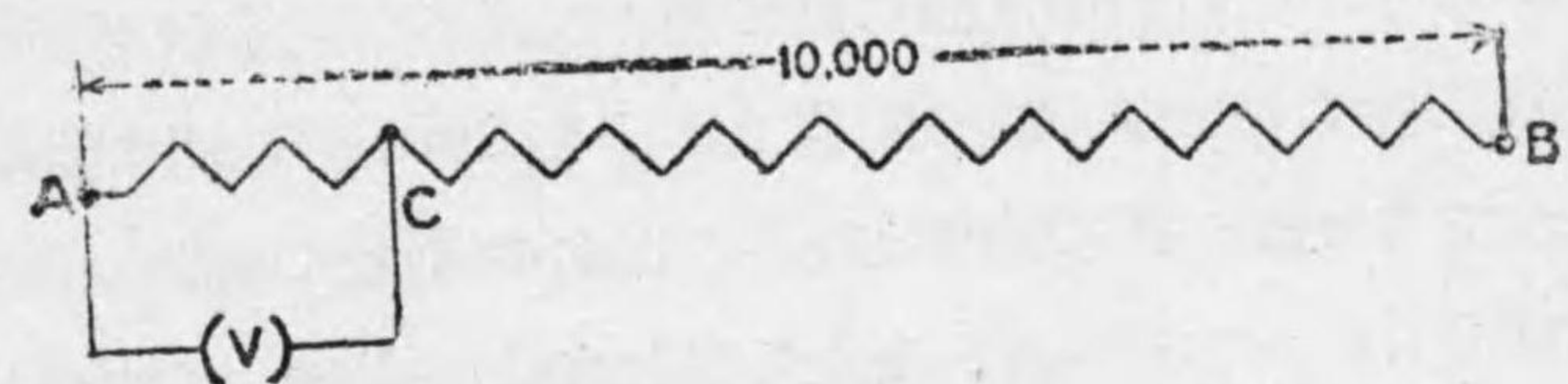
置く必要がある。
 近來どこの電力會社でも高壓交流を使用する事が多くなり高壓ワットメーターの正確さは直ちにポテンシアルトランスフォーマーの變壓比の正確さに左右さるゝものである。標準型の高壓ヴォルトメーターは調子が亂れ易く又容易に調べる事が出来ないから之れに信頼するはよろしからず實用上最も便利な標準は標準電池(ウェストンかクラークの)で標準型に造つたポテンシオメーターによりて低壓電壓計と標準電池とを比較する事が出来る
 そこで若し何かの方法で高電壓をポテンシオメーターにより標準電池に比較し得たならば頗る便利である。

法で高電壓をポテンシオメーターにより標準電池に比較し得たならば頗る便利である。

之れは**第三百四十八圖**に示した様な AB なる或る適當な抵抗を使用すればよい。C なる點は AC 間の抵抗が例へば AB 間の $\frac{1}{10}$ なる様な位置で之れよりターミナルを出す。AC, AB 間の抵抗の正確なる比例は直流を通じポテンシオメーターによりて測定する事が出来る。

AB 間に 10,000 とか 15,000 とかの全電壓を加へ其の或る比例を AC 間に於て低壓の electro-static voltmeter (之れは 100 ヴォルトの直流で検査する事が出来る) にて測定す。取扱上完全を期する爲め A 點は接地し置く可し。

第 三 百 四 十 八 圖



區分抵抗により高電壓を測定する方法

此の方法の大なる特長と云ふ可きはいつでも容易に検査が出来他のメーターなどを用ひず標準電池に比較し得る點である。抵抗を造る事は容易であり適當なる注意をすれば正確に測定する事が出来る。此の抵抗に關しては 1907 年七月 26 日發行の Electrical Engineer 第百十五頁に詳説されて居るから之を参照され度し。

カーレントポテンシアルトランスフォーマーのターミナル
 計器用變壓器の主要なる目的は使用電壓や電流を測定、制御器具類に適當なる値に低下するにあり。而して斯くの如く中間

に變壓器を用ふれば計器に通ずる電流は實際のものより凡そ180度だけ位相が後れ(或は進んで)て居るのは明かである。従て其のターミナルに適當な標を付けなければ接続上大なる間違を生じ、正しい接続となすまでには不必要な試みをやつて見ねばならない。之れは三相回線に於て特に注意を要する處でメーターを逆に讀む様な事が起つたり、或は二次電壓、電流が位相、大さ等に於て實際に變壓さるゝ値と甚だ異なる結果となつたりする。

此の點に就ては1907年二月の“Electric Journal”誌上のM. C. Rypinski氏の論文を参照され度し。此の論文中にはWestinghouseの標準計器に就て種々な詳しい説明が出て居る之れは要するに極く簡單明瞭で計器とlineとの間に變壓器を用ひても計器を通る電流は唯其の電壓や電流が適當な小さい値に減ぜられたと云ふ外、全く計器を直接にlineに結んだ場合と同様にすればよいのである。

計器用變壓器の高壓側ターミナルは T_0, T_1 なる符號を附し之れに對して低壓捲線は t_0, t_1 とす。正の電流がlineから T_0 に入ると同瞬時には t_0 から出づる様にす。即ち電流は T_0 から t_0 に流るゝ様になる。

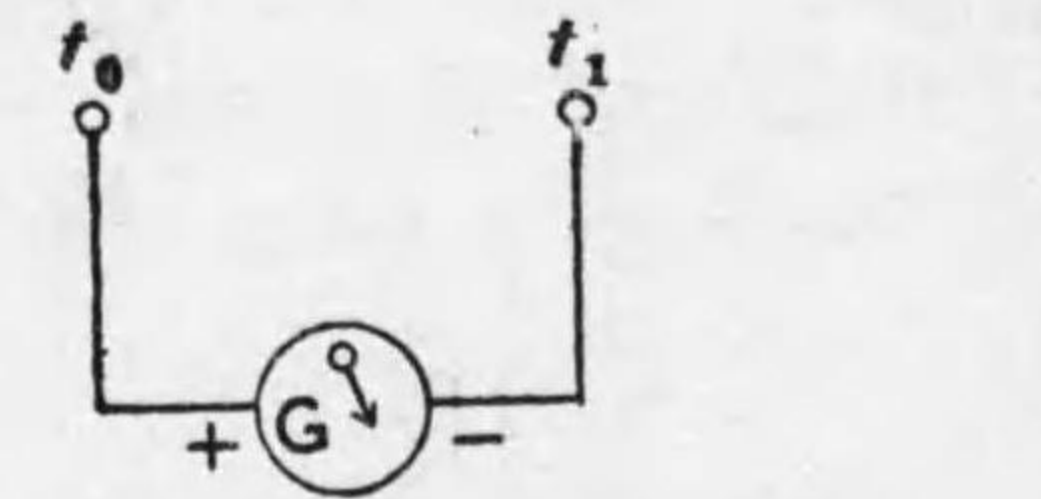
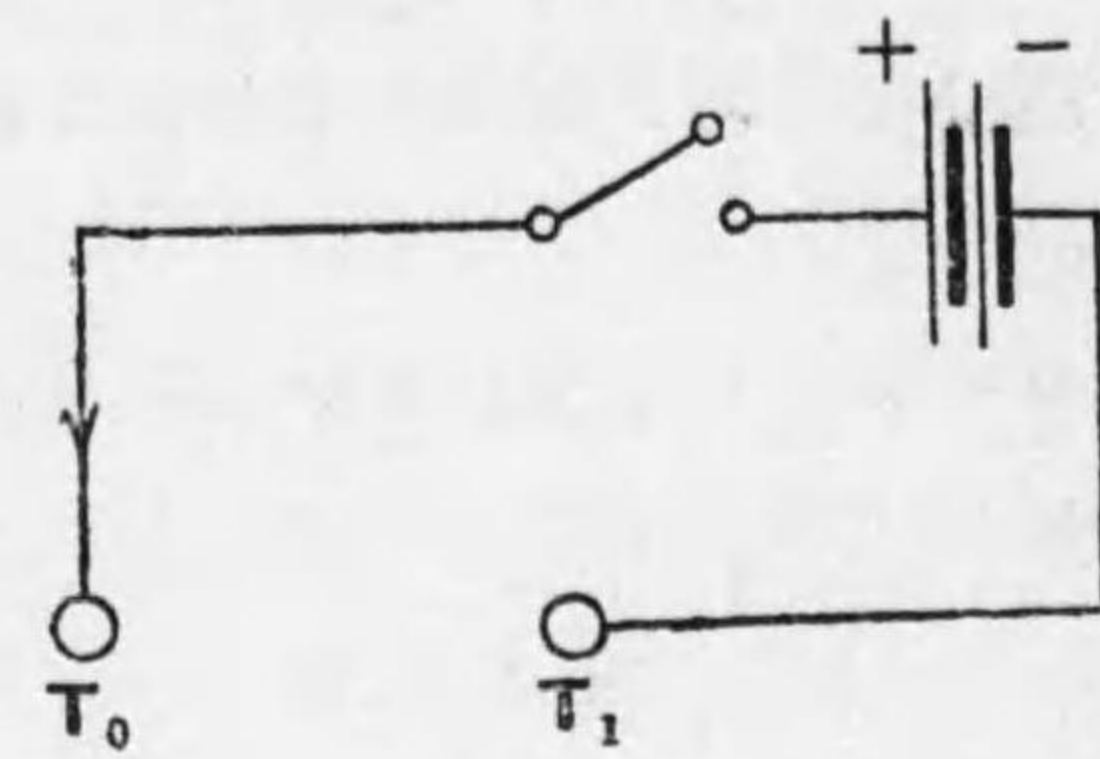
此の記號は單位三相のカーレント、ポテンシアルトランスフォーマー何れにも用ふるを得べく之に依て種々の障害を除くに充分である。(E.S.C. Specification 72, Oct. 1915 page 41を見よ)

計器用變壓器の極性を見るに簡單なる方法

第三百四十九圖の如く接

續する。 T_0, T_1 は變壓器の高壓捲線のターミナル t_0, t_1 は低壓捲線のターミナルなり電池には二三のレクランシェー電池又は二次電池を用ふ。表示器は普通のLinsmanのデテクターなり。開閉器を閉づれば針は左に偏れ t_0 に結ばれたターミナル正なるを示す可し、開閉器を開けば反對に偏れる。試験は至極簡單である。

第三百四十九圖



ポテンシアル、カーレントトランスフォーマーの極性試験

カーレントトランスフォーマー

カーレントトランスフォーマーは現今電氣工學上缺く可からざるものである。數年以前は計器を直接高壓回線に接続したものである。従て種々の障害が起つた。電流計を直接高壓回線に結ぶ時は其の軟鐵の可動部と固定部との間に靜電氣的引力が起り電流計の指示を不正確ならしむ。

之を防ぐ一方法として第三百五十圖にFerrantiの電流計を示す。

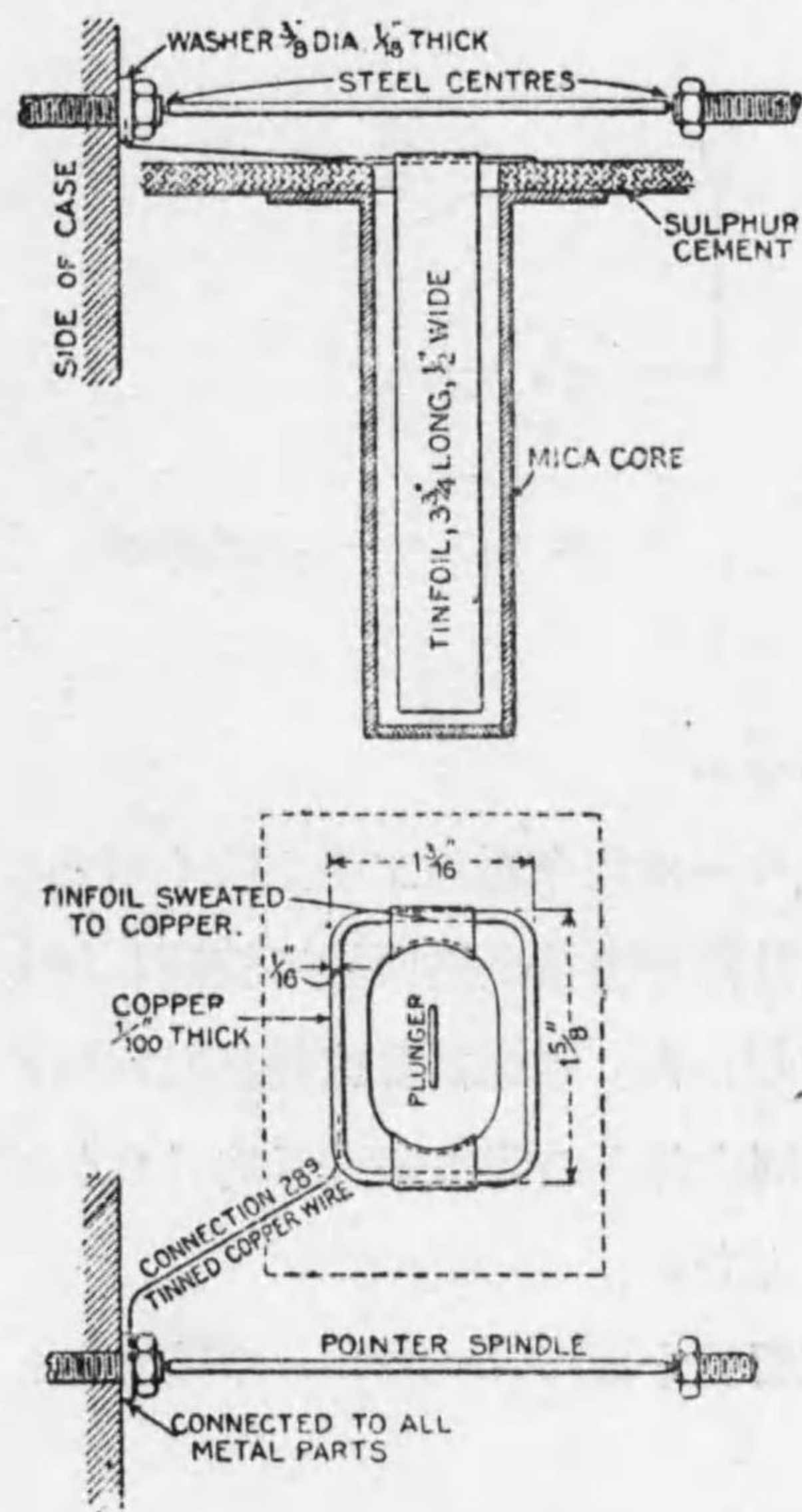
現今猶此の種の電流計を使用して居る處ろもあるから茲に少しく説明して見やう。

即ちplungerの穴には全く閉電路を形成せぬ様に錫箔が張

つてあり之れは軟鐵のプランヂャーに接続されてある。依て穴と鐵心とは同じ電位にあるので兩者間に靜電氣的引力がなくなる。

カーレントトランスフォーマーを使用するのは利益は大要下の如し。

第三百五十圖



高壓回線用電流計に於て靜電氣的引力部を除去する方法を講じた電流計の内

1. 計器を取扱ふに完全で、計器も高壓回線から充分離れた位置に置く事が出来る。即ち遠方制御式の配電盤には是非カーレントトランスフォーマーを使用しなければならない。
2. 低壓の大なる電流を測定する場合には計器には此の大電流を送る必要がないので經濟上非常な利益がある。
3. 一個の計器用變壓器から澤山の計器に給電する事が出来る。
4. 靜電氣的其他の障害を除去するを得べし。一般製造家がカーレン

トランスフォーマーに対する注意の充分ならざるは明かで、市場にあるものは實に千差萬別である。同じ目的に使用するものでさへ製造家によりては價格が5倍も多いものを提供して居る。之等の變壓器は深く考もなく 10ワットとなつたり 50ワットにされたり區々である。も少し一定の方針を確定したいものである。

カーレントトランスフォーマーのヴェクトル線圖

カーレントトランスフォーマー(シリーズ)のヴェクトル線圖も一般の特性に於ては普通の變壓器のヴェクトル線圖と同様であるが種々のヴェクトルの描出には多少の注意を要す。

亦便利の爲め變壓器は 1:1 なる變流比を有するものと假定す。第三百五十一圖に於て OE_s は二次側に誘發された電壓とす、即ち OE_p は一次側の逆電壓に打克つ爲め一次側に加へらる可き電壓で $OE_p = OE_s$ なる關係にある。

今 OE_s なる電壓によりて二次圖線中に流通せられる二次電流を OI_s とし E_s より θ なる角度だけ位相が後れて居るとす。若しカーレントトランスフォーマーが理想的のものであれば一次電流は此の二次電流と全く相等しく正反對の位相にある可し。然し此の完全なカーレントトランスフォーマーは得られない即ち一次電流は I_p なる位置を取る。而して一次電流は次の如き三つの仕事をなす。

- (a) 二次電流 OI_s を作る
- (b) OE_s の電壓を生ずるに必要な磁力を作る可き勵磁電流を作る。

(c) 此の磁力を作る爲めの電力損失を補ふ可き watt current を作る。

(b) (c) に対する分力としては単に二次線に実際に入り OE_s の電圧を作る有効な磁束のみに関係す。依て一次線の銅損失は本圖の watt component に影響は及ぼさない實際能率、カーレントトランスフォーマーの goodness は一次線の抵抗には無関係である又 OE_s を起すに必要な磁力以外の磁束に基因する損失も無関係である。即ちカーレントトランスフォーマーには多くの損失を來す可き鐵の外函を使用してもよいのである。此の損失が一次よりの漏洩に基因するものゝみなれどカーレントトランスフォーマーには何等の影響もないのである。然し二次側よりの漏洩に基くものなれば別で之れは後に説明する。

(b) なる magnetizing component は OE_p に直角で之より 90 度位相が後れて居らねばならぬ。Watt component は OE_p と同位相にあらねばならぬ。即ち magnetizing current 及び watt current は夫々 OI_m , OI_H のベクトルで表はされる。

一次電流は此等 OI_m , OI_H 及び OI_s を反對にしたものゝベクトル和であり**第三百五十一圖**に示す通りである。依て OJ_n は常に OI_s と長さも位相も異り

$$\frac{I_n}{I_s} = 1 \text{ TN}$$

なる関係がある。但し N は常に正の数なり。一次電流は二次電流より α なる角度だけ後れて居る。

カーレントトランスフォーマーの設計には此の N 及び α なる角を出来るだけ小さくする事が緊要である圖に於ても解るが

α なる角は θ の角の大小に關係を有して居る。

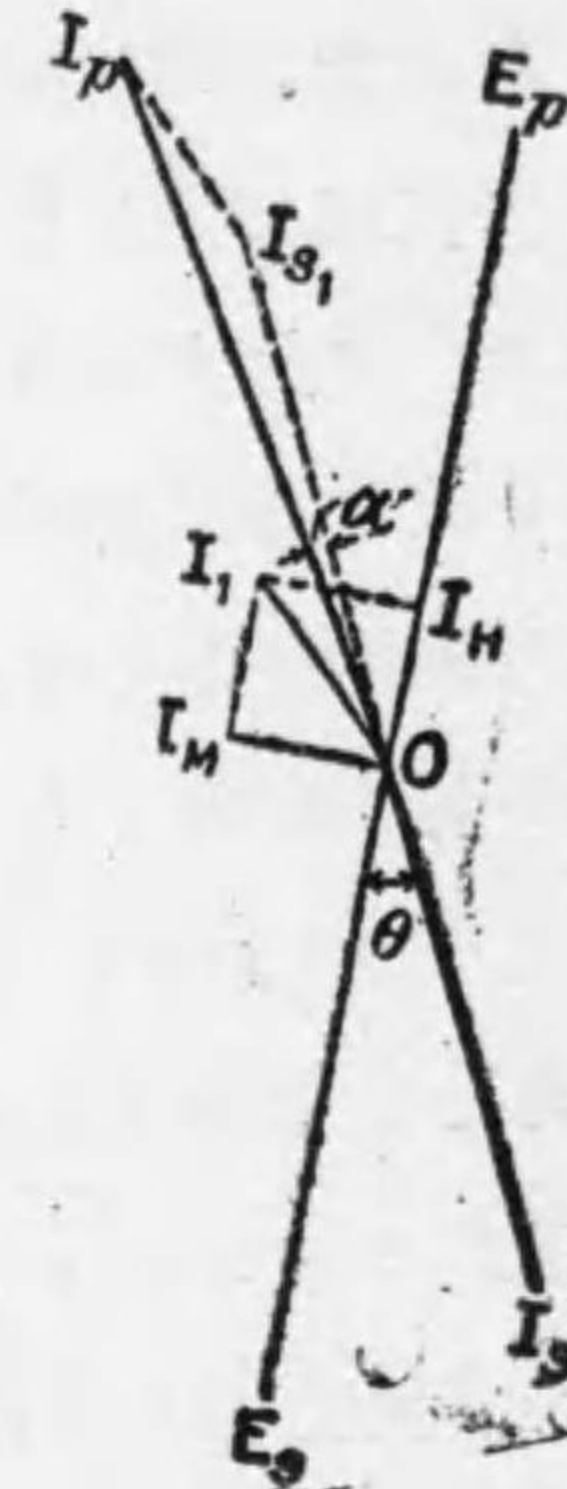
二個のカーレントトランスフォーマーの transformer angle (α) を比較するには測定をなす可き二次電流の後れの角を規定する必要がある。其の標準の條件は二次電流と二次端子電圧とが同一位相にある事なり之れは $\theta=0$ なる事を意味するものではない。此の規定により N の値 (寧ろ負荷による N の變化) 及び α の角はカーレントトランスフォーマーの良否を區別する標準をなす。而して全負荷に於ける α の値 (全負荷電流、全規定ヴォルトアンペア出力に於ける) 全負荷(前述の如きに於ける) N の

値、全負荷電流の $\frac{1}{10}$ の場合の N の値 (全負荷電流を通せば全規定ヴォルトアンペアの出力となる可き抵抗を二次線に結んだまゝで全負荷電流の $\frac{1}{10}$ を通じた場合の N の値) の三者を測定する N の値の變化を知る必要があるのであるから二つの點に於ける N の値を測定せねばならぬ。すべて之れは無誘導荷重に適用す。著者はカーレントトランスフォーマーの標準は此等の方法に進まねばならぬと思ふ。

計器の讀みに及ぼす N 及び α の影響

電流計最大電流リレー其の他の電流計器……之等には唯 N の變化が影響するのみである。之等の計器がカーレントトランス

第三百五十一圖



カーレントトランスフォーマーのベクトル線圖

トランスフォーマーと共に目盛を調整してあれば變流比の變化は無關係であるが、カーレントトランスフォーマーは何れの計器にでも取替使用し得るものなるを要すと仕様書に記入するのが普通である。勿論之れは實際上の見地から極めて適當な事で一般にあまり大なる障害を起さぬ様な正確の度を保つ事が必要である。若し流用される可きカーレントトランスフォーマーがいつでも等しい荷重を負ふものであれば各變壓器の N が相等しく又負荷と共に N の變ずる割合が相等しければ N の變化がどんなに大であつても差支ないわけである。斯く N の値や其の變じ方の一樣なカーレントトランスフォーマーを作るのは一定の方式によりて變壓器を作れば容易に得らるゝ處ろで、其の上は單に一次二次の回数を調整して全負荷に於て皆一定となる様にすればよい。計器の目盛も或る一つの變壓器を用ひて調整して置けばよい。

カーレントトランスフォーマーよりリレーに供給して居る場合は大なる過負荷に於ける N の變化は尤も重大である。此の點に就ては第三章「過負荷リレー用カーレントトランスフォーマー」の項で説明したから茲で更に述ぶる必要はない。然し多くの場合各カーレントトランスフォーマーの負ふ荷重は一樣でない。現在最もよい方法は一個のカーレントトランスフォーマーで其の panel にある全體の計器に皆 feed するにある。然し使用される可き計器の数は panel によりて種々異り之等の状態の本にありてどこへ取替て使用しても差支ない様にするのは頗る困難な結局 N の變化のないもの例へば 1 パーセント等の如

きものを使用せねばならぬ事になる。然れば計器、變壓器を取替へた爲めに生ずる誤差は 1 パーセントは超過せず、此の位は電流の計器にはあまり多いと考へらるゝ程でもない。

Watt meter 等——此の種の計器に對してはカーレントトランスフォーマーの N ばかりでなく α の値も重要な關係を有す。 N の影響は上述の通りであるが α によりて生ずる誤差は之れと異りワットメーター自身の内で調整せねばならぬ。依て N の影響を除却して單獨に α の影響のみを考へむ。ワットメーターにはダイナモメーター型のもので誘導型のもので二種あるが之等各別に取扱はねばならない。

完全なるワットメーターの正確の度に及ぼす α の影響の計算

茲には單相回線に就て論ぜむ。第三百五十二圖に於て OE をワットメーターを接続せる回線の電壓とし OI_ϕ を幹線電流（一次電流）とし電壓 OE より ϕ 角だけ位相が後れて居るものとす。然らば此の回線の電力は $IE \cos \phi$ となる。ワットメーターを直接回線に接続せずカーレントトランスフォーマーを用ふればメーターには OI_ϕ の電流でなくカーレントトランスフォーマーの二次電流 OI_2 が通る事になる。

今 N を省略し變流比を $1/n$ とすれば OI_2 に等しいが $180 + \alpha$ なる角度だけ傾いて居る。従てワットメーターの指針は

$$EI_\phi \cos(180 + \alpha - \phi) = -EI_\phi \cos(\phi - \alpha)$$

を示す。 $(\phi - \alpha)$ は ϕ より小であるからワットメーターは眞の電力より多い電力を示す事になる。此の式の負號はワットメーターの指示の逆になつて居る事をするもので之れは電流又は電

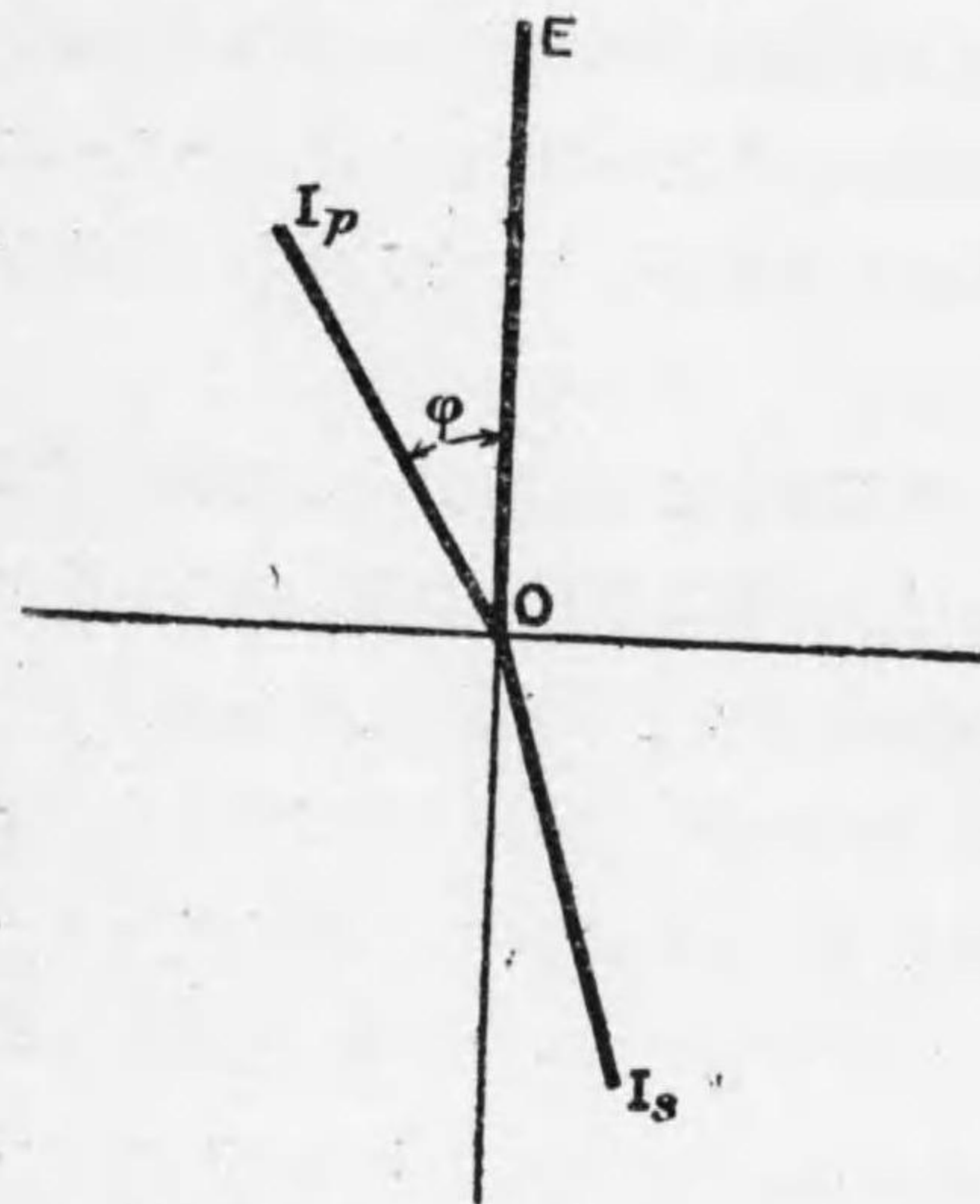
壓の導線を逆に結び替ふればよい。

α によりて生ずる誤差の百分率は

$$= \left(\frac{\cos(\varphi - \alpha) - \cos \varphi}{\cos \varphi} \right) 100\%$$

$$= (\cos \alpha + \tan \varphi \sin \alpha - 1) 100\%$$

第三百五十二圖



カーレントトランスフォーマーを有するワットメーターの電流を示すベクトル圖

幹線の力率 $\cos \varphi$	$\tan \varphi$	ワットメーターの誤差% $\alpha = 1^\circ$ の場合
1	0	0
0.75	0.887	1.55
0.5	1.73	3.02
0.25	3.92	6.85
0.0	∞	∞

而して α は通常 1 度若しくは 2 度以下の小なる角度であるから

$$\cos \alpha \cong 1$$

依て誤差は

$$= \sin \alpha \tan \varphi \times 100\%$$

此の式より $\alpha = 1^\circ$ とせば回線の力率によりワットメーターに生ずる誤差は下の如し。

α の差に對するワットメーターの調整法

上述の如くカーレントトランスフォーマーに於ては α を全く除去する事は出来ないから之れが爲めに生ずる誤差はワットメーターの方で調節しなければならない。調節の方法は要するに α に依て生ずる誤差と反對の方向に誤差を起す様になすもので(誘導荷重に於て) α は眞の電力より多く読み過ぎるからワットメーターだけならば電力を少く指示する様にするのである。然しワットメーターの二種類即ち誘導型及びダイナモメーター型を區別して考へねばならぬ。

ダイナモメーター型のワットメーター 多くのワットメーターは此の式……電流の通ぜる二つのコイル間の電磁力を利用せるものによりて作られたるものである。

ダイナモメーター型のワットメーターに於て指示の正確の如何は誘導荷重に於て shunt coil (電壓捲線) の自己の誘導作用が極く小であるか否かにある。然し shunt coil の電流は供給電壓より多少なりとも β 角だけ位相が後れて居り従て幹線の力率が $\cos \beta$ なる時にのみ眞の電力を示す。進歩せる製造所で作るワットメーターにありては β の角が頗る小で優秀なカーレントトランスフォーマーの角 α に比しても甚だ小なるものである。

第三百五十三圖に於て OB はメーターを無誘導荷重にカーレントトランスフォーマーなしで接続した場合の shunt flux とし OA を series flux とす。此の状態にありては誘導荷重でも勿論正しいワットを示す。然しカーレントトランスフォーマーを用ふれば之れによりて series flux を OC の位置に傾ける。但し

角 COB は α に等しとす。依て誘導荷重に於て正確なワットを得むとせば OB の位相を α 角だけ前に傾けねばならぬ。即ち無誘導荷重に於てメーターだけ使用された場合に shunt flux は series flux より α だけ進んで居なければならぬ。

ダイナモメーター型のワットメーターにありては此の調節は甚だ困難で之れには shunt circuit にコンデンサーを入れなければならず之れは仲々面倒で高價になる。

第三百五十三圖



カーレントトランスフォーマーを使用した場合のダイナモメーターの series flux 及び shunt flux

從てダイナモメーター型のワットメーターは誘導型のものゝ如くカーレントトランスフォーマーと共に使用するにはあまり適當ではない。大概のダイナモメーター型のワットメーターを作る工場ではカーレントトランスフォーマーと共に使用するには幹線の力率が 0.6 以下に降つてはならぬと規定して居る。

ダイナモメーター型の電力計が屢々劣等な(磁氣的に漏洩多き)カーレントトランスフォーマーと共に標準計器として使用されて居るが、かかる組合せでは誘導荷重の電力を正確に測定する事は不可能である。

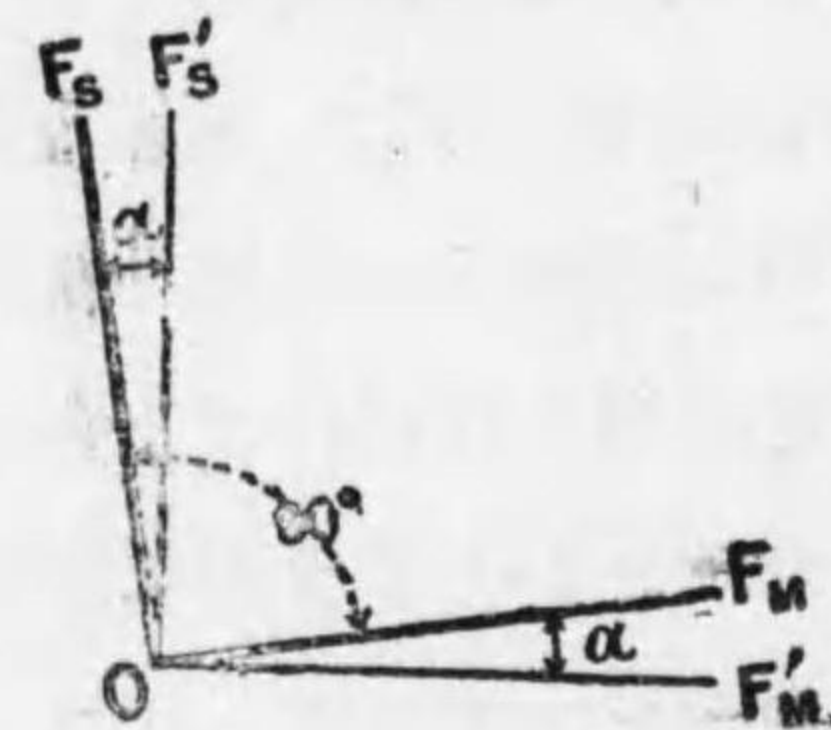
誘導型ワットメーター 此式のワットメーターにては金屬板の廻轉子に二つの磁力が作用し廻轉子に渦流を誘起せしめて之を廻轉せしむ。指示の正確を保つ可き主なる條件は無誘導荷重

に於て shunt flux が series flux より完全に 90 度位相が後れて居らねばならぬ點なり。

第三百五十四圖に於て OF_M を series flux とし OF_s を shunt flux とす。無誘導荷重の場合には此の兩ベクトル間の角度は 90° でなければならぬ。而して若

し幹線の力率が悪くなつて電流が後れて來れば OF_M は漸次 OF_s に近づき來り、遂に力率零の場合には兩者は全く合し同一直線上に來り、メーターの廻轉子に對しても何等のトルクもなくなる。

第三百五十四圖



Transformer angle に對する induction type watt meter の調節

カーレントトランスフォーマーを使用した場合には電流のベクトルが α だけ進み OF_M' の位置を取る。

依て此の場合誘導荷重に於て電力計の指示を正確なるものたらしむるにはやはり無誘導荷重に於て series flux と shunt flux とが 90° の差角を有したる如くなるを要し、之れが爲めには OF_s を α だけ OF_s' の位置にずらさねばならぬ。

斯く α 角だけずらすには單に shunt coil の time constant を變ずればよい即ち其の抵抗を増加するか又は inductance を減少すればよいのである。斯くしてカーレントトランスフォーマーと共に使用せる誘導型のワットメーターは充分正確に極く低い力率に對しても正確なる指示をなさしむる事が出来る。

之れ即ちカーレントトランスフォーマーと共に使用せねばな

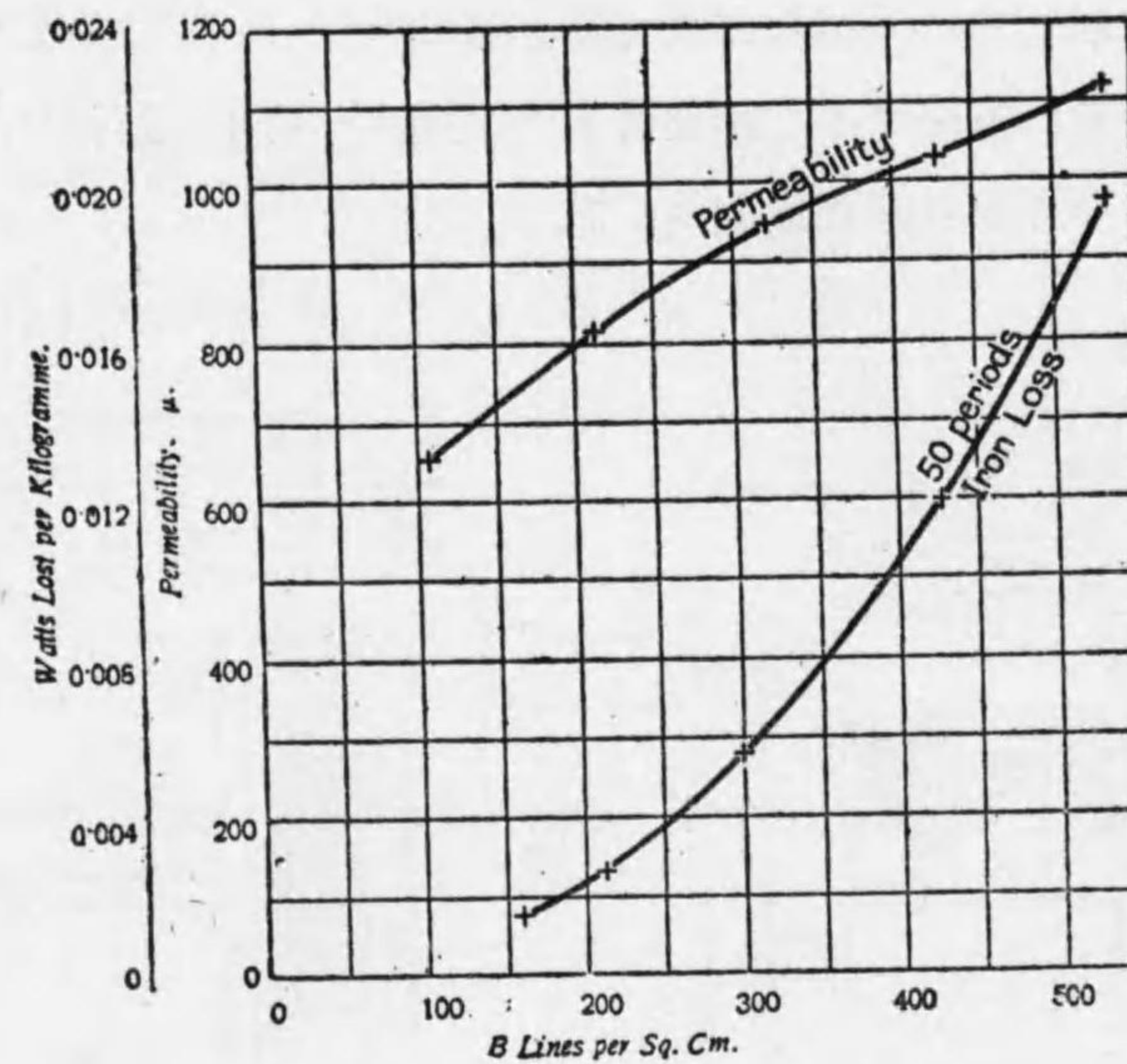
らぬ場合に主として誘導型のワットメーターが使用せらるゝ理由である。交流発電機の能率其の他の test をなす場合には優良なる誘導型ワットメーターとカーレントトランスフォーマーを選定使用す可きである。標準となす様な極く正確を要する場合には出来得べくんば全くカーレントトランスフォーマーを使用せず大なる電流を通じ得るダイナモメーター型のワットメーターを使用す可し。斯様な場合は概ね低圧であるから之を實行する事が出来るが高圧回線には必ずカーレントトランスフォーマーを使用しなければならない。

カーレントトランスフォーマーの設計要項

カーレントトランスフォーマーの鐵心の磁束密度は通常甚だ小であるから鐵損失、パーミアビリチー等はあまり重要でない然し Wild氏は此の點について深く研究され (Electrician Vol. LOI, 1906 page 705) 適當に設計されたカーレントトランスフォーマーが如何に正確な指示をなすかを明らかにせり。 **第三百五十五圖**は Wild 氏の作ったカーレントトランスフォーマーより計算された1キログラム毎の鐵損失及びパーミアビリチーを示すもので設計者の好参考なりと思ふ。鐵心にスタローイを使用すれば小なる磁束密度に於ては高きパーミアビリチーを有し鐵損失の小なる鐵板であるから一層よい結果が得られる。

此の曲線に就て見る時は磁束密度が $B_{max}=200$ 乃至 400 毎平方センチメートルの處ろでは鐵損失が B_{max} の 2.7 乗に増加する事がわかり、Steinmetz の $B_{max}=2000$ 乃至 8000 の場合に B_{max} の 1.6 乗に比例するものと異つて居る。

第三百五十五圖



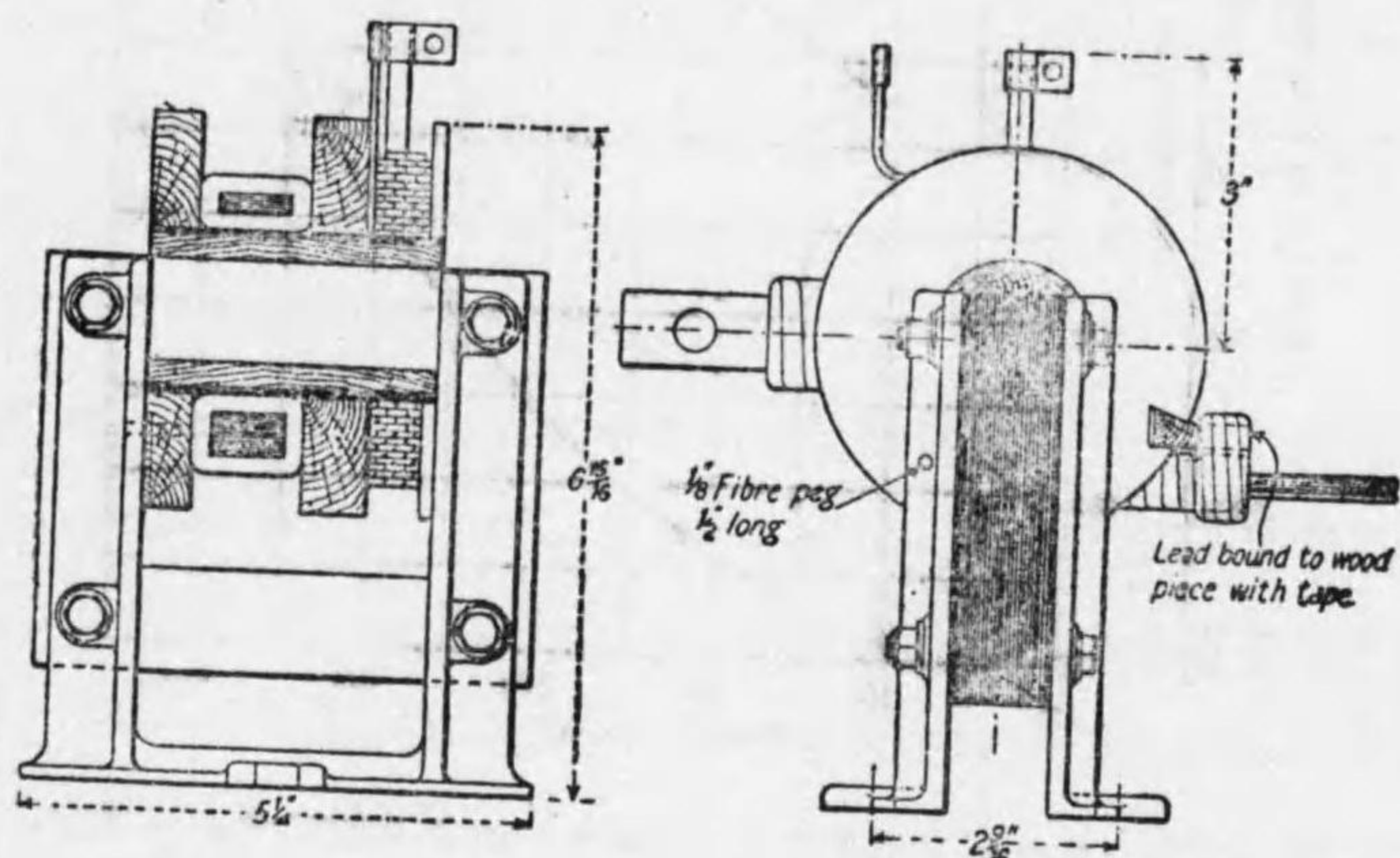
Wild 氏のカーレントトランスフォーマーより計算せる一キログラム毎の鐵損失及びパーミアビリチーの曲線。鐵板の厚さは 0.013 吋で磁路に二ヶ所の接目を有す。

カーレントトランスフォーマーの型式と特性

カーレントトランスフォーマーの設計に最も注意す可きは一次二次線輪間の磁氣漏洩を極少となす事である。従て core type の場合に一方の core に一次線輪を捲き他の core に二次線輪を捲いた様なものは良しくない。二次線を直ちに core に捲き其の上に一次線を捲くのがよい。然れば二次線輪の平均一回の長さを最も短かくする事を得其の抵抗も最も少い。價格の最も低廉なるを要する場合には **第三百五十六圖** に示す如く一方の

コアにのみ一次二次両線輪を巻きつけるのがよい。第三百五十六圖に示せるは全負荷に於て僅かに300アンペアターンで一個の電流計に使用する。第三百五十七圖は一次線に銅條を使用せるもので可なりの磁氣漏洩がある。

第三百五十六圖



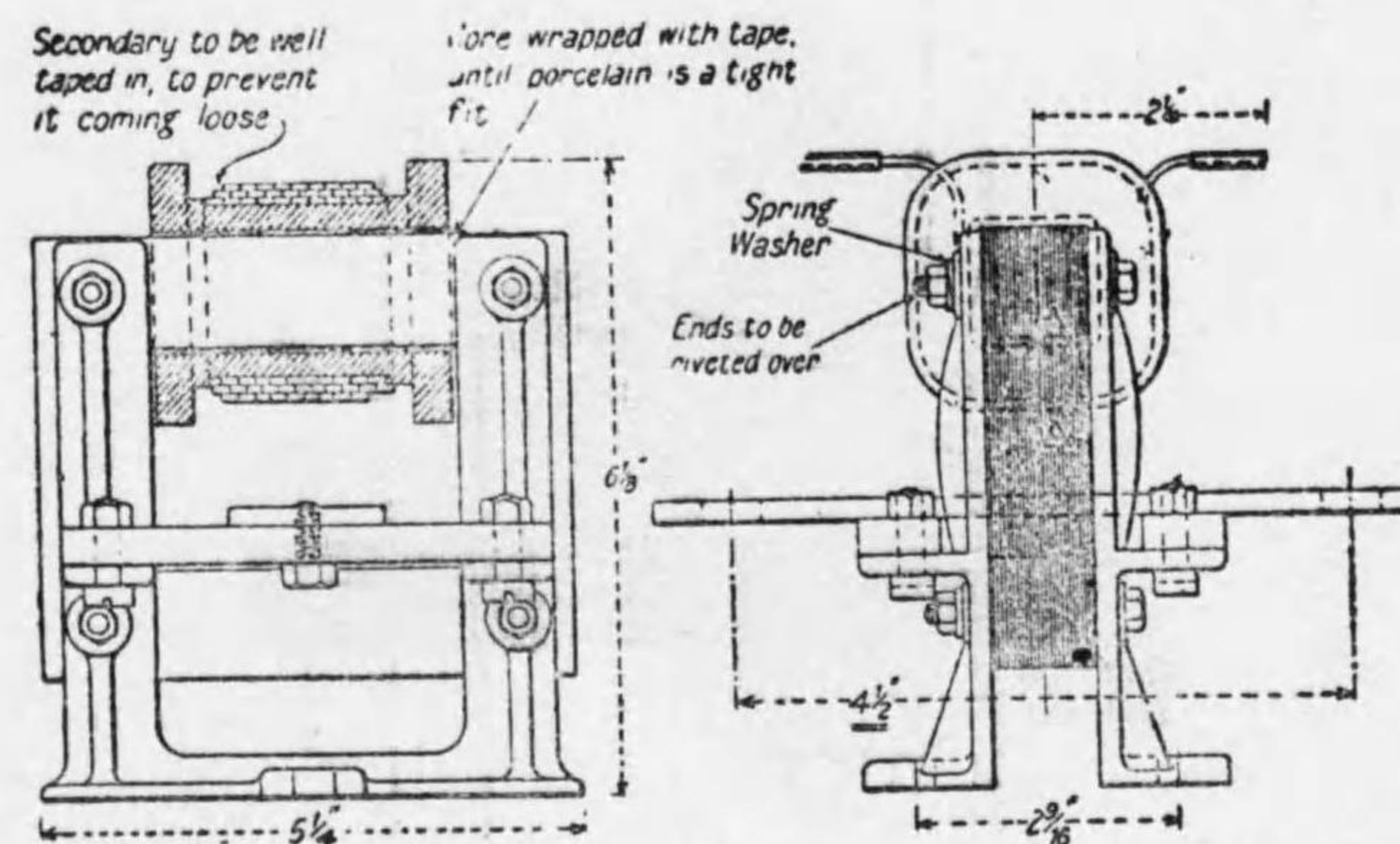
Open type 500 ヴォルト 150 アンペア カレントトランスフォーマー一次のアンペアターン=300

一個の電流にのみ使用するものはすべてを犠牲にして低廉な構造となす事が出来る。然しかゝるカレントトランスフォーマーに於ては定まつた變流比荷重周波度数に對して二次捲線の回数を實驗的に定めなければならない。

二次捲線の lead は圖に示した様に引き出し有効なる回数は AA の断面を超えた回数を以てす。

第三百五十六圖、第三百五十七圖に示したものは core type で第三百五十九圖に示せるは shell type で (少しく磁氣漏洩

第三百五十七圖



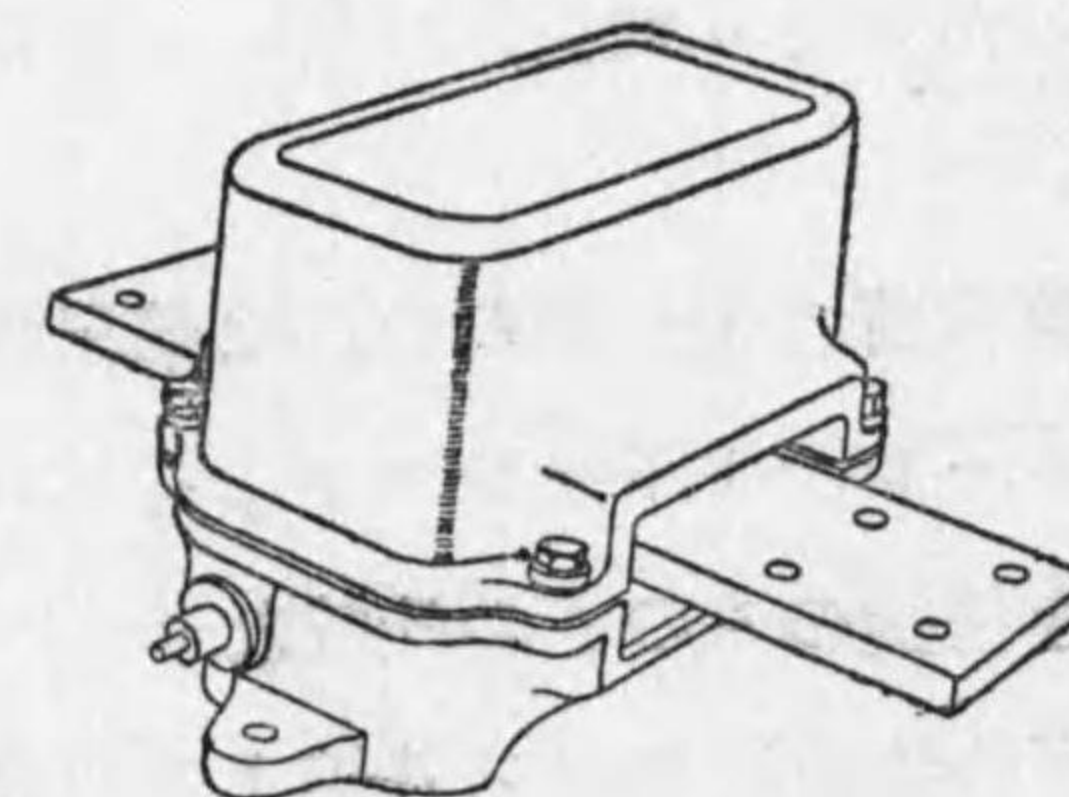
Opentype, 5000 ヴォルト、300 アンペアカーレントトランスフォーマー一次線には一本の銅棒を用す。

多し) 廣く使用されて居るものである。第三百五十七圖、第三百五十八圖に示せる如き一次線が一本の銅條で出来て居るものは配電盤用として至極適當である。即ち特別の一次線を用ひず單にコアに二次線を巻きたるものを配電盤裏面の接續線に貫き適宜の位置に移動せしめ得べし。

第三百五十八圖も第三百六十圖も一次線に一本の銅棒を使用するもので第三百六十圖は全負荷に於ける一

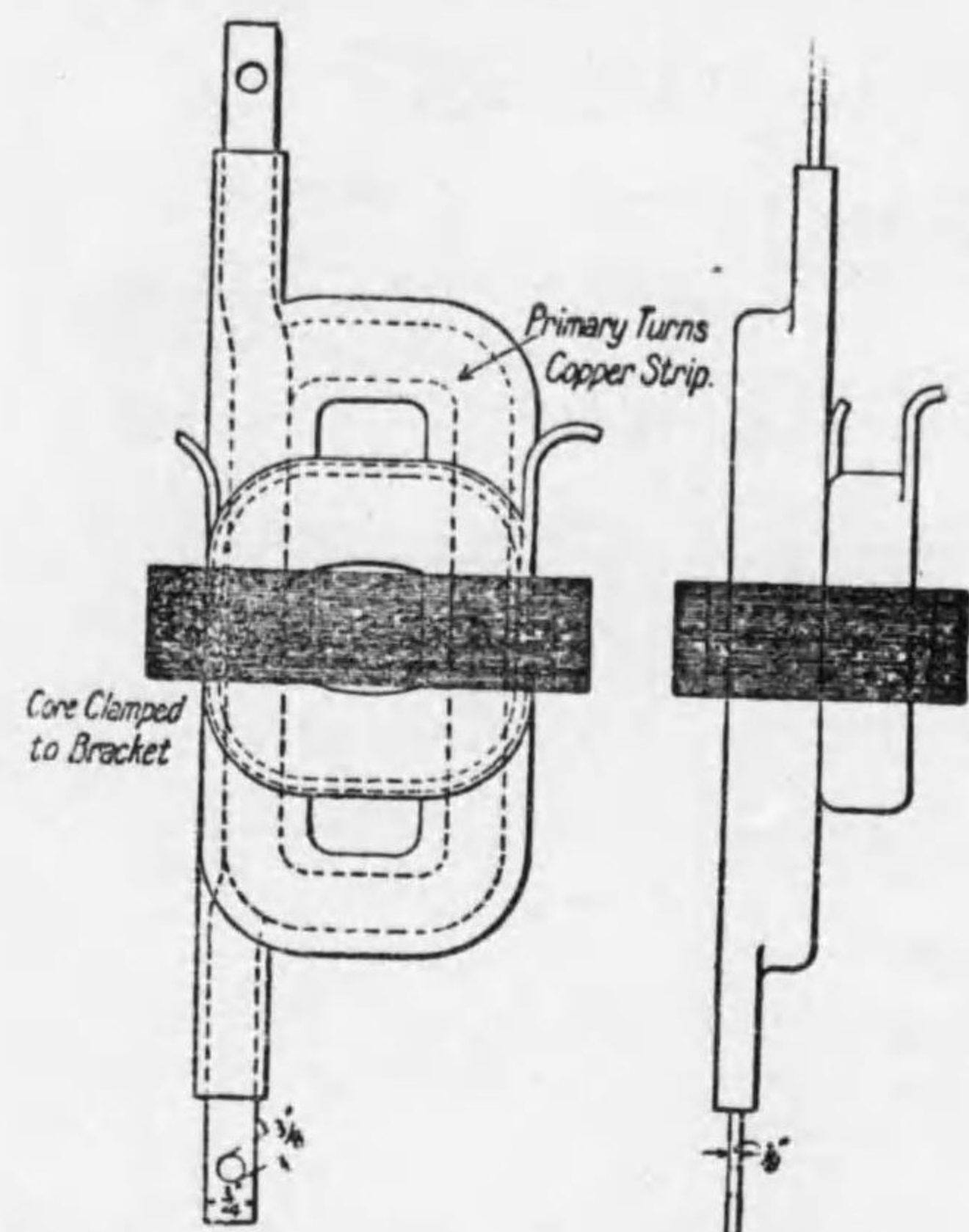
次アンペアターンは400なり其の鐵心は環状をなし二次線は

第三百五十八圖



Current transformer having single turn bar primary.

第三百五十九圖



Westinghouse shell type current transformer.

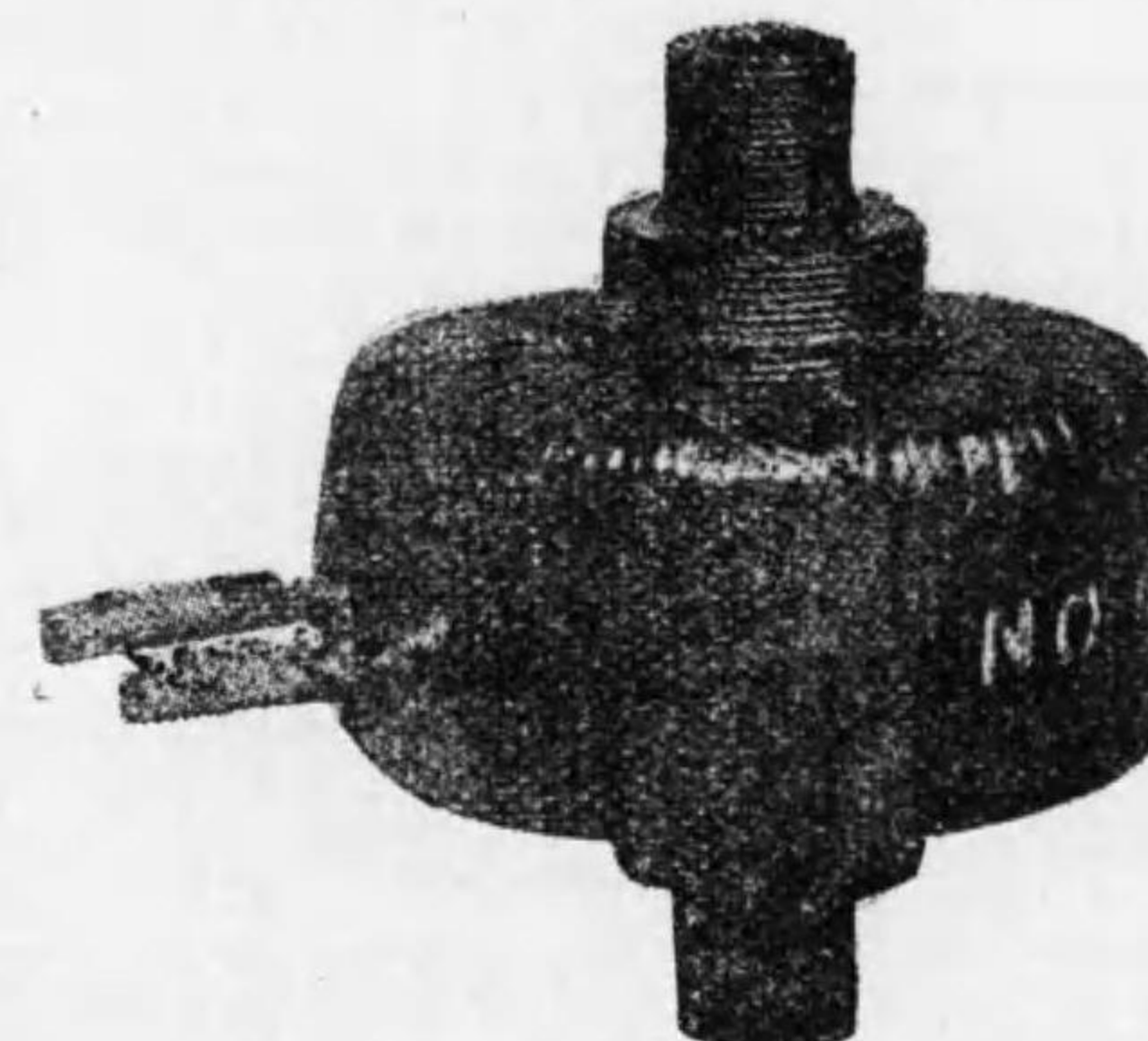
之れに手捲になつて居る。中央に絶縁筒があり一次線は之を貫通して居る。此の様に環状の鉄心を使用すると手数は多くかゝるがあまり利益點はない。組み* 立たコアを使用す可きである。

第三百六十一圖の曲線は第三百六十圖の如き環状鉄心を有するカーレントトランスフォーマーと第三百六十三圖に示せるが如き構造のものとの比較なり。

下の曲線に於ける基線よりの此の位の變化は實驗上の誤りに歸す可きである。第三百五十八圖に示せるものは大なる電流の

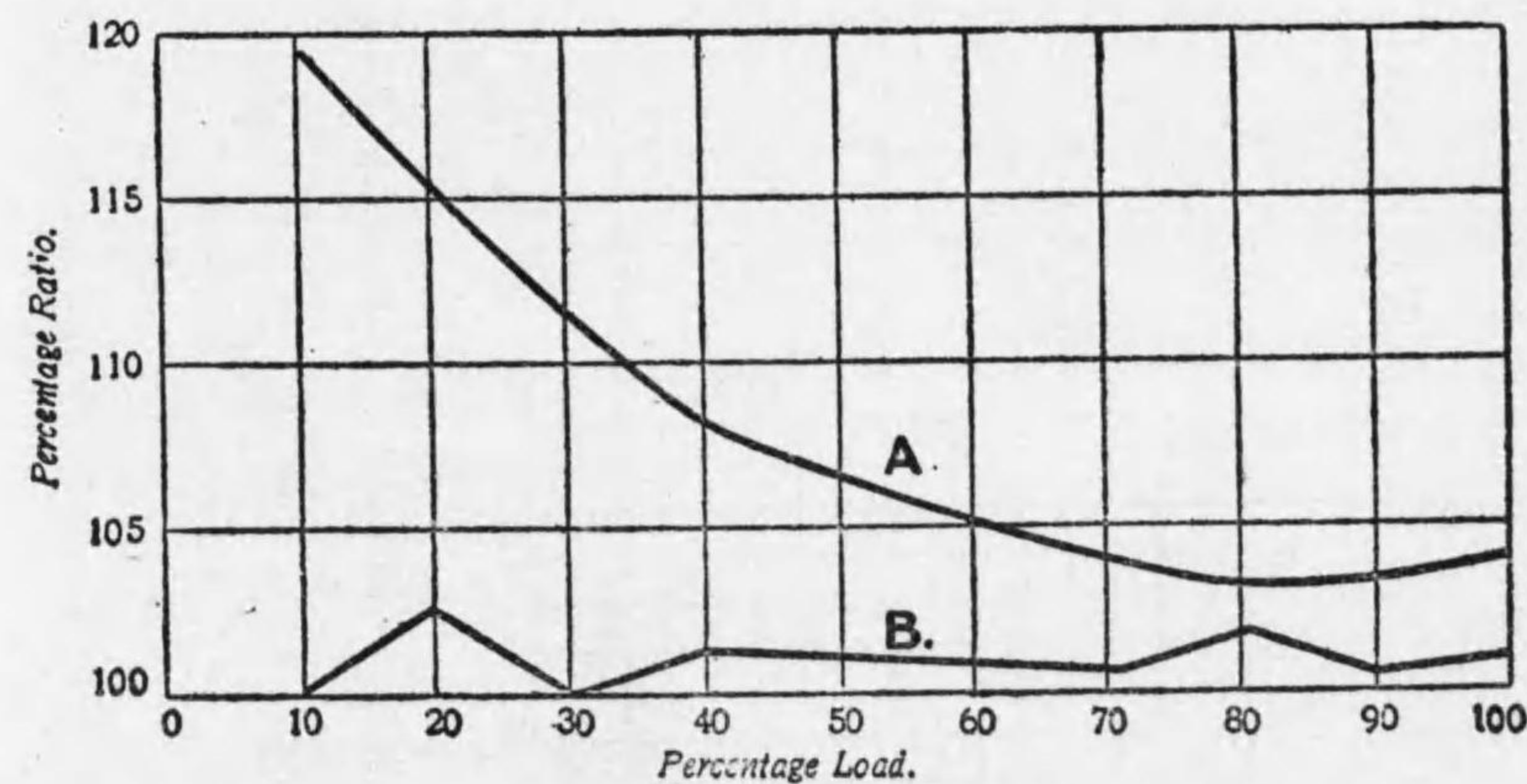
*Shell type とか core type とか矩形の鐵板で組み立てたもの

第三百六十圖



配電盤裏面接續線を貫き適宜の位置に取付け得る 400アンペーターンのカーレントトランスフォーマー。鐵心は環状をなす。

第三百六十一圖

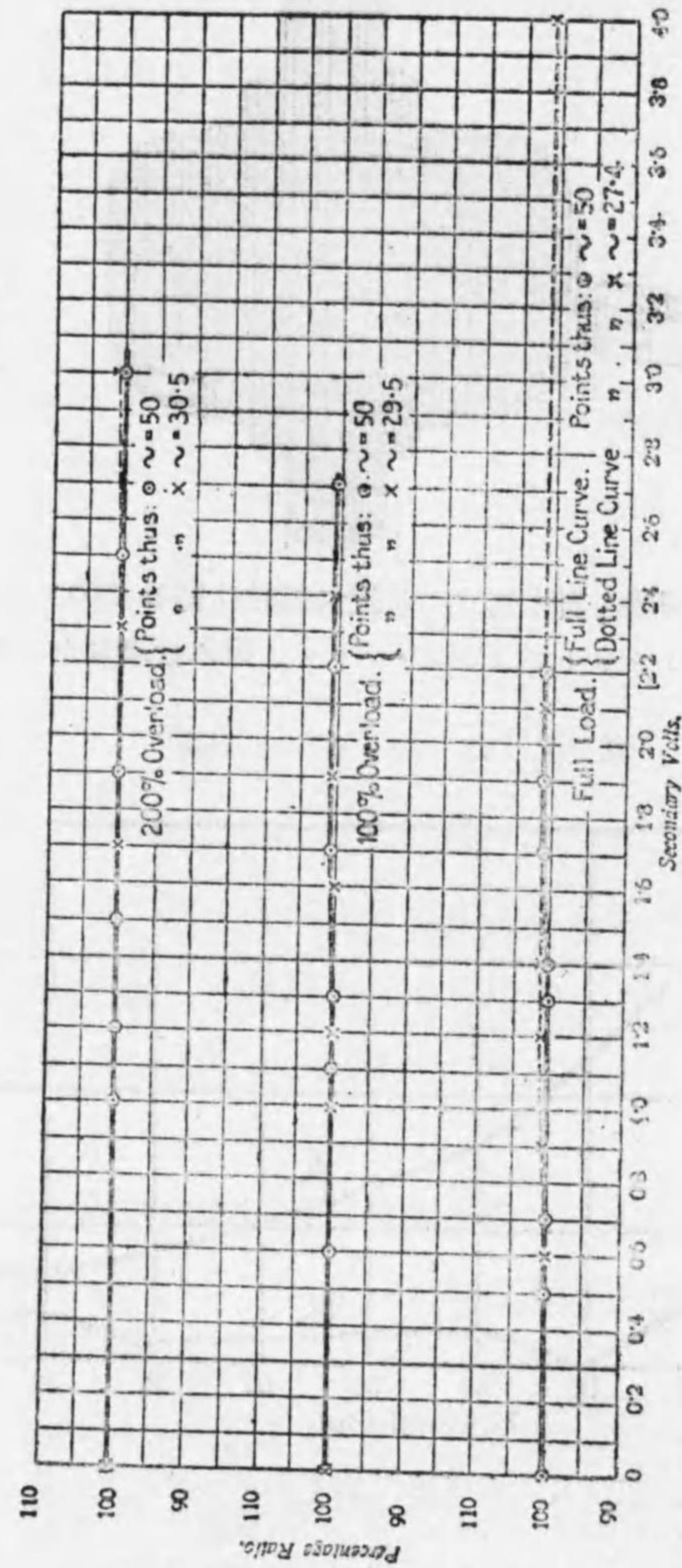


第三百六十圖、第三百六十三圖に示せるカーレントトランスフォーマーの比較

- A = 第三百六十圖 (400AT) に示せる如きもの
- B = 第三百六十三圖 (1,600AT) に示せる如きもの

H.T. E.H.T. Switchboards.

第 三 百 六 十 二 圖

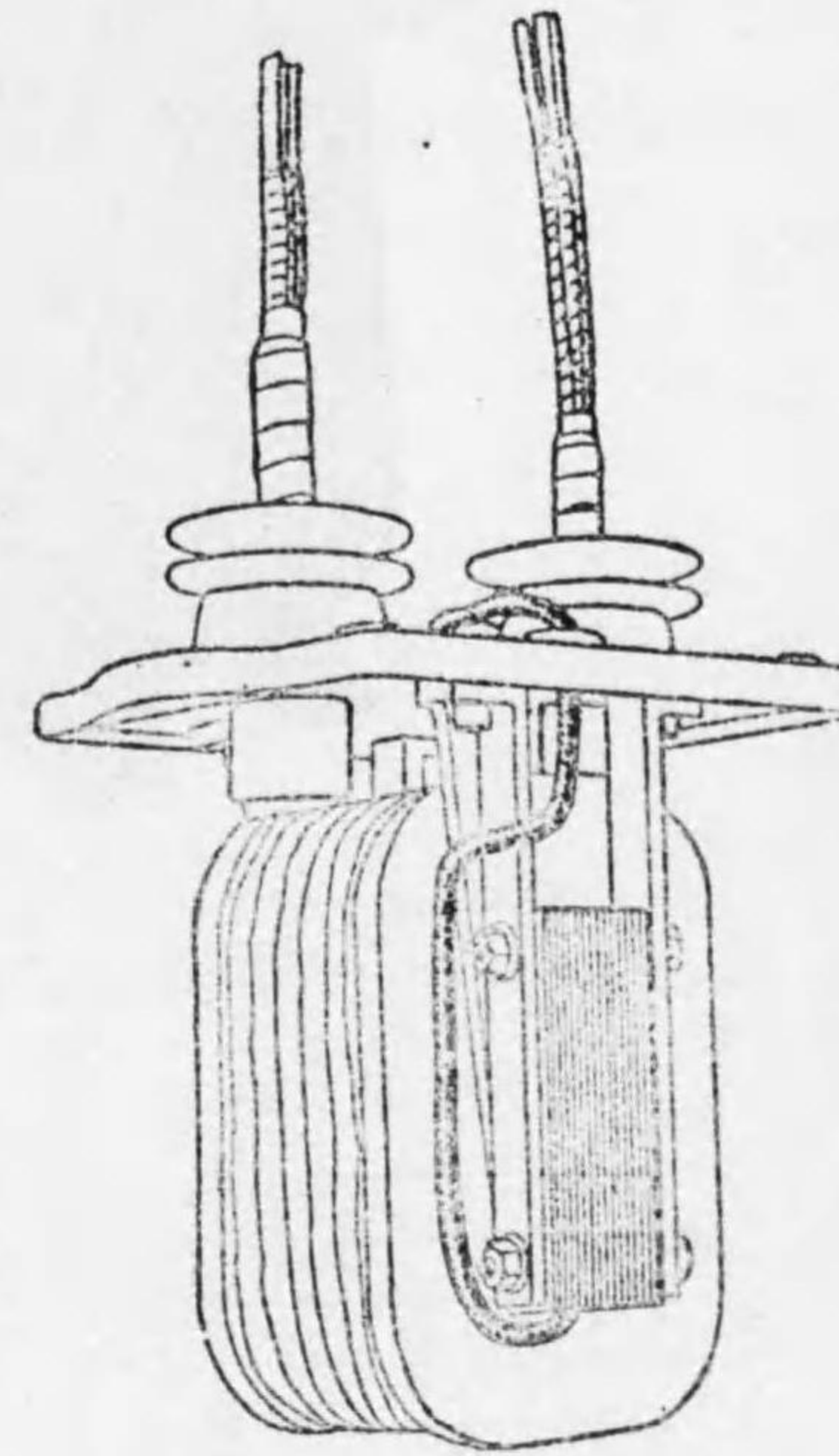


第 三 百 六 十 一 圖 に 示 せ る current transformer の 試 験 成 績、全負荷二次電流 = 10 アンペア

カーレントトランスフォーマーで蓋には Eddy current を起さね様無磁性體で作らなければならぬ。

第三百六十三圖は優良なるカーレントトランスフォーマーで core の設計は豊富で普通のカーレントトランスフォーマーに比較して形が大きい。第三百六十二圖の曲線は其の試験成績で周波数が變じても一次電流や二次の抵抗が甚だしく變化しても變流比は殆んど一定して變らない。

第 三 百 六 十 三 圖



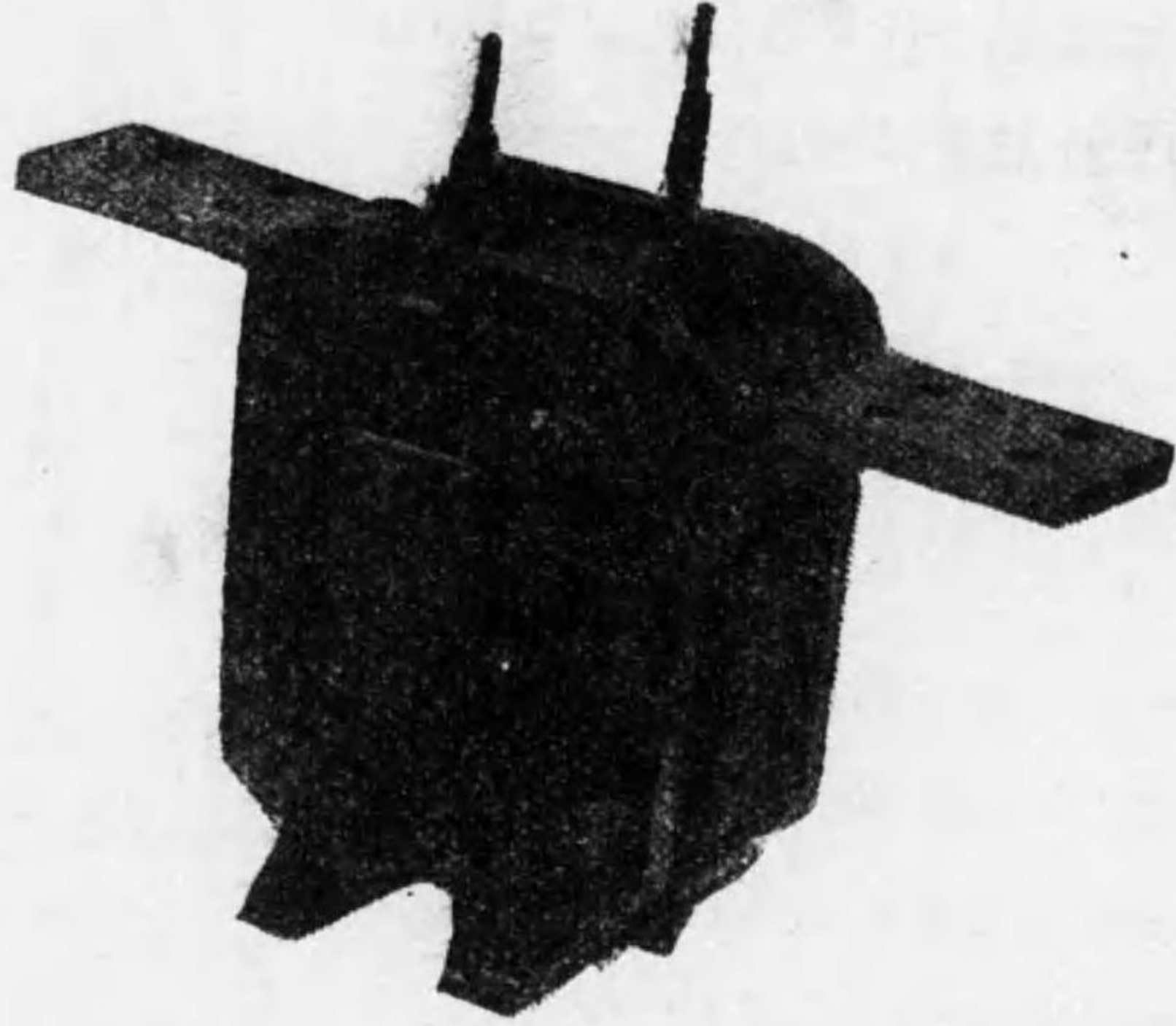
2000 ヴォルト回線用 1600アンペアターンのカーレントトランスフォーマー外函を取除く。

の二次線は二つのコイルに分たれ各他のコアに捲かれて居る。

第三百六十五圖は中等のカーレントトランスフォーマーに於て周波數の影響を示す曲線なり。

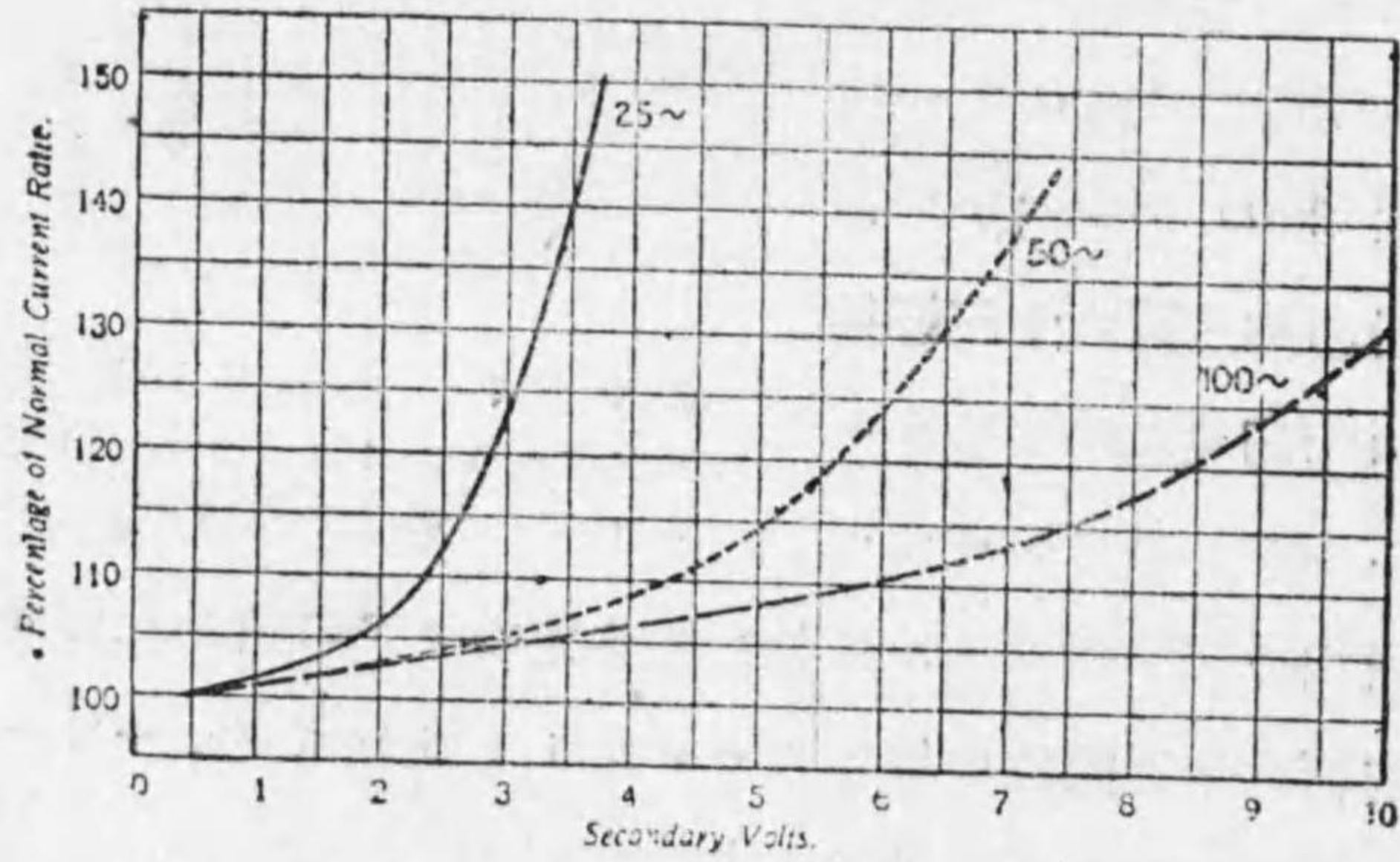
第三百六十六圖の曲線は第三百五十七圖に示せるカーレントトランスフォーマーより取つたもので電流の變化により如何に

第三百六十四圖



2000 アンペアターンのカーレントトランス
フォーマー磁気漏洩の最少なるもの

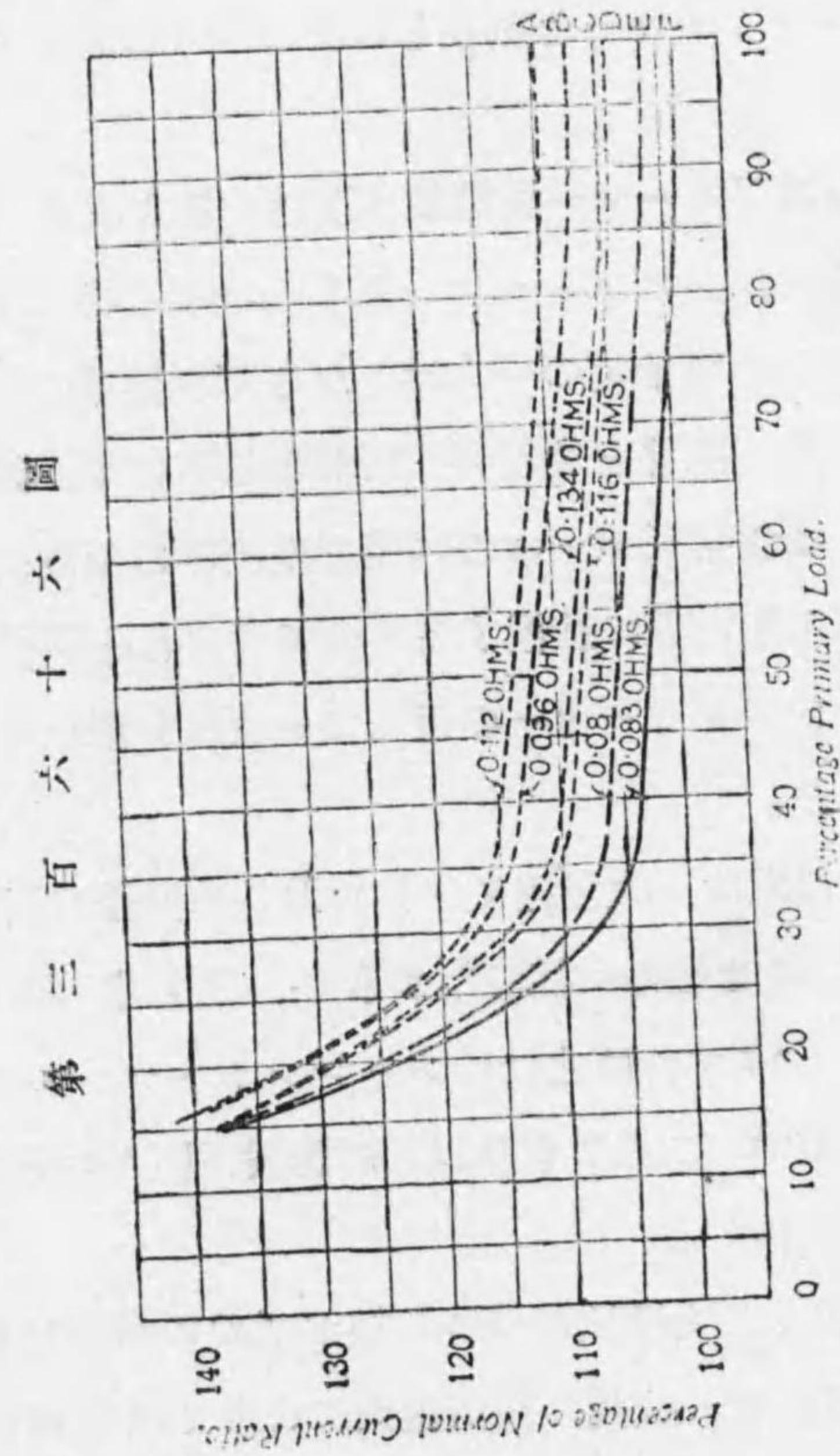
第三百六十五圖



カーレントトランスフォーマーの變流比に及ぼす周波
数の影響一定なる全荷重一次電流に於ての二次電壓
變流比との關係 (二次荷重は無誘導)

變流比が變化するかを示して居る。

勿論此のカーレントトランスフォーマーは價格低廉なる設計
で斯様なものを使用する時には其の變流比の變化を電流計の目
盛を記入する時目盛の中に配合しなければならない。然しカー
レントトランスフォーマーを皆同一設計によりて製作すれば電
流計の目盛を一々特定のカーレントトランスフォーマーに合せ



第三百六十六圖

第三百五十七圖に示せるカーレントトランスフォーマーの變流比の
變化、300 アンペア-10アンペア
二次回線に種々の誘導抵抗を與へたる場合の變流比の變化を示す
(全重荷の I_0 より)
ABC の曲線は凡そ 25~
DEF " " 50~
二次の誘導荷重は實際にメーターやリレーを結んだ場合のものに相當す

て記入するには及ばない。

重要測定をする必要がある場合には斯く變流比の變化するカーレントトランスフォーマーは使用せぬ方がよい。餘分な金を出しても（夫れは極く僅かである如何なる場合でも變流比の一定して居る様なものを使用した方が餘程よいのである）。配電盤の設計者は以上述べたる説明や曲線により與へられたるカーレントトランスフォーマーを検査し計器の指示に誤なきを期すべきである。

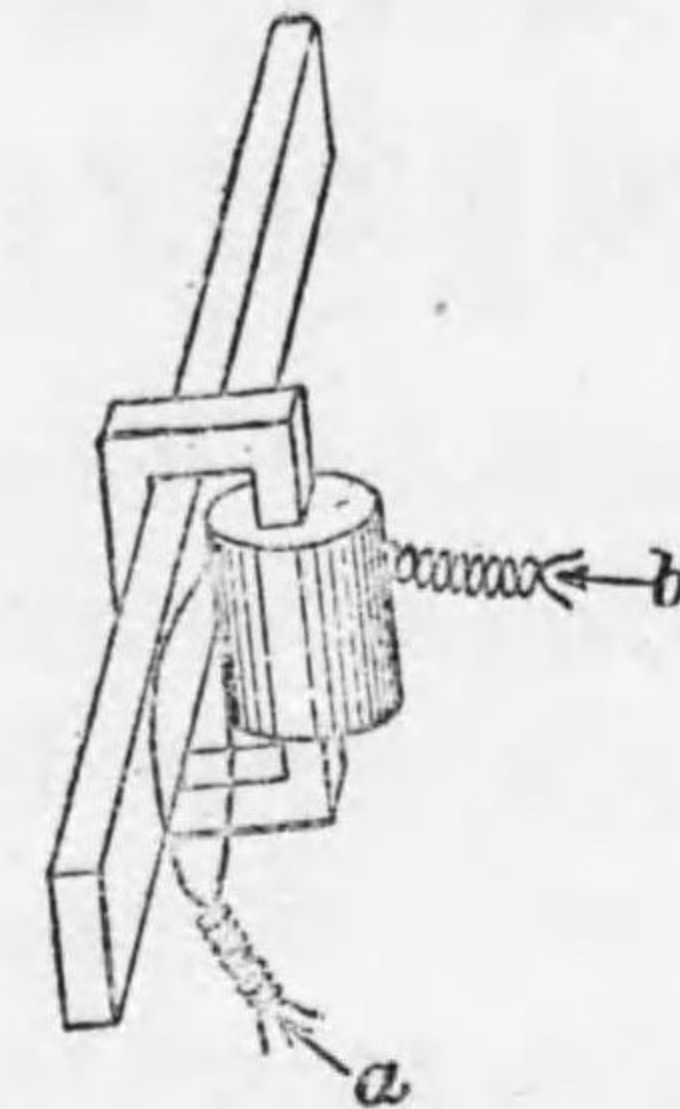
カーレントトランスフォーマー配電盤へ取付くる方法。

串型のカーレントトランスフォーマー即ち一次線は唯一本の導棒より成るものにおいて其の一次線となる可き配電盤の母線は試験用に使用した一次線と成る可く同形なるを要す。試験場で使用する一次線は通常長い一本の銅體で變流器の兩側に突き出して居る。實際に配電盤に装置する場合にも之れと同様になしカーレントトランスフォーマーの近くで一次線を曲げる様な事は避けねばならぬ。

猶注意せねばならぬ點は一回線又は其の他外の回線の漏洩磁束が二次捲線 link にせしめぬ様になす事で、若し之等の漏洩磁束が二次捲線に link すれば之れにカーレントトランスフォーマー自身の鐵心の flux によるもの以外の誘發電壓が存在す可く誤差を生ずるに至る。

第三百六十七圖に於て二次捲線の lead 線が (a) に示された様に引き出されたとすれば一次線の漏洩磁束によりて誤差が起るの明かである。

第三百六十七圖



カーレントトランスフォーマーより二次接續導線を引き出す方法

- (a) 誤差を生じ易き loop を有するもの
- (b) 誤差を除去す可き引き出し方

同圖 (b) に示す如く lead 線を捻りて引出せば誤差を除去する事が出来る。

第八章

非常の場合に電気機械を保護する器具

本章に於て論ずる非常の場合とは第三章に於て論じたるが如き過負荷其の他電流の流通に基因する危険状態を指すものでなく主として surge、電圧昇騰、電撃等の transient phenomena で之等は一般に極く短時間に消滅し電流の流通とは直接の関係なく又之によりて起るものではない。

之等の transient phenomena は捲線の絶縁を破り或は其焼損を來す。此の現象は内部的状態より誘發する場合と外部的状態より誘發されるものとなり外部的状態とは電撃其の他大氣中の電気現象より來るものなり。

内部の状態よりなる電圧非常昇騰

一般に電氣的非常の場合とは電圧が非常に昇騰する事に歸着し其の内部よりの原因とは

1. レゾナンス (Resonance)
2. 開閉器により荷重を急激に開閉する場合 (Switching)
3. 電弧及火花 (Arc Spark) 等である。

(W. Duddell "Journal" of I.E.E. Vol. LII, 1913 p.1 参照)

1. レゾナンスによる電圧の昇騰

Self induction と Capacity とを有する電気回線には皆其の振動の特有周波数を有するものである。而して回線の抵抗があまり大なるものでなく且つ供給電圧の周波度数又は其の中に含

まれて居る harmonic の周波度数が丁度之れと一致した場合には茲に回線固有の電圧波が生ずる。

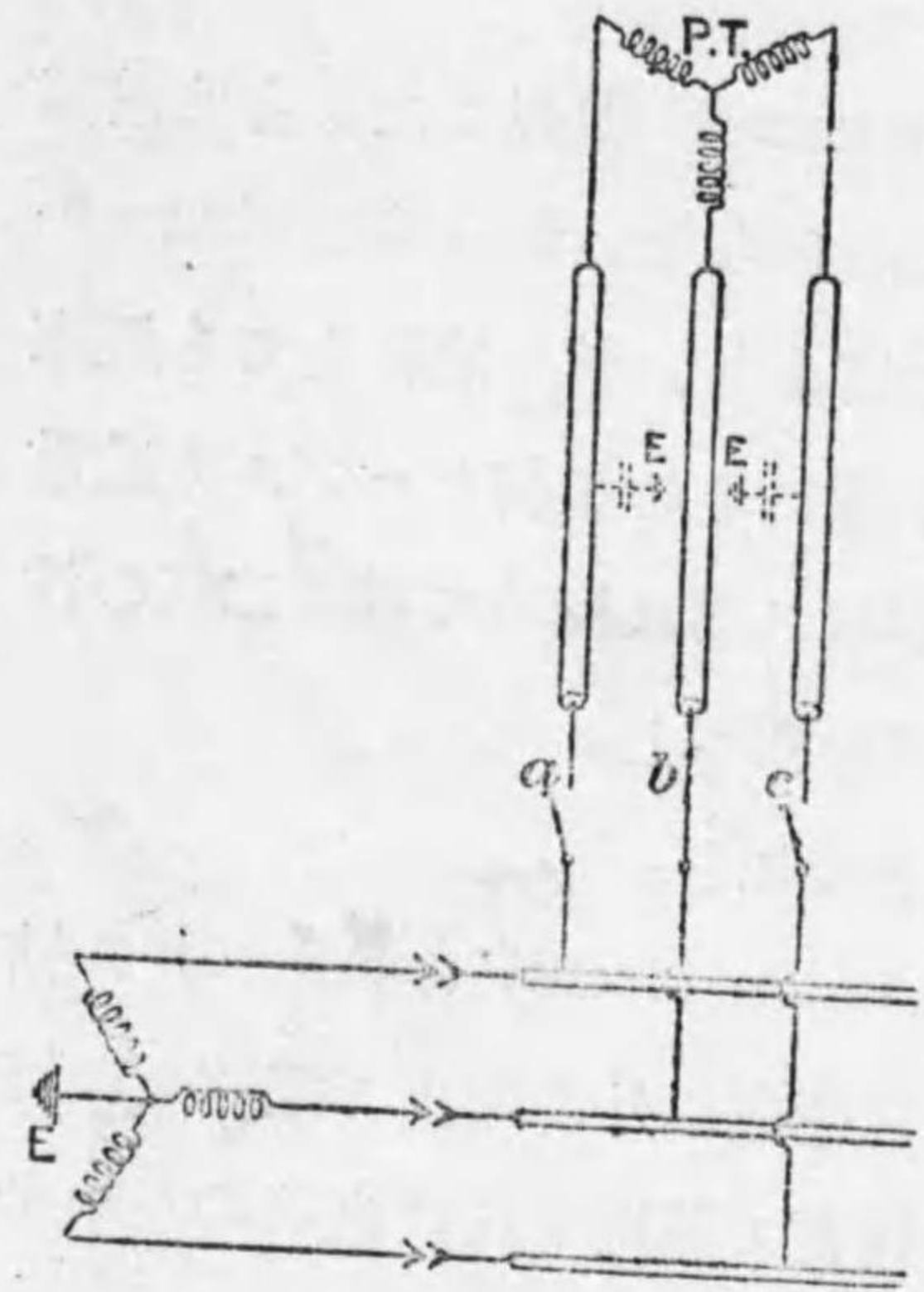
供給電圧の基本波との間に Resonance が起つた場合は電圧昇騰は極く僅少で實際には殆んどわからないから其の harmonic との間に起つた場合を考ふればよい。然し之れとても近來の進歩した交流發電機や常規の状態にある負荷ケーブルや送電線等を以てしては Resonance が起る事は極めて稀で二三の注意を怠らざれば充分未然に防ぐ事を得べし。

今此の二三の注意を挙げれば下の如し。

1. 勵磁されて居る發電機を open circuit のケーブルに結んだ場合には發電機は規定速度以外の速度で運轉せぬ様注意す可し。規定以外の速度で運轉すれば高次のハーモニックのレゾナンスを起し易い。
2. ケーブルの他端に於て電動機又は廻轉變流機が猶運轉されて居る間は發電端の開閉器は出来るだけ切らぬ方がよい。之等の電動機廻轉變流機はケーブルの開閉器が開かれた時には夫れより暫くの間發電機として廻轉を持続するので基本波でさへレゾナンスを起す事がある。
3. 變壓器の自己誘導が feeder の capacity と直列に持續する様な装置を避くべし。第3の例として Duddell 氏は次の如き場合を挙げた (第三百六十八圖参照)

三相ポテンシャルトランスフォーマー P.T. は相當に長いケーブルによりて高壓母線に接続されて居り、各線は各 earth に對して凡そ 250 マイクロファラッドの静電氣容量を有して居る。

第三百六十八圖



ポテンシャルトランスフォーマーによる基本波のレゾナンス

而して母線側に abc なる開閉器が装置され、此の内一つ例へば b のみが閉ぢられて居れば、基本波にてレゾナンスが起り 100 パーセント以上も電圧を上昇せしむる。

これは発電機の中性点が接地されて居り b が閉ぢられて居るからポテンシャルトランスフォーマーの二相の巻線による自己誘導とケーブルの静電容量とがアースを通じて

回線を形成しレゾナンスを起す条件を満足するからである。若し a, b, c, の開閉器が三極開閉器の形をなし同時に開閉せらるるならば此の危険は避けらるるは明かである。

2. 回線の開閉による電圧の昇騰。

之れに對しては二つの原因がある即ち 1 は誘導荷重を急に開放する場合で二は無荷重のケーブルを急に発電機に接続する場合の如く静電容量のある回線を急に閉づる場合なり。

誘導回線の開放：— Self induction の大なる回線を急に開放すれば線路の電圧は非常に昇騰するに至る。

此の普通の例は発電機又は電動機の磁界巻線を開放する場合

なり。此の場合に油中でなく air break 式の開閉器を使用すればアークを発生し漸次回線の抵抗を増加するから電圧昇騰を緩和する。猶ほ filed switch に之を開放した瞬間に一時的に磁界回線中に無誘導抵抗を接続せば一層有効である磁界巻線中に蓄へられた誘導的エネルギーは開放の際此の無誘導抵抗を通じて無害に放電される。若しかゝる誘導作用を有する直流回線を油入開閉器によりて開放せば非常な電圧昇騰を來す可く 200 ヴォルトの回線に於て 100,000 ヴォルト位の電圧を生ずるは容易である。依て直流回線には油入開閉器を使用するは良しからず。

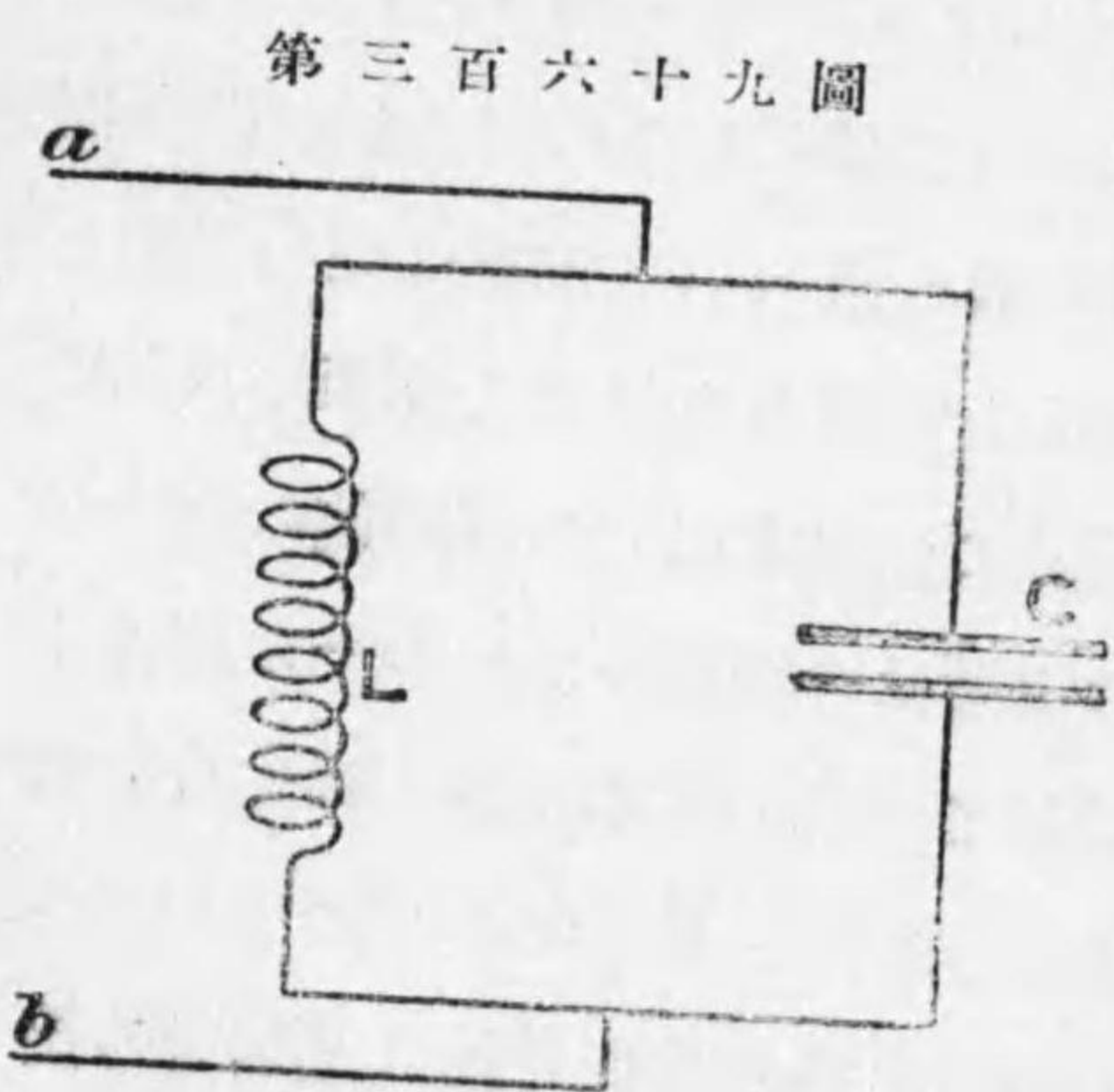
コンデンサーを急激に閉づる場合、ケーブルの充電：— 充電されて居ないケーブルを急に発電機に接続する時は一般にケーブルの端子電圧は一時発電機電圧の二倍に上昇するものである。之れは ballistic galvanometer の場合同様で、ballistic galvanometer に於ても damping の小なる間は之れを回線に結んだ最初の偏れは正しい偏れの二倍になるのである。開閉器を閉づる瞬間が偶然にも電圧波の最大値（電圧は交番電圧とする）に当たるとすれば、理論上電圧の上昇は（實際は決してそんなに上昇はせぬが）電圧計にて測定し得る實効値の 2.8 倍に昇るわけである。然し此の電圧は一周期の二分の一の間續くのみで現今製造さるる電氣機械では此の位の電圧には充分耐えられる。

無負荷ケーブルの開閉器を閉づる時の電圧昇騰は開閉器の接觸が不完全であれば益々増加される。即ち開閉器の不完全なる爲め最初接觸した時ケーブルは +E に充電され一時接觸が破

れ次ぎの半周期の半頃発電機電圧が $-e$ となつた時再び接觸したとすれば Condenser に加へられた電圧の變化は $E+e$ となり従て是初の電圧の昇騰も $2(E+e)$ となるわけである。此の最も極端な場合は $E=e$ 即ち最初の接觸によりてケーブルが全く充電された場合である。此 $+$ 間の最大の變化によりて上昇する電圧は零以上 $2(e+e)-e=3e$ である。

即ち單にケーブルの充電による電圧の昇騰は閉開器が不完全な場合でも電圧計で測定し得る實効値の 4.2 倍以上に上昇する事はない、而も此の電圧は一周期の半期間以上続く事はないのである。

數年前は之れが爲めにわざわざケーブルの充電装置を附して電圧の上昇を防いだ。即ち高い抵抗を通じてケーブルを除くに充電するが如き形式のものである。然し現今ではかゝる装置は



Self inductioe と capacity とが並列となつてをる場合

殆んど必要がなく特に精良な油入開閉器を使用すればかゝるものは不要であるとして使われなくなつた。

Self induction 及び Capacity を共に含む回数の開閉：——一般にケーブルの capacity は荷重の Self induction と並列に結ばれて居るもので

ある。其の簡単な例は第三百六十九圖に示すが如し。若し ab 二點が發電機に接続されて居つたものがスパークを發生せしめず急に之を切斷すればコイル L の磁界内に蓄へられて居たエネルギーは c のコンデンサーに移り茲に蓄へらるる事になる。self induction を通る電流が I であれば之に蓄へられたエネルギーは $\frac{1}{2}LI^2$ である。コンデンサー c は電路を開放する前には全く充電されて居なかつたとすれば、コイル L からエネルギーがコンデンサーに移りコンデンサーは E なる電圧に充電されたとすれば其の中に蓄へられたエネルギーは $\frac{1}{2}E^2c$ で此の移動に際してエネルギーの損失を省略すれば

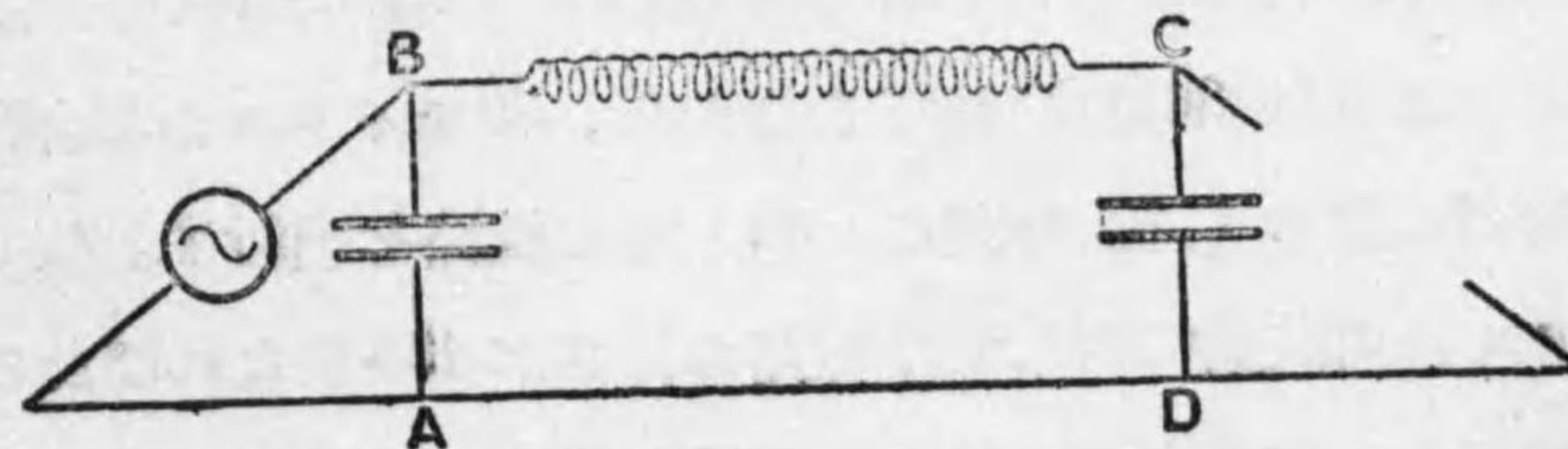
$$\frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}cE^2$$

$$\text{又は } \frac{E}{I} = \sqrt{\frac{L}{c}}$$

となる。

依て Self induction と Capacity との割合を知れば或る電路の切斷による電圧昇騰を計算する事が出来る。Self induction が Capacity に比して甚だ大であれば電圧の上昇も多く前述の

第三百七十圖



短かいケーブル電氣的關係

field coil の場合の如くである。

ケーブルは又架空電線に就て二つの極端即ち短かい場合と長い場合とに就て考ふるに、本邦の(英國の)地上ケーブル又は電力線は前者の短かい部類に屬するもので Kennelly 博士は之を第三百七十圖の如く電氣的に表はして居る。即ちケーブルの全體の capacity を二等分し AB, CD の二ヶ所に置き其の間にケーブル全體の self induction 及び抵抗を置きたるものなり。長いケーブルにありては斯く簡単に代表せしむる事は出来ない。

斯くの如きケーブルに於て他端開放されて居る時之を急に發電機に接続すれば電流の波は線路に沿ふて他端に至り之より逆に反射される。此の際他端の電壓は二倍に上昇す。反射された波が發電端に來れば再び受電端に向て進行す。此の場合には振幅を増す事なく唯位相を反對にす。即ち電流の波は發電端と受電端との間を往復振動して居る。依て若し送電線路の長さが丁度反射された波が發電端に達した時廻轉子は半周期だに發する波によりて助勢さるるが如き事ありとせば、線路の長さが或る周波數に對する波長の $\frac{1}{4}$ ならば受電端に於て電壓の上昇を來すに至る可し。即ち普通のケーブルに於て電氣波進行の速度は毎秒 86,000 哩であるから、50サイクルの場合には半周期間に即ち $(\frac{1}{100}$ 秒間に) 430 哩の線路を進行す。依て50サイクルの周波數に對しては線路の長さが 430 哩ならば此の現象を起す。一般に本邦に於ては斯様な長さの送電線は使用されて居ない架空送電線路にありては電氣波進行の速度は殆んど光

と同様で頗る速かであるから此の種のレゾナンスを起す可き線路の長さは甚だ長い。

然し高次のハーモニックに就ては此のレゾナンスを起す可きケーブルの長さは甚だしく短縮され事實屢々此の種のレゾナンスにより電壓の上昇を來す例がある。猶スパーク、其他の故障による高周波の振動によりても短かいケーブルに於て此の種のレゾナンスを起す事あり。

ケーブルが負荷されて居れば此の現象は頗る緩和される。

非周期的放電に必要な條件。

電氣放電が例へば電路とアースとの間に接続された spark gap の間に起つたとすればコンデンサーよりの放電と全く同様に此の放電は振動性を有せるものとなる。然し此の場合若し spark gap と直列に抵抗が接続されて居り、其の値が充分大なるものであれば此の放電は最早振動性を失ひ非周期的のものとなつてしまふ。而して其の放電々流は反轉する事なく漸次減少し遂に零となる。斯くの如く放電をして振動性を失ひ非周期的ならしむるに至る抵抗の値は其の電路の constant から計算する事が出来る。

今 "C" を其の電路の electro static capacity とし "L" を self induction, "R" を放電々流の通過する ohmic resistance とすれば

$$R = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

なる關係の成立する時丁度非周期的放電となる。(Graham 氏

“Calculus of Engineering Students” 1896 p. 238 参照)

そこで此の關係を送電線路に就て考へ、一哩毎の self induction や capacity の値を上式に當嵌めて見れば周期的の放電を起すや否やが明かになる。而して $\sqrt{\frac{L}{C}}$ の値は電路の surge impedance と稱せらるるもので、抵抗が此の surge impedance の二倍か又夫れ以上の値であれば線路に起つた放電は非周期的のものとなり振動は起さない。

然し夫れだからと云つて角型避雷器の直列抵抗に之を應用して澤山の抵抗を入れる事は間違つて居る。放電は振動性であつても害はない。唯其の振動の周期が丁度電路の固有周期に一致し、レゾナンスの現象を起す場合に危険なのである此の間違つた推定に基づいて迂遠な計算をなして居る者もある。

最も緊要なものは振動を成る可く早く消滅せしむる事で、之が爲めに要する抵抗は上述の極限的値より遙かに小なるものである。

3. アーク、スパークによる電壓昇騰。

アークやスパークにより電壓昇騰の危険を感じしむる主なる原因は其の電氣的の不安定なる點にあり。先づ第一に一般に云へばアークを通る電流が増加さるれば其の抵抗即ち逆電壓が減ずる。従て増々電流が多くなり愈々アークの抵抗を減ずる。茲に何か制止の装置を置かなければ電流は無限に増大する。又他の一方に於て電流が減少すればアークの兩端に於ける voltage drop が増大する、即ちアークを全く消滅せしむる傾向がある換言すればアークを通る電流は急激に無限に大きくなるが或は

急に消滅する傾向がある。此の電流を急に消滅せしむる現象は甚だ屢々起る處ろで之れは實にアークやスパークの危際な性質である。此の點に於てアークとスパークとはよく類似して居り Daddell 氏は(“Proceeding” I.E.E. Vol. LII, 1913 p. 10 参照) スパークはアークと同様に不安定な性質を有し一層之れより激しいと論じて居る。

Self induction のある電路内の二點間にて起りたるアークの破らるる事が早ければ早い程電壓昇騰の高いのは明かである。前述の

$$\frac{E}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

なる式は瞬間に破壊された場合に起り得る最高の上昇電壓を與ふる式で、具體的に數字を入れて説明せむ。

0.5 平方吋の二本のケーブルが非金屬の溝中に中心4吋を隔て、並べられ、其の一哩の抵抗は 0.176 オームインダクションは 1.6 ミリヘンリー、キャパシターは 0.1 マイクロファラッドなりとす。發電機の self induction は之を省略し第三百七十圖に示した様に分布されて居るものとすれば

$$\frac{E}{I} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{1.6 \times 10^{-3}}{\frac{0.1}{4} \times 10^{-6}}} = \sqrt{64 \times 10^3} = 252$$

即ち 500 アンペアの電流が瞬間に遮断されたものとすれば蓄積されて居た全體の電磁エネルギーは靜電氣エネルギーに變じ理論上上昇し得る電壓は $252 \times 500 = 126,000$ ヴォルトとなる。勿論實際にはアークの破らるるのは一瞬間に行はるるものでは

ないから斯様な高い電圧を起す事はない。

直流の遮断器を動かした時に生ずる大なる直流のアーキは一般にあまり害はない、即ち此の場合には本項の初めに述べた様な不安定な条件を満足することなく却てアーキを通る電流を増せば其の両端の電圧は寧ろ下降するに至るからである電磁吹滅装置 (magnetic blow out) を附すれば數百ヴォルトの電圧上昇を來すが勿論現今の機械に就ては此位の電圧は害をなさない。

又直流又は交流のケーブルに於て短絡によるアーキが非常に短時間内に破られ、之れが爲めに他の部分の絶縁を破壊する事が屢々ある。之れは急な波首を有つた電氣波 (又は衝動) が障害の起つた處ろから四方に傳波され、之れが機械の捲線で一時喰ひ止められるから後に迷ぶ様に捲線の入口の處で其の絶縁を破壊する。此の場合に反射波も起り波の振幅を二倍にして反轉して來る事もある。

斯くケーブルに發生した大電流のアーキが急に破られるのは其の電流によりて生じた強力なる磁界により又絶縁物の氣化分解によりて閉ぢ込められた狭い場所に多量の瓦斯を發生し依てアーキを消滅せしめ、或は大なる質量を有する金屬體の冷却作用等によりてアーキが急に消滅するのである然し之等の現象はアーキの不安定な性質と混同す可きものではない。

Horn 間に起つたアーキでは漸々上方に昇るにつれて其の長さが長くなり兩方の現象が存在する。

電流の最大なる時アーキが破れむとする傾向があり、又アーキの長さが増せば不安定の状態になるアーキと直列に抵抗があ

る場合にはアーキの長さを増せば一般に不安定な状態を増すものである。

アーキの不安定なる他の原因は之をコンデンサーにて shunt する事なり、若しアーキを通る電流が何かの原因によりて減じたとすればアーキの端子電圧は上昇す可し。依てアーキを shunt して居るコンデンサーに電流を通ずる事になり、益々電流が減じコンデンサーにて shunt されて居ない場合に比して甚だ不安定となる。(Duddell 氏の論文を見よ)

然し此の事實より線路の出口にコンデンサーを附するはいつでも危険であるとは斷じ難い。油入開閉器に生ずるアーキを shunt するコンデンサーの如きは安全辨として作用し、高周波のサージを吸収し進入して來る電氣衝動波の急な波首を緩和する作用をなす。交流回線に於て精良な作用の確實な油入開閉器を用ふれば、どんな状態にありても之れより危険な電圧昇騰を來す事は殆んどあり得ない事である。

電路に於けるアーキやスパークは無線電信にて振動を作ると同様にして振動を生ずる事を得。無線電信にて振動を作る場合にはスパークギャップに並列にコンデンサーがあり直列に自己誘導がある。

而して交流なる場合にはコンデンサーは半期間中充電され其の電圧が spark gap を破るに充分となれば各半期間中 spark gap を通じてコンデンサーから數回の振動的放電が起る。直流の場合でも必要な条件さへ満足さるれば之れと同様の放電が起る。之等の高周波の振動波は回線を傳はり發電機電動機或は變

壓器等の捲線の入口に於て其の絶縁を破壊する。

斯かる危険な振動の最も多くの原因は arcing ground 即ち絶縁された高壓回線と大地との間に起るスパークである。斯様な場合には回線と大地との間にスパークにて送電される廣い無線送電系統と見做される。

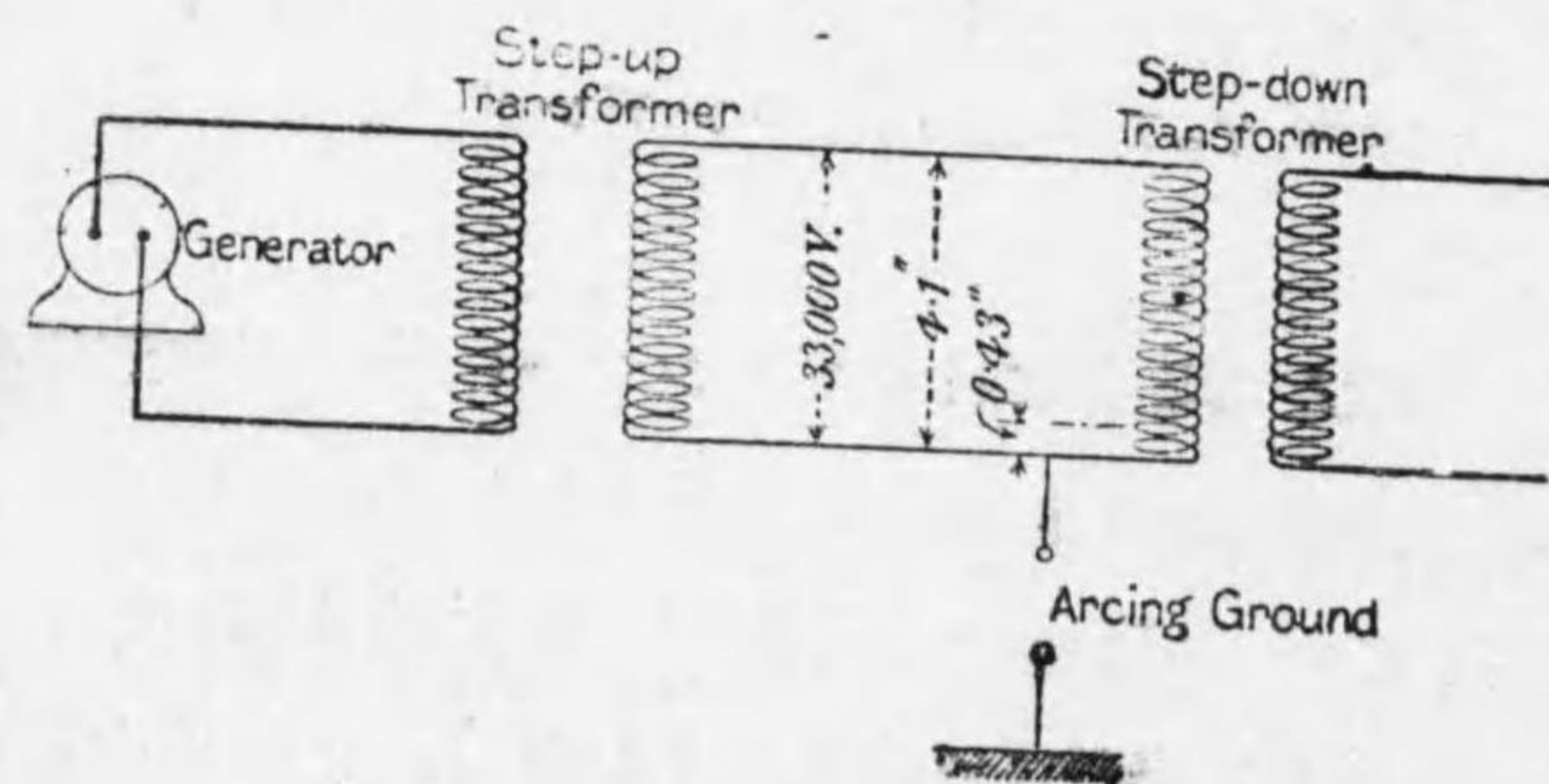
Arcing ground

E.J. Berg 氏は arcing ground によりて電圧の昇騰する事に關する二三の實驗をなし立派な結果を得て居る。(“Trans. A. I.E.E. Vol. XXVII, 1918 p. 741 参照)

第三百七十一圖は Berg 氏の試験の接続の一例である。其の遞降變壓器の高壓側の一端は空中に在る spark gap を通じて earth にアークする様になつて居る。

勿論此のアークを通じして接地する電流は此の回線の充電々流で、電圧の上昇は尖端間隙にて測定する。規定の 33,000 ヴォルトに對する needle gap の大きさは 2 吋なり。而して arcing

第三百七十一圖



Berg 氏の arcing ground の試験法

ground によりて變壓器捲線の全體に亘りて 100 パーセント以上の電壓昇騰を來せり (即ち needle gap で 4.1 吋)。特に最も注意すべきは捲線の終りの方 (全體の捲線の 2½ パーセント許りの部分) に於ける電壓上昇で之れは規定電壓の 15 倍即ち needle gap で 0.43 吋許りとなり、反對の接地されてない側の變壓器捲線端に於ては斯様な非常電壓は存在して居ない。變壓器が三相に接続されて居る場合も同様の結果となる。

猶注意すべきは arcing ground と變壓器捲線との間に之れに直列に中空の塞流線輪を結びて試験したるに、之れは變壓器捲線に於ける電壓上昇を減ずるの作用をなさぬ事を知れり。即ち塞流線輪だけでは arcing ground による電壓昇騰に對する保安には充分でない事を示すもので、Peek 氏の結論なる (“Journal” I.E.E. Vol. 40, 1908 p. 515 参照) 機械の捲線に結んだ塞流線輪は之れに電壓が集中されるのを防ぐ事が出来ると云ふ事と反對の結果を呈して居る。

現在の著者の考では塞流線輪は危険な電壓の浸入を一時喰止めるから保護を助ける役はなすが何か他のコンデンサー (保安用としてのコンデンサーの項参照) の様なものを使用せねばならぬと思ふ。

Berg 氏は猶 arcing ground に直列に結ばれ抵抗は甚だ大なる値となるまで (160,000 オーム) 電圧を減ずる作用はなさぬ事を發見せり。碍子などから接地する場合に全く抵抗なく直接に接地した様に破壊されるのでも解かる。

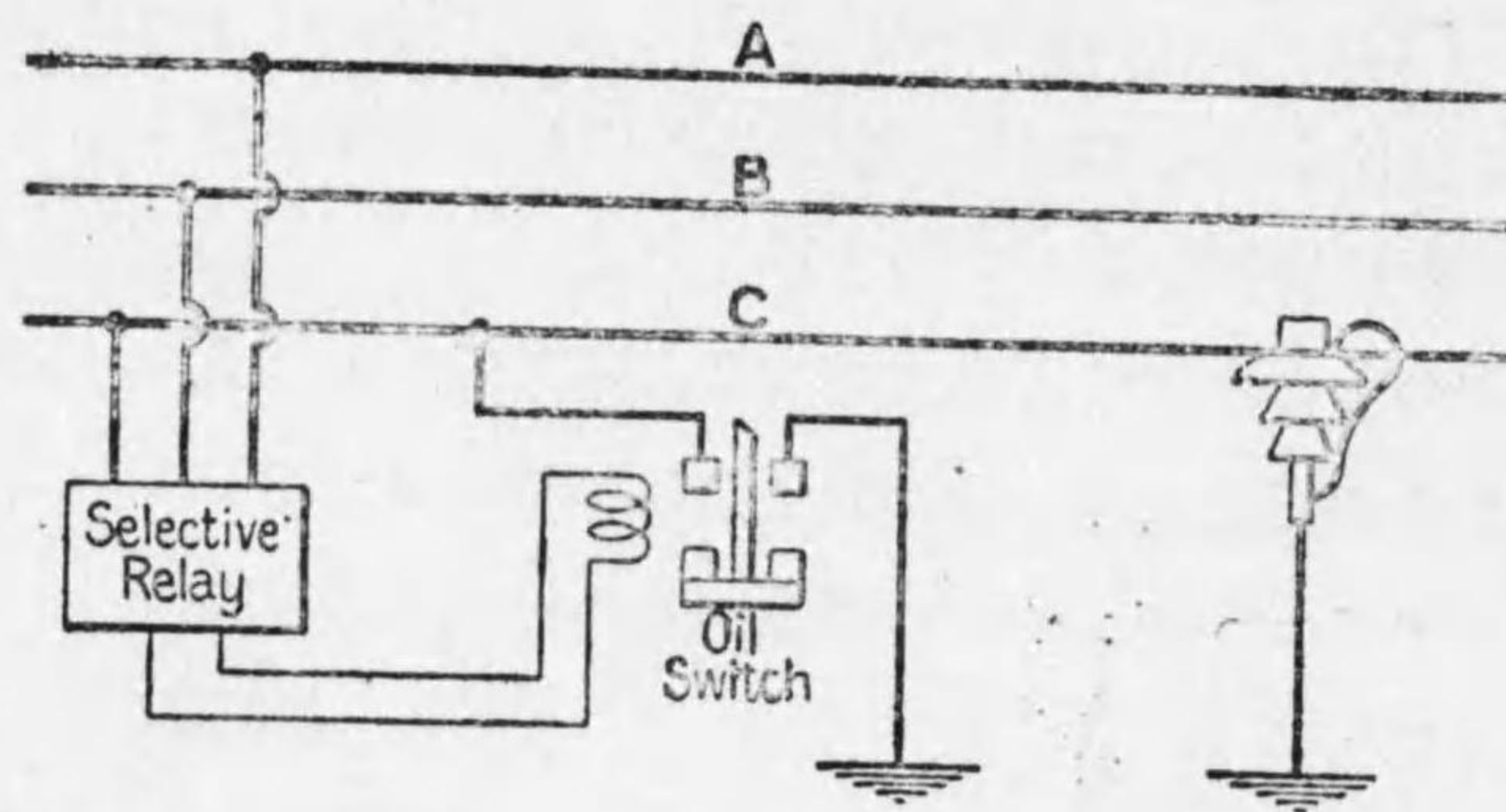
猶實驗の結果負荷された變壓器も全く同様の結果を與へ、ア

ークを通してなく永久的の ground の場合には非常電圧は存在して居ない事を知れり。即ち若し固障の爲めに ground が起つたとすれば其の線を永久的に ground させしむのがよい。此の永久的 ground は固障が直つてから取り去ればよい。

Arcing Ground Suppressor

前項に於て絶縁された回線に接地が起つた場合には危険な電圧上昇の原因たるアーク又はスパークの状態を連続させて置くより寧ろ直ちに完全な接地をなす方がよいと述べたが、之れを自動的に行はしむる爲め E.E.F. Creightor 氏は Arcing ground suppressor なるものを考案せり。(“Trans” A. I. E. E. Vol. XXX, 1911 p. 257 参照)

第三百七十二圖



ground 氏のアーク接地消滅装置の原理

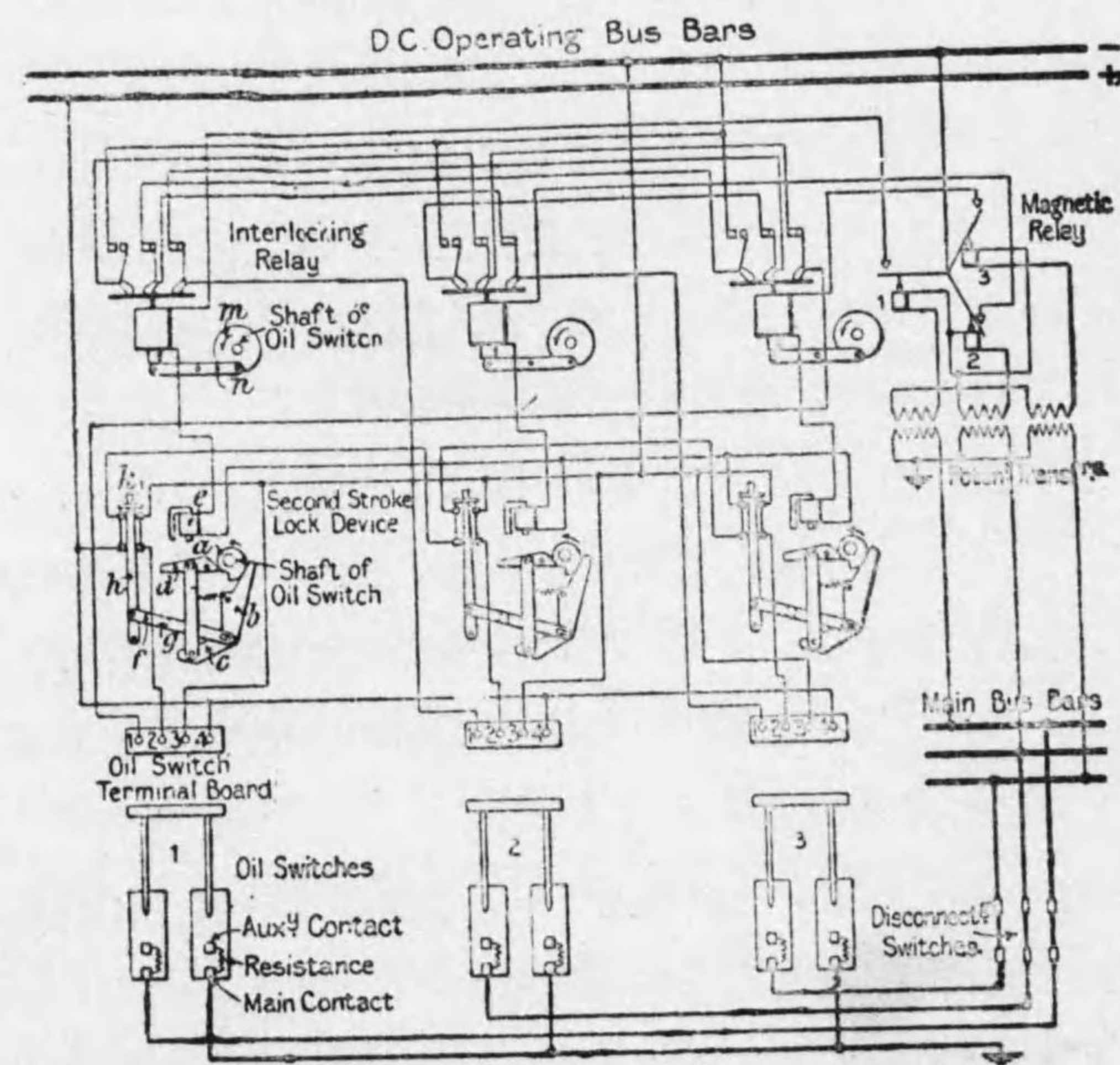
此の Arcing ground suppressor は其の主要なる目的の外碍子の破壊を防ぎ得るの特長あり。碍子の部分でアークが起り (arc over) 接地すれば suppressor により碍子の破壊する前

に之を止めしてしまふ事が出来る。

第三百七十二圖は此の装置の作用原理を示すもので、C の phase に於て支持碍子の部分にアークが起りたる場合を示す。今茲では中性點は絶縁されて居るか又は大なる抵抗を通じて接地されて居る場合のみに就て論ず碍子が破壊された時には C の phase 電圧は earth の電圧に等しきか又は之れに近いものとなる。

此の場合にリレーの差別的動作により斯く電圧の下降せる

第三百七十三圖



第三百七十三圖は arcing ground suppressor の接続を示す

phase に動きトリップコイルを通じて此の phase と earth との間に結ばれて居る油入開閉器により、之れを短時間内完全に earth に接続する。然る後再び自動的に開放される。三相の場合には単極の油入開閉器を三個各相と earth との間に使用す可きであるが本圖には簡單の爲め唯一個しか示してない。

斯くアースした phase を再び開放するのはアークが insulator を越えて擴がつて行くのを防ぐ爲めで架空送電線にのみ装置され insulator が破壊された場合には油入開閉器は再び閉ぢて其の phase を接地する。斯く第二回に閉ぢられてからは油入開閉器は永久に閉ぢられて居る様な装置になつて居る。

ケーブル回線に於ては斯く二度目から永久に接地さるるのでなく油入開閉器は初めから連続して閉ぢられて居る。

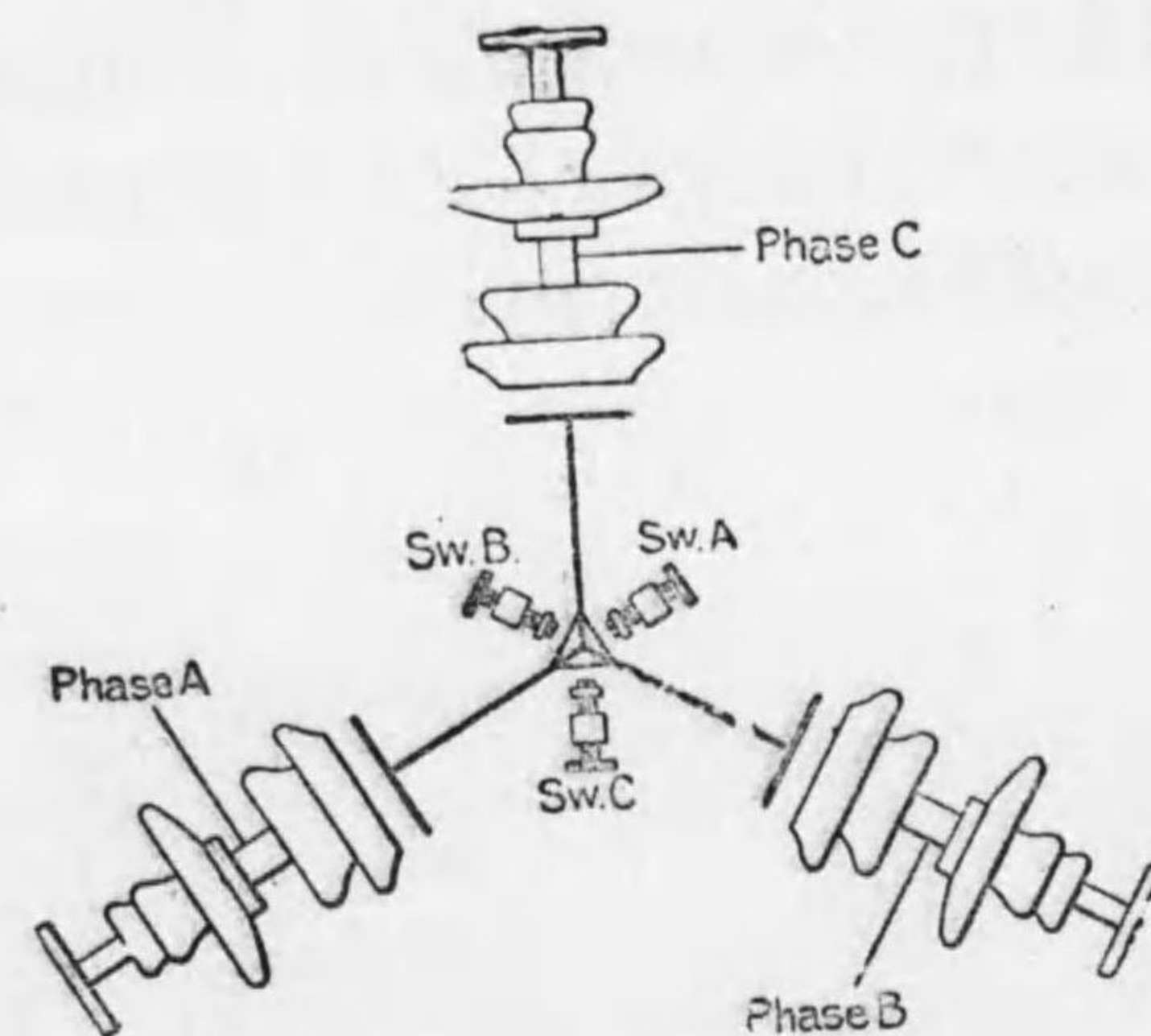
Suppressor には次の如き安全装置が付いて居る。

- (a) 三相回線の三個の接地用油入開閉器間には同時に一つ以上閉ぢらるる事なき様な装置あり。
- (b) 差別的動作をなすリレー間には同時に二つのトリップコイルが勵磁されぬ様な装置あり。
- (c) Oscillation を防ぐ爲め接地用油入開閉器を閉づる場合には先づ塞流抵抗を通じて接地し次いで之を短絡するが如き装置あり。

Suppressor 用リレーの構造：——此のリレーは全く普通の漏電計と同様に作られて居る。

第三百七十四圖に於て碍子で三個のコンデンサーが形成されて居るが之等は各線に接続されて居る。

第三百七十四圖



差別的動作をなす静電氣的リレー

各線のアースに対する電圧が皆一樣なれば中央の羽根は一定の位置に静止して居るが、若し一相例へば C の phase が接地したとすれば羽根に対する引力の均衡が破れ Sw. C の接觸が成り、之れより接地開閉器を動かすに至る。

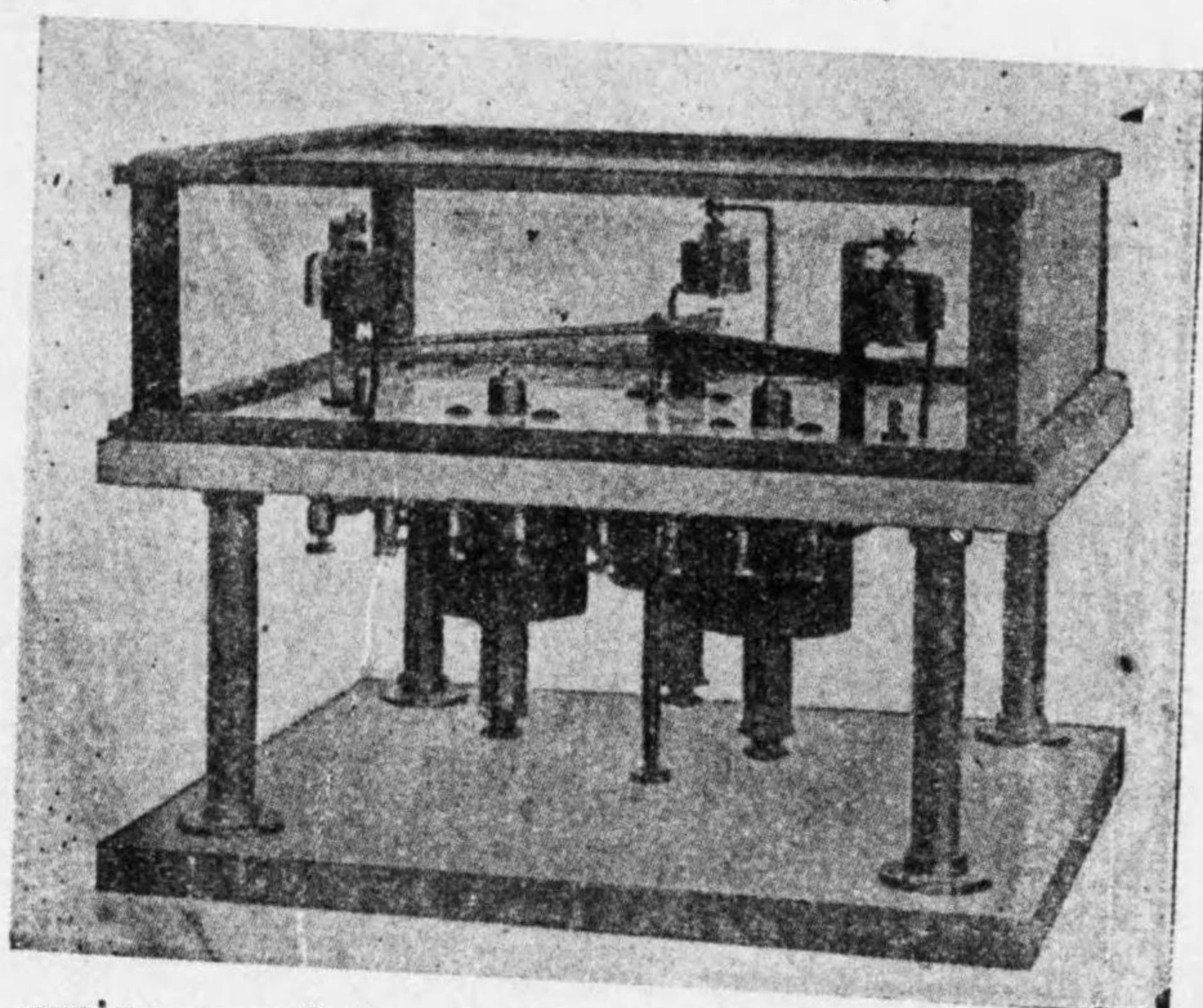
電壓の低い回線に於ては電磁的に作用するものが用ひられる(第三百七十五圖参照)。三個の電磁石が星形に接続され、やはり星形に接続された三個のポテンシアルトランスフォーマーによりて電路に結ばれて居る。然し其の原理は全く同様である。

Burkholder 氏、Marvin 氏 ("Trans" A.I.E.E. Vol. XX X, 1911 p. 327) 其の他の人々によりて suppressor の線路の碍子を保護する上に於ける効力が試験され、之れも良好なる結果を得て居る。

之等の結果は一つの suppressor を用ふれば(例へば母線に)

其の回路全部に對して充分を呈する事を示して居る。全線に何等の故障も與へずにはアークを消滅せしめ、其の時間も初まつてから僅か $\frac{1}{2}$ 秒以内であるからアークや接地開閉器の作用は線路にも事業の連続と云ふ上にも何等の故障を及ぼさない。

第三百七十五圖



arcing ground suppressor に用ふる電磁的三相リレー

電氣機械の捲線間に於ける部分的電壓昇騰

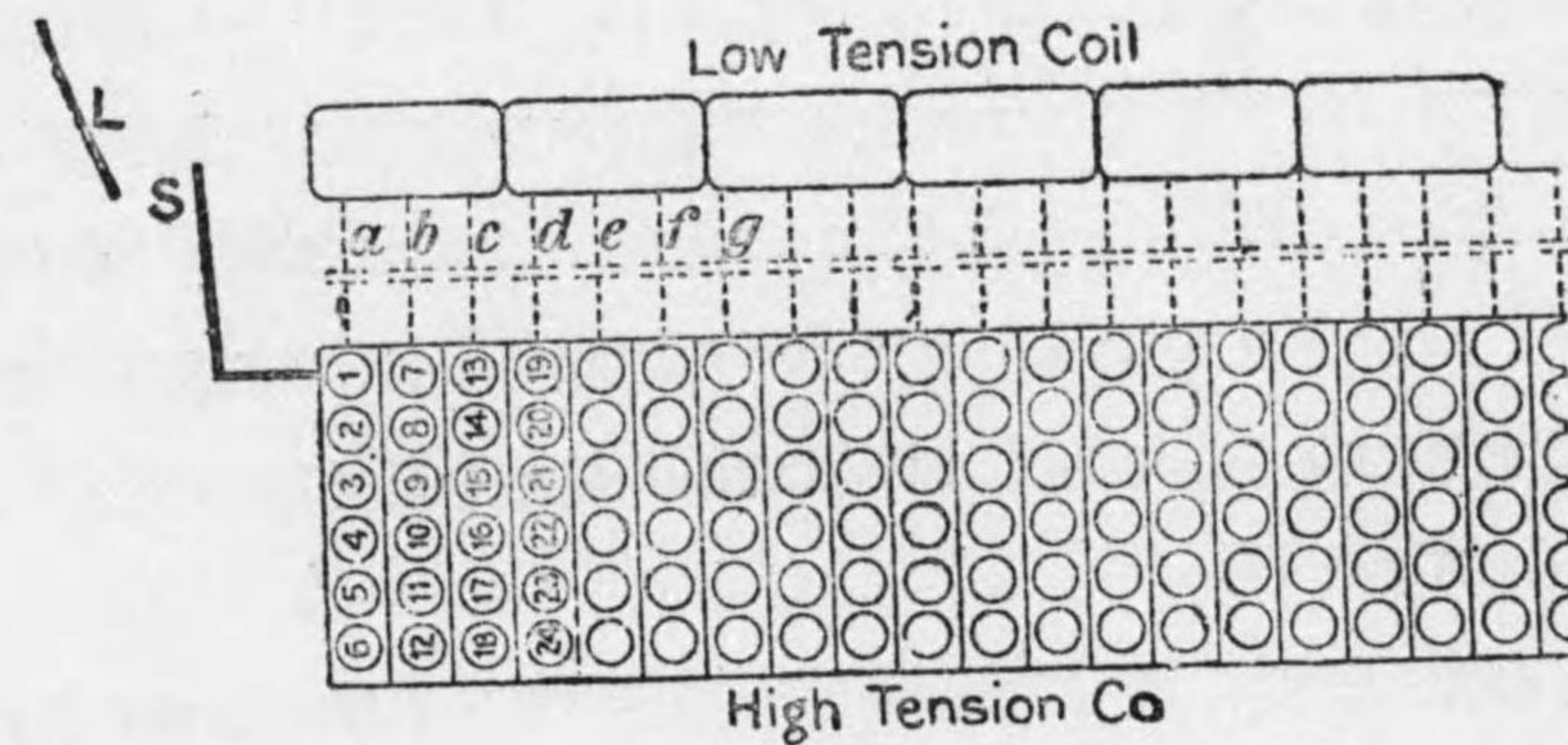
之れは恐らく甚だ頻繁に起る事で、尤も害をなすのは高周波の電壓である。Steinmetz 氏は (“Trans” A.I.E.E. Vol. XX X, 1911 p. 1853) 高壓回線に於ける高周波は大洋に常に波が絶えない様につきでもある現象だと云つて居る。然し之等の高周波の振動は概はあまり高い電壓でなく間隙避雷器の間隙を

超えて放電を起す様なものは少い。其の危険は機械捲線の初め(又は終り)の部分の電壓を高め遂に此の部分の絶縁を破り短絡を起す點にあり。

P.H. Thomas 氏は (“Trans” A.I.E.E. Vol. XIX, 1902 p. 189) 此の作用に關し次の如き明瞭なる圖解を發表して居る。

第三百七十六圖は變壓器捲線の一部を示すもので、多數の小圓は導線の切口を示し、其の内の數字は電流が捲線を通る順序を示す。而して高壓捲線は低壓捲線及び鐵心に近く並んで組立

第三百七十六圖



變壓器を線路に接続した時其の end turn に生ずる非常電壓

てられて居るから之等の間に静電氣容量を存しコンデンサーを形成して居る。圖に於て a b c d.....は此のコンデンサーを示す。

扱 Sなる開閉器を閉ぢて線路に變壓器を接続すれば初めのDなる線は線路と等しい電壓と考へられるが他の回線は其の瞬間

に直ちに之れと等しい電圧にはならない、之れが爲めには先づ a, b, c, \dots 等のコンデンサーを充電する電流が流れなければならぬ。此の電流は捲線の inductance を通らねばならぬから甚だ短少な時間ではあるがやはり相當な時間の経過がある可き筈である。従て此の短少な時間の間一時線路の全電圧は二三の入口の捲線に掛つて来る。捲線を線路に結ぶ時開閉器の各極が同時に閉ぢられずば悪い結果を起す。先づ第一の極が閉ぢ、次いで第二の極が閉られる時には己に第一の極で結ばれた捲線が一様に線路の全電圧を受けてしまつたとすれば一方から他に急激な移動が起る。然し一般に普通の開閉器を閉づる場合には此現象はあまり激しいものは起らない。高周波だとか急な波首を有する travelling wave などの場合には非常に危険な事が起る。之等の場合には end turn の絶縁に及ばず stress が頗る大で、高周波や travelling wave の電圧は間隙避雷器の間隙を放電する程高くなくとも end turn の絶縁を破るには充分の大きさがある。

高周波の振動により induction を有する捲線の end turn の層間に如何に大なる stress が起るかは簡単な計算で説明する事が出来る。今 0.03 ミリヘンリーの inductance を有する塞流線輪を假定す。此の塞流線輪は鐵心を有せず回数は 33 回で直径は 6 吋なりとす。

此の塞流線輪の両端に於ける inductive drop は 50~50 amp の電流が通つた場合には

$$2\pi \times 50 \times \frac{0.03}{10^3} \times 50 = 0.47 \text{ ヴォルト}$$

となる。

然し若し周波数を毎秒 2,000,000 サイクルとすれば inductive drop は 19000 ヴォルトとなる可し。

此の計算は單に假想的のものではない事は Faccioli 氏の實驗 ("Trans" A.I.E.E. Vol. XXX, 1911 p. 1840) によりて證明されて居る。

Faccioli 氏は普通の開閉によりて斯様な塞流線輪に瞬時 14 吋の spark gap を飛ばすに充分な電圧を起し得る事を發見せり、此の電圧は即ち 20,000 ヴォルトになる。Steinmetz 氏が Faccioli 氏の論文を討論した時斯様な回線には 20 乃至 2,000,000 サイクルの高周波の振動がある事を述べて居る。

電壓昇騰に對する電氣機械の感度

Felix Finckh 氏は ("E.T.Z." 1913 Vol. XXXIV, p. 1450 参照) 近年電壓昇騰に基因する break down だと見做されて居るものゝ内可なり多くの場合は實は他の原因によりて起つたものであるが、而も近頃の機械は昔の機械に比較して電壓昇騰に對する感度が大きく、電壓昇騰による break down も勿論増加して居ると云つて居る。今茲で述べて居る電壓昇騰なるものは主として捲線の層間に存在して居るもの、特に其の終始兩端に近き部分の層間にあるものを意味して居る。Machine の電壓昇騰に對する感度は回線間の (即ち金屬と金屬との) 間隙及び規定電圧に於て相隣れる回線間に生ずる電圧によりて定まる。若し此の線間の距離が近ければ比較的低い電圧でも線間に放電を起し短絡するに至るべし。一回線に對する誘發電圧がスパー

クを生じ短絡を起すだけの力がなければ何等の害も生じないが放電をなすに十分な大きさに達すれば遂に捲線を焼損させる。近頃の machine は漸次外形が小さくなる様に設計されるから線間距離も近くなるわけで、特別な用意をしなければ其の感度が高くなり Finckh 氏の云つた様に近頃は眞の電圧昇騰による故障が比較的多くなつて來た。此の危険な電圧昇騰は大概是捲線のターミナル近くで起るものであるからターミナル近くのコイルに特に多くの絶縁をなし感度を減するの工夫をなす事が多い。要するに先づ或る故障が電圧昇騰によりて起りたるものなるか否かを定むるには充分の考慮を費しよく其の場合の周囲の状況を調査するを要す。又 machine の電圧昇騰に対する感度は前述の方法によりてよく調査し置く必要がある。若し発電機、變壓器等の捲線があまり感度が高ければ茲にどんな種類の保安装置を附しても安全を期し難い。

普通發生する電圧昇騰は概ね捲線のターミナルに近き一局部に起るもので斯かる電圧は回線の使用電圧に比較してあまり大なるものではないにしても捲線の一回毎の電圧に比較すれば甚だ大なる値となる。即ち放電間隙の如きは殆んど効力がなく何か他の保安法を施さねばならない。

猶斯かる捲線の一局部に起る電圧昇騰はターミナルに近き部分のみではなく時としては自己誘導又は相互誘導の變化ある捲線の一局部にも發生するものである。

回線の外部に發生せる原因による電圧昇騰

本章にて述ぶる現象は電氣學上最も研究のとゞかぬ不確實な事がらで、大氣の電氣的變化に基きて發生するものであるから架空送電線に接續された機械器具中にのみ發生する。此の種々の現象を大別すれば下の如し。

電 擊

直接電擊：——直接電擊は其の強さが非常に變化し、最も激しいのになると現在の保安裝置では何等の役をなさず線路や碍子を破壊する。然しかゝる激烈なる電擊の起る事は極めて稀である。其の作用は極めて局部的のものなる爲めたとへ線路の一部に激しい電擊が起つても發電所に据付けてある機械にまで障害を及ぼす様には展開しないで終熄する。あまり激しくない電擊は續々發生するが之等は現在の保安裝置で充分防ぐ事が出来る。送電線路の上に電柱へ接地線を附する事は大いに保安の目的を達する事が出来る。猶激しい電擊を防ぐには直列抵抗を有せざる角型避雷器の接地線にフューズ線を入れたものがよい。

直接電擊は A.B. 二種に分ける事が出来る。A の方は或る一つの雲が earth に對して漸次 charge を増し遂に其の電圧が earth に對して放電する様に高まつた場合に起り、B の方は之れより一層危険なもので、主として二つの雲の間に起つた放電より生ずるものである。二つの雲の間に放電が起れば更に之等の雲によりて charge されて居た他の雲が相手を失ふ事になるから此の高電圧の charge は接地線がよく設計されて居るにかゝらず其の側の煉瓦の煙突を破壊する程甚だ急速激烈に earth に向つて放電する。此の放電は樹木や人間などが居る處

るを真直に進む事もあり、或は平な處ろを避けて石や砂地の坑底に落ちる事もあり、或は眞の直線的進路を取らず寫眞でも證明さるゝが雨滴から雨滴に移つて進み電氣は最も抵抗少なき路を通ると云ふ原理には合しない様に思はるゝ事もある。

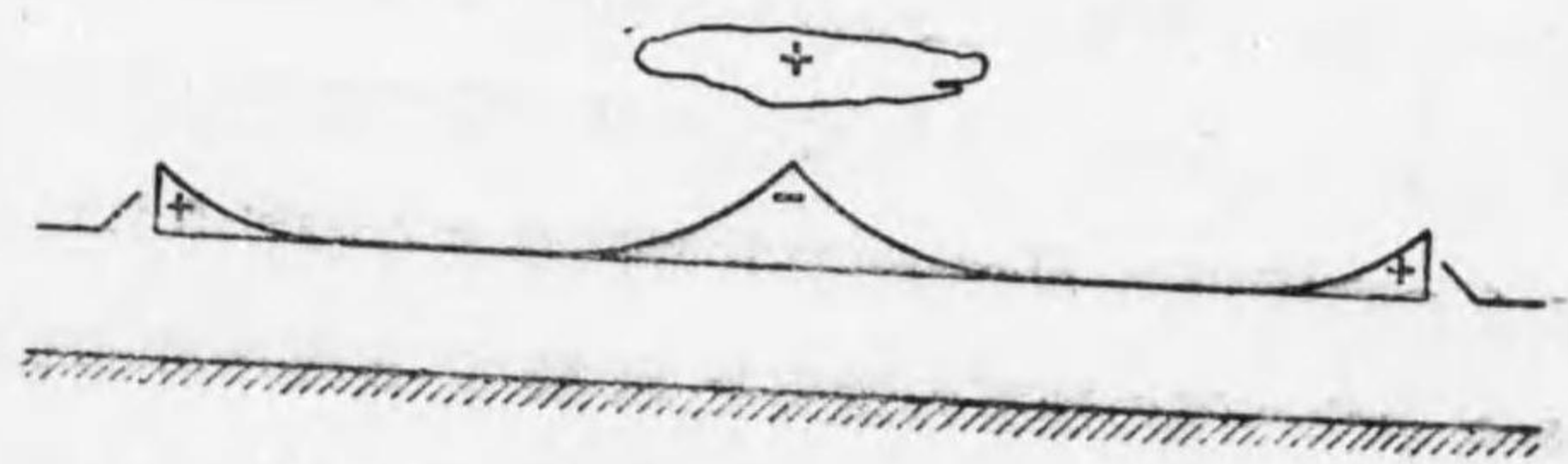
又絶縁された金屬體が earth に通ずる路を有せぬにもかゝわらず最も抵抗の少なき通路を通らずに此の絶縁金屬體を撃つ事もある。此の B 種の激しい電撃に對しては現今何等効力ある避雷裝置が案出されて居らぬ。

A 種の電撃は概ね前に刷子狀放電が行はれ大いに其の作用が緩和される、而して遂に放電が起つても其の個所は前に刷子狀放電のあつた處ろであらふ。

B 種の電撃は波頭の甚だ急峻な travelling wave と類似して居る。要するに直接電撃は極く微弱なものに對するものゝ外現在では有効な保安裝置がないのである。

電撃によつて誘導された充放電：—電撃の現象は多量の電氣の存在若しくは運動に基因するものであるから其の近傍にあるすべての金屬導體は皆靜電氣的或は電磁的誘導作用を受く可きである。

第三百七十七圖



雲によりて送電線に誘導された充電

此の導體が送電線の如く earth に對して絶縁されて居る場合には第二次の電撃が起り、之れは直接電撃に比して屢々起るもので或る程度までは現在の保安裝置で防ぐ事が出来る。

靜電氣的誘導によるもの：—送電線の近くに充電された雲が來れば之に近き送電線の一部に反對の charge が誘導され雲と同種の charge は線路の左右に遠く押し退けられる。線路の兩端が絶縁されて居れば**第三百七十七圖**に示すが如く茲に集合される。

(Capart の “Protection des Reseaux et Installations contre les Surtension” page 13 参照) 此の場合雲が放電すれば線路は充電されたまゝ残され此の充電は左右兩方向に travelling wave の形で進行する(次ぎの travelling wave の項参照)

電磁的誘導によるもの：—放電々流が 10,000 アンペア位になると (Steinmetz 氏の “Theory and Calculation of Transient Electric Phenomena and Oscillations” 1908 参照) 附近の線路に電流を誘導し、之等は毎秒 1,000,000 サイクル位の周波數を有する事あり少からず障害を起すものである。

周波の甚だ多い放電の外或は極く低周波の放電を起す事もあり又非周期的の即ち方向の反轉せざる放電をも起す事がある。

斯かる放電は次ぎ次ぎと激しく連続して線路内に起り其の波頭は頗る急峻となるから電氣機械の捲線に入り込めば其の絶縁を破壊するは易々たる事である。此の放電の狀況は恰も水の充滿せる甚だ高所にある水槽の底を急に取り去り下方の水槽に水を落下せしめたるが如きものである。此の比喩は極めて不完全

ではあるが此の場合に如何に電氣的混亂を生ず可きかの感念を與ふる事は出来やう。

靜電氣的充電

架空送電線又は之に接続された機械器具類は或る状態の本にては大なる靜電氣的充電を受ける事がある。

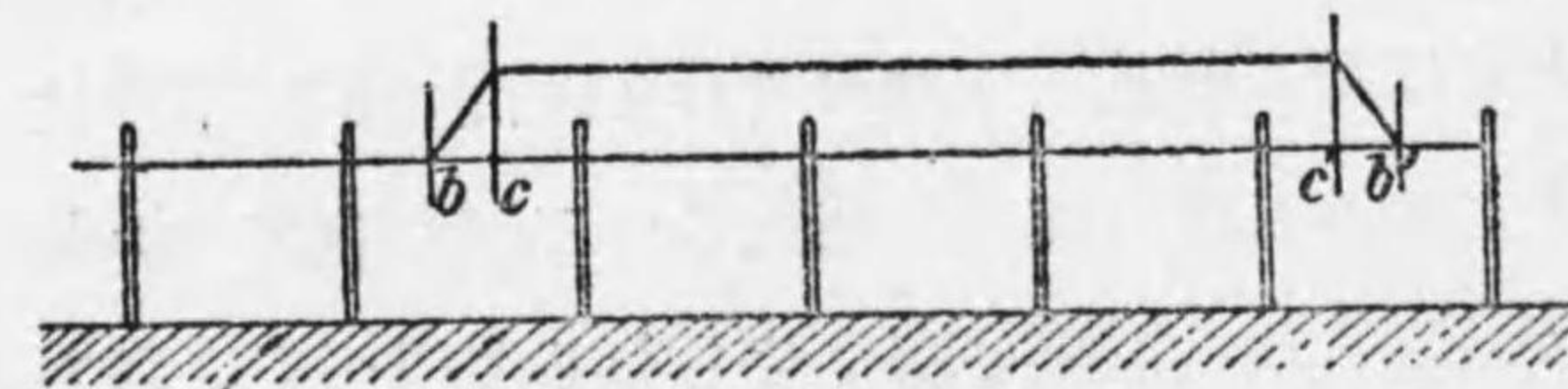
此の種の充電を形成する電氣は運動をなさず靜止して居り、ウキムシャーストの感應發電機に接続せる導體に生ずるものと同様である。斯く充電される原因は種々ある。例へば雲、塵埃又は乾燥せる雪などが吹き付かる時は線路は次第に充電される又高低の異りたる各地方を送電線路が横ぎる時、山や谷は大氣の電氣的状態が異なるものであるから之を通過し接続する絶縁された線路には一地方に此の相違を平均せむとする charge が起る可し。原因の何たるを問はず此の充電が益々重加さるれば遂にスパークを起し絶縁を破る。之を防ぐには charge が發生すると同時に早く之を取り去るがよい、即ち earth に對して漏洩せしむる方法を講ず可し。送電系統に於て中性點が接地されて居れば此の充電を earth に導く事が出来るが、接地されて居ない場合の安全装置としては大なる自己誘導又は無誘導抵抗を通じて線路を接地するにあり。何れも平常電流の漏洩は極く僅少に保つ事を得べく而も充電は有効に除去される。

急峻なる波頭の Travelling wave

架空送電線が充電された雲により靜電氣的誘導又は其の他の方法によりて充電され、此の電氣が放電の結果急に放釋されたとすれば電氣は travelling wave の形を取つて線路に沿ふて急

激に移動す可し。此の波の電壓はあまり高いものではなく又振動性のものでなくとも其の波頭の急峻なる爲め機械の捲線に衝突した場合には其の絶縁を破り短絡を起さす。

第三百七十八圖



架空送電線路に於ける travelling wave

波頭の急峻なるは線路の b 點に於ける travelling wave による電壓が零で之に極めて接近した距離にある c 點の電壓は最大の値となるを意味し、電氣波は c より b の方向に進行するから bc の距離の近きは b 點の電壓の變化が激しく急に最大の値になり恰も高周波の交番電壓を b 點に加へた様になる。第三百七十八圖は之を示すもので、圖は電柱上の架空送電線路及び其の上に b より b' の間に横はれる travelling wave を示す勿論波は左右兩方向に擴進し之れにつれて電壓も漸次低下する若し bc の距離がわかれば其の周波數を計算する事が出来る。

P.H. Thomas 氏は ("Trans" A.I.E.E. 1908 Vol. XXVII, p. 771) 此の距離は lightning によるものは凡そ 1000 呎なるを發見せり。

今説明の爲め此の數を用ふれば最高の點が c から b に移る時間は $\frac{1000}{186,000 \times 5280}$ 秒即ち $\frac{1}{982000}$ 秒なり。若し之を交番電壓とし一周期の初めの $\frac{1}{4}$ の間に此の最高電壓に達したものと

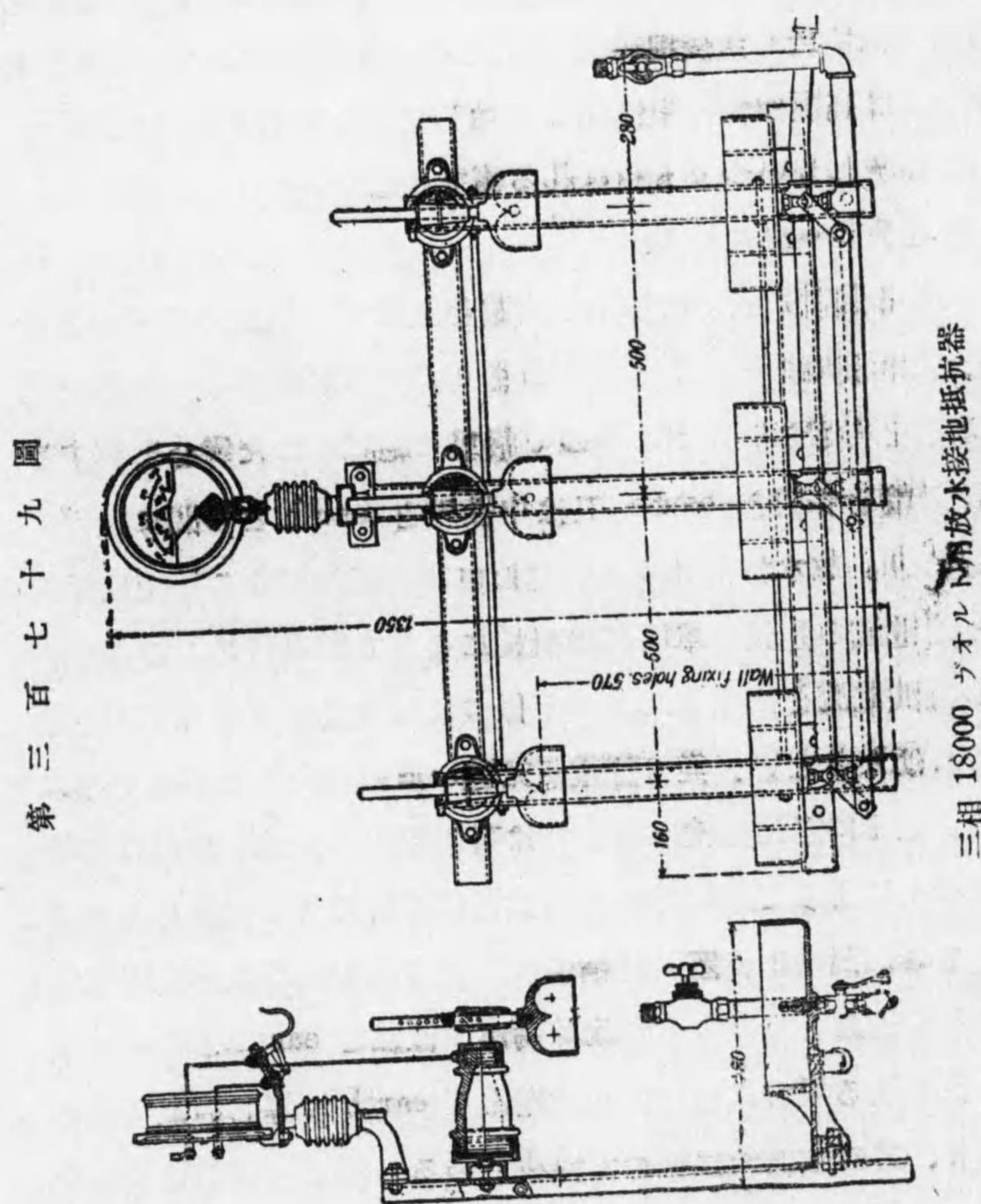
すれば 245,500 サイクル毎秒の周波數に相當する。此の最高電壓を 20,000 と假定すれば、R.P. Jackson 氏は (“Trans” A.I. E.E. 1906 Vol. XXV, p. 891) 此の波によりて流るゝ電流は凡そ 50 アンペアなるを示せり。此の電流が本章の初めに述べた様な 0.03 ミリヘンリーの inductance を有する塞流線輪を通過せりとせば此の線輪の兩端に於ける瞬間の電壓下降は 2,300 ヴォルトとなる。即ち變壓器捲線の一二回の有する inductance は一時かゝる大なる電壓を塞止せしむるを得べく、即ちターミナルに近き部分の絶縁は破壊され易いのである。勿論此の計算は交番電壓と見做してのもので實際には交流でないから正しいものではないが、然し同じく travelling wave であつても急峻な波頭を有するものは如何に其の線路に接続されて居る機械捲線の絶縁に重要な作用を有すかの判断を與ふるに足る可し。

放水接地抵抗

前項にでも述べた通り架空送電線に静電氣により危険な charge が生ずるのを防ぐには、各導線から charge を earth に逃す漏洩路を作る事が必要である。

水力發電所等の如く水の供給が充分である場所に於ては放水接地抵抗によりて此の目的を達する事が出来る。第三百七十九圖は三相 18,000 ヴォルト用のものである。即ち接地された放水口より水を射出せしめ之を線路に直接に接続されて居る椀状の金屬體に吹き當てたもので、各相共射出する水量を一定ならしむる爲め調整用コックを備へ、猶地方の状況に應じ水量を變じ得る様になつて居る。何れか一相には之れと直列に電流計を

接続し平常必然的に漏洩する電流を測定した方がよい。電流計の眞下にあるフックは (第三百七十九圖) 電流計の短絡装置を動すに用ふるもので、平常電流計は短絡されて居り漏洩電流を測定する必要の起つた時之を線路に結ぶ様になつて居る。適切



圖九十七百三第

三相 18000 ヴォルト用放水接地抵抗器

なる漏洩電流の量は先づ 10000 ヴォルト回線に於ては凡そ 0.4 アンペアで即ち平常は常に 6920ワットの電力損失があるわけである此の場合の各相と earth との間の抵抗は 14450 オームとなる。然しかゝる高抵抗を結んで置いたのでは急激に発生した多量の静電気充電を早く除去する事が出来ない。依て大なる電力の回線に於ては接地抵抗より塞流線輪の方がよい。勿論最上の方法は高圧回線の中性点を接地して置くにあり。而も此の方法は必ずしもいつでも行はれる事ではない。

接地チョークコイル。

大なる送電系統では静電気充電を放散する装置が必要であるが、放水接地抵抗による時はあまり抵抗が多過ぎ早く放散せしむる事を得ざる缺點があるので嚴重に絶縁された鐵心を有する塞流線輪を各線と earth, 又は中性点と earth との間に接続する事あり。放水抵抗又は其の他の無誘導抵抗による接地は平常有効な電流の漏洩は單に其の抵抗によりて制限されるのみで、此の漏洩電流を出来るだけ少く保つには低抵抗は成る可く大としなければならない。従て静電気充電の放散に障害を與ふる事になる。然るに塞流線輪にありては有効電流の漏洩は線輪の inductance によりて制限され其の抵抗は設計によりて極めて小さくする事が出来る。塞流線輪中の損失は其の鐵損失と勵磁電流により銅損失とである。塞流線輪が中性点と earth との間に接続されて居る場合には中性点は殆んど earth に等しい電圧にあるから、其の鐵損失は極めて僅少である。然し一線が接地した場合には相間電圧の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ の電圧を受けるから此の電圧にも耐

える様にして置かねばならぬ。

各線と earth の間に接続された場合には線輪は相間電圧の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ の電圧を受けるが、一線が接地した時には相間の全電圧を受ける様になるから此の電圧にも耐ふる様設計するを要す。此の用途に對する線輪の能率は捲線の抵抗に逆比例し、此の點は購入の際特に決定するを要す。猶相間電圧の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ の電圧を其のターミナルに加へた時の全損失を明記するを要す。此の捲線の細部の設計は此の電圧に等しい變壓器の設計と同様でターミナルに近き部分は特に嚴重な絶縁を施すを要す。

保安用としてコンデンサーの使用

静電気コンデンサーは高周波の電流に對しては容易に通過せしめ、低周波の普通の電流に對しては大なる抵抗を與ふるから電撃其の他の電圧の非常昇騰に對する保安用として使用せらるる事多し。

Percy H. Thomas 氏 ("Trans" Am. I.E.E. Vol. XIX, 1902 p. 213-264 参照) は Static interrupter なる各稱を附してコンデンサーとチョークコイルとを組み合わせたものを作つた。即ち無鐵心のチョークコイルを線路に series に接続し、チョークコイルと保護すべき器機間の接目と earth との間にコンデンサーを入れたもので、チョークコイルもコンデンサーも油入のタンク内に藏めらる。而して現今一般に行はるる方法と異りコンデンサーはチョークコイルの線路側でなく器械に接続されて居る。コンデンサーの容量は百分の二三マイクロファラ

ッドを超ゆる事は稀なり。此の static interrupter は多分コンデンサーを作る事が困難であつた爲めかあまり實用に供せらるるに至らずして電液式の避雷器の時代になつた。

高周波放電のコンデンサーを通過する電流

容量の C マイクロファラッドなるコンデンサーに周波数 f サイクル毎秒の交番電圧 E ヴォルトが加へられた場合には

$$I = \frac{2\pi f CE}{10^6} \text{ アンペア}$$

の電流が流れる。

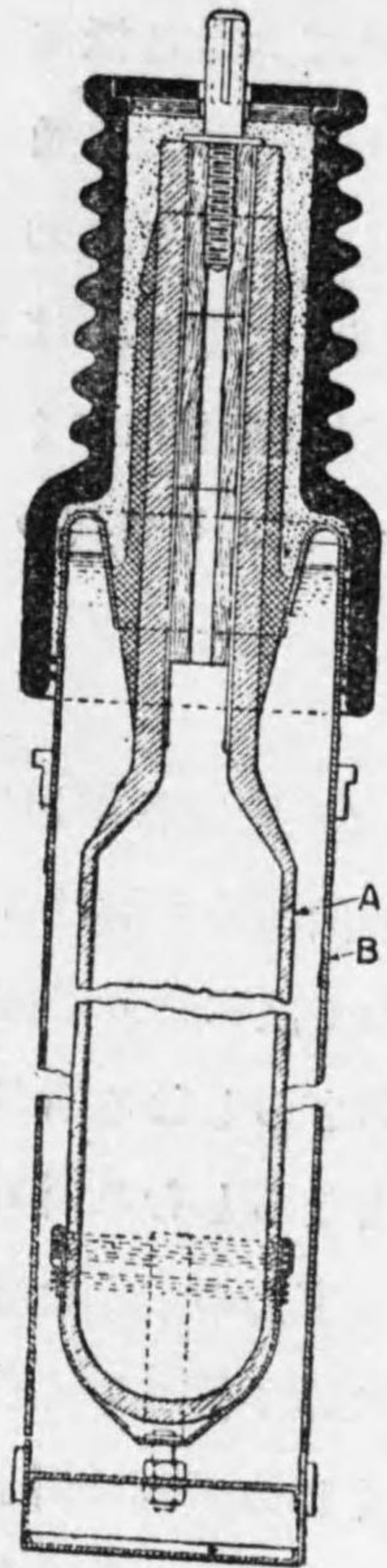
今二萬ヴォルト 50 サイクルの三相回線に於て各相と earth との間に 0.05 マイクロファラッドの保安用コンデンサーを接続したとすれば、接地線のイムピーダンスを省略せばコンデンサーに 0.18 アンペアの電流が流れる。即ち各コンデンサーは 50 サイクルの交流に對して見懸上 63,500 オームの抵抗を與ふる然るに今放電の周波数を 3000 サイクルとすれば（例へば送電線路に何か固障が起つた爲めに）之に對するコンデンサーの抵抗は 1058 オームで、大なるエネルギーが急速に earth に流れるには猶可なりな抵抗を與へる。然し放電の周波数が 100,000 サイクル位になると（大氣現象による放電の最少數）コンデンサーの抵抗は僅かに 32 オームとなり比較的低い電壓でも大なる電流がアースする。即ちコンデンサーを線路に結んだ點は高周波の電流に對しては殆んど零電位となり線路は此の點に於て直接に earth に結ばれたと同様の状態にある。コンデンサーの此の性質が大氣現象による放電に對する保安装置として最も

價值ある點で高周波の放電に對しては殆んど抵抗なく自由に之を earth に導くが日常の低周波に對しては極めて大なる抵抗を與へ殆んど電流の漏洩を許さない。然し line に起つた普通の surge の如く 3000 サイクル位のものに對してはあまり効力がなく之等に對しては或種の放電間隙の様なもの防がねばならぬ。前述の travelling wave 其の他多くの電氣衝動は多くは高周波の性質を帯びて居り之等はコンデンサーによりて其の害を防ぐ事が出来る。

Moscicki のコンデンサー

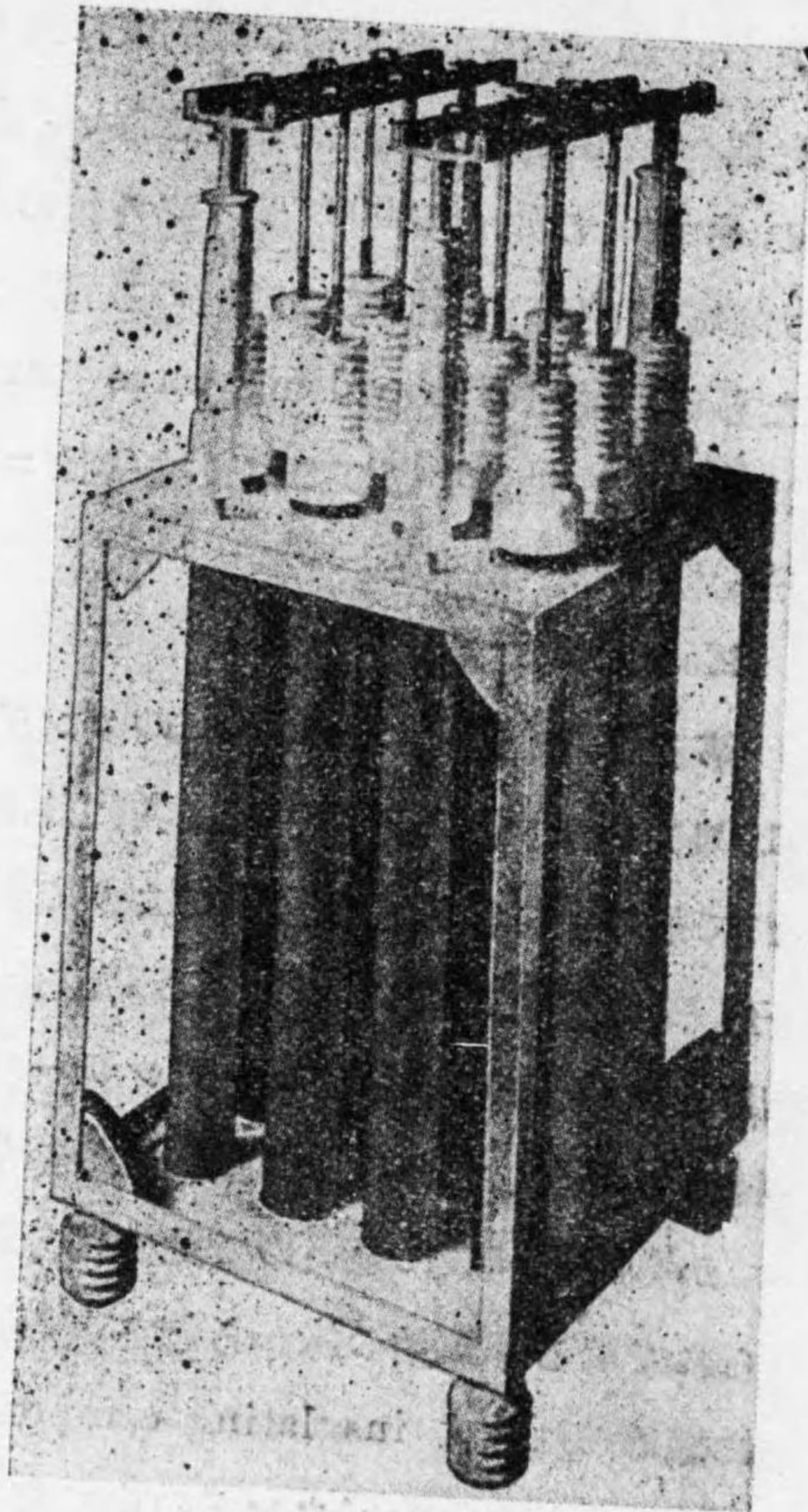
第三百八十圖は Moscicki のコンデンサー（英國特許1808/1904）を示す。A は硝子管で其内外兩面には銀鉑が貼り附けられて居る。之は電氣鍍金法によりて附けたもので之によりて硝子壁と銀鉑との間に固障の原因たる空氣を止めざらしむる事が出来る。硝子の厚さはコンデンサーの容量を大ならしむる爲め極めて薄くしてある。銀鉑の縁の部分には電氣應力の集中を來すから絶縁が破れ易いので此の部分から上部の硝子壁は厚く作られて居る。銀鉑の縁から起る表面漏洩を防ぐ爲め頸部は硝子に嵌められ之に insulating compound をつめて置く、即ち銀鉑の縁は此のコンパウンドの中に埋められる。B は外部の金屬筒で A と B との間には水及びグリセリンの氷點の低い混合液が満されて局部的加熱を防ぐ。Moscicki のコンデンサーは 60 000 ヴォルトの電壓に耐ふる様作る事を得べく一本のコンデンサー筒は外徑 3 吋全長 4 呎 9 吋で 0.005 マイクロファラッドの容量を有す。

第三百八十圖



Moscicki コンデンサ-の断面

第三百八十一圖



Moscicki コンデンサ-槽

Moscicki コンデンサ-は絶縁物に硝子を使用して居るが頗る丈夫である。

電氣的見地より高壓のコンデンサ-を作るには硝子よりよいものはない。硝子管はゴムで外部の金属管に柔かに支持されて

居り外部の銀鉑は丁度此のゴムの處ろで終つて居るがゴムの表面にグラハイトを塗り外部の金属管と電氣的に接続されて居る。内部の銀鉑は眞直に引き出されて居る。多くの静電氣容量を要する場合には第三百八十一圖に示す如く多くのコンデンサ-を組み合せ並列に接続す。

Meirowsky コンデンサ-

第三百八十二圖は保安用に作られた Meirowsky のコンデンサ-で外觀は稍や Moscicki のコンデンサ-に類似して居る。

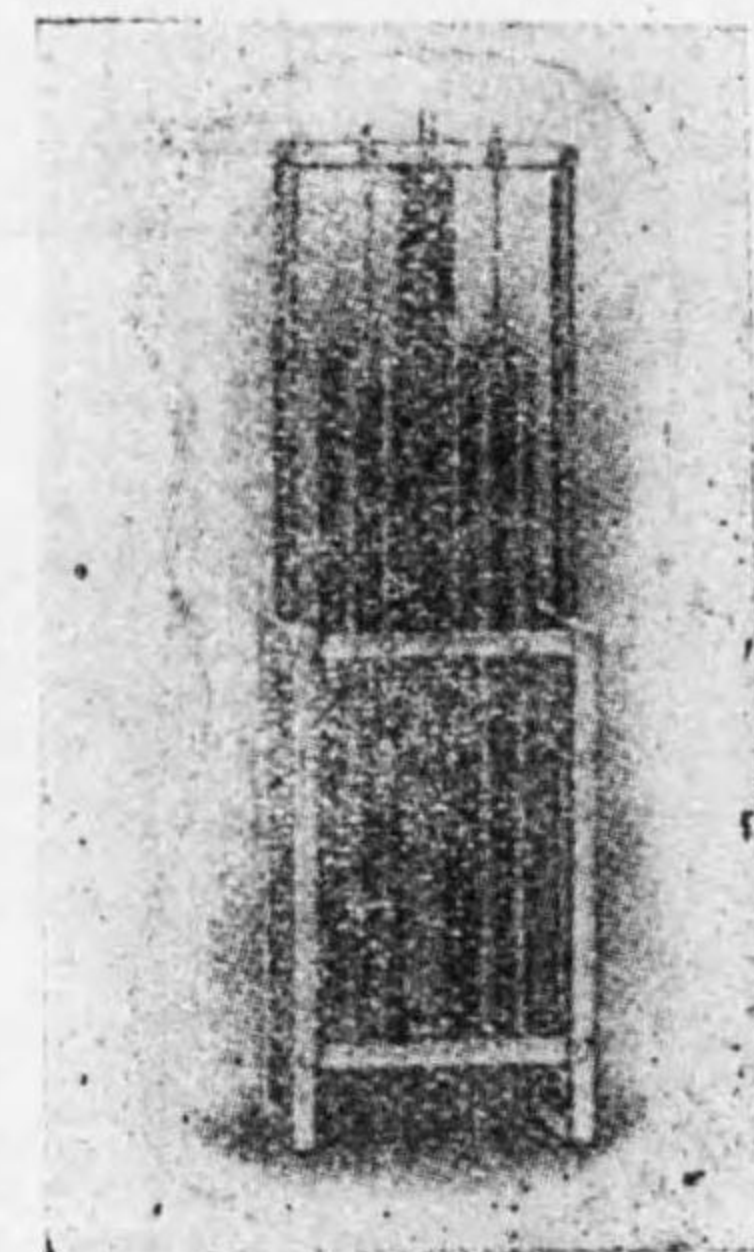
此のコンデンサ-は pertinax と稱する纖維質の絶縁物に錫鉑を壓著したもので、此の種のコンデンサ-の特長とする處ろは硝子を用いたものよりも dielectric loss が少く且つ破壊し難い點にある。

勿論 Moscicki 式のものでは硝子を上部に於て厚くして丈夫にしてある。Pertinax は紙をパークライト液で處理したものである。

コンデンサ-用開閉器

コンデンサ-の開閉をなすに普通の air break 式の開閉器を使用すれば大なる静電氣容量と series に空中に於てアークを發生するから危険なる電壓昇騰を來す憂がある。油入開閉器を用ふれば安全であるが之れは高價になる。簡単な低廉な方法はコンデンサ-に大なる抵抗を結び、閉づる時には漸次之を短絡

第三百八十二圖

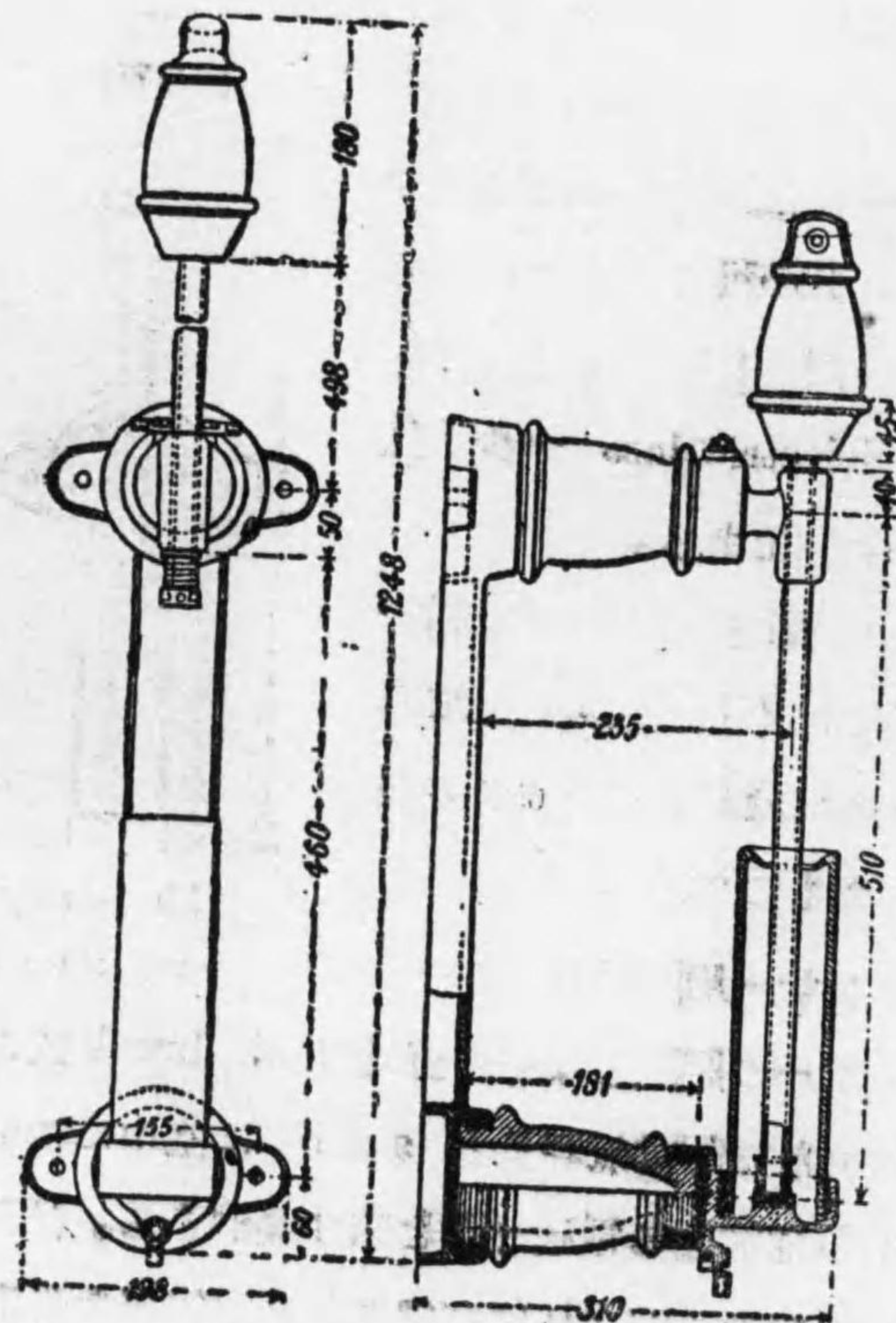


Meirowsky のコンデンサ-槽

し開放する時は漸次之を電路に入れる様にする。此の抵抗は化學的に紙碎なグラハイト 80% に水 20% を混じたるものがよい。之を硝子管に入れて使用する。

第三百八十三圖、第三百八十四圖は Moscicki のコンデンサーに使用する高抵抗を有する開閉器で、かかる開閉器は 8000 ヴォルト以上にのみ必要なり。

第三百八十三圖



Moscicki condenser を漸次に charge する開閉器屋内型

即ち上下二個の碍子があり下部の碍子はグラハイト液の入れてある硝子管を支持しターミナルを有す。上部の碍子は電極を支持し此の電極は糸か何かで上下に動かす事が出来る。

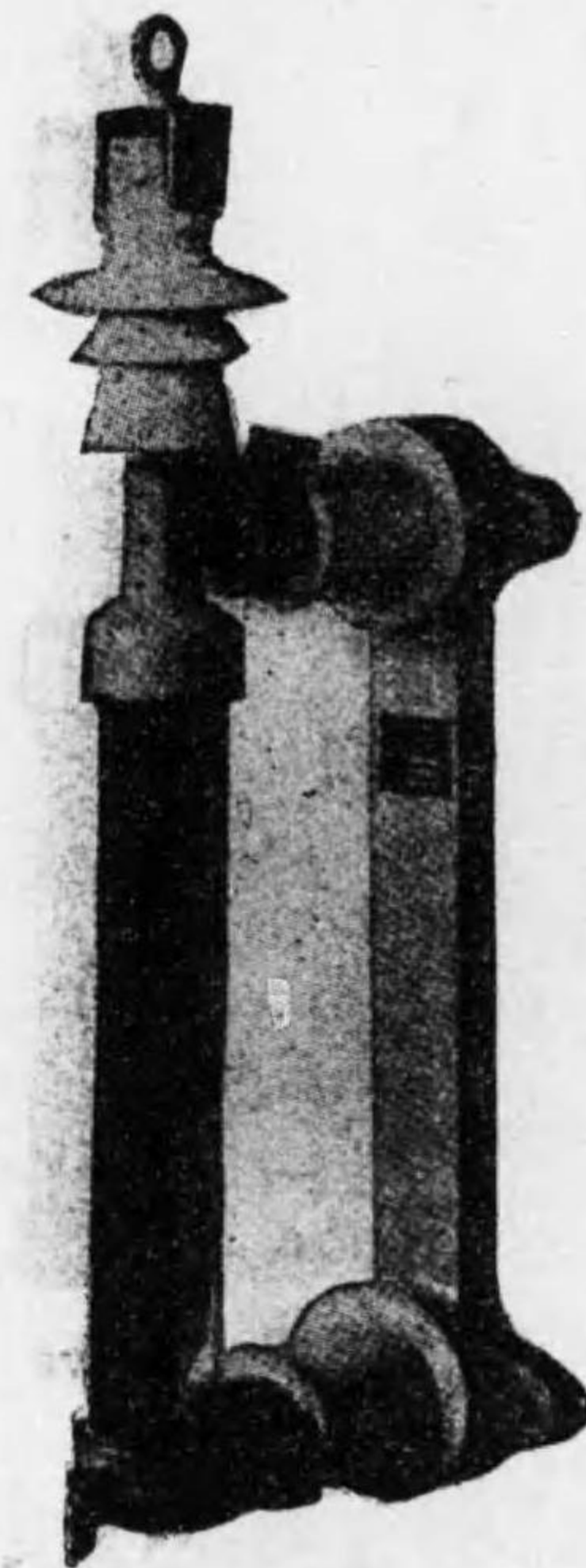
Giles valve.

後に角型避雷器の項で述ぶるが line に起つた surge に対して充分な防護をなすには直列抵抗は 50 オーム位にしなければならぬ。然るにかゝる抵抗を通じて角型避雷器によりて放電をすれば電流は其の最少値は又は其の附近の値に於て斷絶せず最大値又は其の附近の大なる値の處ろで斷絶する恐れがある。此の場合には之れによりて大なる電壓を起すべし、之れ角型避雷器の大なる缺點とする處ろなり。

之れ角型避雷器が相當の防護作用はなすが完全な避雷器と云ひ難いわけで、唯費用の問題が主要なる場合にのみ使用せらる可きものである。

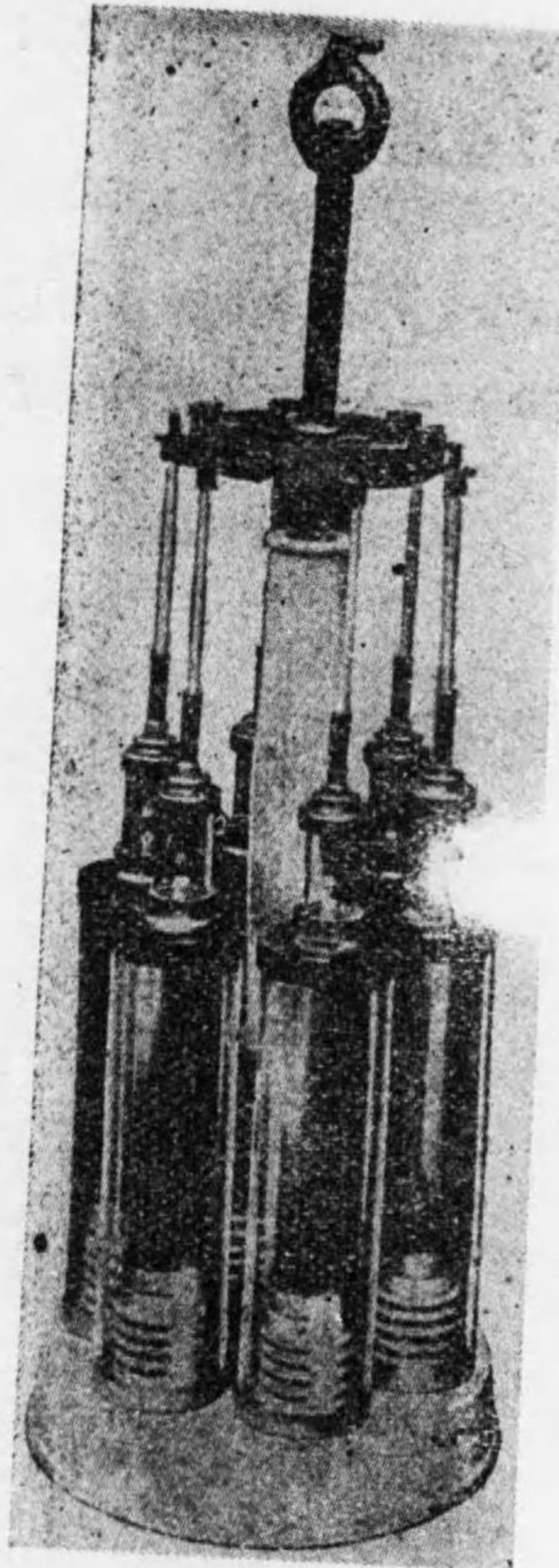
第三百八十五圖に示した Georges giles の發明せる giles valve (英國特許 No. 4997 號 1909) は此の缺點を除きたる放電間隙避電

第三百八十四圖



Moscicki condenser を漸次に charge する開閉器屋外用

第三百八十五圖



Battery of gilles valve

器なり。

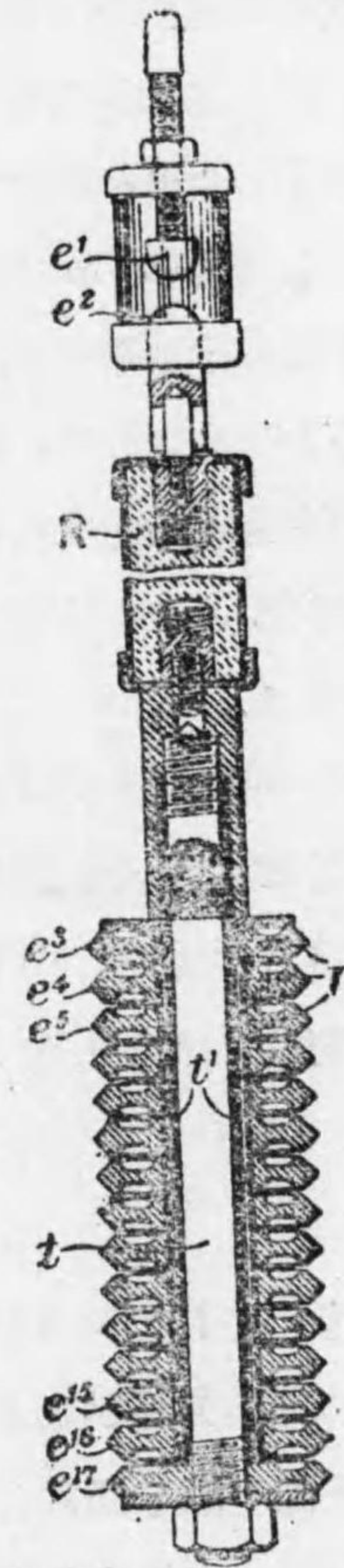
第三百八十六圖は其の断面を示す。

主要放電間隙 $e_1 e_2$ は電圧が或る値まで高まりたる時 (例へば使用電圧以上25%) 作用する様に調整され、之れに直列に普通凡そ1600 オーム位の R なる抵抗が接続されて居る。下部には $e_3, e_4, e_5 \dots$ 等の無電弧金屬體 (non arcing metal) より成る板が積み重ねられ中央の t なるボルト及び板各自の間には t_1, r なるマイカナイトの絶縁體が挿入されて居る。即ち $e_3, e_4, e_5 \dots$ 等は互に小なる放電間隙を形成し、且つ earth に対して小コンデンサーを形成して居る。最後の e_{17} なる板は直接に earth に結ばれて居る。

第三百八十七圖は電氣的接続を示す。

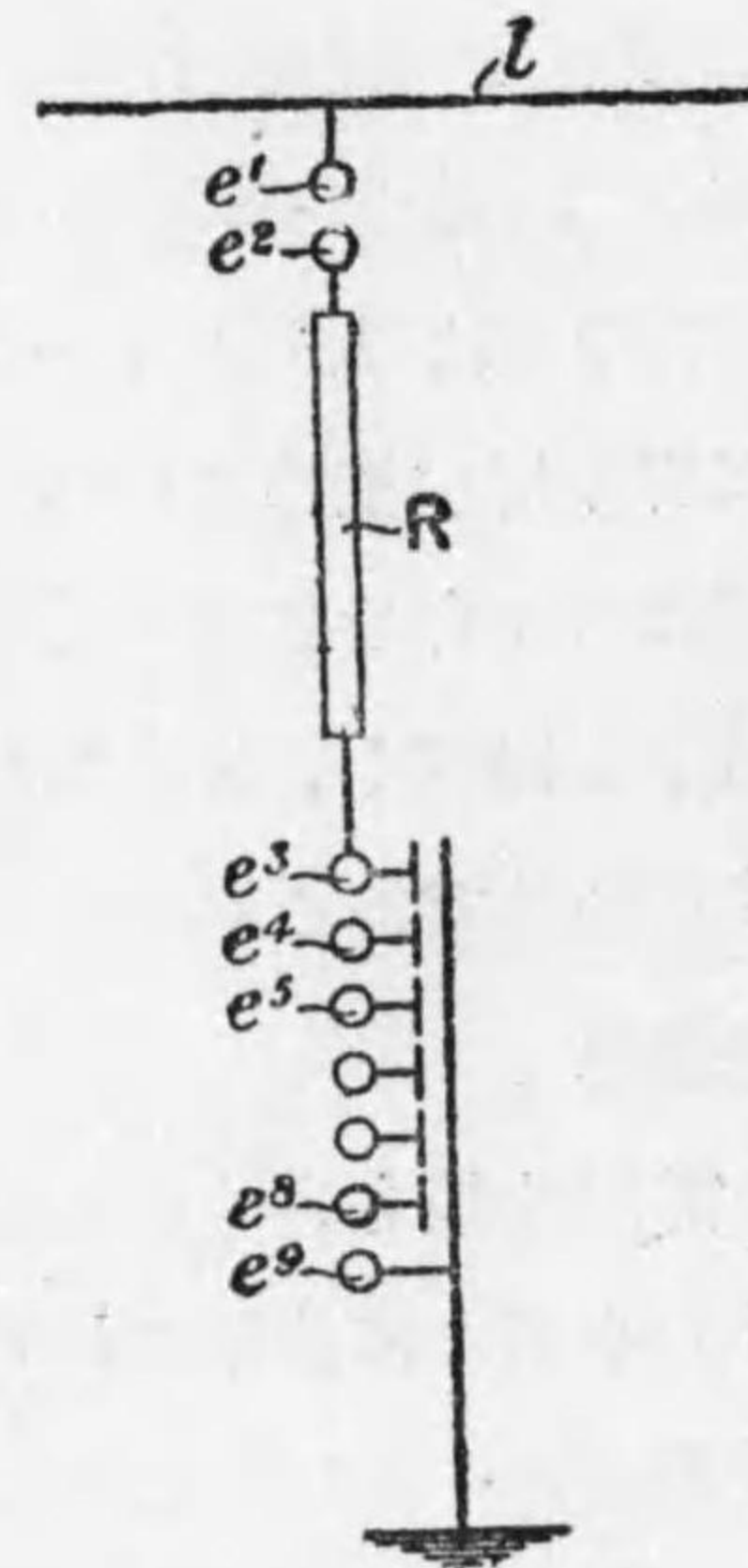
$e_1 e_2$ が 10,000 ヴォルトで放電する様調整されて居るとす電流は夫れから R, e_3 及び e_3 と earth との間的小コンデンサーを通じて流れる。電流が少ければ $e_1 e_2$ 及び R の drop も少いから e_3 は earth 以上凡そ 9500 ヴォルトの電圧に在ると假定

第三百八十六圖



Giles valve の断面圖

第三百八十七圖



Giles valve の作用の原理を示す

する事を得べし。而して此の時 e_4 は猶 earth と等しい電位に在るから $e_3 e_4$ 間に放電が起る。斯く漸次全體の disc 間に放電が起り遂に最後の disc に於て line は earth に結ばれ電流は

Rの抵抗によりて制限される。すべての放電間隙と抵抗が直列になるから line の電圧が $e_1 e_2$ 間にて放電の様調整された電圧以下に下れば直ちに電流の通過が止む。即ち多隙避雷器 (multigap arrester) と同様に自ら鎮滅す可き性質を持つて居る。唯 Giles valve は小コンデンサーを有し普通の multigap arrester に比し一層規定電圧に近き電圧で働かせる事が出来る放電電圧と鎮滅さるる電圧とは僅か 8% 位の差である。即ち gap が規定電圧以上 10% で放電の様調整されたとすれば電圧が規定以上 2% になつた時アークは消滅する。依て放電電圧は規定以上 25% に調整すれば充分安全である。

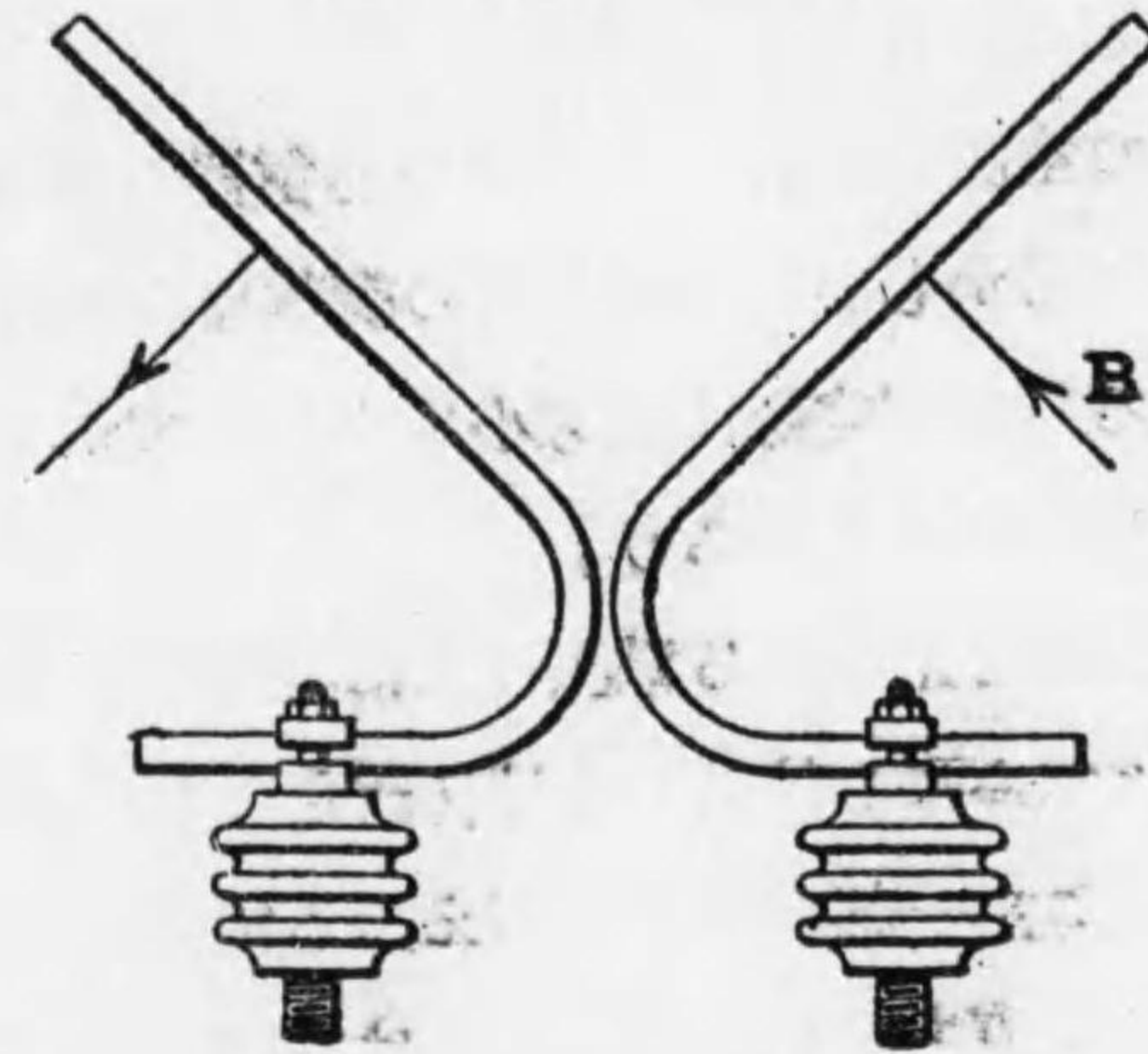
然し R の値は 1,600 オームに達するから一個だけ使用したのでは保安作用が極めて少い。依て之を多數**第三百八十五圖**に示した様に組み合せて並列に使用すれば製造者の説では70オーム位に低下し得べく、之れなれば surgeに對して大なる保安作用を呈するわけである。

角型避雷器

角型避雷器は最も古くから行はれて居るもので其の簡單なるが爲め今でも盛んに使用されて居る。電圧の非常昇騰が起りたる場合電流はアークの形をなして horn の下部空隙を通過して接地する。此の時アークによりて熱せられた熱い空気は上方に向ふ氣流を生じアークを漸次上方に空隙の大なる部分に押し上げ遂に之を消滅せしむる作用をなす。猶此の場合電磁力もアークを消滅せしむる力を添ふ。即ち horn を反對に轉倒して置けばアークは下の方に進むを見ても明かなり。之れ電路は出来る

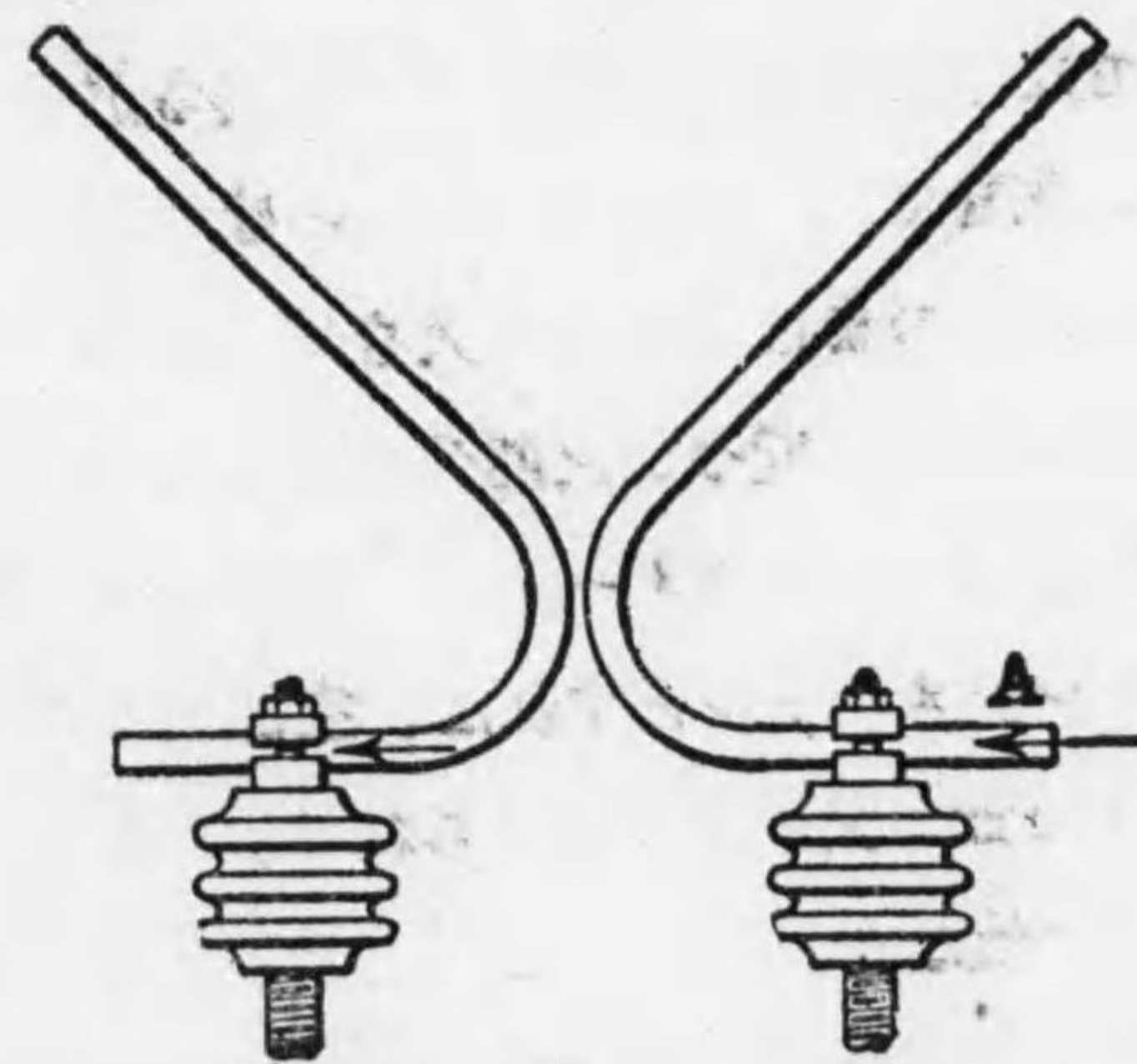
だけ其の包有する面積を増大せむとする作用によるものなり。

第三百八十八圖



Horn arrester の正しい方法

第三百八十九圖



電流を送る間違つた方法

即ち電流は第三百八十八圖に示した様に下部 A より送らねばならない。第三百八十九圖に示した様に B から電流を送り込んでは何にもならない。

角型避雷器の空隙の長さ：——角型避雷器の調整は条件が種々異なるから仲々難かしい。一般に其の調整は実験によるのが最もよく、出来るならば空隙は最も小さくした方がよい。次の規則によれば大體間違はなからう。

先づ第一に空隙を飛越える電圧は單に空隙の長さに比例するものではないと云ふ事を注意しなければならない。空隙内の空気は其の内のどこか一部が空気の耐え得る電圧より高い電氣的 stress を受ければ直ちに破れる。之れは空隙内の空気をイオン化する作用をなし其の耐電力を非常に低下するからアークは直ちに通過する。空隙の一部のみが破れる事がある理由は二つの電極間の electric stress の配布及び最大値は電極間の距離に關係するのみでなく又電極の形状によりて異なるが爲めで、一般に尖つた電極の先きでは electric stress は大きい即ち太い線のまはりより細い線のまはりの方が大きい stress がある。今角型避雷器の兩極が最も近づいた部分は互に並行せるものと假定し、其の太さは $2r$ センチメートル、空隙の中(最も近い部分の)を a センチメートルとすれば、空隙内の最大の electric stress は次の如き公式より求められる。*但し V は兩電極間の電位差の最大値なり。

* K. Grutter "Schweiz Elek Zeit" Vol. X, July, 1913 p. 325 参照

$$S = \frac{V}{4.605r \sqrt{\frac{a}{a+4r} \log \left[\frac{\sqrt{a^2+4ar+a}}{\sqrt{a^2+4ar-a}} \right]}}$$

之れと略同様の公式が Leblanc 氏によりて "Journal I.E.E., Vol. LI, 1913 p. 713 に發表されたが兩者計算の結果は同様なり。

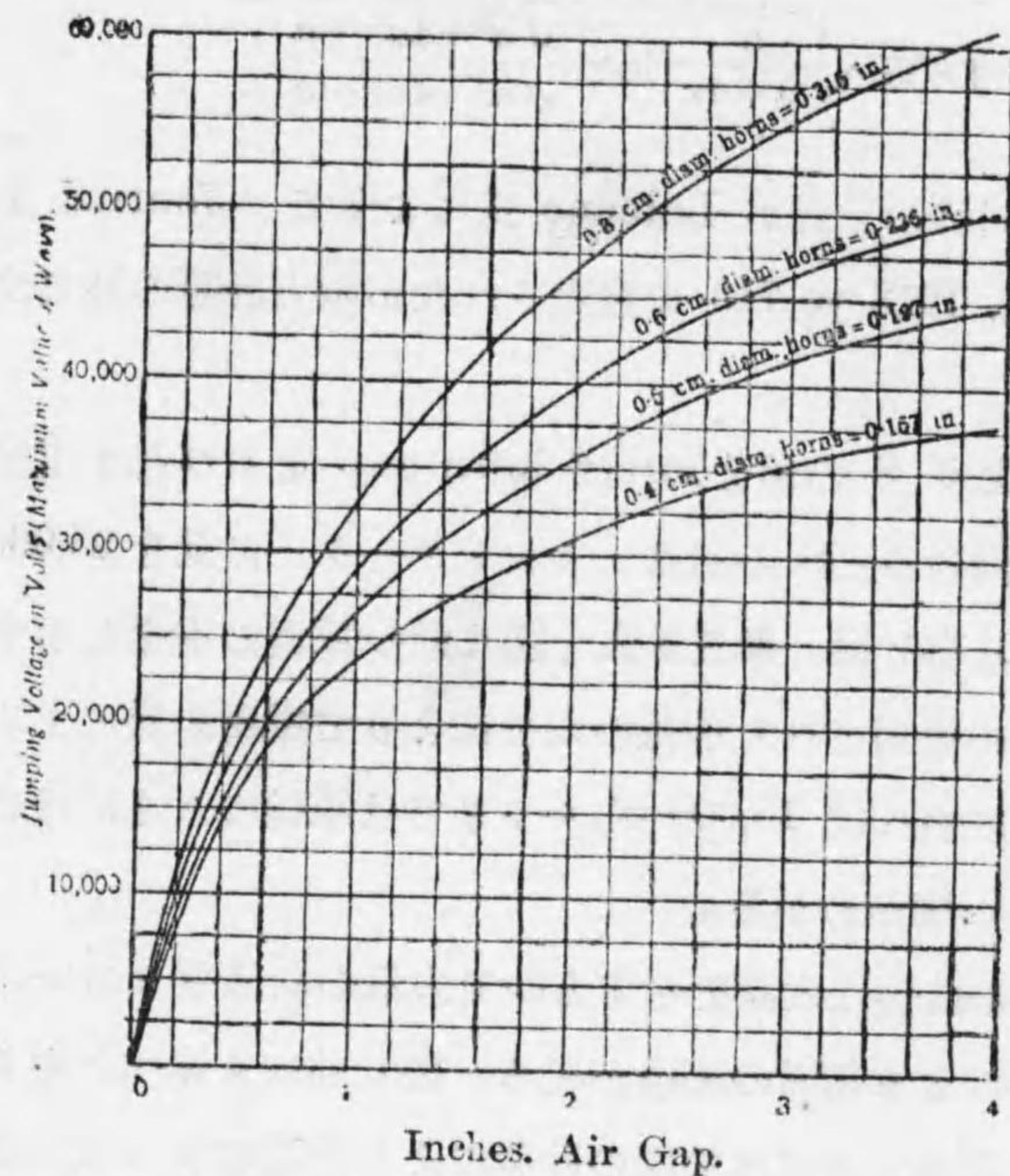
此の公式より S の値を知れば horn gap を飛び起す電圧を求むる事が出来る。 S の値は一センチメートルに就き 25,000 ヴォルトと取る事を得。第三百九十圖は此の放電の電圧を示す曲線で horn に使用された導線の太さによりて電圧を異にするを示す。之れに由れば 15,000 ヴォルトまでは導線の太さにはあまり影響のない事がわかる。

實際上此の曲線は大略を示すもので大氣の状態や horn の表面の不同等により相當の相違が起る。依て前にも述べた通り最も工合よく調整するには周圍の状態により實際に當つて行はねばならない。

第三百九十圖に示した曲線は電圧波の最大値を與ふるものであるから電圧波を正弦曲線によるものとすれば電圧計にて測定した値は此の數に $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$ を乗じたものになる。

角型避雷器の直列抵抗：——單に線路に發生した非常電圧を放電せしむる見地より考ふれば角型避雷に直列に結ぶ可き抵抗は全くない方がよい。然し全く直列抵抗を使用せざれば放電の場合には線路を完全に短絡する事になり運轉上甚だしき障害を起すものである。即ち horn arrester には實際上運轉に差支へ

第三百九十圖



Air gap, thickness of horn 等により horn arrester の jumping voltage の變化する状態を示す

ない程度に於て最も抵抗の少い直列抵抗を結ぶ可きである。此の値は同一運轉系統内の各所に附するものが必ずしも同値なるを要せぬ。

即ち送電線路の先端に於ては線路のイムピーダンスが大となり大なる作用電流の接地を妨げるから直列抵抗は一番少いものでよい。

直列抵抗の最も適当な値を求むるにはやはり實際に種々な値

の直列抵抗を結んで見て其の結果を記録し置き其の内より撰定する様にした方がよい。

液體抵抗は調整もなし易く又直列抵抗として適当な性質を有して居るから一般に歓迎される。其の表面は油の層で被ひ蒸發を防がねばならぬ。かゝる抵抗を使用する場合には凡そ其抵抗は幾何なる可きかを知つて置かねばならぬ。猶下の如き steinmetz 氏の所論も有用である。

常用電壓 E_0 (earth 以上) なる架空送電線路に例へば電撃等の如き電氣衝動が起りたりとせば線路には過度電壓 E 、過度電流 I が起り、 E と I との間には

$$\frac{E}{I} = R_0 \text{ なる關係がある。}$$

R_0 は線路の surge impedance と稱へらるるもので此の値は線路の長さには關係なく一般に架空送電線にありては凡そ 400 位である。直接電撃等の場合には I や E が甚大で碍子は壊される。即ち station にある避雷器の防ぎ得る最大の surge は碍子に破壊を起させるものより稍や小なるものまでで、碍子が 5 の安全率を有して居るものとするれば線路より避雷器に來り放電する最大の電壓は $4E_0$ 、で最大の電流は $\frac{4E_0}{400} = I_1$ アンペアなり。

而して角型避雷器の空隙を規定電壓以上 50% で即ち $1.5E_0 = E_2$ で放電する様調整されたとすれば空隙を越えてスパークを起す電壓は此の規定電壓に避雷器のターミナルに於ける過度電壓を加へたものである。此の過度電壓は線路に於ては其の様な高い値であつても避雷器のターミナルに於ては其の放電の爲め大

いに値が減少する。實際避雷器ターミナルの過度電壓は $E_2 - E_0$ に減じたとする。勿論直列抵抗は充分少ないもので過度電流の通つた爲め $E_2 - E_0$ 以上に其の両端に於ては電壓降下を來さないものを使用せりとす。

然れば線路より流れ得る最大の過度電流は I_1 であるから、避雷器の直列抵抗を R とすれば避雷器の両端に於ける電位差は (放電の際は空隙の抵抗は零と假定する事が出来る) RI_1 である。即ち此の場合には

$$RI_1 = E_2 - E_0 = 0.5E_0$$

$$\therefore R = \frac{0.5E_0}{I_1} = \frac{0.5E_0}{4E_0/400} = 50 \text{ オーム}$$

即ち此の抵抗は規定電壓の 50% 以上の電壓が避雷器を越えて station に入り込まぬ様防ぐ可き直列抵抗の値である。

そこで此の 50 オームと云ふ抵抗は果して適當なものであるかと云ふ疑問が起つて來る。前述の場合に於ては放電と同時に流れる交流發電機よりの有効電流と過度電流とを切り離して考へた。然し此の 50 オームの抵抗を通して短絡した場合に發電所には如何なる影響があるかを考へねばならぬ。例へば 6600 ヴォルトの中性點接地式三相回線に適用すれば之れは一相 290 K.W.* の短絡となり、中流の發電所に對しても此の位なれば甚だしく大であると云ふ程でもないから最初大體の見當を付ける場合に對しては一般に 50 オームとするも可なり。

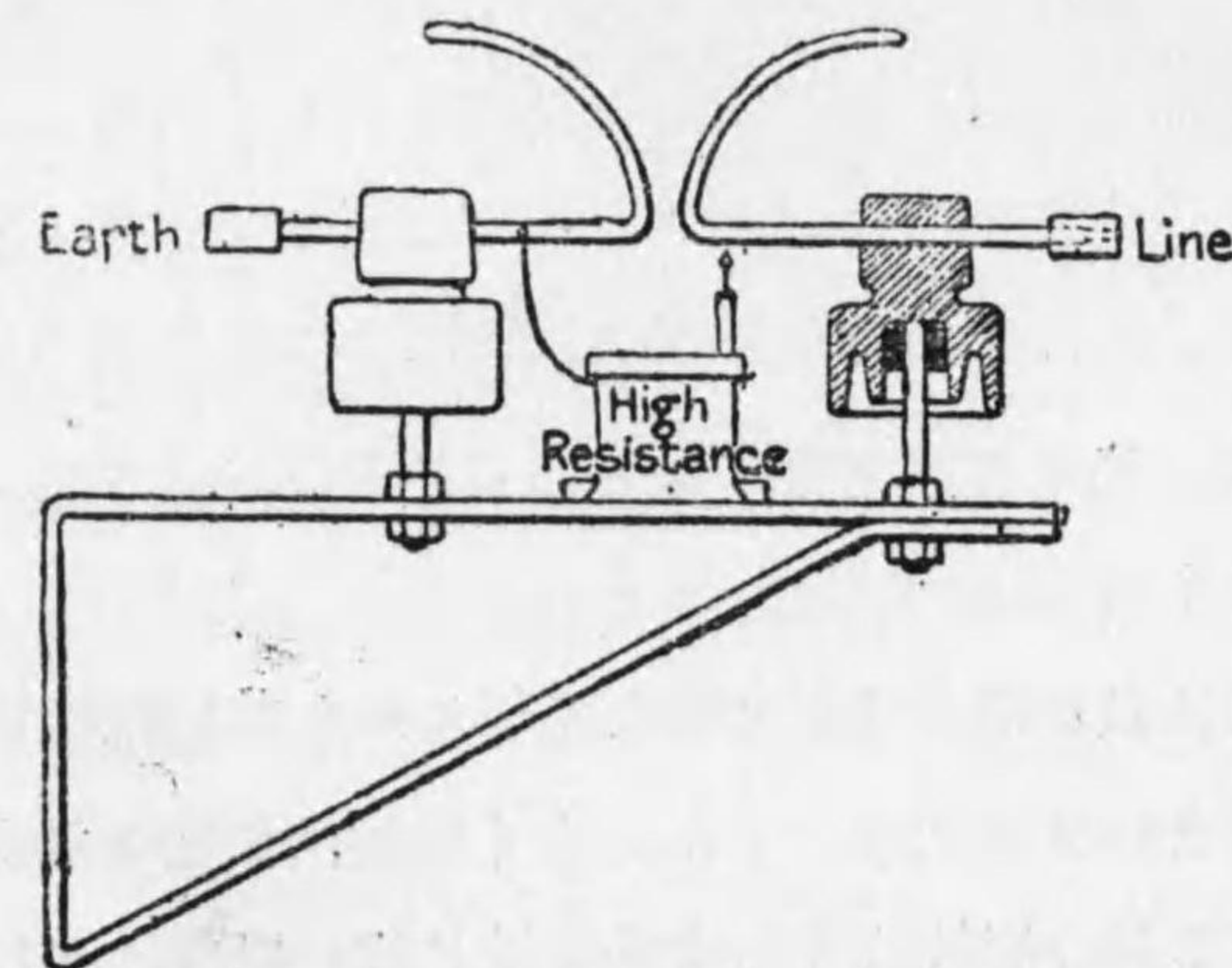
$$\left(\frac{6600}{50\sqrt{3}}\right)^2 \times 50 = 290 \text{ K.W.}$$

然し場合によりては線路に使用されて居る碍子の安全率を 6600 ヴォルト回線に於て 5 の代りに 10 とする事がある。此の場合には扱ひ得べき過度電流も頗る大きく直列抵抗は 22 オームあればよい。即ち此の時は一相 650 K.W. の短絡となり中流の發電所では故障を起すに至る可し。依て前述の通り series resistance の最もよい値はやはり地方の状況に應じて實際に當つて定めねばならない。凡そ 50 オームの抵抗は苛性曹達 1.5% の溶液の直徑二吋長さ二呎の圓筒より得られる。

補助放電間隙を有する角型避雷器

中、低壓回線に普通の角型避雷器を使用する場合には其の間隙を極く接近せしむるを要し従て熔解せる金屬の小粒其の他により故障を起し易い。第三百九十一圖は此の缺點を除く目的で設計された (Landund See Kabelwerke) 角型避雷器で補助放

第三百九十一圖



補助放電間隙を有する角型避雷器

電間隙を有して居る。

主要放電間隙は 5000 ヴォルトに對して一時位の充分の間隙を與へられて居り、補助間隙は調整し得べき白金尖端があり普通規定電壓以上 25% 位で放電する様調整されて居る。之れと直列に高値の抵抗が結ばれ補助間隙に何か塵埃の様なものが入り來り放電を起すとも此の抵抗によりて直ちに消滅する様になつて居る。然し此の放電が實際に線路の電壓が高まつた爲めに起つたものなれば之れにより主要間隙内の空氣をイオン化し茲に放電を起させ線路を救ふ。此の方法より正確な且つ安全な調整をなす事が出来る。

角型避雷器用炭素粉末の直列抵抗

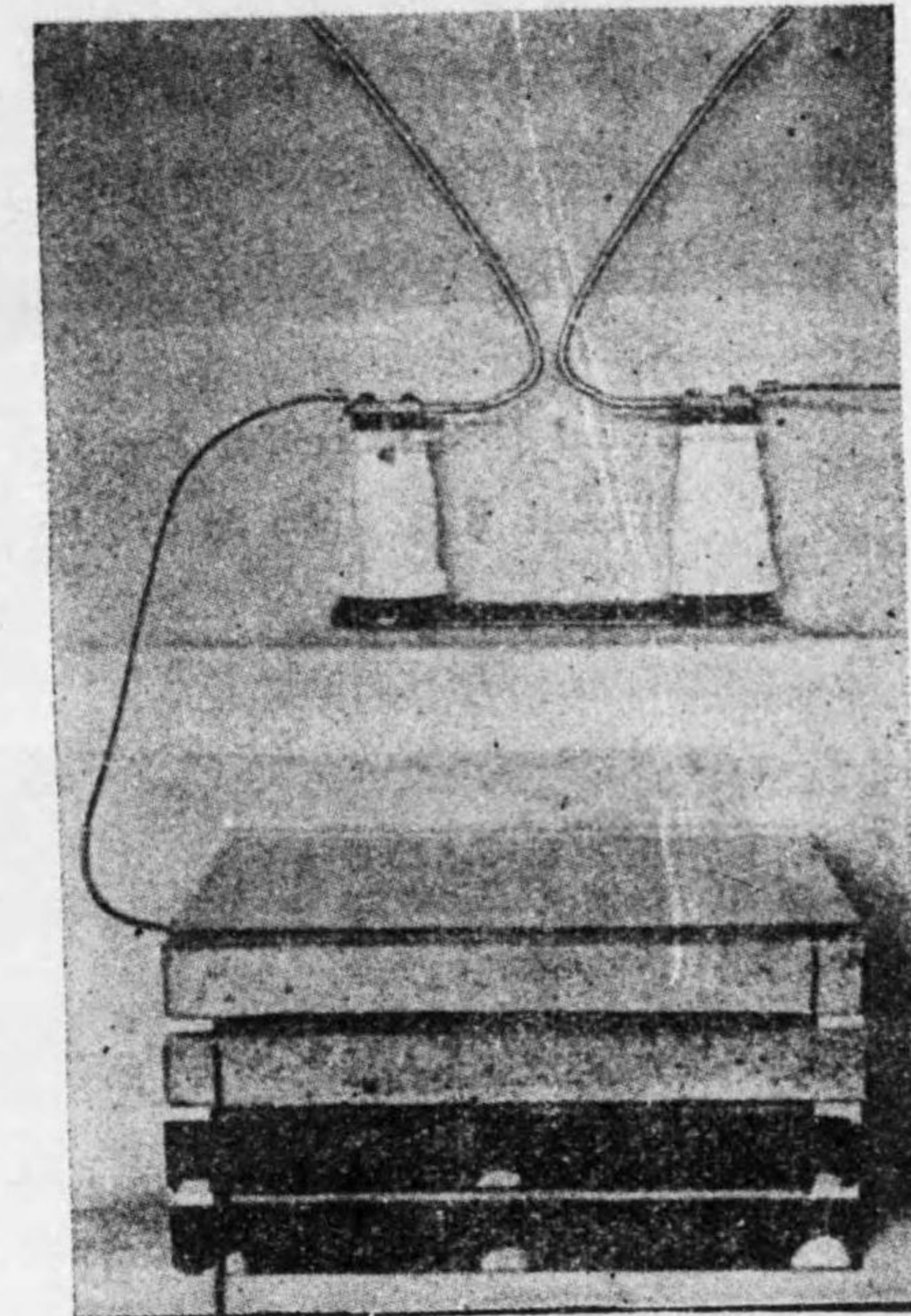
前に角型避雷器の直列抵抗として液體抵抗を推奨して置いたが或る場合には液體でない抵抗を撰む場合がある。

第三百九十二圖に示したのは Messrs. Everett Edgcumbe & Co. で作られたる炭素粉末抵抗を使用せる角型避雷器で、此の製造家の説では角型避雷器に使用す可き直列抵抗は充分大なるもので規定電壓では 1.2 アンペアの電氣に制限し得るものなるを要す。之れは角型避雷器の放電によつて生ずる固障の危険を防ぐ事は出来るが充分に保安の目的を達せられて居るかどうかは疑はしい。

炭素粉は負の溫度係數を有して居るから其抵抗に電流が通り溫度が高まれば漸次減少する。永く回線内に在る場合には初めの 15 秒で其の抵抗は凡そ半分に減じ其の以後は減じ方は少い
第三百九十三圖 及び 第三百九十四圖は抵抗器を組み立つる抵抗

の一部で前者は低周波放電用後者は高周波放電用である。何れも陶板の溝の中に炭素粉を満し其の兩端に金屬ターミナルを附す。此抵抗は猶三相回線の中性點を接地する場合に接地抵抗として使用する事あり。(第三百四十二圖、第三百四十三圖参照)

第三百九十二圖



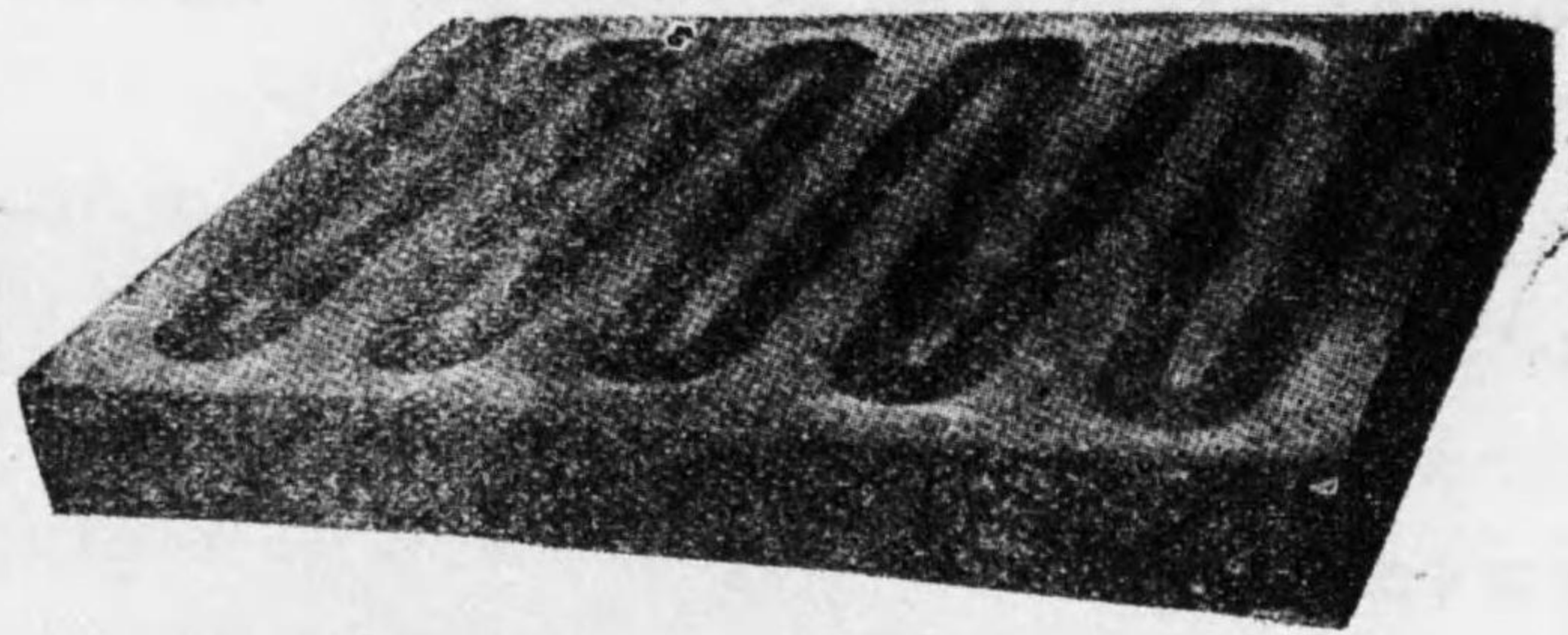
Everett Edgcumbe Co. 製の Brazil carbon powder series resistance を有する horn arrester

第三百九十五圖は角型避雷器を三相回線の柱上に装置するものを示し液體の直列抵抗を有するものなり。之れは 500 ヴォルト回線用のものであるから液體抵抗は比較的low値で液槽は亞鉛鍍金をなせる鐵槽で其の中に曹達溶液を満し電極は鐵のパイプを使用す。horn も亞鉛鍍金せる鐵棒で作られ其の直徑は 1/2 吋なり。液體の蒸發を防ぐ爲め液の上面に油を浮む。

放電のデイレキ的遅延

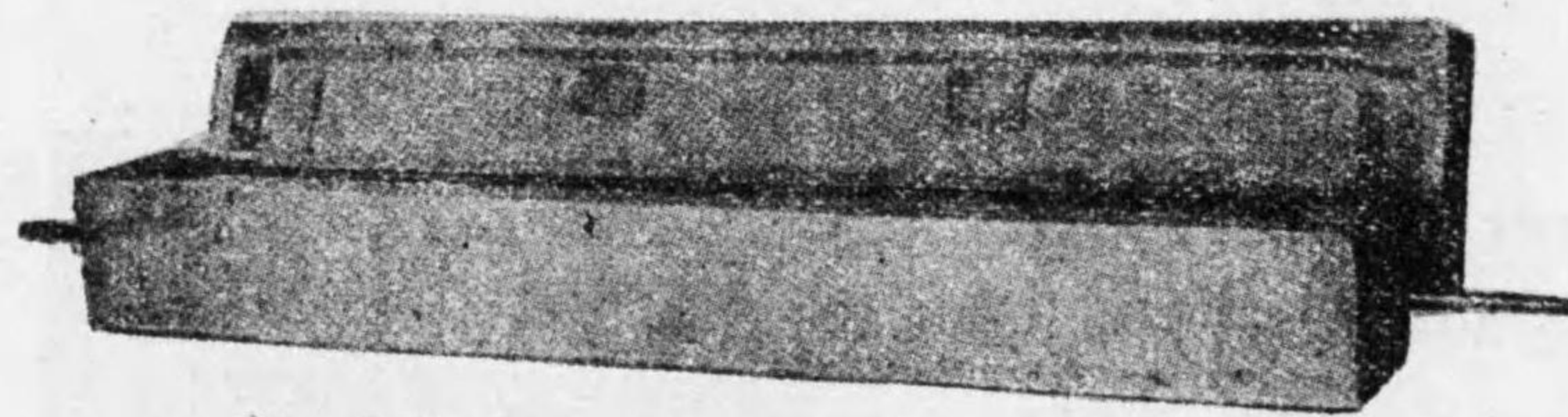
或る放電間隙の兩端に丁度放電に必要なだけの電壓を加へて

第三百九十三圖



Brazil Resistance for low frequency discharge
Everett Edgumbe & Co. 製

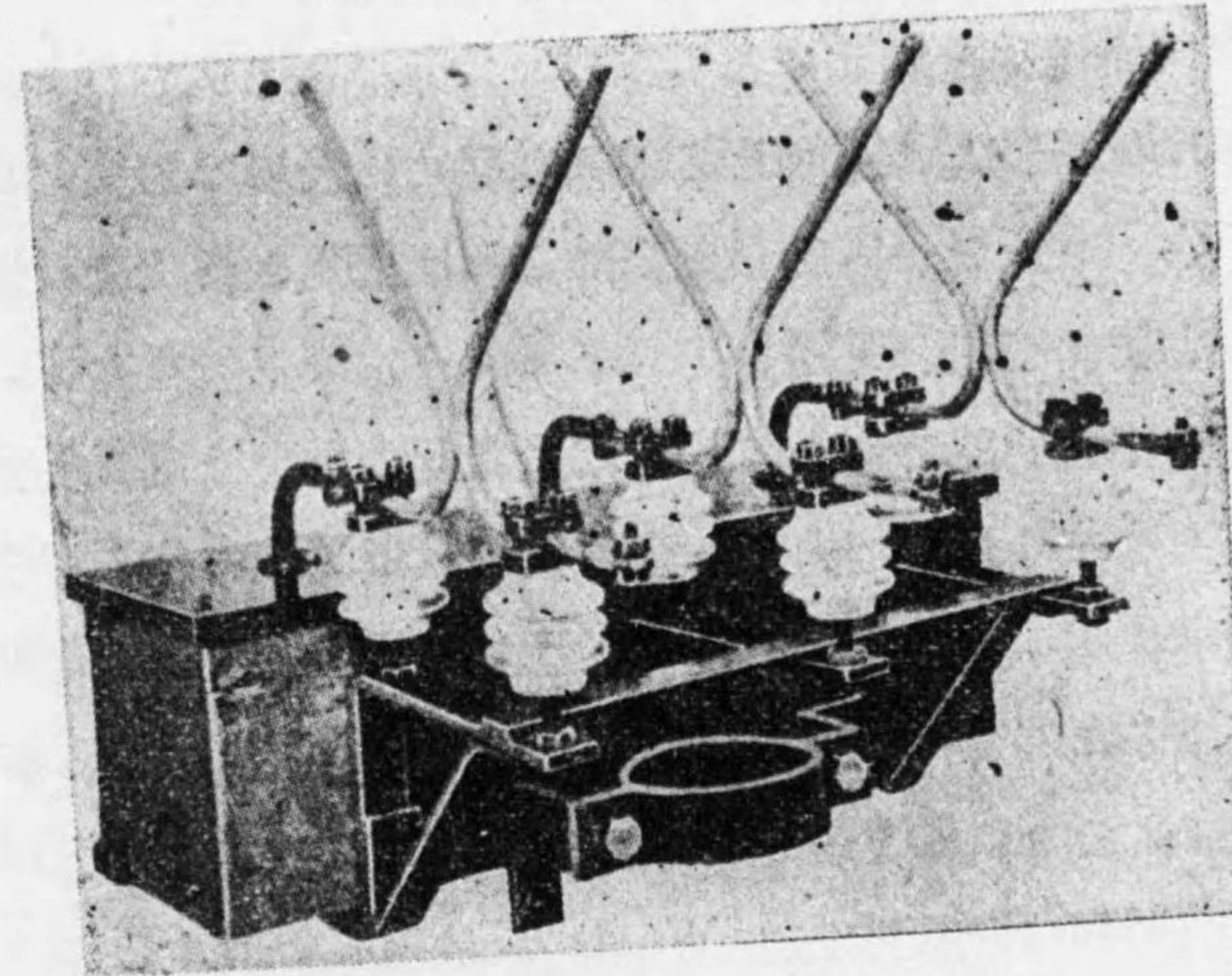
第三百九十四圖



Brazil Resistance for high frequency discharge
Everett Edgumbe & Co. 製

も即時に放電を起さず多少時間が後れる。之れは先づ間隙内の空気をイオン化するを要するからで丁度放電を起すに必要な電圧よりも高い電圧な程早く放電が起る。今角型避雷器に於て100パーセント以上の電圧を處理する様調整されたとす。然れば此の電圧による surge が來れば arrester が未だ放電をなさぬ前に已に其の一部は通過し去る可し。Surge の際架空送電線を通過する速度は一秒間に凡そ 186,000 哩であるから一哩の距離を走るには一秒の 50 百萬分の一の時間を要するのみである。依て

第三百九十五圖



上柱用三相角型避雷器 (General Electric Co. London 製)

若し surge の長さが一哩で放電間隙に於けるデレキ的遅延が 5 百萬分の一秒であれば arrester で放電を起さぬ内 surge は全部通過してしまふ。勿論線路にはチョークコイルがあつて surge を喰ひ止め避雷器を働かすが兎に角此のデレキ遅延は放電間隙式の避雷器に取りて最も困難を感じる點である。或る状態の本に於ては此の遅延は $\frac{1}{3}$ 秒に及ぶ事がある (Creighton "Trans" A.I.E.E. XXIX, part. II. 1910 p. 1214 参照)

電弧を發生せざる金屬

保安器具の製作には此の所謂電弧を發生せざる金屬は非常に使用されて居る。然し或る種の金屬の此の性質に就ては事實以上の効力を認めて居る傾がある。或る種の金屬は確かに他の金

屬より電弧を消す力が強く之れは後に述ぶるが如きローラー型又は圓筒型の避雷器を作るに重要な性質である。

最初に保安装置と關聯して電弧を發せぬ金屬の研究を爲したるは Wurtz 氏で、同氏の研究によれば電弧を發生せぬ性質を有する金屬は亞鉛、蒼鉛、アンチモニー、カドミウム等である或る合金中に亞鉛を含んで居れば通常此の合金は電弧を發生せぬ性質を有するものである。金屬筒で放電間隙を作る場合には其の圓筒は電流の通過によりて受ける障害が最も少きを要す。鐵を使用したのでは放電の際熔けて著しく損害を受けるが電弧を發生せぬ様な性質を有する金屬を使用すれば放電前と殆んど變らない状態にある可し。Wurtz 氏は電弧を發生せぬ金屬として亞鉛と銅との合金を作り其の配合の割合は放電の際亞鉛は少しく凹むが銅は泡を吹くから丁度此の二つの性質を調和せしむる様に配合されて居る。勿論亞鉛と銅との合金は眞鍮に外ならないのであり、又圓筒型の避雷器の大部分は普通の眞鍮以上の不思議な金屬は使用されて居らぬ様である。大なる放電があつた場合に之れを防ぐのは單に此の内部的性質にのみ依頼するのは不可能で他の有力な方法によらねばならぬ。

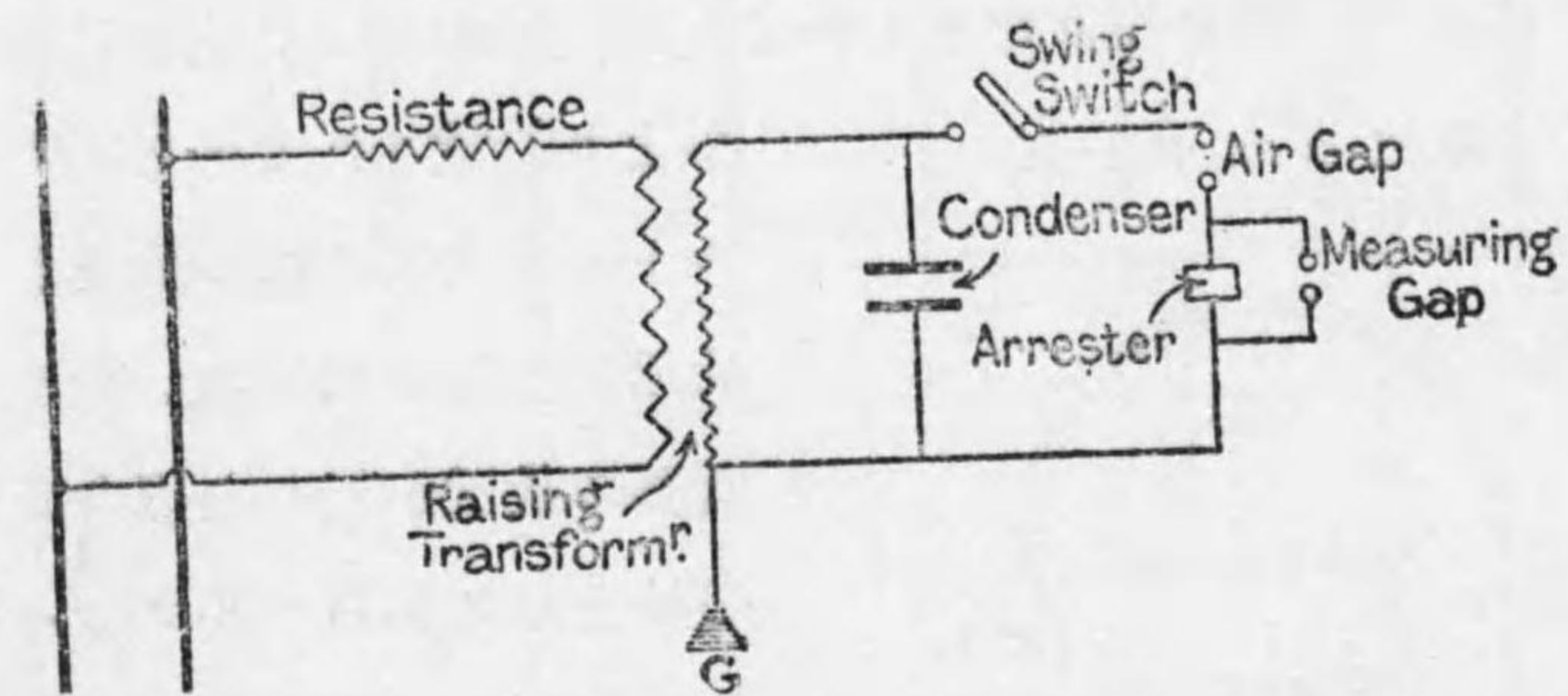
保安装置の Equivalent Spark-Gap

等價放電間隙 (Equivalent spark gap) なる語は保安装置に付いて屢々使用せられて居るがよく其の意味を明かにして置かねばならぬ。之れは試験の方法を考へるのが最もよい (Peek, I.E.E. "Journal" Vol. XL, 1908, p. 515 参照)。

第三百九十六圖に於て充電されたコンデンサーが試験さる可き避雷器と直列に結ばれた空際を通じて放電するものとす。

此の避雷器と並列に一つの放電間隙が結ばれ此の間隙を調整してコンデンサーよりの放電の大部分は (凡そ 95 パーセント)

第三百九十六圖



保安装置の equivalent spark gap を測定する接續圖

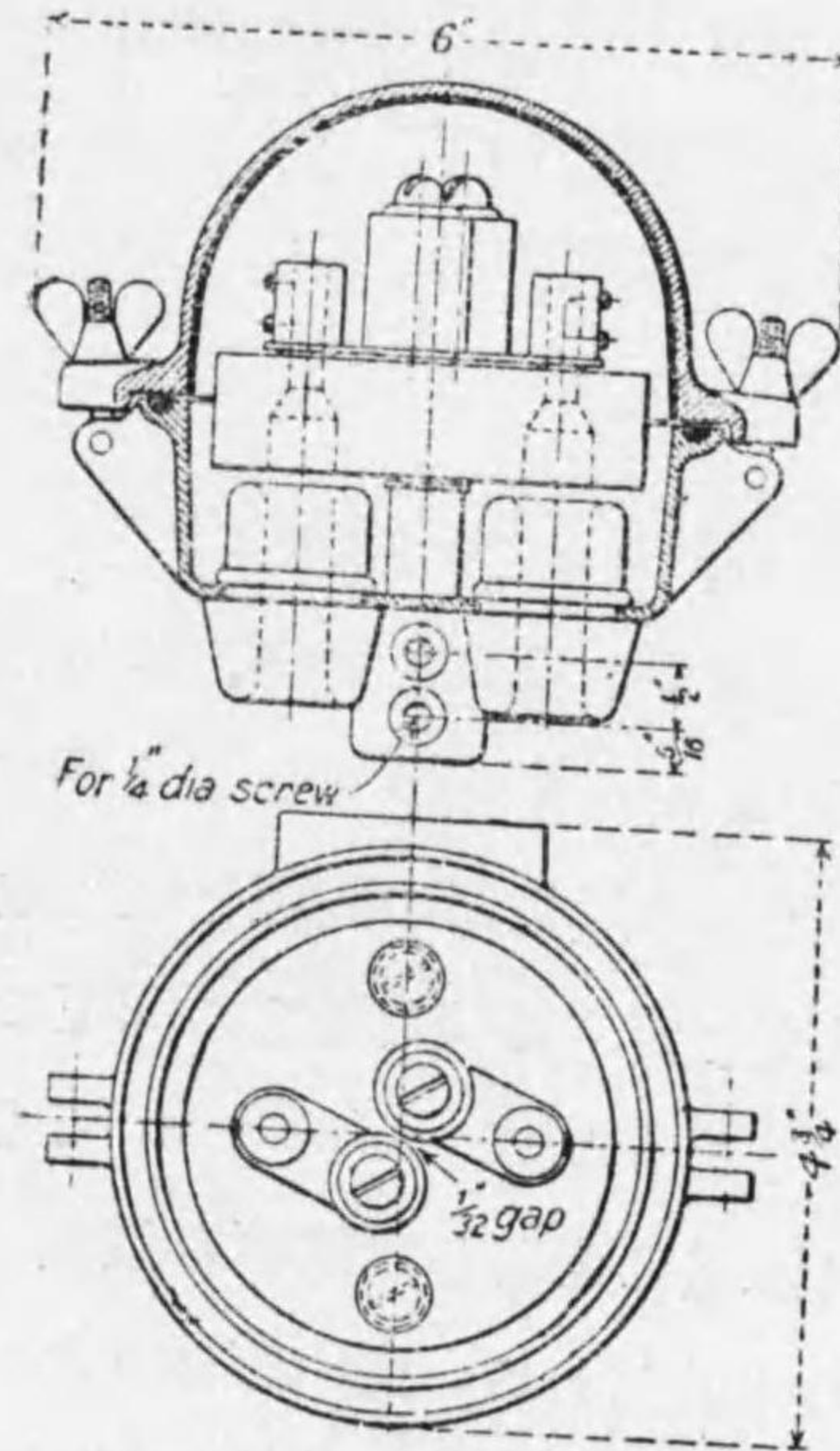
此の間隙より先きに避雷器の方を通過する様になす時、此の間隙の長さは其の避雷器の equivalent spark gap であると稱する。即ち equivalent spark gap は或る避雷器の間隙を破る電壓より之を破るには少しく高い電壓を要する様な長さの間隙である。前にも述べた通り試験さる可きものが induction でも有つて居れば equivalent gap は試験に使用した電壓の波頭の形によりて異なる可し、即ち種々の變數がある。此の不確實な一原因は間隙を測るに針狀電極を使用すれば之を除く事を得べし斯くして得たるものを equivalent needle gap と稱す。兎に角此の試験は種々の避雷器を比較するものに必要である。

圓筒型 避雷器

之れは多くの non arcing metal より成る小筒を凡そ $\frac{1}{32}$ 吋の間隙を作りて並べたるもので、圓筒の表面には一様に小突起を刻し常に間隙には新らしい無疵の面を向ける爲め廻轉し得る様にするがよい。

第三百九十七圖は最も簡単な形式のもので二個の圓筒を並べ一つの放電間隙を作りたるもので直列抵抗がない。之れは架空線より給電されて居る250ヴォルトの屋内線の避雷器として使用する事が出来る。此の避雷器に放電が起つた場合には短絡となるから主要フューズを屋内側に装置するを要す。即ち放電の際はフューズが切れて器具を電路より遮断する

第三百九十七圖



簡単な一つの間隙の避雷器

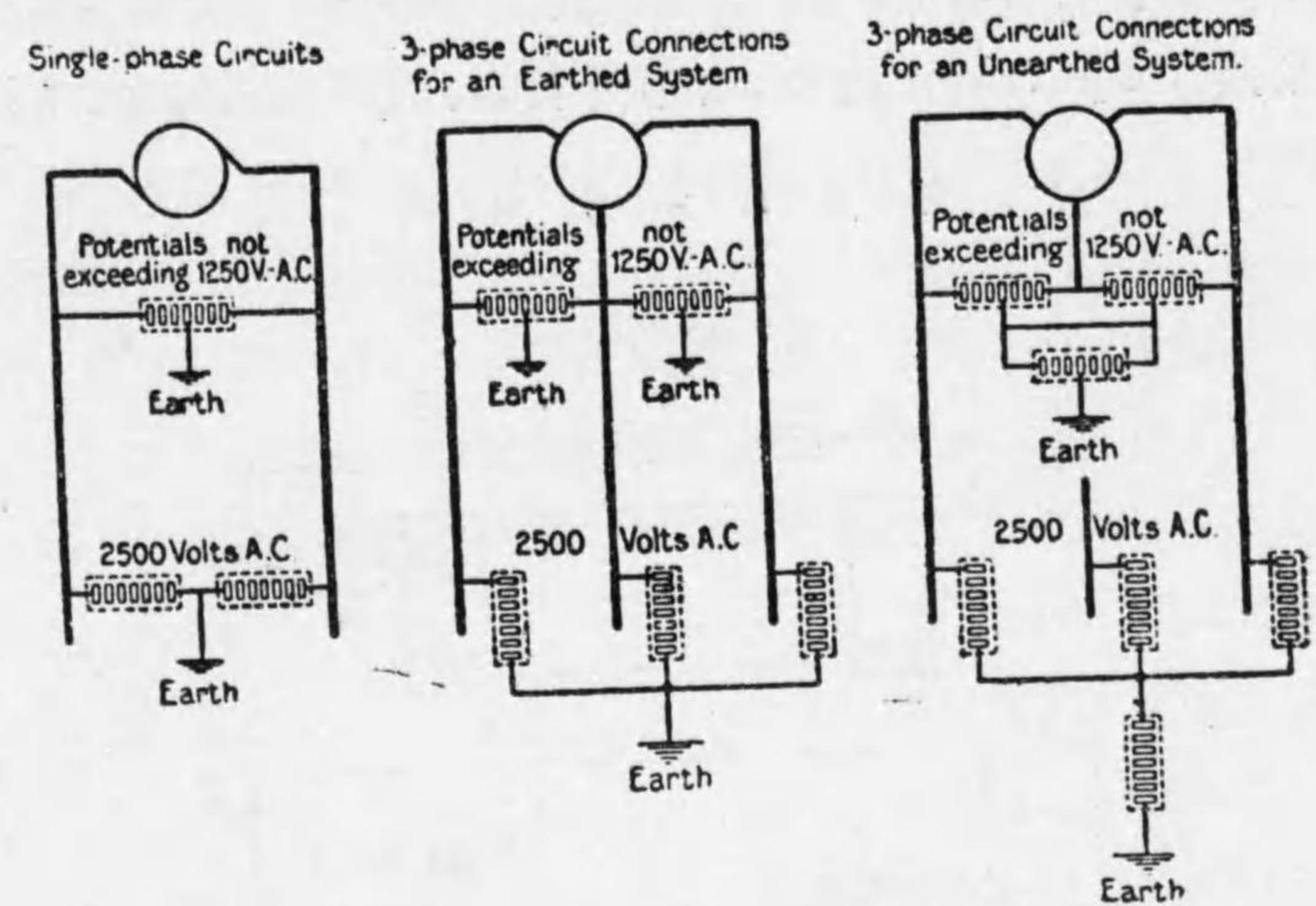
圓筒は non arcing metal で作られて居るから放電の際のアークを消滅せしむる力を有して居る。電流が急激に通る時にはフューズを切り或は circuit breaker を働かすには充分であらう。短絡容量の大なる電路には

線より給電されて居る250ヴォルトの屋内線の避雷器として使用する事が出来る。此の避雷器に放電が起つた場合には短絡となるから主要フューズを屋内側に装置するを要す。即ち放電の際はフューズが切れて器具を電路より遮断する

第三百九十八圖は British whesting house Co. で作る直列抵抗の無い普通の圓筒型避雷器の接続圖で $\frac{1}{32}$ 吋の間隙一つにつき凡そ 200 ヴォルトの割合になつて居る。

圓筒は non arcing metal で

第三百九十八圖



普通の圓筒型避雷器の接続圖 British Whesting house Co.

斯く簡単な避雷器を使用する事は出来ない。

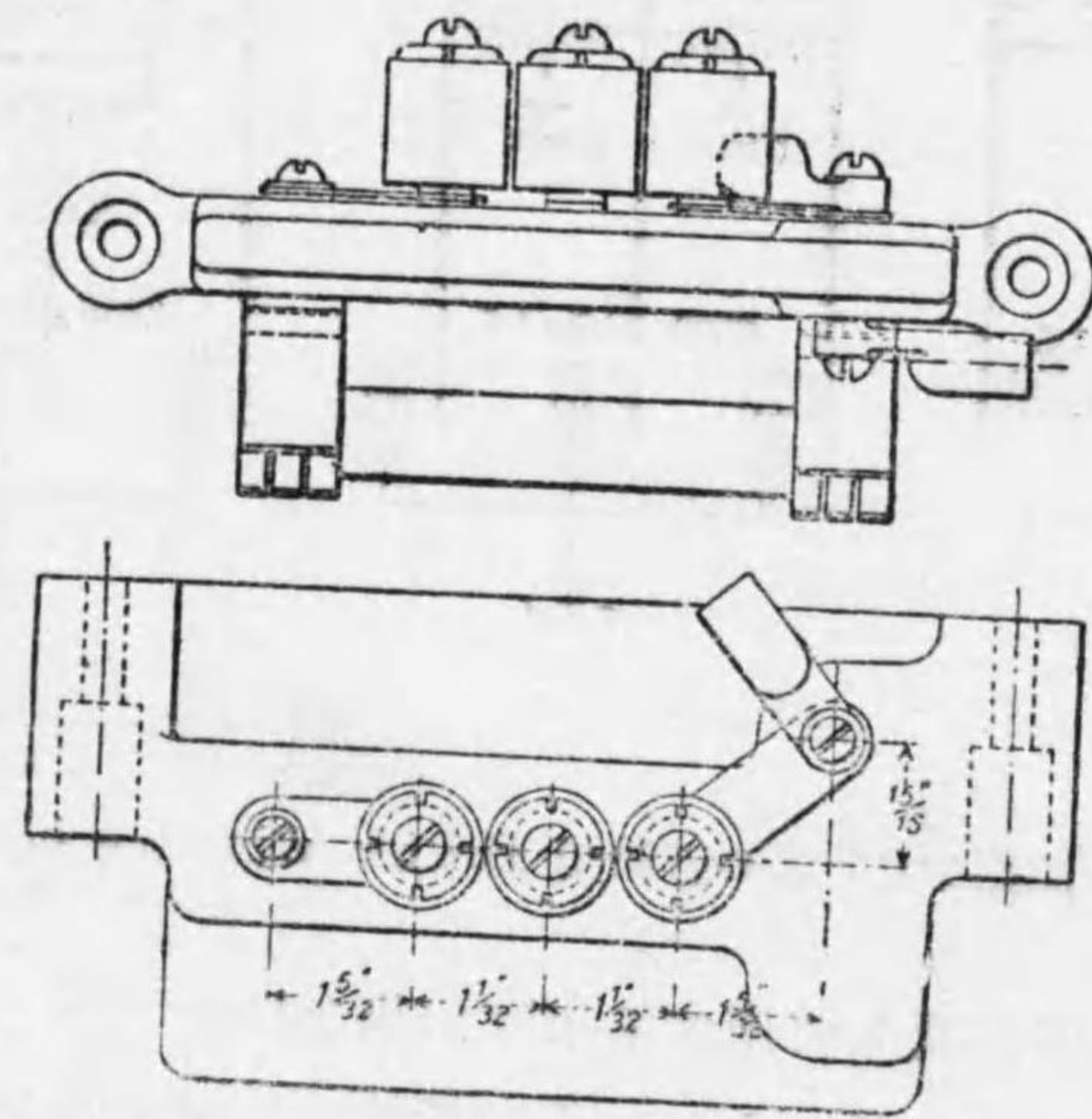
避雷器の放電と共に大なる作用電流が接地するを防ぐ爲め直列抵抗を使用す。第三百九十九圖は此の直列抵抗を有する1000ヴォルト用のもので General Electric Co.で作るものである。間隙の数は三個で直列抵抗は 250 オームの棒状のものである。此の避雷器を組み合せて如何なる電壓にも使用する事が出来る。

圓筒型の Low Equivalent Lightning Arrester.

高壓回線又は短絡容量の大なる回線に多隙避雷器を使用する場合には之を non arcing (即ち放電の際作用電流の通過を防ぐ力) とす爲めに多數の間隙を使用せねばならぬ。間隙を多

く使用する代りに直列抵抗を用ひてもよいが何れも equivalent spark gap を増加する事になる。然し Thomas 氏の實驗によれば低い equivalent spark gap を持ち、而も高壓回線でも如

第三百九十九圖



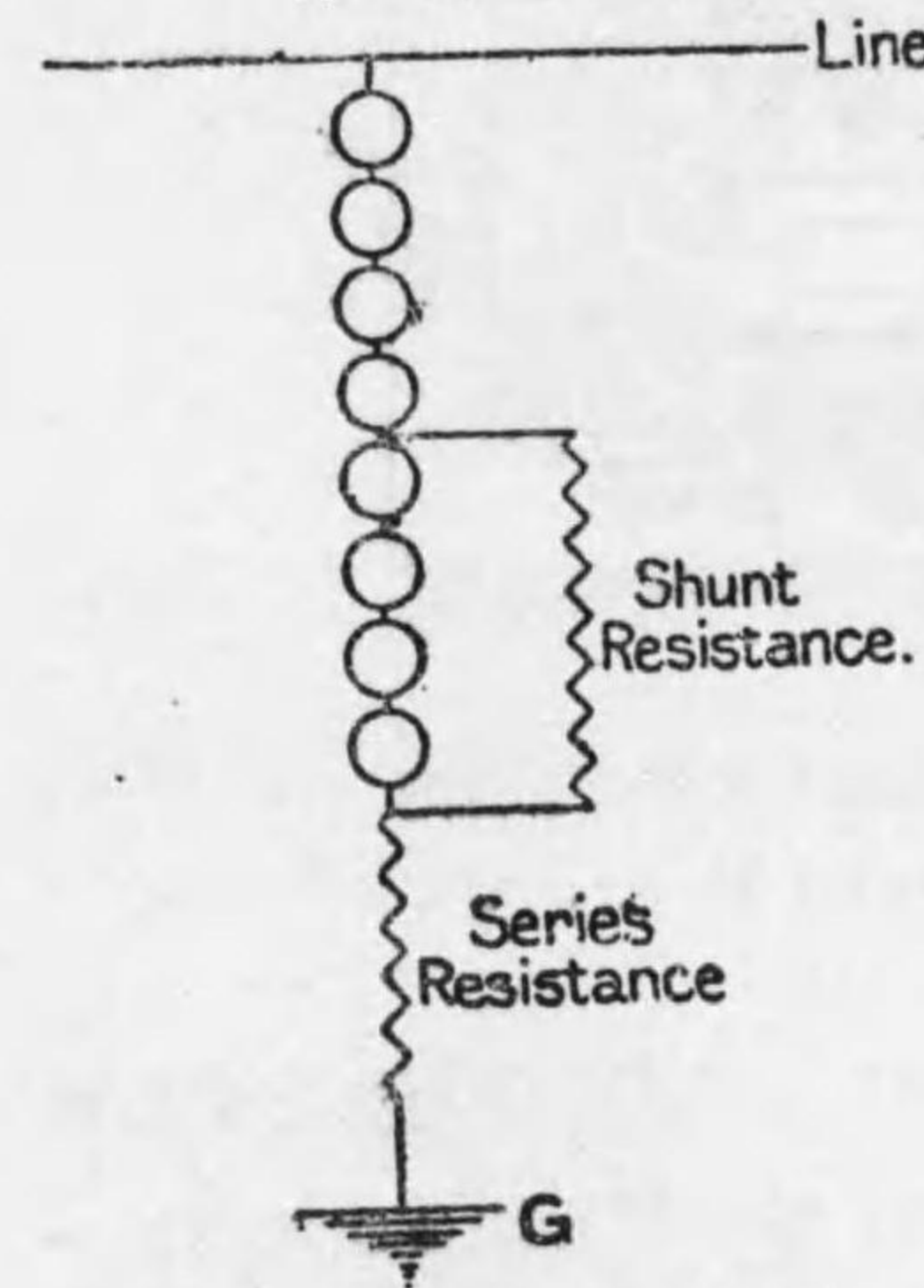
直列抵抗を有する two gaps の cylinder type arrester

何なる容量の回線にても電弧を防ぎ得る圓筒型の避雷器を作る事が出来る。此の避雷器を特に Low equivalent arrester と稱し、其の原理は第四百圖に示す通りである (Thomas 氏の "Function of Shunt and Series Resistance in Lightning arrester" なる論交参照 "Trans" A.I.E.E. Vol. XIX, 1902, p. 1021)

圖示せるが如く規定電壓に耐え得る間隙の数の凡そ二倍の間隙を使用し、其の後半は無誘導の抵抗で分路を作り、別に比較

的低價な直列抵抗を使用す。依て普通の状態に在りては中央の間隙は殆んど earth の電位に等しく抵抗で shunt されて居ない間隙を放電するには比較的低い電壓を要するのみで之れより shunt 及び series resistance を通じて放電する。然し shunt resistance を電流が通過すれば電壓の下降を來すから之れと並列に在る間隙の首尾に於ては電位の差が出来、此の電位差が相當に大であれば茲に放電を起すに至る。然し此の部分に出来た

第四百圖



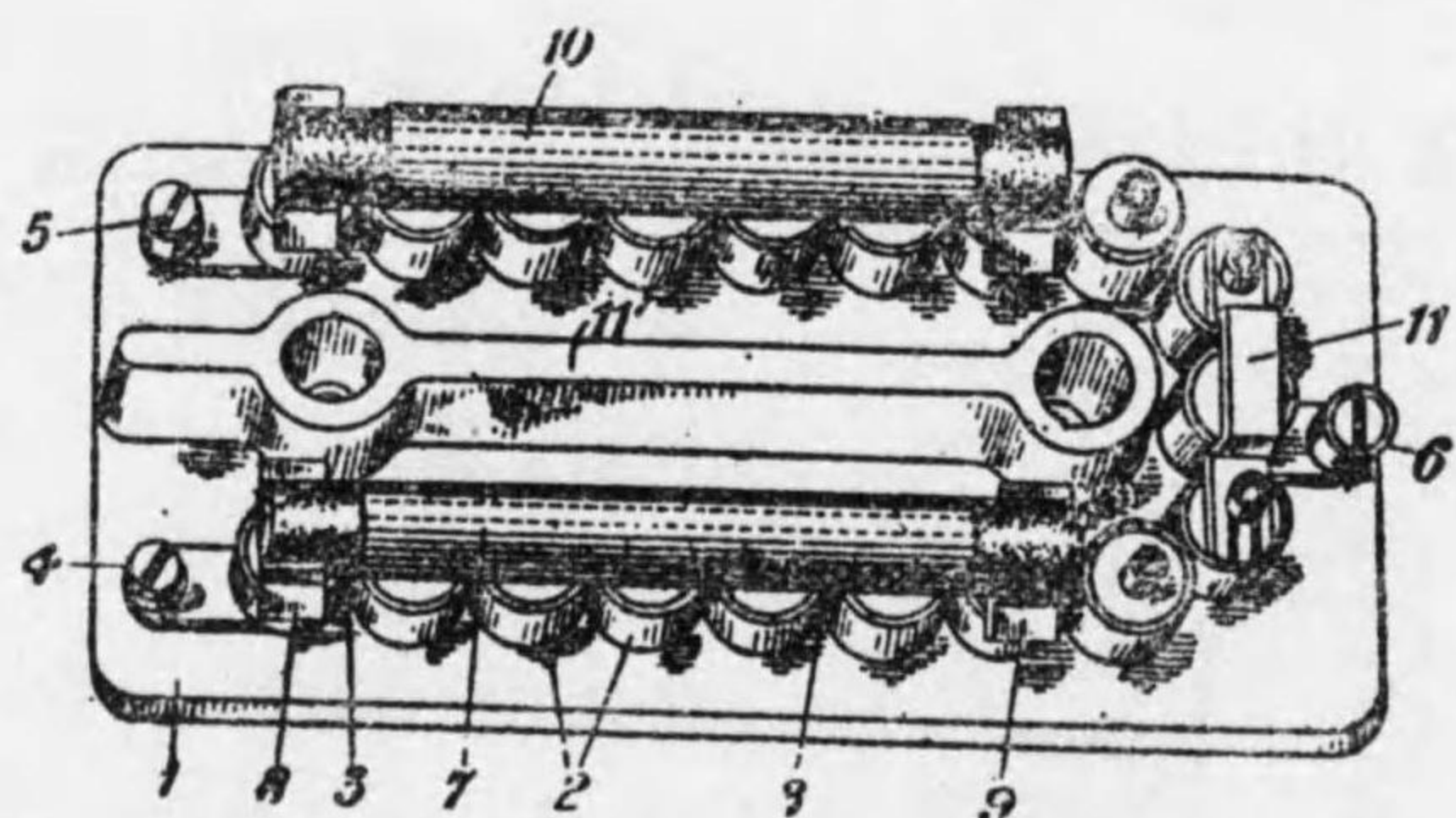
Low equivalent lightning arrester の原理

する、即ち並列に抵抗を有せざる間隙は並列抵抗及び直列抵抗と直列になり、其の大きさは規定電壓に於て non arcing となる様に撰ばれて居る。即ち此の避雷器の equivalent spark gap は並列に抵抗を有せざる部分の間隙によりて定まる。大なる放電の場合には間隙全體に亘りて放電す。即ち equivalent spark gap の間隙の数の二倍だけの non arcing characteristic がある

多隙避雷器は又全く直列抵抗を使用せずして立派に作る事が出来る。第四百一圖、第四百二圖は此の種に屬する二種類で G.E. 會社で製造するものである。其の原理は前述の low equi-

valent arrester と同様で、唯之れには直列抵抗を用ひず並列抵抗を有する間隙の数が之を有せざる間隙の数より可なり多数になつて居る點が異つて居るのみである。並列間隙に放電が起らない時は並列抵抗は直列間隙と直列となり、アークを消すに充分であり、又並列間隙に放電が起る様な場合には間隙の数が多いのでアークを消すに充分である。

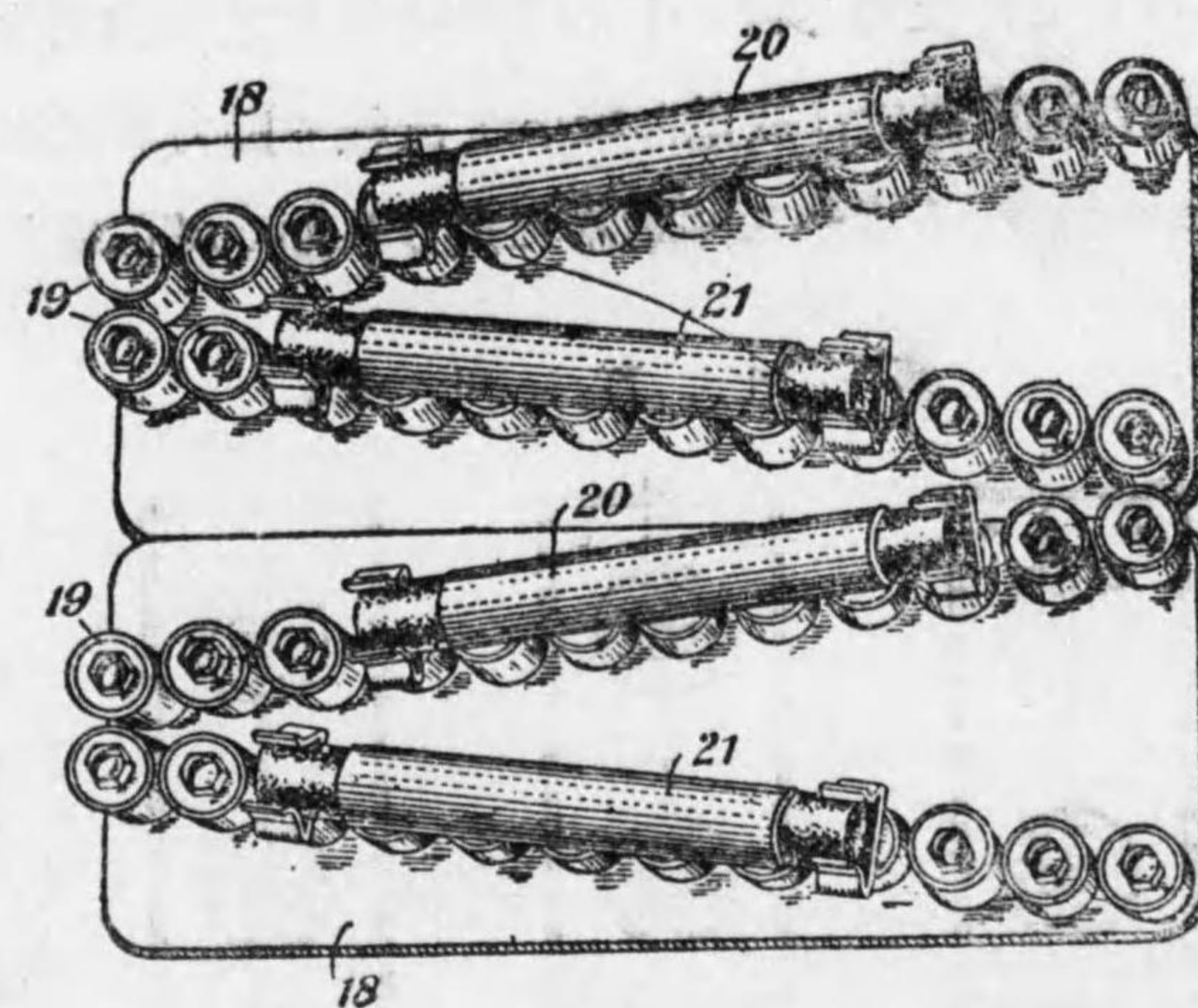
第四百一圖



200 ヴォルト単相回線の兩線を保護する直列抵抗なき多隙避雷器、General Electric Co.

製造者は並列間隙は高波放電に對して差別的作用をなすと稱して居る (British patent 5,575/06) 参照但し現在は無効)。之は圓筒は多くの直列に結ばれたるコンデンサーを形成し抵抗と並列になつて居るからである。抵抗のイムピーダンスは周波數を増す程大となるがコンデンサーのイムピーダンスは周波數の増す程小となる。依て高周波の放電が來た場合には並列抵抗の方を通らずに全間隙を眞直に通る普通の周波數に於ける放電

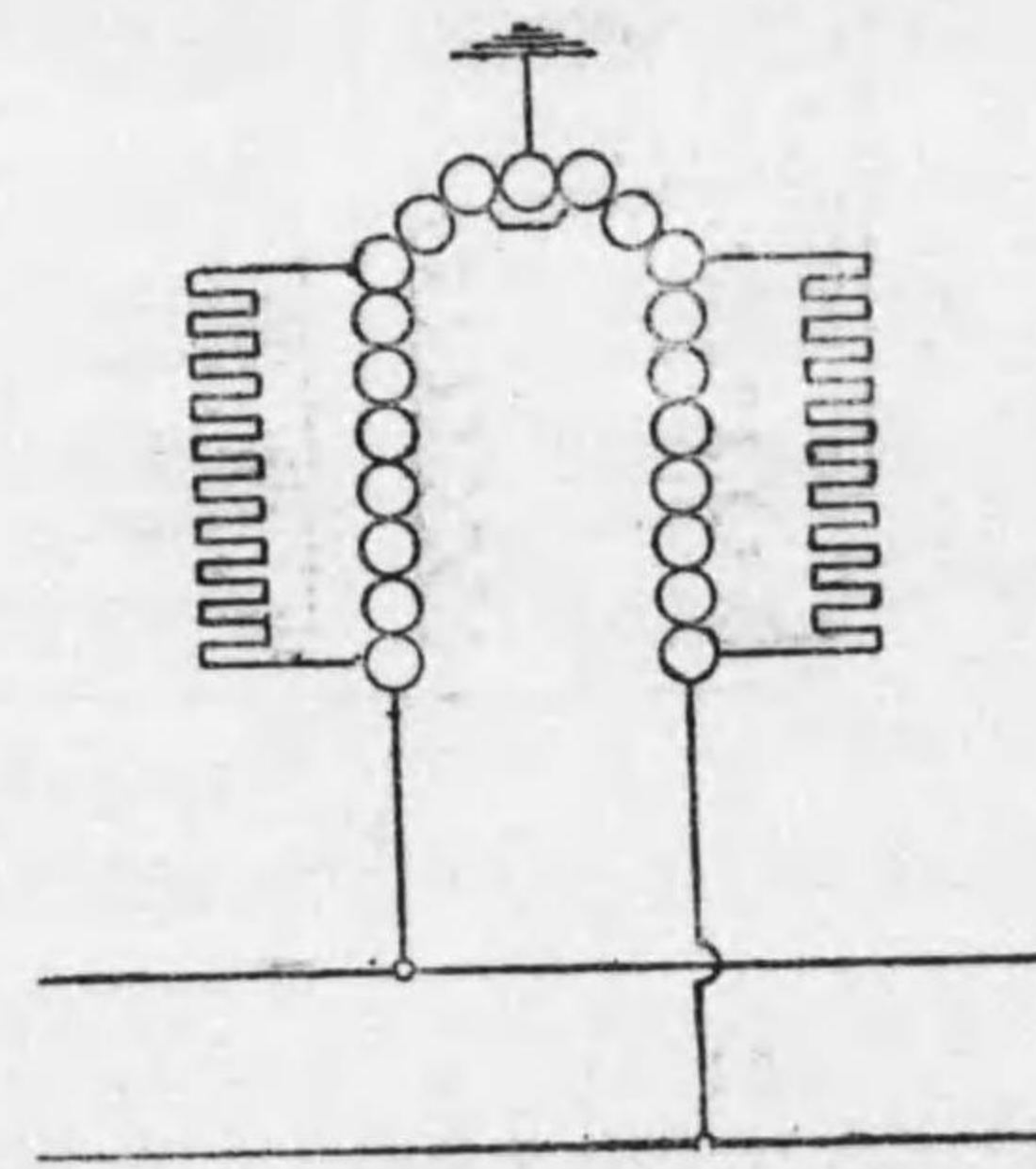
第四百二圖



60,000 ヴォルト回線に使用すべき避雷器を形成すべき要素二個を示す。(G.E. Co.)

に對しては反對に抵抗の方を通り其の接地電流を制限する。此の差別的作用は其の大きに大なる關係を有し、圓筒の直徑凡そ $\frac{7}{8}$ 吋長さ 1 吋、間隙の大き $\frac{1}{32}$ 吋のものが最もよい結果を呈する。

第四百三圖

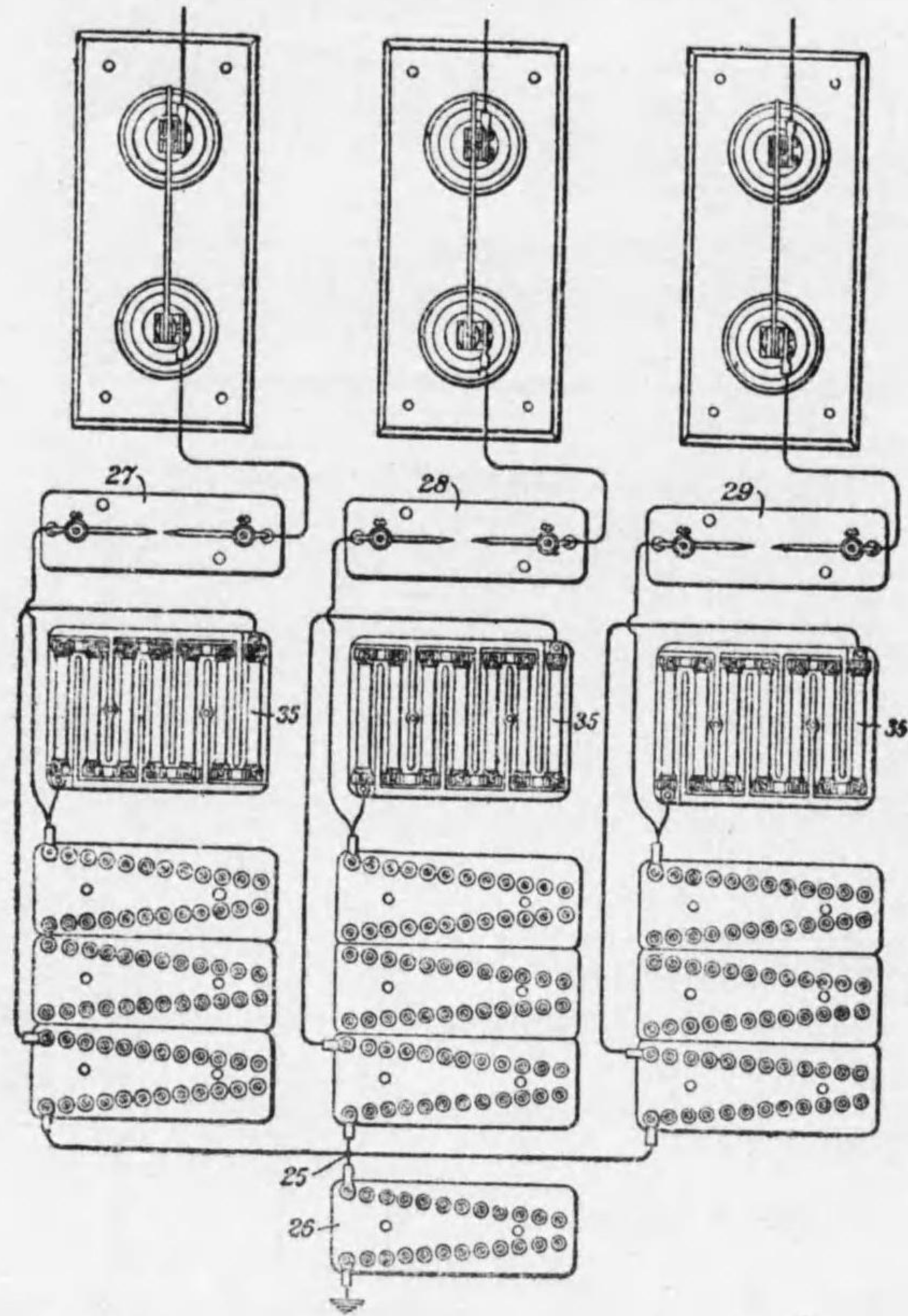


第四百二圖は 2000 ヴォルト単相回線の兩線を保護す可き避雷器で、之れより高い電壓に對しては General Electric 會社では第四百二

第四百一圖に示せる避雷器の電路接続

圖に示した様なものを何個か組み合せて使用し、之れで60,000
ヴォルト位までに使用し得るものを組み立てる事が出来る。實
験の結果此の避雷器では放電に續いて流れる動力的電流 (dyn-
amic current) は丁度油入開閉器に於ける如く其の零なる點に

第 四 百 四 圖



三相12,000ヴォルト回線 (中性點接地) に使用する三相の
Low equivalent arrester 直列抵抗なし。G.E. Co.

て遮断される事が発見された。即ち電流の衝動や電壓の昇騰な
く電流を遮断する事が出来る。

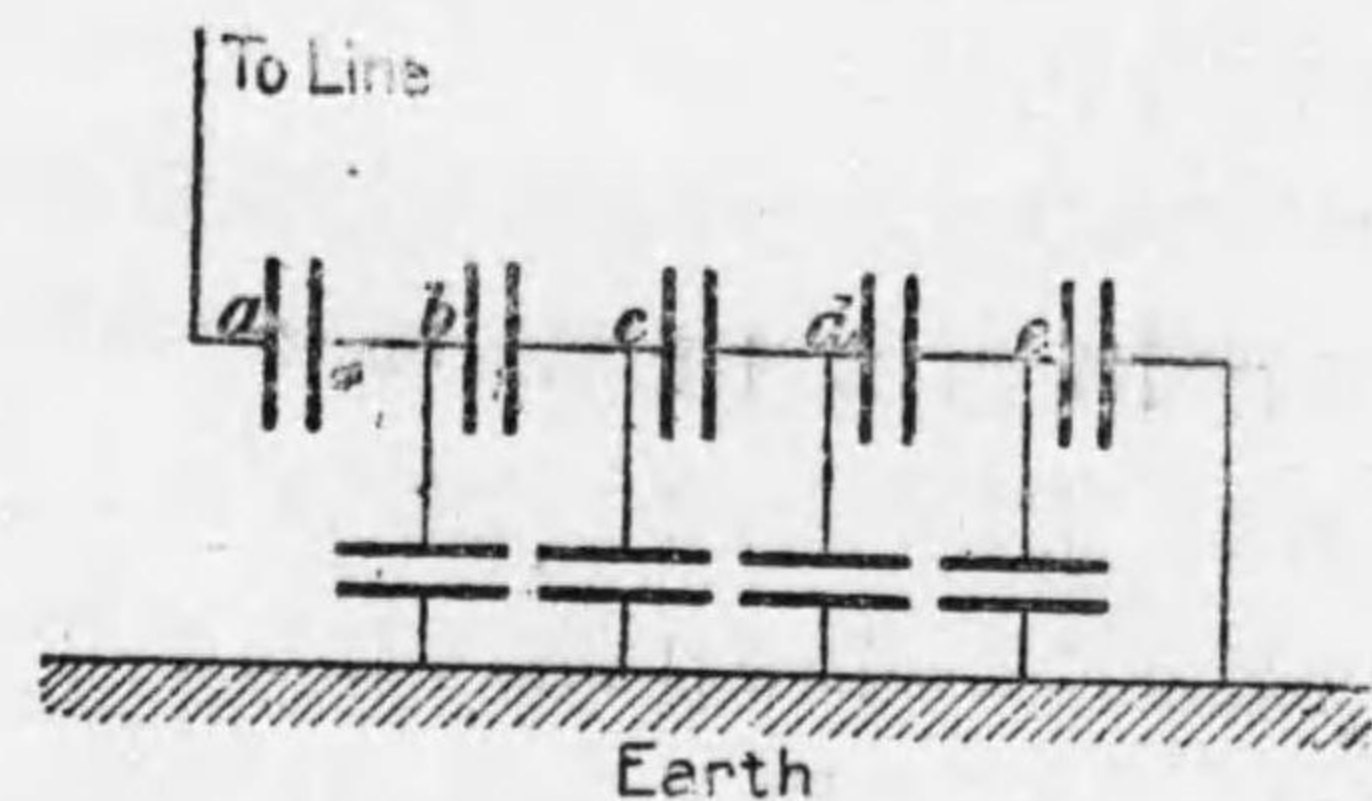
第四百四圖は此原理にて作れる中性點接地の 12,500 ヴォオル
ト三相回線用の避雷器で、並列抵抗は 35 に示す如く別な盤上
に装置されて居る。間隙の三分の二は抵抗によりて並列となり
三脚は 25 の中性點にて接続され別に中性點とアースとの間に
26 なる間隙がある。27,28,29 は加減し得べき間隙で各脚に直
列に入れてある。

此の原理で作られた避雷器は確かにかなりの保安力を有して
居る。激しい雷の時避雷器から盛んに火を出すのでも其の放電
容量を證する事が出来る。然し重要な機械装置を保護するには
今や多少時代後れの觀があり近來は Mosciki Condenser だと
かアルミニウム避雷器だとか云ふものが多く使用される様にな
つて來た。

圓筒型避雷器に於ける電壓の分布。

圓筒型多隙避雷器にありては多くのコンデンサーが直列に結
ばれて居り圓筒はコンデンサーの極板、間隙内の空氣はコンデ
ンサーの絶縁を形成して居る。若しすべての圓筒間隙が全く相
等しい大さであり且つ周圍の種々なものから遠く隔てられて居
るとすれば全電壓の避雷器全體に分布せらるる有様は直線的で
毎間隙の電壓は相等しい筈である。然し實際には避雷器を全然
周圍からの影響を受けない様に置く事は不可能で各圓筒は相互
の間に於てコンデンサーを形成するのみならず earth に對し
ても亦コンデンサーを形成する。之れは第四百五圖の如く表示

第四百五圖

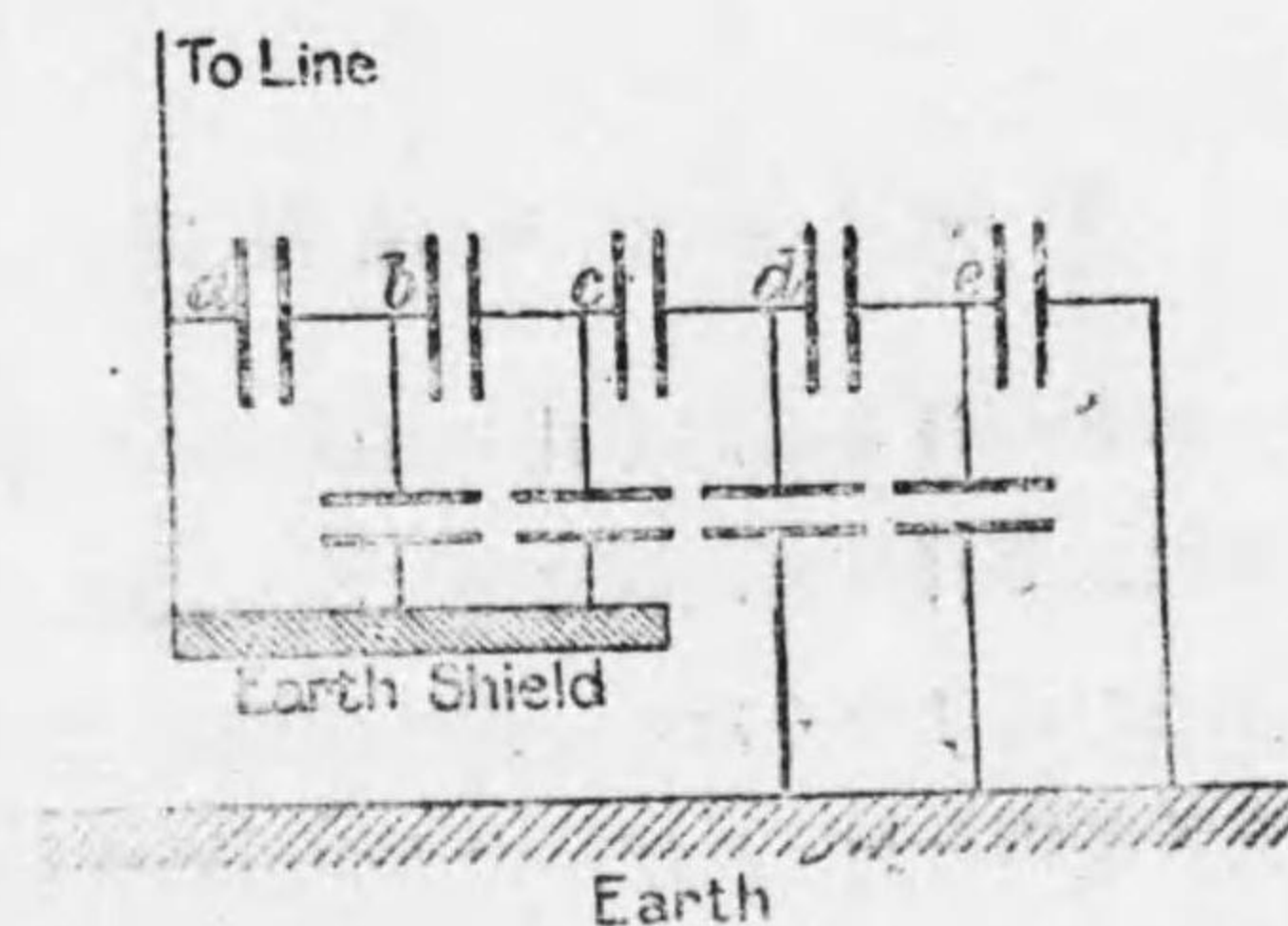


筒型多隙避雷器の構成するコンデンサー

する事を得べく a, b, c, d, e は各圓筒なり。各圓筒間及び各圓筒と earth との間に夫々コンデンサーがあり、各コンデンサーには充電電流が通る可し。而して ab 間のコンデンサーの充電電流は、 b と earth との間にもコンデンサーがあるから、 bc 間のコンデンサーの充電電流より大なる筈である。同様に bc 間の電流は cd 間の電流より大なる可く以下皆同様に考ふる事が出来る。圓筒及間隙の大きさが等しければ ab 間のコンデンサーの容量は bc 間のものと相等しい。依て bc 間よりも ab 間に大なる充電電流が流れる事は bc 間よりも ab 間の方が電圧が高いと云ふ事になり、同様に終の方程電圧が低くなる。即ち全電圧は全間隙に一様に分布されず線路に近い間隙程高い電圧の分配を受ける。其の結果規定の電圧に對して餘分の圓筒を要し且つ線路に近い圓筒はスパークを生じ易く又破壊され易い。

、此の缺點を防ぐ爲め第四百六圖に示す如く earth に對する隔壁を作りたるものあり。之れは earth から最も遠い側に在る圓筒の近くに金屬板を置き之を線路に結んだものである。之れは

第四百六圖



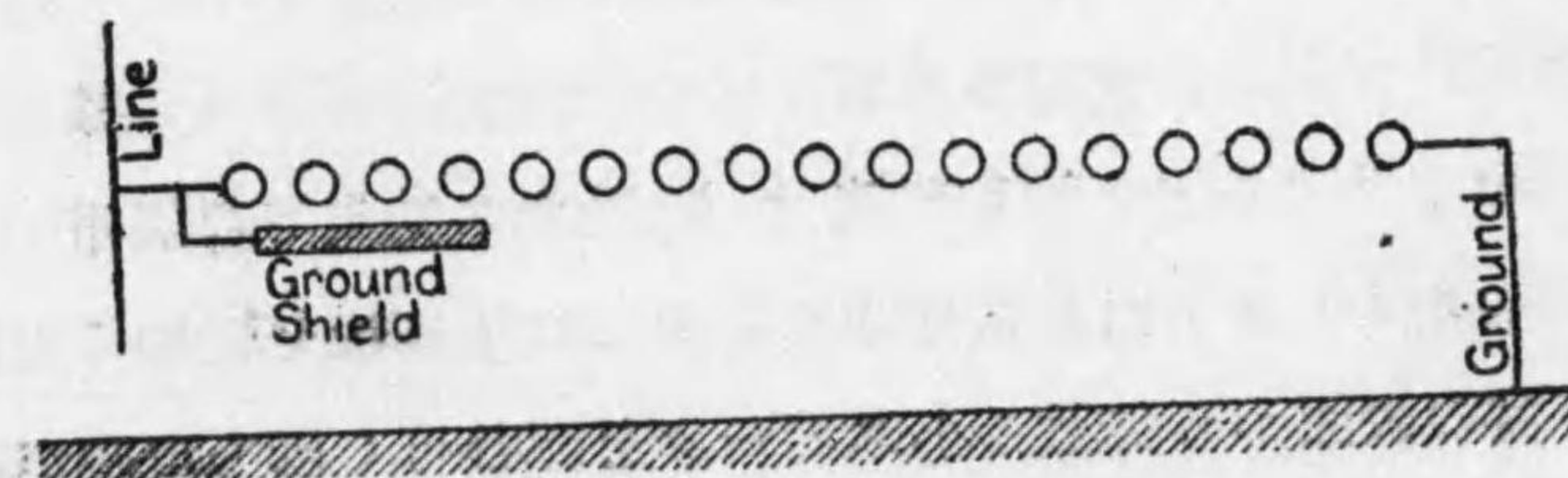
Earth に對する隔壁を有する圓筒多隙避雷器のコンデンサー

伸々効力があり圓筒の數を大いに減少し得る事がある (Peek氏 "Proc" I.E.E. Vol. XL, 1908 page 510 参照)

此の隔壁の作用は下の如くである。

隔壁のない普通の多隙避雷器に於て電圧が一様に分布されず線路に近い圓筒程高い電圧を受けて居るのは、圓筒と earth との間にコンデンサーがあり之に充電する電流が流れるからである。隔壁を設くれば各圓筒と隔壁との間にコンデンサーを生じ此のコンデンサーは圓筒間のコンデンサーと並列になるから初

第四百七圖



隔壁を有する多隙避雷器

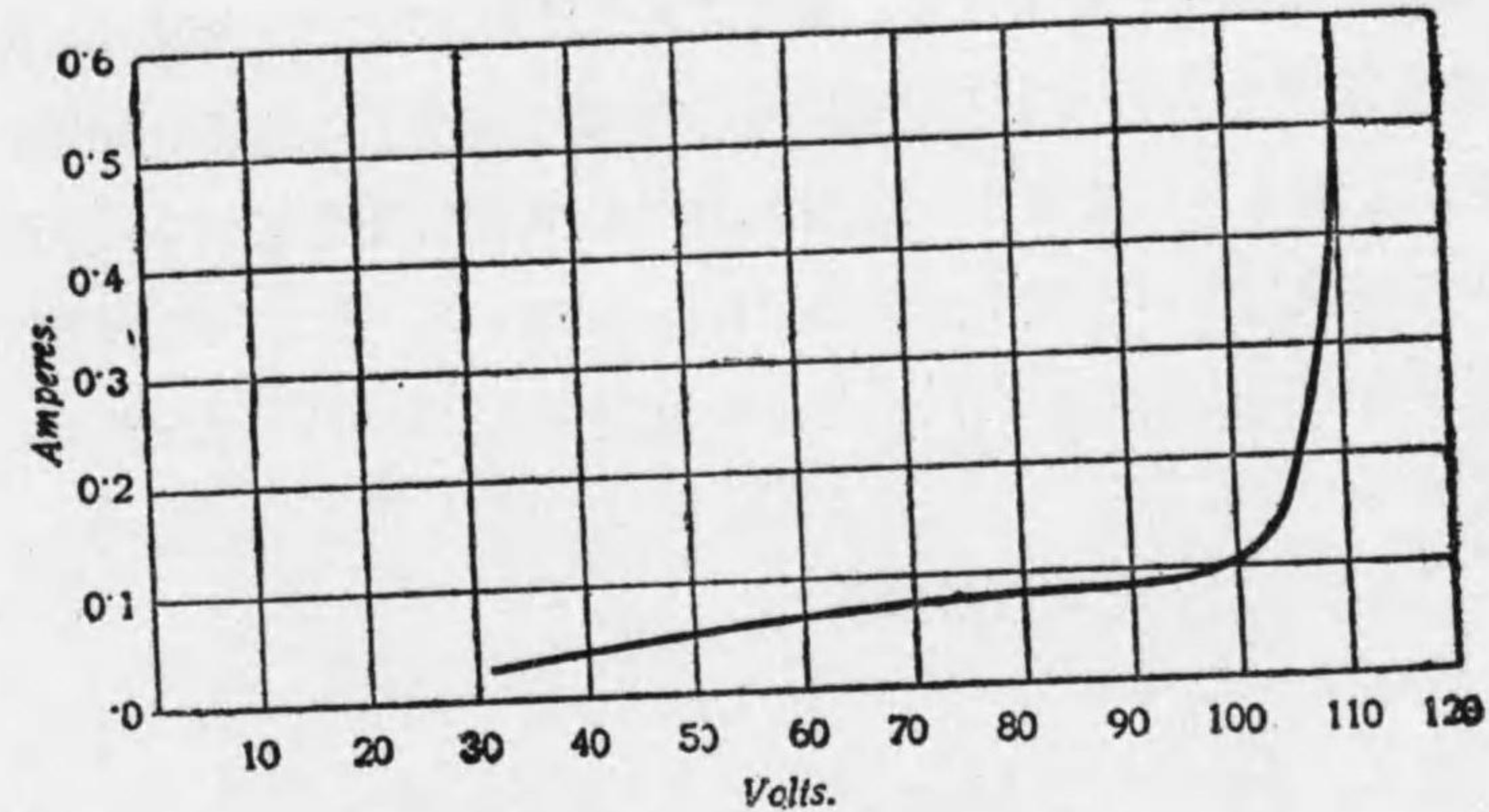
めの方の圓筒間のコンデンサーの容量を増加した事になるのである。

アルミニウム避雷器

アルミニウム板を陽極とし之を或る溶液内にて他の金屬と組合せると其の表面に絶縁性の皮膜を生じ或る電圧以内にては電極から電液に電氣が通じなくなる。例へば陰極に鐵板を使用しターミナルに交番電圧を加ふれば一定方向の電流しか流れない電解整流器は之を利用したものである。若し陽極も陰極と共にアルミニウム極を使用すれば或る電圧以内では殆んど何れの方の電流も通らない。此の事實を避雷器に應用す可き考案をなしたるは Ferranti で 25423 號 (1901年)の英國特許を得て居る。之は Electrician Vol. LVIII の 858 頁に發表されて居るから讀者は之を参照せらる可し。然しアルミニウムの面に成形された高い抵抗の皮膜の詳細なる性質に至りては猶不明な點がある “Engineering” 誌 May. 3, 1907 の “Electrolytic Valve Cells” の項参照)。

皮膜の破壊電圧は主として使用された電液の性質に關係し如何なる電液を使用すれば最も高き電圧に耐え得るかの研究は可なり行はれて居る。第四百八圖に示した曲線は重クロム酸加里と磷酸ナトリウムとの飽和溶液より得たる結果で界限電圧は 100 ヴォルトなり。此の電圧以上に於ては電極板を精細に點檢すれば其の表面から無數の小スパークを認む可く即ち皮膜が破れて電流の流通を示す。電圧を界限電圧以下に下せば電流は極

第四百八圖



電解避雷器の塞辨作用を示す曲線
 $K_2Cr_2O_7$ と磷酸ナトリウムとの飽和溶液に二枚の
 アルミニウム板を深さ二吋許り浸したる場合

めて僅少となる。現今使間されて居る電解避雷器の界限電圧は實効電圧 350 ヴォルト位である。此の特性を有する電池を集めて電槽を作れば規定電圧以上に電圧の上昇を來したものを處理するに甚だ好都合である。電池を數多直列に結び其の界限電圧を線路の規定電圧より少しく高く保つ時は線路に surge を起して電圧が高まれば電解避雷器を通じて接地し線路を保護する。電圧が規定の値に復すれば避雷器の抵抗が増加し發電機から大なる電流が接地する事が止む。依てアルミニウムの電槽を線路と earth との間に接続し置けば最も完全な避雷器となる。然し之は直流回線にしか使用する事が出来ない。交流回線に在りては下の如き理由で電槽を直接に線路に接続するを得ず。

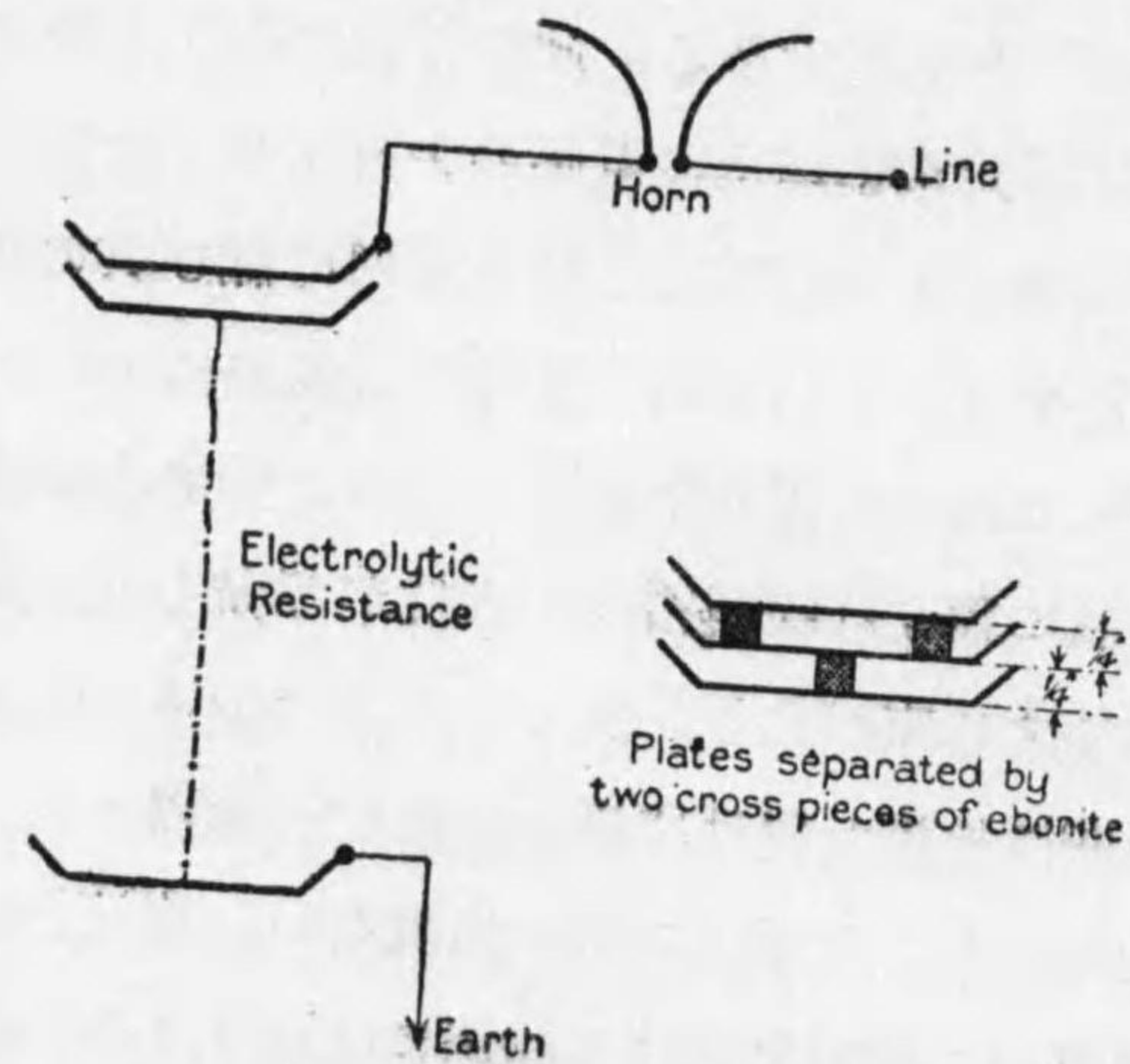
即ち交流の場合には電池はコンデンサーと考へられ極板の表

面の皮膜はコンデンサーの極板間の絶縁物と見做されるから或る静電気容量を有す可く、従て之に交番電圧を加へた時には充電電流が流れる。此の充電電流は電液を通過する際熱を発生し皮膜を破るに至る可し。實際上現今未だ放電間隙なしで交流回線に接続し得べき電解避雷器は作られてない。而も此の放電間隙を直列に接続すれば電槽を毎日充電するを要し電解避雷器の價値が大いに割引されてしまふ。猶此の點は後節にて述べむ。

アルミニウム避雷器の構造

第四百九圖は高壓回線に使用するアルミニウム避雷器の構造の原理を示すもので電槽はアルミニウム製の皿を何枚か重ね其の間に電液を注入し多數の電池を狭い場所に形成せしめたるものなり。各アルミニウム皿上の電液の表面は少量の變壓器油を

第 四 百 九 圖

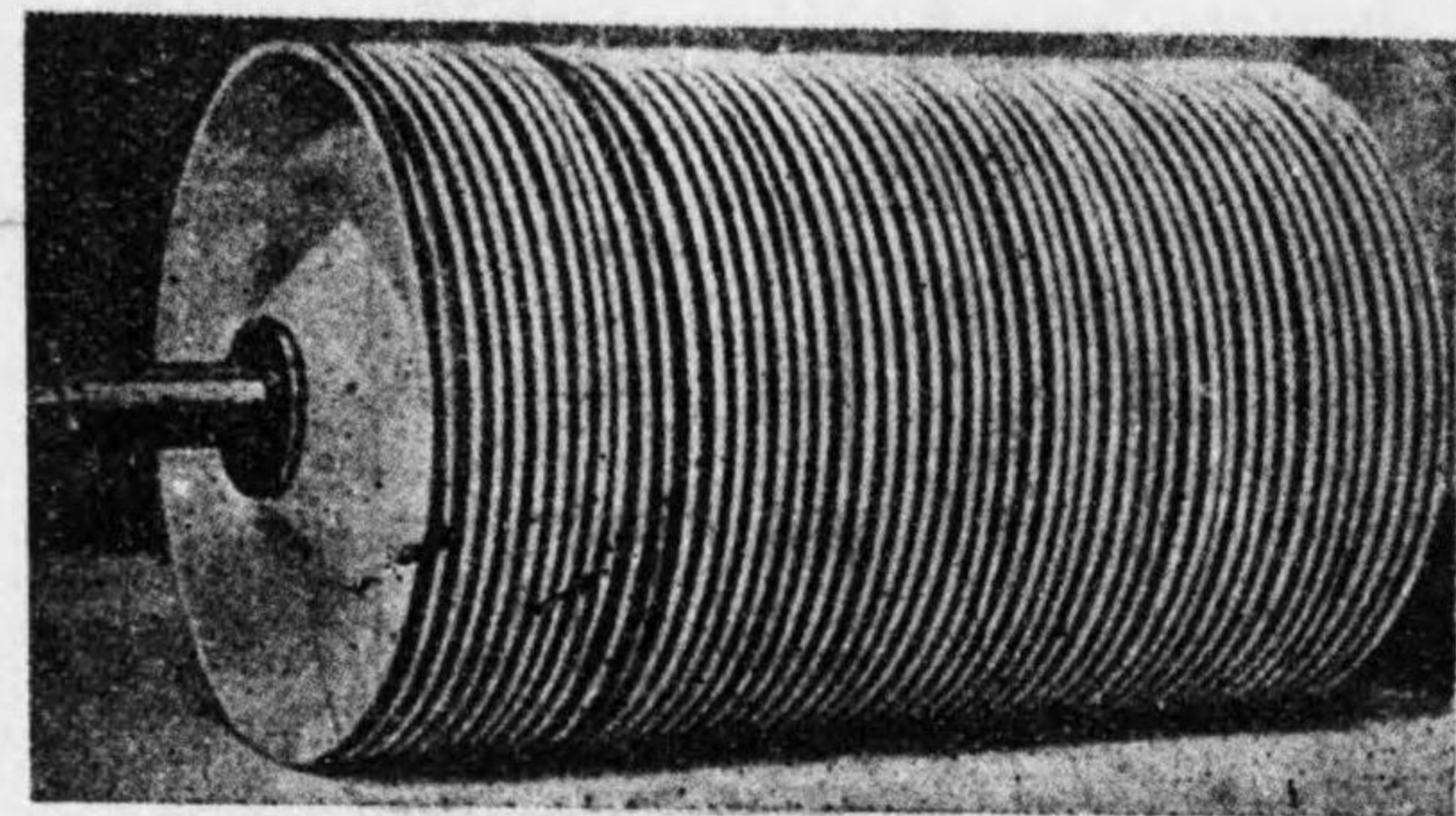


高壓アルミニウム避雷器の構造原理

以て覆ひ電液の蒸發を防ぐ。斯く組み立てたる電槽は之を絶縁タンク内に納める。

第四百十圖は組み立てられたる電槽である (Peak, I. E. E. "Journal" Vol. XL, 1908 p. 498 参照)。

第 四 百 十 圖



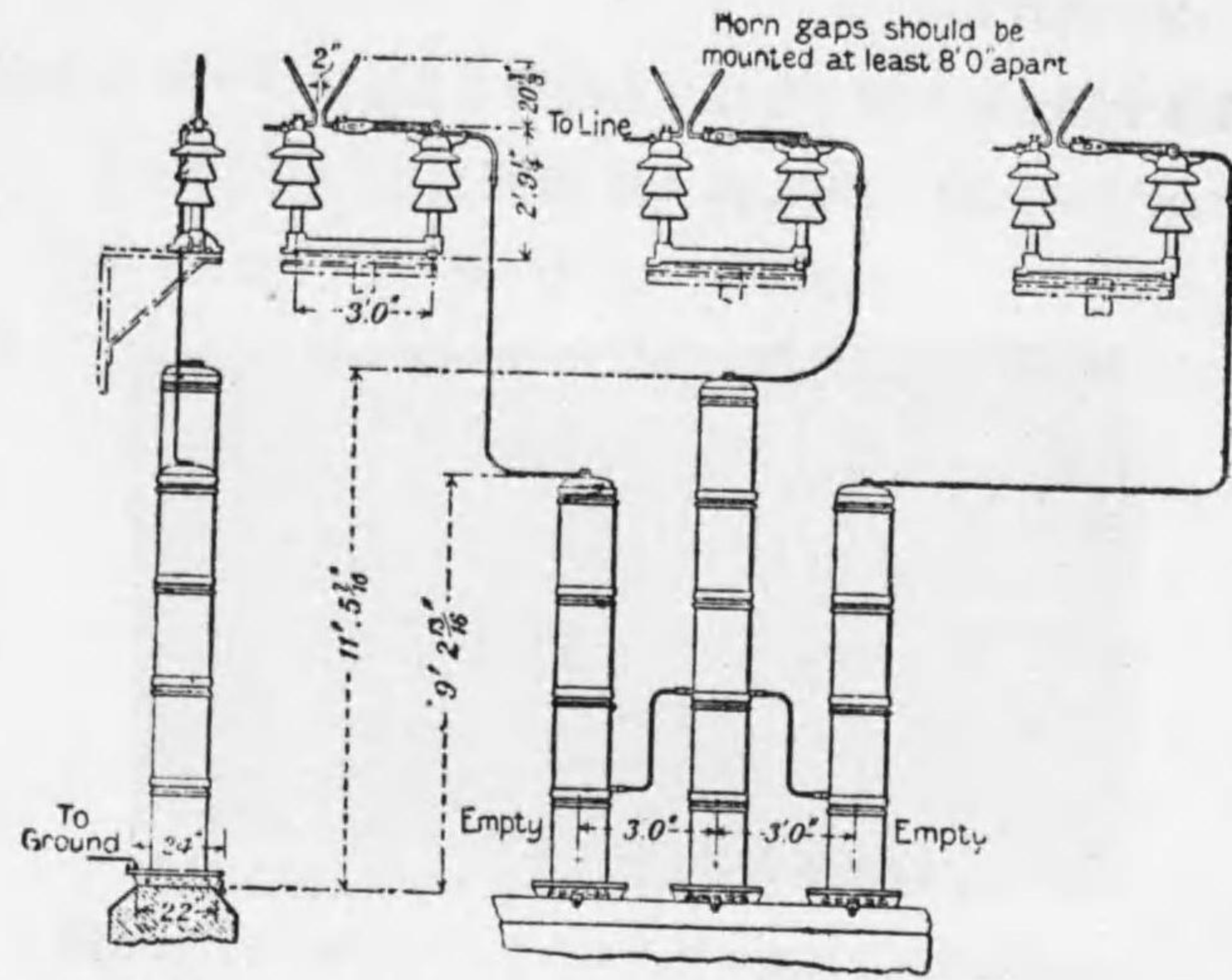
電解避雷器を作る多數のアルミニウム皿の重ねられたる圖

第四百十一圖は三相回線の接続圖で之れも Peek 氏の論文中より取りたるものなり。

交流アルミニウム避雷器の充電

アルミニウム極板の表面に形成された薄い絶縁皮膜は永く放電して置くと漸次分解して消えてしまふ。此の場合に surge があつて角型間隙を放電すればアルミニウム電槽は何等の抵抗をも與へぬから線路を抵抗なしで接地した事になり大なる電流が通る。此の障害を防ぐ爲め電槽は毎日一回充電しなければならない。充電は直列に結ばれて居る角型間隙を一時短絡し電槽を直接に線路に結べばよい。最初アルミニウム避雷器の充電は此の方法で行つたが、充電の瞬間 surge を起し絶縁を破り又一時に激しく充電電流が通るから避雷器自身をも破壁するの缺點が

第四百十一圖



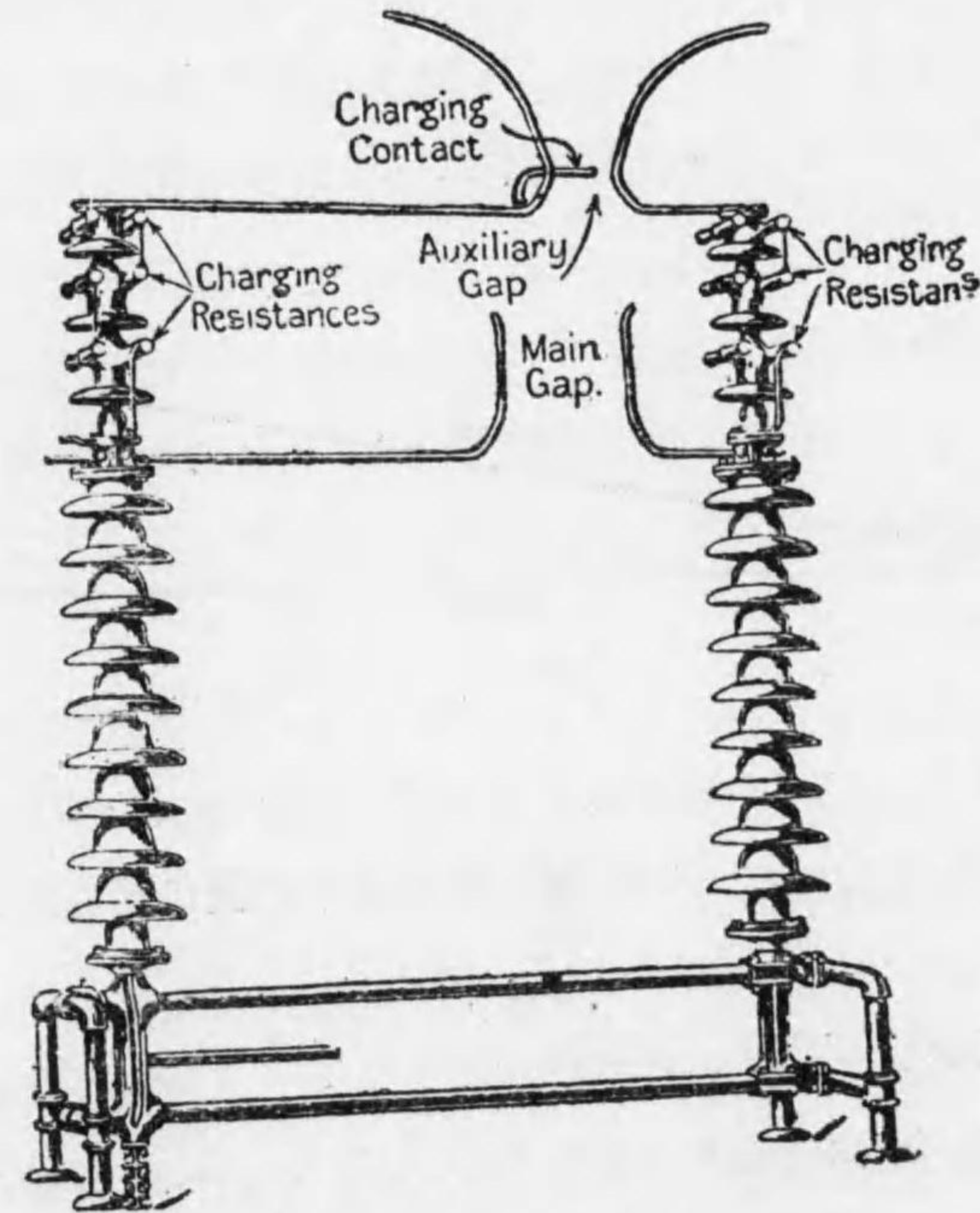
53,000 ボルト乃至 66,000 ボルト三相回線用アルミニウム避雷器の接続

ある。依て充電の際抵抗を使用し此の缺點を除く。充電用抵抗と直列に補助角型間隙を用ひ充電の際には此の間隙を短絡する。依て充電電流は其の直列抵抗によりて制限される。然し斯くては二重の角型間隙を要し頗る複雑となりアルミニウム避雷器の特長を殺ぐ事になる。

第四百十二圖は G. E. 會社製充電用角型間隙で主要角型間隙の外に直列抵抗を有する角型間隙がある。激しい放電の時には主要間隙のみを通り電流はアルミニウム避雷器の塞辨作用によりて制限され、あまり激しくない放電の時には主要補助兩角型間隙を通る。激しい放電の時下の主要間隙にてアークが発生

し此のアークが昇りて上の角型間隙に移れば抵抗が直列に入るから一層接地電流を制限するに至りアークを早く消滅せしむる即ち大きな電流のアークが大きいまゝで急に破れて電壓昇騰を起すが如き危険は大いに緩和される。補助角型間隙の左側に短絡用接觸桿が示されて居るが充電の際間隙の接觸は左側の碍子を全體下部の把手で廻轉し接觸桿を他の角に接觸するのである。充電には大概凡そ 10 秒を要するのみである。

第四百十二圖

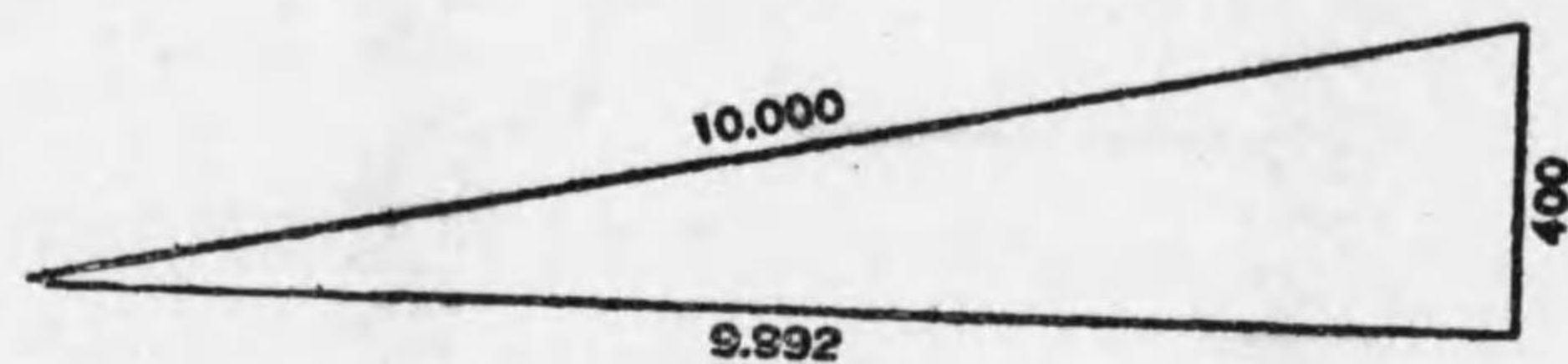


150,000 ボルト用アルミニウム避雷器の充電角型間隙 (General Electric. Co.)

アルミニウム避雷器の充電抵抗の値：—

一寸考へると充電用の抵抗は出来るだけ大とした方がよい様であるが、あまり大なる抵抗を使用すれば線路の規定電圧に對して適當なる厚さの皮膜を作る事が出来なくなる。幸ひアルミニウム避雷器はコンデンサーであるから其のターミナル間の電圧と充電抵抗のターミナル間の電圧とは 90 度の差がある。通常直列抵抗は充電電流を 10 アンペアに制限する様撰まれる。G.E. 會社標準アルミニウム避雷器の充電電流は 60 サイクルに於て全く充電された時 0.4 アンペアである (“General Electric Review” Vol. XVI, April, 1913 p. 251 E.E.F. Creighton 参照)。10000 ヴォルト用避雷器に於ては抵抗は 1000 オームと

第四百十三圖



アルミニウム避雷器の充電々壓を示す

なる。0.4 アンペアの時此の抵抗による drop は 400 ヴォルトとなる。其のベクトル線圖は第四百十三圖に示された様になりコンデンサーの兩端に於ける drop は

$$\sqrt{9992^2 + 400^2} = 10000$$

であるから 9992 ヴォルトとなる

即ち此の抵抗を用ひても線路電壓に對して充分な皮膜を作る事が出来る。

次ぎに此の抵抗を通じてコンデンサーを急に充電した場合に surge が起らぬかとの疑問が起るが、充電の際接觸部に於てスパークもアークも起らなければ surge は起らない。充電抵抗が線路の surge impedance の二倍以上であれば（即ち凡そ 800 オーム以上であれば）充電電流は非周期的のもので全く振動性とならない。Surge impedance とは前にも述べたが L 及び C を夫々線路一哩の self induction 及び capacity とすれば $\sqrt{\frac{L}{C}}$ で、10000 ヴォルト回線用直列抵抗が 1000 オームあれば如何なる架空線の surge impedance でも其の二分の一以下にありかゝる状態の本にありては充電電流は一回の振動をもなさず危険な surge は決して起らない。

然し之れは充電の際スパークやアークの起らぬ場合で、若し之等が発生すれば arcing ground となり、大なる抵抗を通じてアークが起る場合でも局部的電壓昇騰の爲めに固障が起る。依て現今では充電の際アークを防ぐ爲め充電角型間隙の部分にスプリングクリップを付ける。

Creighton 氏は前記論文中に於てアルミニウム避雷器は充電の際アークを發生しても arcing ground とならないと述べて居る。之れは避雷器内を電流が通過する場合には電氣化學的反作用が起り、丁度電流が抵抗を通る場合の如くエネルギーを吸収する事を基礎とした論で、實際電氣化學的にエネルギーを吸収するはやはり抵抗と見做す事を得べく電氣振動を消滅せしむる効果は同様である。之れによりて計算すれば一電池の等價抵抗は 100 乃至 730 オームとなる。従て Creighton 氏の説に

よればアルミニウム避雷器は常に arcing ground として働くを防ぐ可き充分なる等価抵抗を有して居る。

Greighton 氏の説は全線路の電気振動に對しては正しいものであるが Berg 氏の實驗にも明かに示すが如く局部的電壓昇騰は起り得べし。且つ充電の初め皮膜が全く消滅して居た場合には其の等価抵抗も著しく少なる可し。依て接觸部は機械的に出来るだけ完全にして充電の際スパークやアークの起らぬ様にするのが最も安全である。米國に於ける實例に徴しスパークを最少にし 10 アンペアの抵抗を通じて充電された場合には充分安全であると云ひ得る。

アルミニウム避雷器の保存上の注意

アルミニウム避雷器は他の避雷器に比し一層の注意と手入れを要す。従來電液中に細菌を生じ電液が自然に分解して故障を起した事が多い。然し今では幼芽の發生を許さない電液が作られ少くとも三年は使用し得るものが出来た。

直流回線用避雷器

直流回線用避雷器としてはアルミニウム避雷器が最もよい。アルミニウム避雷器は直流回線には直接に結ぶ事が出来何等放電間隙を要せぬ。即ちコンデンサーと直列に結ばねばならぬ放電間隙の缺點がなくなる。直流電壓は常にアルミニウム極板に絶縁皮膜を保ち高周波の放電も低周波の放電も共に容易に電池を通るから機械は完全に保護され又誘導荷重を急に開放したる場合の電壓昇騰に對しても保安の目的を達する事が出来る。か

る電壓昇騰は随分厄介なもので、之れが爲め發電所の何處かで絶縁が破れ短絡が起り或は遮斷器が働く例は澤山ある。著者の經驗した第一の例は直流を使用して居る或る炭坑に起つた。之れは單心鎧装ケーブルが使用されて居り其の鎧装をして歸線としてあつた。第二の例は或る電気化學事業に起つた。此際は (+)、(-)、の全線はどここの位置でも數呎離して配線されて居り大なる self induction を含んで居た。斯様な場合にはアルミニウム避雷器を發電機のターミナル或は危険な電壓昇騰が起りそうな場所に接続して置くを可とす。第四百十四圖は 500 ヴォルト直流回線用のアルミニウム避雷器で容器の蓋に充電リレーが付いて居る。之れは線路に接続した瞬間に直列に抵抗を入

第四百十四圖

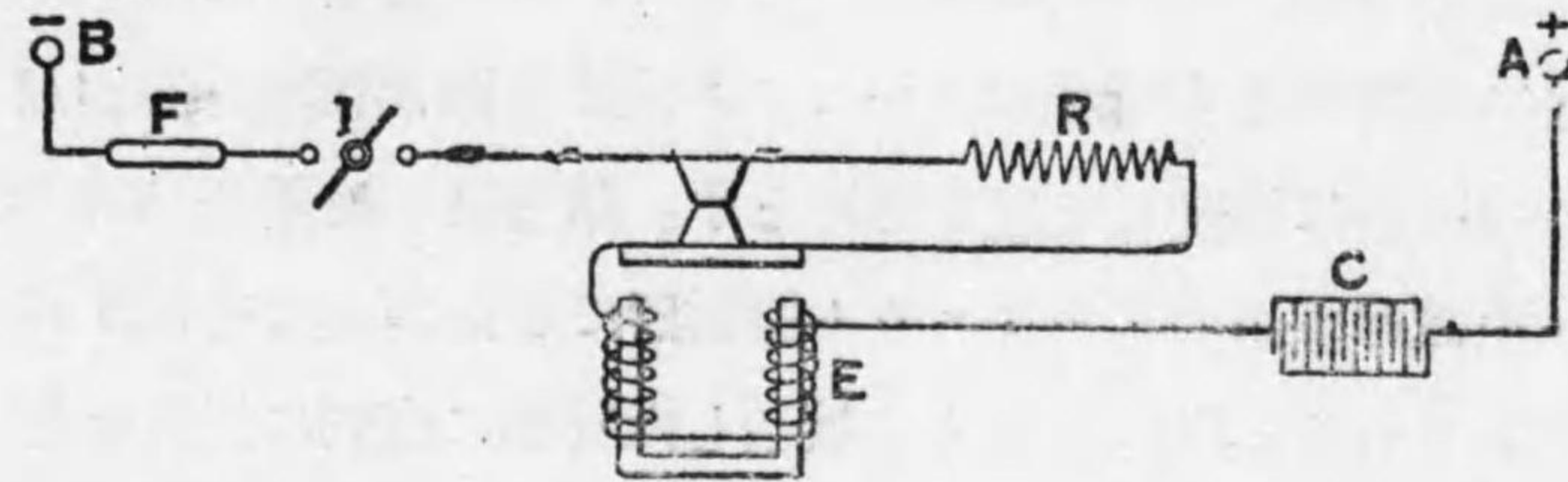


Charging Relay を有する直流アルミニウム避雷器

れる目的で、充電に要する時間は極く僅少であるが其の後は此の抵抗は自動的に回線から切り離される。

第四百十五圖に於て C はコンデンサーで E の電磁石によりコンデンサーを通る電流が僅少なる平時の漏洩電流に復せば R なる直列抵抗は短絡されてしまふ。

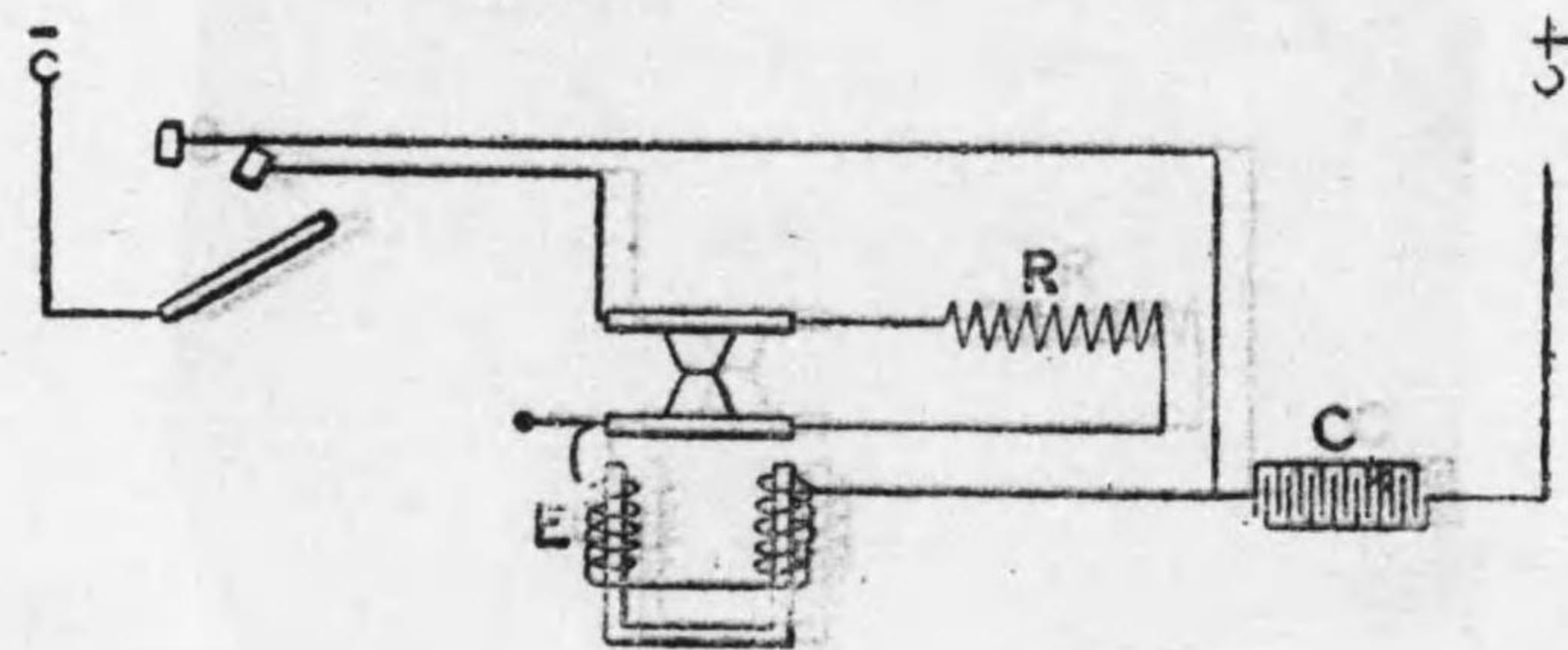
第四百十五圖



Charging Relay を有する直流回線用アルミニウム避雷器の接続

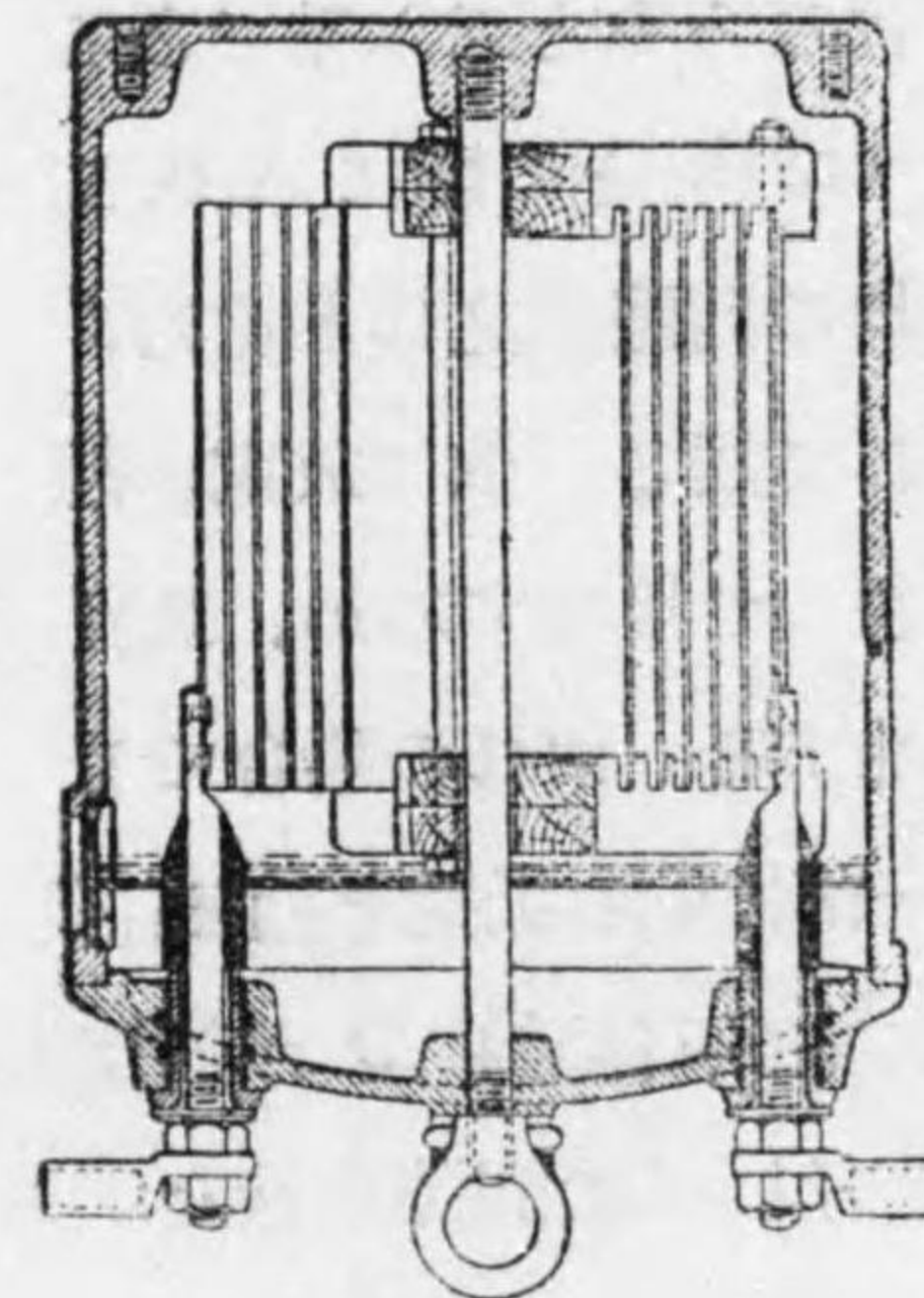
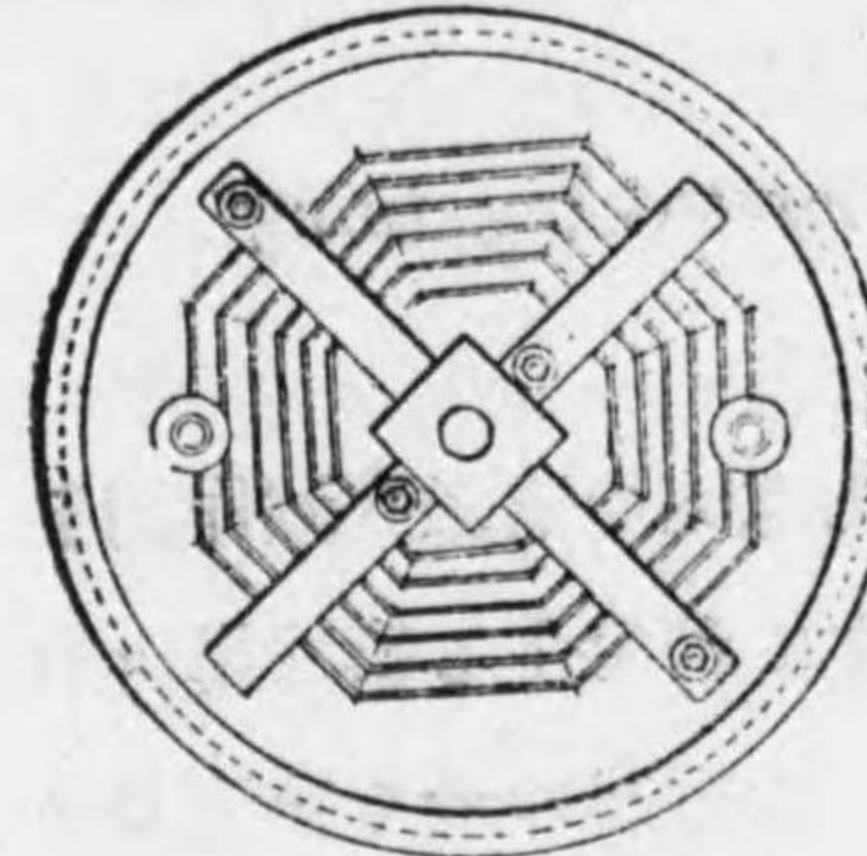
F はフューズで I は開閉器なり。然し第四百十五圖の如き接続法による避雷器を用ふれば E のコイルのインダクションは

第四百十六圖



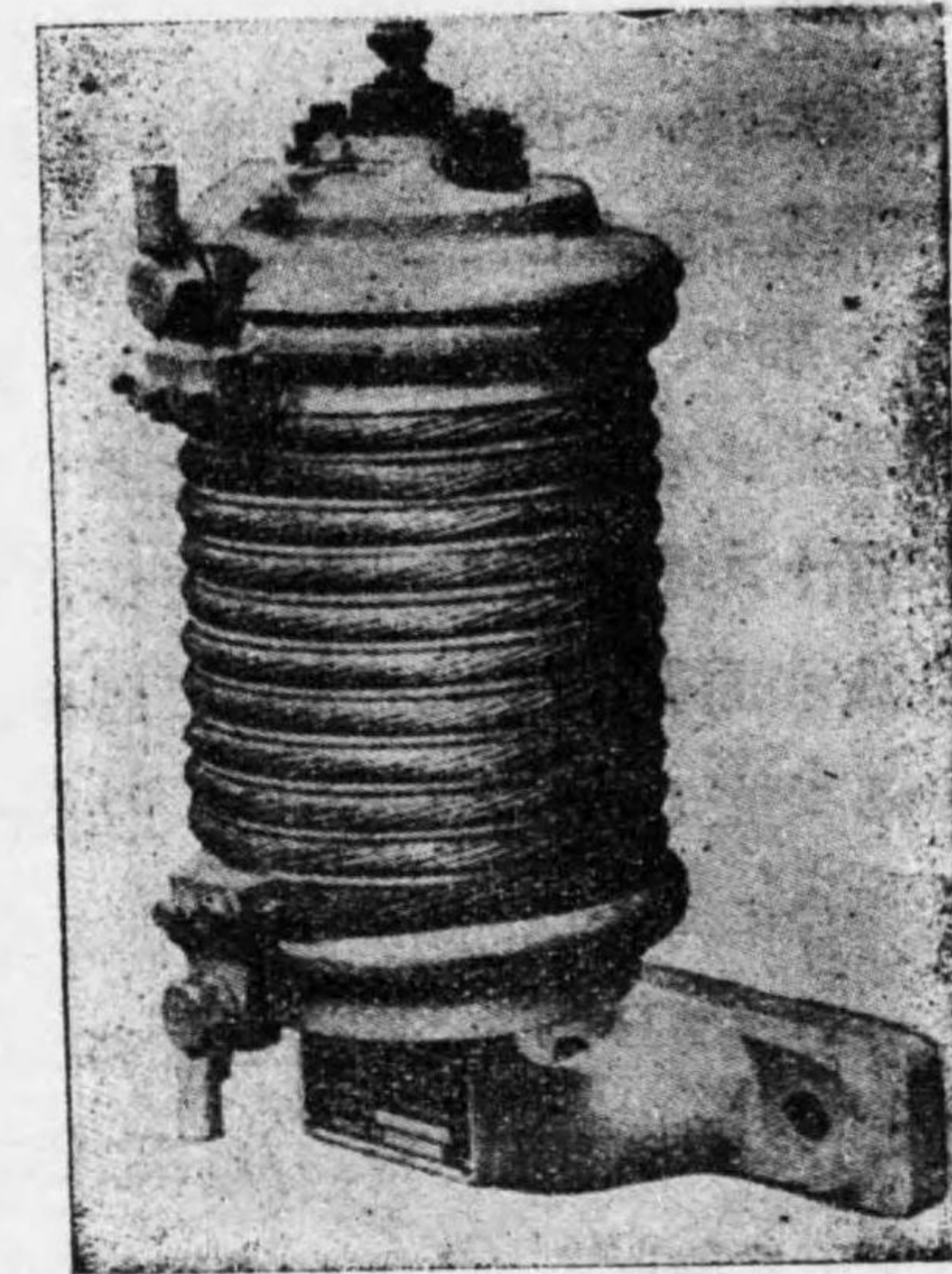
直流回線用アルミニウム避雷器、普通の運轉状態に於て E を切り離す装置を示す

第四百十七圖



直流アルミニウム避雷器の内部を示す

第四百十八圖



アルミニウム避雷器とチョークコイルとを組合せたる装置、(Isenthal & Co.)

極く僅少なものであるが常に電路内に結ばれて居る。依て C が全く充電された時には別の開閉器を用ひて E を全く電路外に置く方がよい此の開閉器は必要の場合には I と組み合わせ間違の起らぬ様にする事も出来る (第四百十六圖参照)

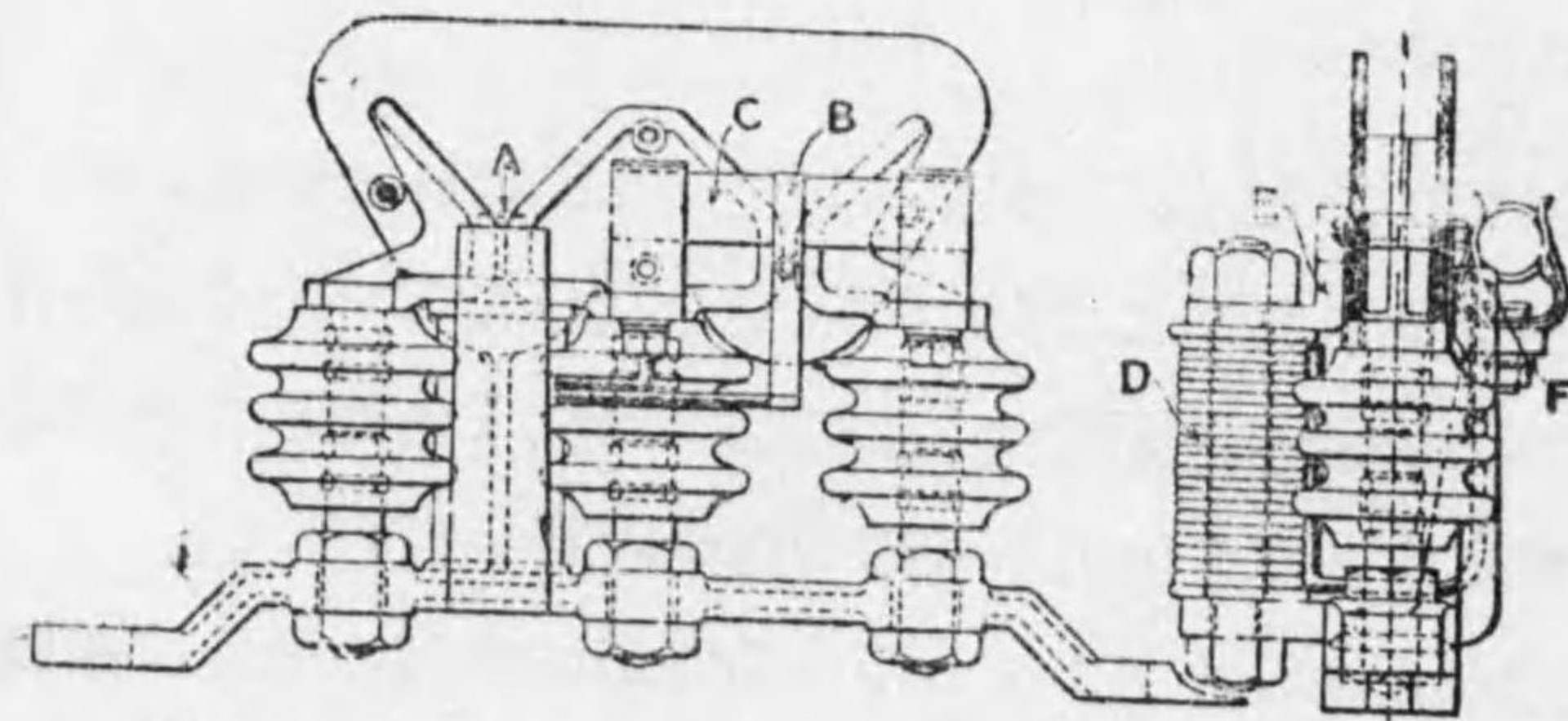
以上述べたる如きアルミニウム避雷器の内部の構造は第四百十七圖に示す如くで、第四百十八圖は之をチョークコイルと組

み合せたもので之れは適宜の場所から突き出た腕に取付ける事が出来る。

直流用電磁吹滅避雷器 (Magnetic Blowout Lightning Arrester)

放電に續いて發電機から流れる動力的電流の電磁吹滅作用を放電間隙に発生したるアークを吹き消すに利用する事は屢々行はれる事で、特に電車事業に多い。此の避雷器の最も重要な點は放電は電磁石の誘導捲線を通つてはならぬと云ふ點である。第四百十九圖は斯様な避雷器で線路と earth との間に A,B, 二個の放電間隙が直列に結ばれて居る。B の間隙は之れと並列に C なる抵抗 (凡そ 100 オーム) が結ばれて居る。依て放電が起つた場合には A の間隙から C の抵抗を通つて接地するか、又は激しい時は AB 兩方の間隙を通つて接地する。何れの場合でも放電に伴ふ發電機よりの動力的電流の一部は C の抵抗を通る。C の凡そ中央からターミナルが出て之れに電磁石捲線 D が結ばれ、D の鐵心は E,F なる二個の磁極を有し A の間隙を挟む。

第四百十九圖



500 ヴォルト直流回線用電磁吹滅避雷器 G. E. Co.

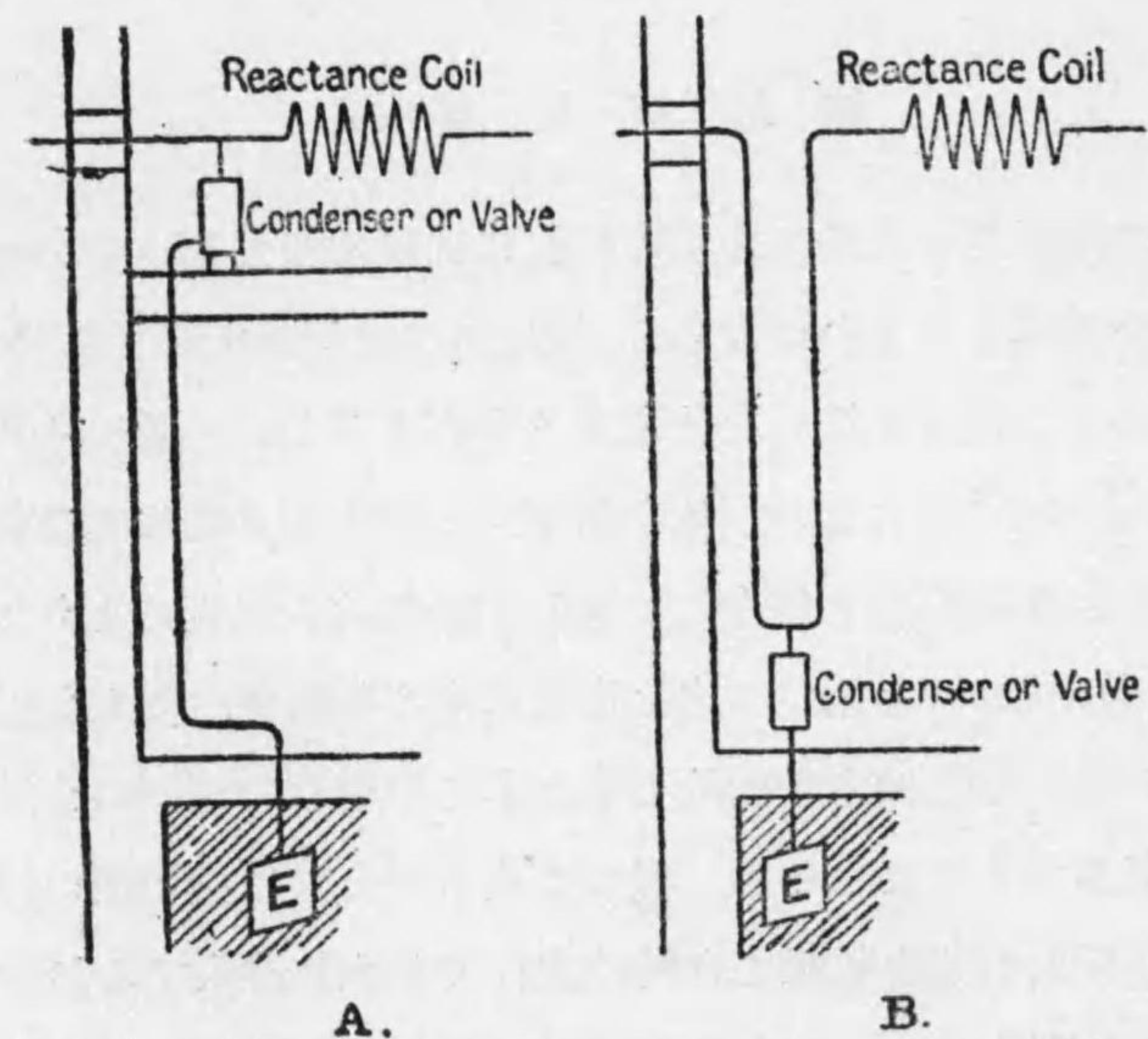
依て電磁捲線 D が勵磁さるれば A の間隙に磁束を生じアークを吹滅せしむ。第四百十九圖に示した避雷器には直列抵抗がない之れは一の得點である。

簡単な避雷器は間隙が一つで直列抵抗が用ひてある。此の場合電磁捲線は此の直列抵抗の中途より分れて居る。此の直列抵抗を有するものは第四百十九圖に示したものより放電容量は少ない。

避雷器の位置

線路に避雷器を附する位置は大いに注意を要する點で、障害

第四百二十圖



避雷器の位置の二つの極端な場合を示す

が線路に起り之れが発電所内に進入し来るを防ぐ場合には線路の入口に付けねばならぬ。保護すべき機械と避雷器との間にはチョークコイルを置くを要し、避雷器の接地法は充分完全なるを要す接地線が振れて居たり輪が出来て居たりすれば可なりなインダクタンスがあるから高周波の放電を早く earth に導く事が出来ぬ。

第四百二十圖は二つの極端な場合を示し、A 圖は悪い方法で B の場合の如く接地線が真直で最も短かいのがよい。実際には此の最もよい取付方法が実行出来ぬ場合もあるが、兎に角成る可く induction のない様にし容易に放電が接地する様な構造にしなければならぬ。

接 地 板 及 接 續

すべて避雷器を良好に作用せしむには接地板を用ひて earth と完全な接續をなさねばならぬ。接地板には屢々6呎×3呎× $\frac{1}{8}$ 吋位の亜鉛鍍せる鐵板を使用する事があるが、一般に4呎×4呎× $\frac{1}{16}$ 吋位の大きさの銅板を使用す。亞土壤の地にては銅板を腐らすから銅に錫を鍍金して使用す。地方の状況によりては一層複雑な接地板を用ひて之を完全にするを要す。即ち金屬の框を組み籠形とし地中に埋める事がある接地板の四周の土壤は常に濕氣がなくてはならぬ。従つて或る場合には接地板の側まで鐵管を挿入し置き乾燥した時は之れより水を注入するが如き方法を取る事もある。大なる発電所などでは接地板は何枚も必要である。重要な機械器具は各々専用の接地板を成る可く其の

近くに設くるを可とす接地線内には開閉器を備へ置き必要に應じいつでも接地板の抵抗を測定し得る様にし各接地線は共通の太い線で連絡し置くを要す(此の連絡線は各接地板を別々に試験し得る爲め開閉器の前で結ぶ可し)。此の線は建築物の鐵骨とか水道鐵管とか其他すべての接地した金屬體に結ぶを可とす水道管の如きものは夫れだけで決して接地接續に對して信用してはならないすべての機械の接地したフレームは勿論此の接地線に接續す可し。

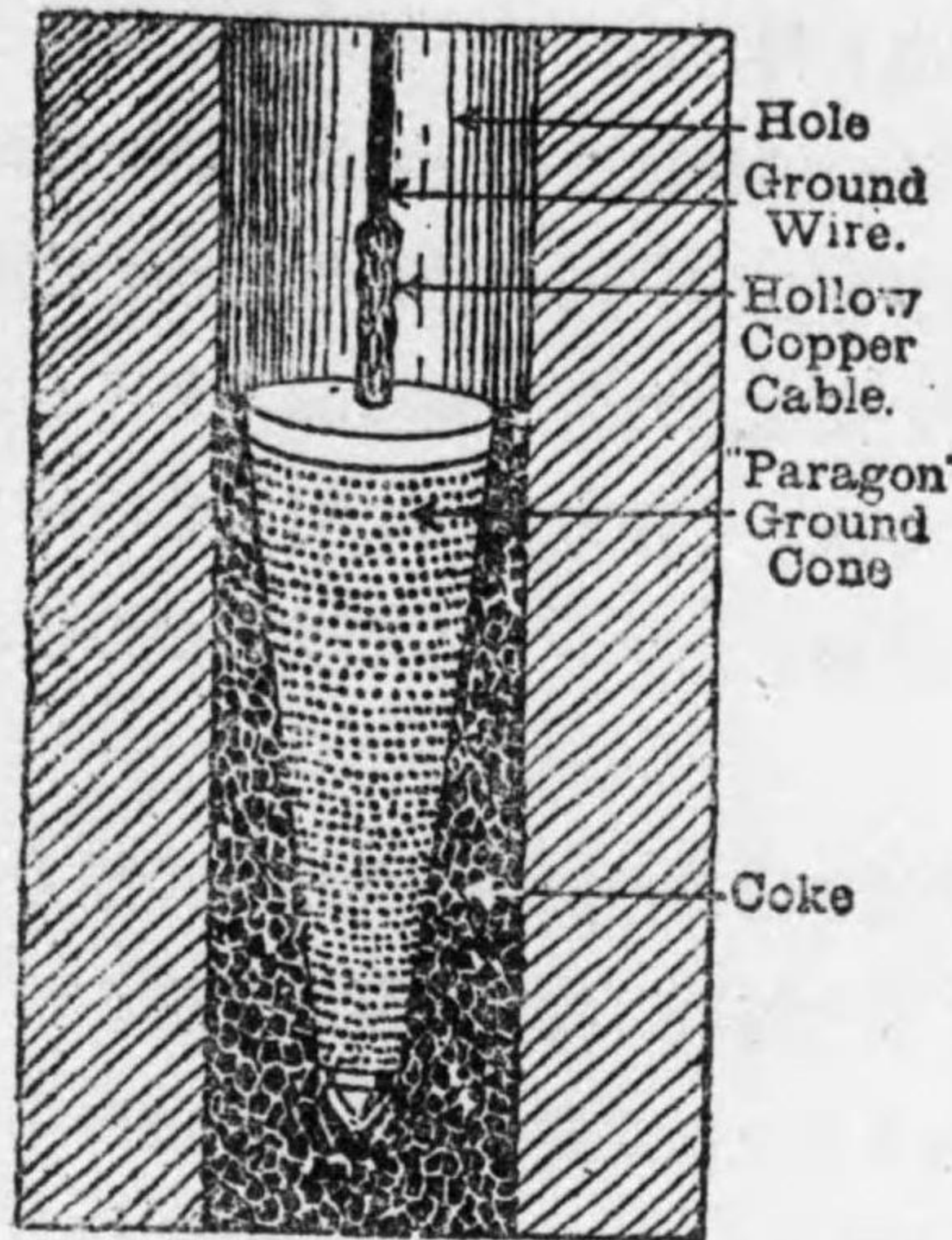
接地板の抵抗に關しては英國では市街鐵道輕便鐵道に電力を使用する規則中に二十ヤード以内毎に二枚(歸線が絶縁されて居ない場合)の接地板を使用すべき様規定してある。此の場合接地板の抵抗は一接地板から他の接地板に earth を經て2アンペアの電流が通つた時4ヴォルト以下の電壓下降を來すものたるを要す。即ち各板の抵抗は1オーム以下なるを要す之れは良好なる接地接續の標準となる。

圓錐形接地板

第四百二十一圖に示したのは大きな穴を掘らないでもよい様な接地板で、小孔を穿てる銅板を圓錐形に曲げ尖端に銅塊を附し之れに豆大の木炭を滿したるものである。尖端の銅塊に中空撚銅線をハンダ付けし之れに接地線を結ぶ。圓錐筒の上部には銅蓋を降す。

先づ孔掘鑽で孔を穿ち下部及び接地板の周圍にコークスを充し土を以て覆ふ。コークスは毛管現象で水分を吸収し接地板のまはりに常に濕氣を帶ばしむ。

第四百二十一圖



圓錐形接地板

炭坑に於ける接地板

炭坑に於ては電撃を避ける必要上接地接続は特に良好ならしむる必要がある。例へば一オームの抵抗を有する一板の接地板があり circuit breaker が働くまでに 500 アンペアの電流が通つたとすれば接地板の電圧は earth 以上 500 ボルトとなり極めて危険な状態に達する

英國內務省より發表された規則（炭鑛 1911 條、總則 1913 年七月十日）には下の如く規定されて居る。

“接地板は銅、鑄鐵又は亞鉛鍍鐵板とす。

“鑄鐵板を用ひたる場合には之れより多數の爪を出し earth との接觸面積を大ならしむ可し。接地板は四呎平方以上の大きさとし地中に於て垂直の位置を取り其の兩面には凡そ 12 吋の厚さに細かき硫黄分なきコークスを壓着せしむ。地中に於ける深さは地方の状況に應じ深淺あるも常に水分ある所まで掘り下ぐ可し。”

C.P. Spark 氏は (“Proceedings” I.E.E. Vol. LIII, p. 339. 1915) 上述の良い方法で線路に裝置した接地板も 2 オーム若し

くは夫れ以上の抵抗を有する事があると述べた。依て斯様な接地板では二板使用しても安全とは云ひ難い。即ち實際此の事に當る技術者は大いに此の點に注意するを要す。猶前述の如く發電所に於て多くの接地板を用ひ之をパイプや鐵骨に結ぶ時は 0.01 乃至 0.03 オーム位の抵抗となる (C. P. Spark)

チョークコイル

保安裝置に使用されるチョークコイルは開放式の鐵心のないものが多く、平に捲いたものとソレノイド形に捲いたものとある。平に捲いたものは銅條を使用し其の層間に絶縁物を用ふる事がある。然れども澤山の回数を捲く事が出来るが層間の絶縁物が破れ易い。實際各回線間には非常な高壓が集中されるものであるから層間には絶縁物を用ひず相當の空隙を存して置いた方がよい。此の點に就いてはソレノイド形の方が作り易い。

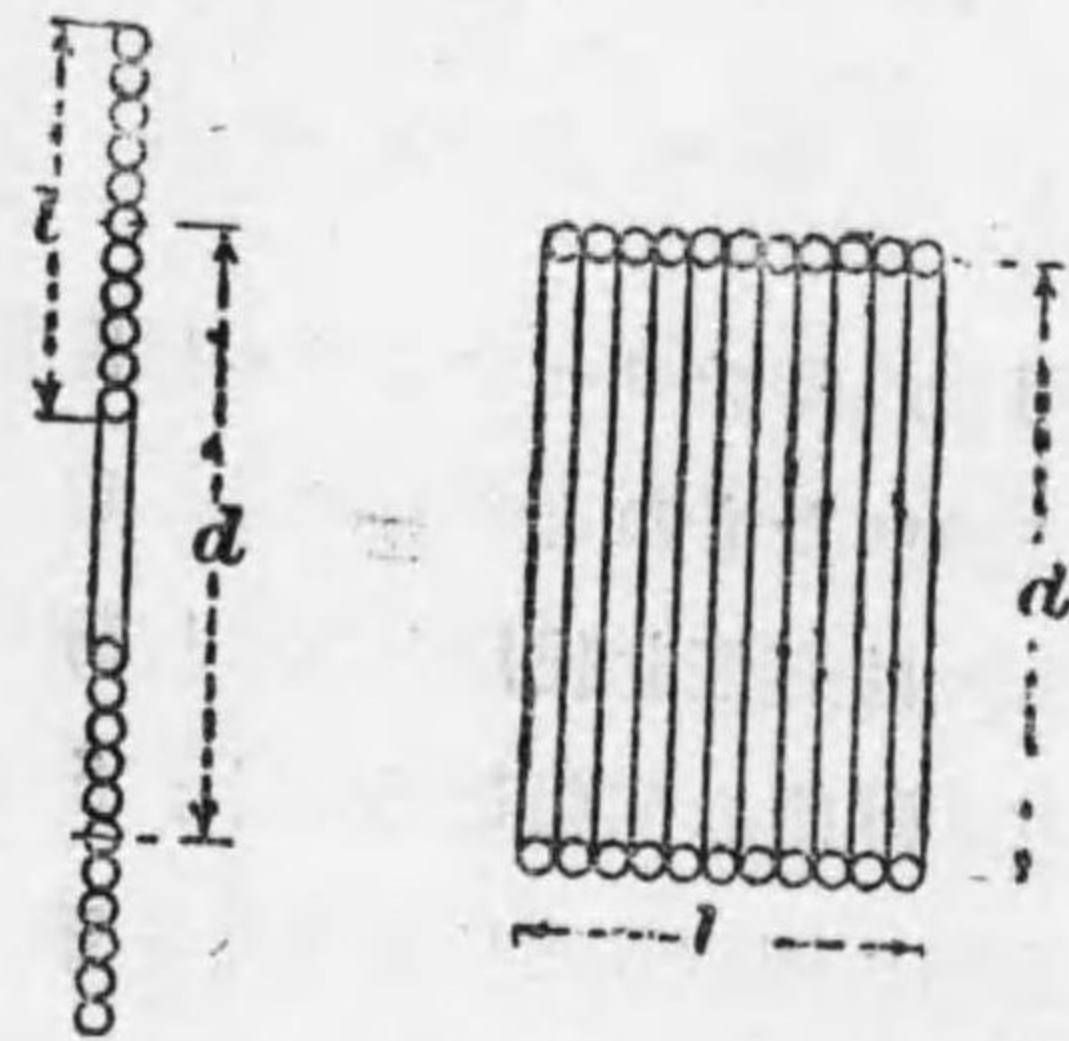
チョークコイルの自己誘導の計算

種々の形狀をなしたるコイルの self induction を計算する式は物理學者が詳しい公式を發表して居り、之等は標準の計器などのコイルを計算するに最も必要なものである。然し配電器具の engineer は大體の値を知ればよいので正確の度も 2,3 パーセントでよい。かかる程度に於て簡単に計算する材料は容易に得られる。

若し扁平型と圓筒型とに於て第四百二十二圖に示す如く相等しき直徑の線で等しい回数だけ捲き其の平均の半徑を等しくすれば兩者の self induction は相等しい (Fleming “Journal”

I.E.E. Vol. XLIV, 1910 p. 357 比較之れは數層のコイルでも其の平均半径が等しく厚さ幅が等しければやはり適當される。依て扁平なコイルの計算を簡単にやるには先づ之を圓筒型のものに引き直し其の self induction を計算するがよい。

第四百二十二圖



相等しき self induction を有する扁平型、圓筒型チョークコイルの比較

ソレノイドの self induction は次の公式で與へられる：—

$$L_{\text{ヘンリー}} = \frac{\pi^2 d^2 N^2 K}{l 10^9} \dots \dots \dots (23)$$

但し

d = コイルの平均直径センチメートル

N = コイルの全回数

l = コイルの軸の方向の長さセンチメートル

= N/l_p 但し l_p はコイルのピッチ

K = コイルの l:d の比によりて變ずる係數

此の値は Coursey 氏 (The Electrician, 1915 p.

841 Vol. LXXV 参照) によりて簡便に與へられ

第四百二十六圖、第四百二十七圖は之れより取つたものである。

第四百二十六圖を如何に使用す可きかを説明する爲め次の如き實例に就て計算せむ：—

ソレノイドの回数 N = 15 回

平均直径 d = 14.5 センチメートル

軸の方向の長さ l = 6.45 センチメートル

然れば $L = \frac{\pi^2 \times 14.5^2 \times 15^2 \times K}{6.45 \times 10^9}$

而して $\frac{l}{d} = \frac{6.45}{14.5} = 0.445$

依て第四百二十六圖より K = 0.5 を得

即ち L = 36,210 × 10⁻⁹ となる。

Fleming 氏は其の論文の 361 頁に於て上記のコイルを實際に測定したる 37,340 × 10⁻⁹ ヘンリーを得たと發表して居る。即ち此の計算は大體實際に合つて居り僅か 3.1 パーセントの差があるのみなるを知る可し。

すべて扁平なチョークコイルの self inductance を計算するには第四百二十二圖に示した様な之れに對應す可き圓筒型のチョークコイルを考へ其の self inductance を計算すればよい。

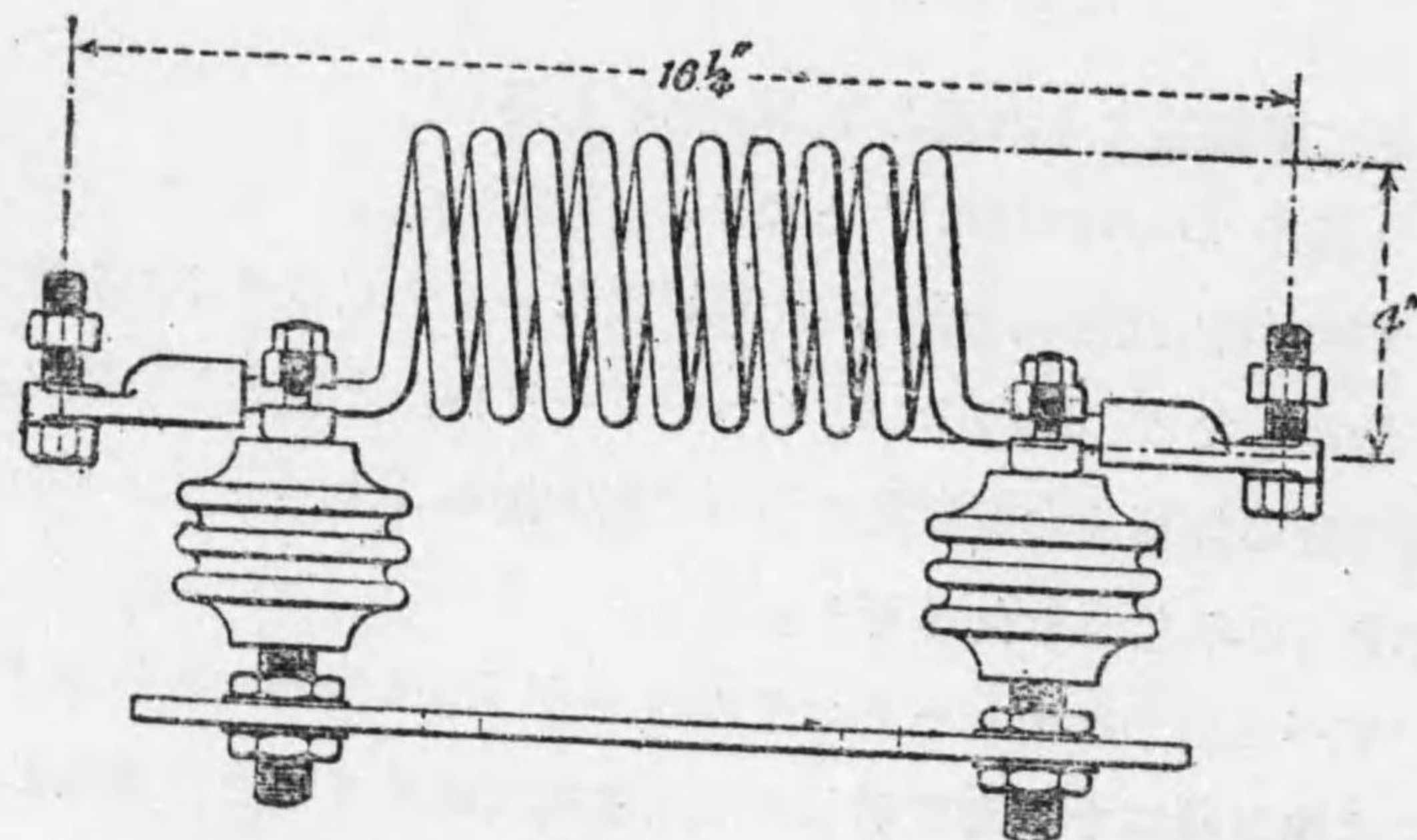
チョークコイルの形式

第四百二十三圖に示した型のチョークコイルは避雷器と共に使用さるゝもので多くの製造家の造る形式である。圖示した寸

法ば 200 アンペア 3300 ヴォルト用のもので、コイルの線の長さは凡そ 110 吋ある。此の長さの線は回数を減じ大きい直径に捲く事が出来るが**第四百二十六圖**より等しい長さの線を種々に捲き下の如き結果が得られる。

回数 N	直径 d	長さ l	$\frac{l}{d}$	K	自己誘導係数Lヘンリー
10	3.5吋	8.25吋	2.4	0.84	$3,133 \times 10^{-9}$
8	4.4吋	6.6 吋	1.5	0.77	$3,630 \times 10^{-9}$
6	5.9吋	4.9 吋	0.83	0.65	$4,169 \times 10^{-9}$
4	8.8吋	3.3 吋	0.376	0.46	$4,330 \times 10^{-9}$
2	17.8吋	1.65吋	0.094	0.2	$3,765 \times 10^{-9}$

第 四 百 二 十 三 圖



避雷器と共に使用するソレノイド型チョークコイル
200 アンペア 3300 ヴォルト用

即ち此の長さの線を用ひて最も多い自己誘導係数を得るには回数を四と直径を凡 8.8 吋とす可し。然し此の大きさのコイルは

機械的強さが少で広い場所を要する。依て実際には之れより回数が多い直径の小なるものを採用する。然し機械的強さをあまり減じない程度に於て**第四百二十三圖**のコイルは猶直径を大とし回数を減ずる事が出来る。猶單にコイル捲の上からは扁平型は之れに對應するソレノイド型と相等しい self induction を有するに過ぎずしてあまり効能はない。

扁平型に於て太い角鋸線を用ひ層間に薄い絶縁を施すか又は狭い空隙を與ふるかすれば小形で比較的大なる self induction を得る事が出来る。然し層間の距離が狭ければ相互間に Steinmetz 氏の説の如く相當の静電氣容量が出来保安装置としての効果を害する。

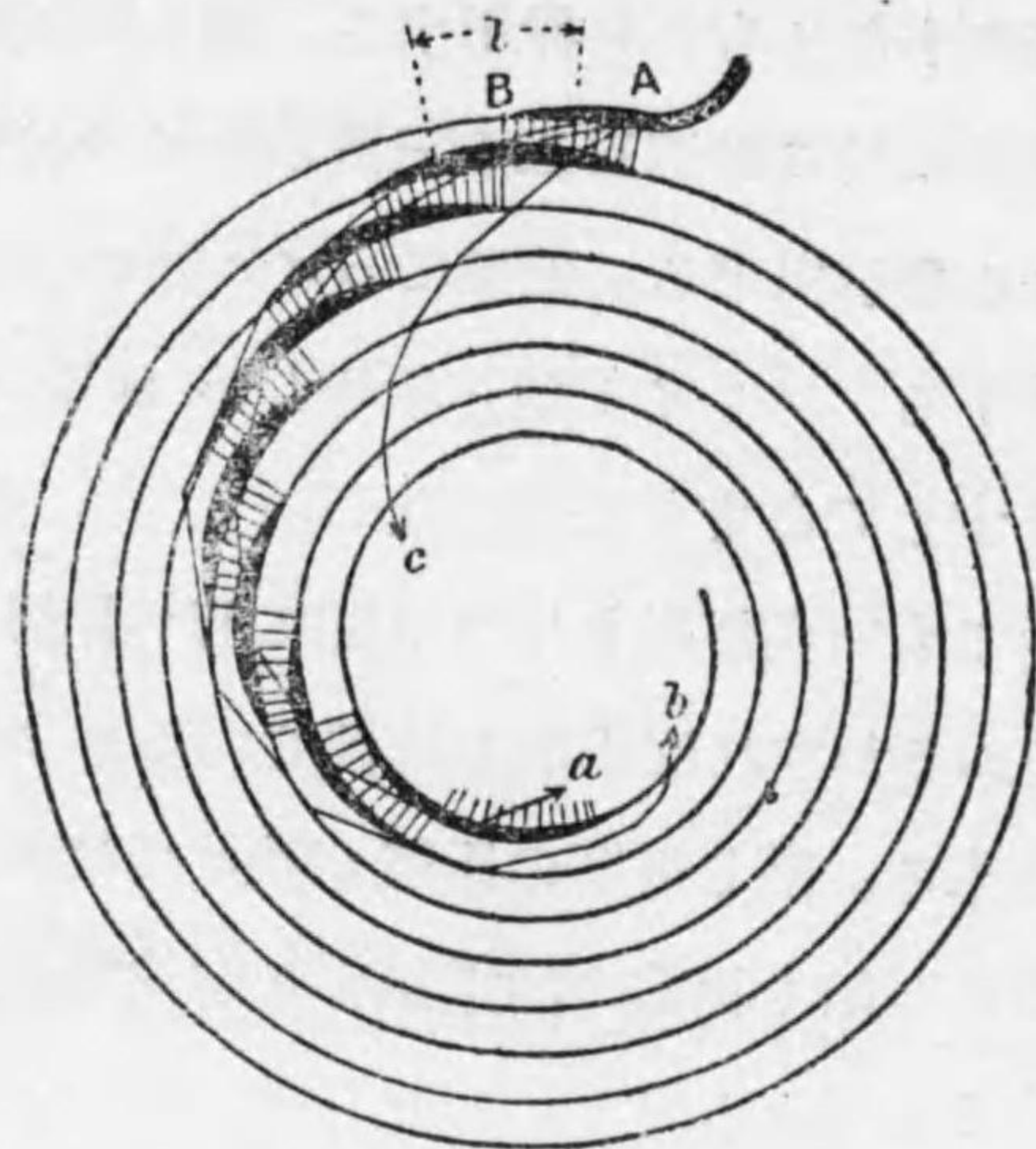
チョークコイルの保安作用に及ぼす分布容量の影響

扁平型のチョークコイルに於て銅條な使用し層間を接近せしめて作りたる場合には其の静電氣容量は可なり大となるがソレノイド型のもの容量が少であるから之を考へる必要はない。

此の影響は Steinmetz 氏によりて説明され (“Transaction” American Institute of Electrical Engineers. Vol. XXV 1906 p. 908 参照) **第四百二十四圖**は此の作用を説明する爲め Steinmetz 氏の考案したものである。

圖に於て黒い波形の隆起は放電電流がぐるぐる各層を廻らないで(誘導作用の多き通路)層間のコンデンサー(誘導作用なき通路)を通りて抜け出すを示したものである。此の作用は極めて高周波の場合にのみ起るものであるが従てかゝる高周波の放電に對しては此のチョークコイルは何等効力のないものとな

第四百二十四圖



layer 間に static capacity がある場合電流は inductive path を通らないで condenser の noninductive path を通るを示す。

る。第四百二十四圖に於て波状隆起の高さは其の點に於ける導線の電流を示す實際には電流の通過する状態はそんなに簡單ではなく各層からは反射が起り従て干渉が起り交點が出来る。然し大體の原理に於ては圖に示す如くである。

此の影響に對する基本的計算法は下の如し。

L = 導線の單位長さ毎の self induction

C = ' ' capacity

f = 放電の周波數又は travelling wave の波頭の急度の之れに相當する周波數 (前述の travelling wave の項参照)

l = コンデンサーの中心からコンデンサーの中心までの距離 (第四百二十四圖参照)

然れば Cl = 順次各層によりて形成されるコンデンサーの各の容量

Ll = コンデンサーの中心からコンデンサーの中心に至る近道の inductance

擬電流がコイルを通る路は a, b, c 等多數の通路がある。然し capacity reactance と inductive reactance 等しい通路は一本しかない、即ち

$$\frac{1}{4fCl} = 4fLl \dots\dots\dots (24)$$

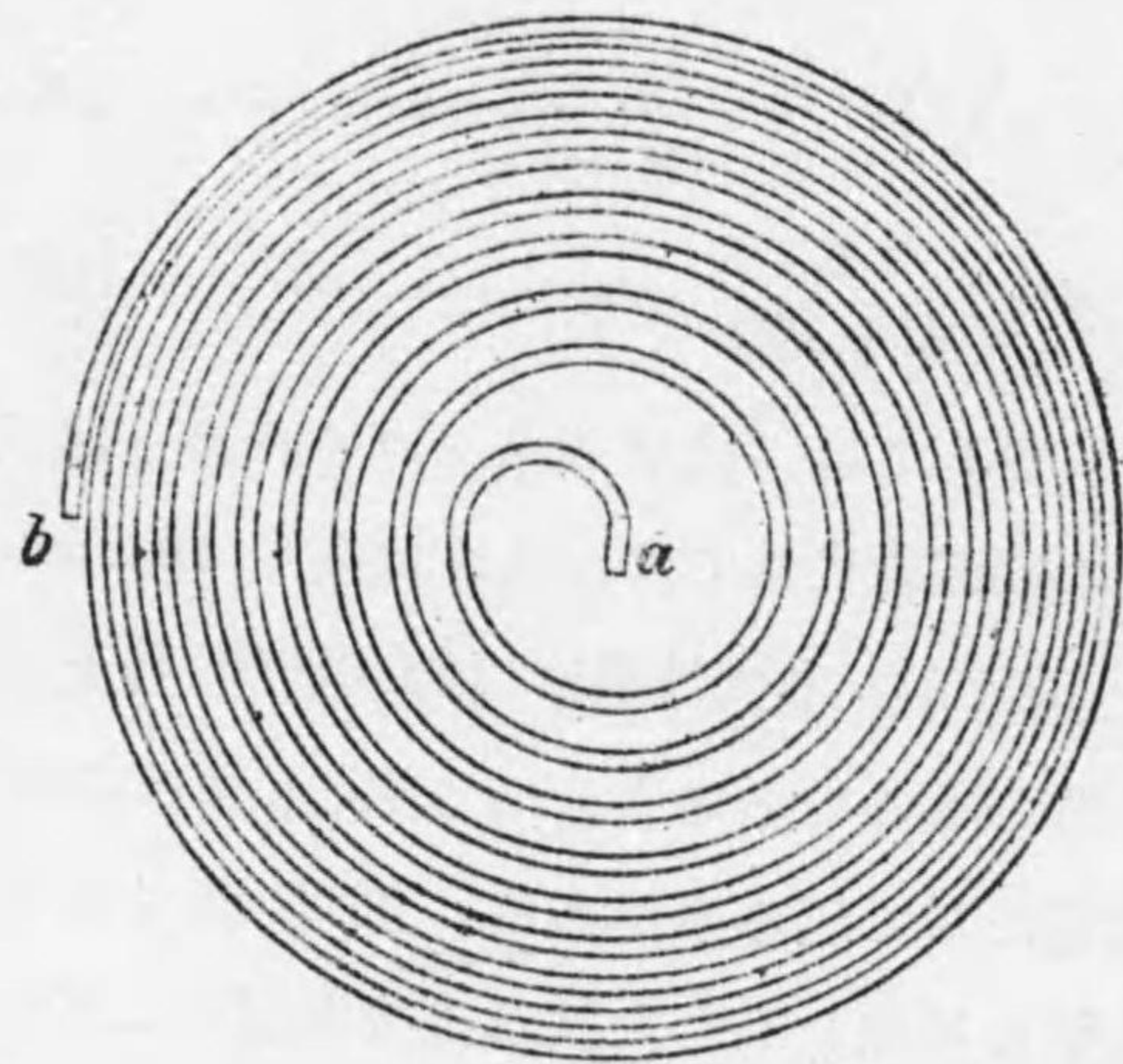
即ち $f = \frac{1}{4l\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (25)$

或る周波數に對しては l はチョークコイルの一回の長さに等しくなる。此の周波數に於てはコイルは全く reactance がない Steinmetz 氏はかゝる周波數は 10,000,000 乃至 10,000,000 サイクル毎秒位のものであると云つて居る。かかる周波數は線路から來る放電に於て起る事がある。即ち遠くから來た放電でなく或る急峻な波頭を有つた波が漸次發電所に近づいて來た時何か障害物に妨げられ遂に之を飛び越え近くの他の導線又は空間に移つた場合に起るものである。

注意:—Capacity, inductive reactance は self induction, capacity が導線に沿ふて分布されて居るものとして考へた (Steinmetz の "Electric Discharge, wave & Impulses" 1911 McGraw Hill Book Co. N.Y. p. 78 参照)

遞減チョークコイル：——以上の如き缺點を除く爲め Highfield 氏 Duddell 氏等は**第四百二十五圖**に示す如きチョークコイルを考案せり（英國特許 15,356/1914）線路からの電流は a より來り、内側に於てはコイルの層間の距離は大で外側に至るに従ひ狭くなる。即ち内側は capacity が小で之れによりて放電電流に對して capacity 少く reactance の大なる通路を與へる事が出来る。又コイルを二つに分割し線路側に結ぶものの層間の距離を大としても同様の効果が得られる。

第四百二十五圖



Highfield & Duddell の Graded chock coil a
は線路には保護すべき機械に結ぶ

保安に必要なリアクタンスの量

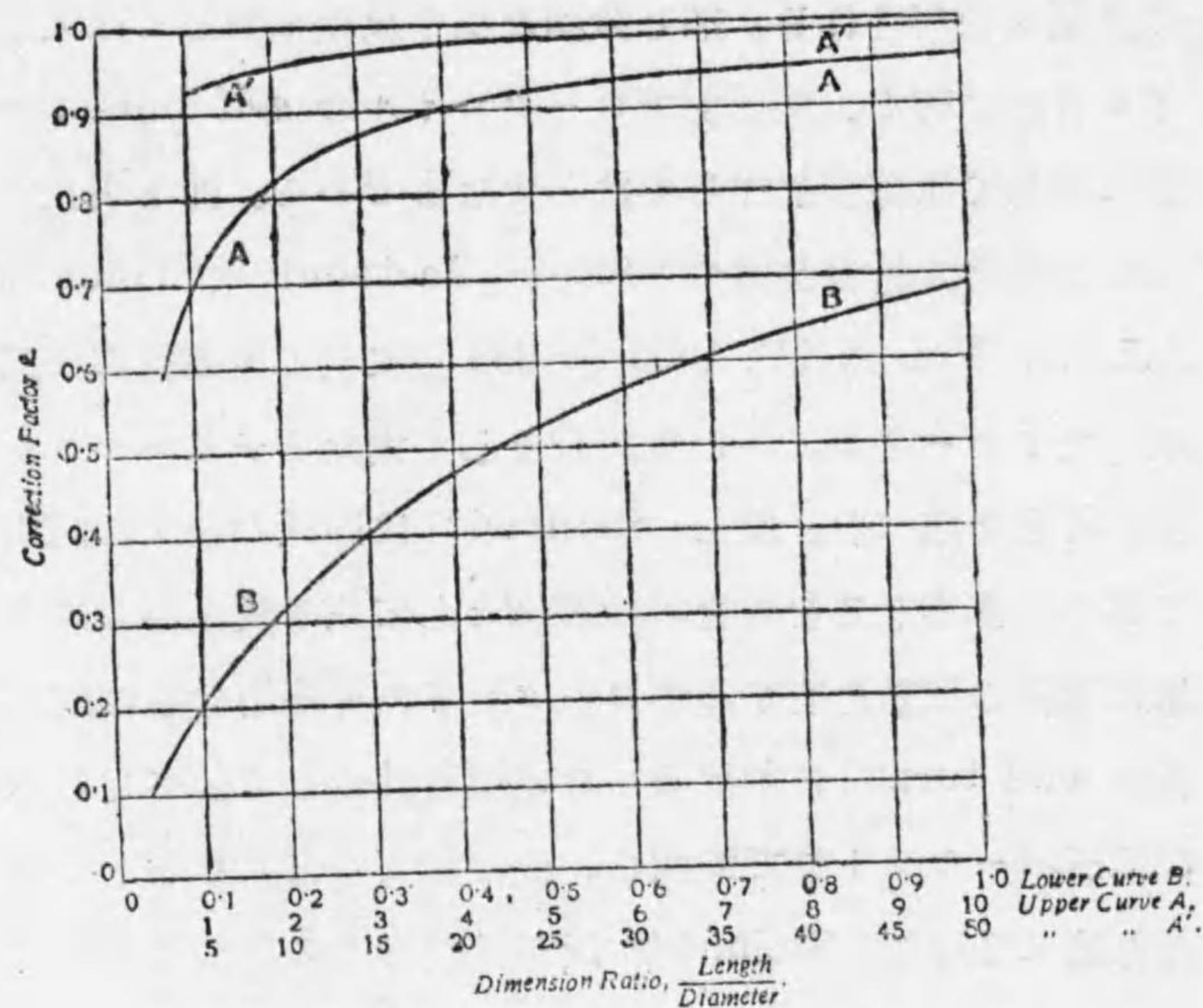
第四百二十三圖に示したチョークコイルは 0.003 ミリヘンリー一強の self induction がある。勿論之れは極めて少いもので

50 サイクルの全負荷電流 200 アンペアが通つても其 inductive drop は極く僅少である。障害があまり激しくない場合には此コイルでも充分保安の目的が達せられ市街電車の feeder などには屢々使用される。然し激烈な空中放電に對しては大なるコイルを要す可く、又保安チョークコイルの self induction の値に關して仕様書を作る事は必要な事である。而も現在では直ちに之を行ふ材料が整つて居ない。Jackson 氏は“Transaction” A.I.E.E. Vol. XXV, 1906 年 888 頁に於て**第四百二十三圖**に示したチョークコイルの反對説として大なるチョークコイルを要す可きを述べた。然し Steinmetz は同氏の論文の討論に於て其の不條理なるを説き其の實例として或る變壓器の保安用に單に數回の回数を有するチョークコイルを使用せるに變壓器捲線の end turns に加はる可き電壓を其の起り得べき最大の値の二三パーセントまでに減じ、充分保安の目的を達する事を得たと述べて居る。Steinmetz 氏が此の目的に對して充分であると述べた値は 1.07 ミリヘンリーで此の場合の變壓器は 30,000 ヴォルトのものである。かゝる self induction を有するチョークコイルを用ひても 3300 ヴォルト 50 サイクル回線に於ける inductive drop は殆んど省略得べき程の値であるから必要の場合には使用しても差支ない。

鐵線チョークコイル：——猶チョークコイルの導線として銅線の代りに鐵線を使用せば一層大なる保安作用を得ると云はれて居つた。平らな眞直な鐵線は高周波を喰ひ止めるから保安力があるのである。然し General Electric Co. の技術部の結論

としてはチョークコイルに鐵線を使用するもあまり大した効力はないと云ふ事になつて居り未だ多く製作されて居ない。

第四百二十六圖



(23) の公式に用ふる曲線

(G.E. Review. Vol. XVII, 1914 p. 158 参照)然し著者は何故可とされないか多少疑を懐いて居る。保安用チョークコイルに鐵心を使用する事は全く悪いから避けなければならない。コイルの絶縁を害するのみならず非常に薄い鐵板を用ゐねば高周波の場合は渦流が大となり其の有効リアクタンスを減殺してしまふ。

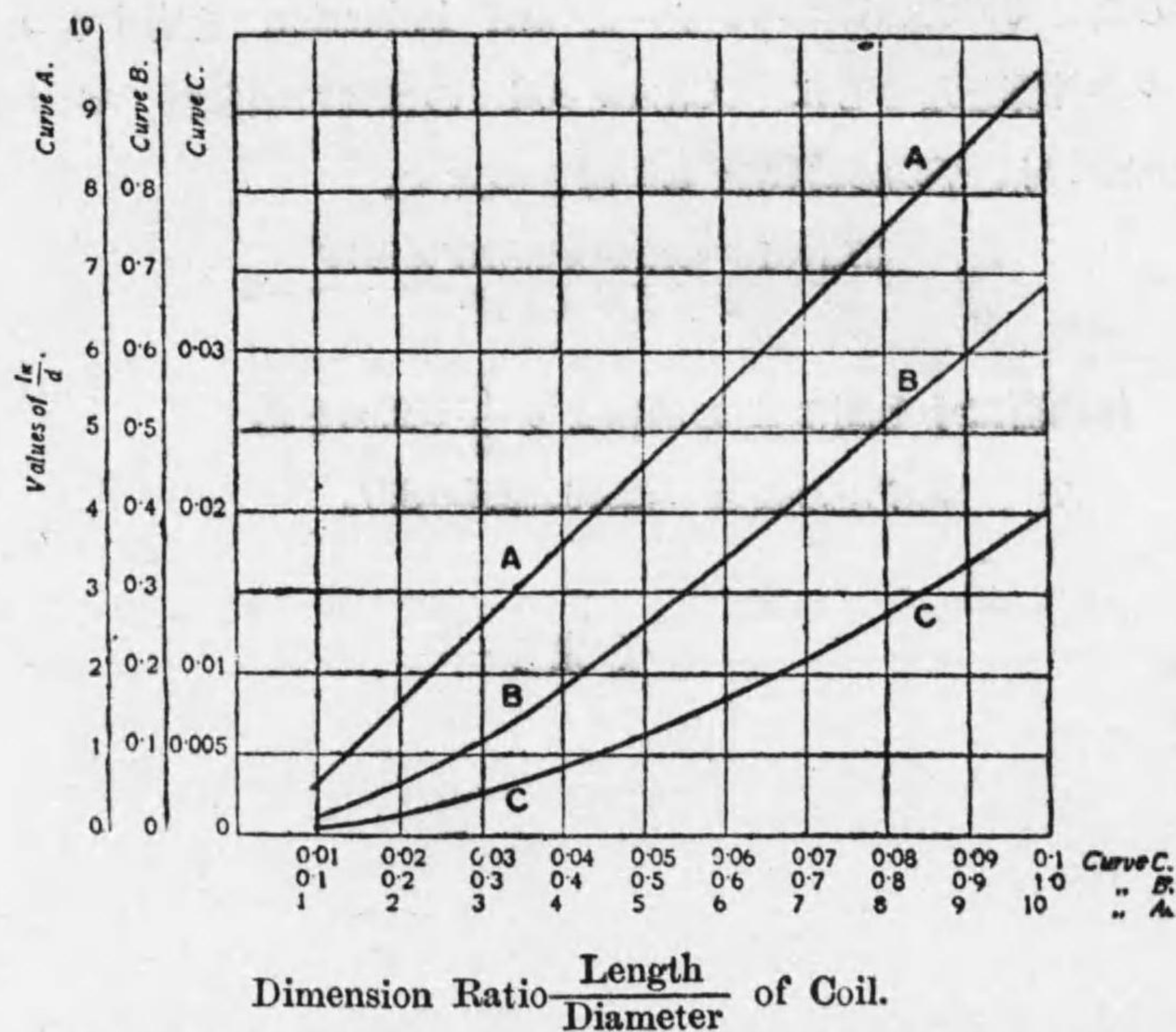
チョークコイルの設計

第四百二十七圖に示した曲線は Coursey 氏の作つたもので (The Electrician. Vol. LXXV, 1915 p. 842 参照) 任意の self induction を有するチョークコイルの設計に未だ便利なものである。

公式 (23) に於て K なる係数はコイルの大きさ $l:d$ の比によつて異なるものであると述べたが、其關係は第四百二十六圖に示されて居る。

或る一定の L なる self induction を有するチョークコイルを設計せむとせば次の如き順序に計算す。

第四百二十七圖



一定の self induction を有するチョークコイルの設計に要する曲線

先づ第一に捲線のピッチを定める（一層の捲線に就て考ふ）。
これは使用する線の太さ及び線間の距離に關係す。次ぎに適當な直徑を定める。

捲線のピッチ l_p が解れば $l_p = \frac{l}{N}$ であるから $\frac{l}{N}$ の値を求むる事が出来第 (23) 公式より

$$\frac{l_k}{d} = \frac{L^2 10^9}{\pi^2 a^3 N^2} = \frac{L 10^9 l_p^2}{\pi^2 a^3} \dots \dots \dots (26)$$

而して此の式中右側の數は皆已知であるから $\frac{l_k}{d}$ の値がわかり第四百二十六圖より $\frac{l}{d}$ の値を求むる事が出来る。

而して d の値が解つて居るからコイルの長さがわかる。説明の爲め 3138×10^{-9} ヘンリーの self induction を有するコイルの計算をなさむに (Chork coil の型式の項参照) ピッチを 0.825 吋、平均の直徑を 3.5 吋と假定す。

$$\frac{l_k}{d} = \frac{313 \times 10^{-9} \times 10^9 \times 0.825^2 \times 2.54^2}{\pi^2 \times 3.5^3 \times 2.54^3} = 2$$

第四百二十七圖の A の曲線より $\frac{l}{d} = 2.36$ を得

$$\therefore \text{コイルの長さ} = 2.36 \times 3.5 = 8.1/4$$

—(完)—

大正十四年十月廿七日印刷
大正十四年十月三十日發行

定價金參圓五拾錢
送料 金八錢

東京府大井町四二九七番地
著作兼發行者 内田吉太郎

東京市京橋區木挽町二丁目十三番地
印刷者 染谷仙藏

東京市神田區錦町三丁目十八番地
取次店 株式會社 才一ム社

大正十四年十月

定價金壹圓五拾錢

電氣工學會

東京府大井町四二九七
振替東京三六四五六番
工場 電話銀座五五四七番

15.3.11

541
170

終