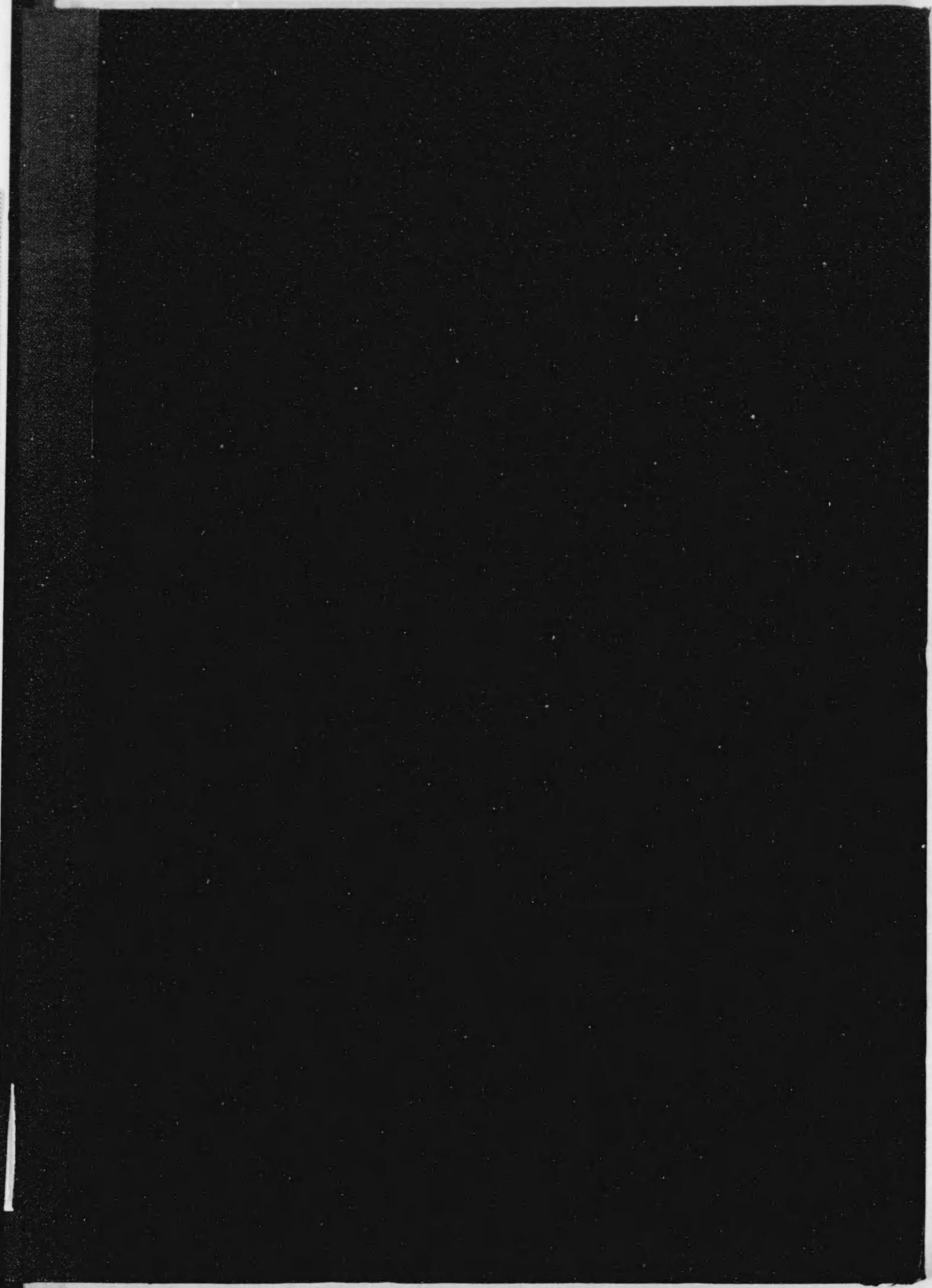
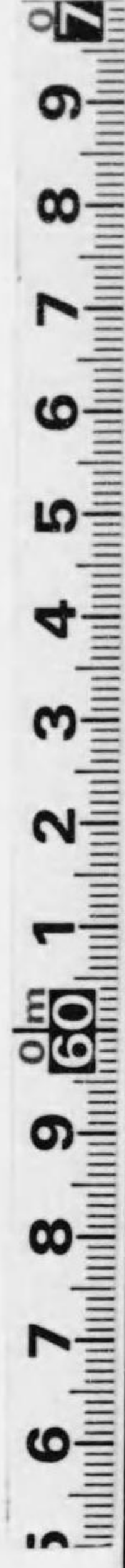




始



331
117

ELECTRIC
RESISTANCE

by
SHUNKICHI KIMURA, PH.D.

1914
R. UCHIDA,
Tokio.

371-117



ドクトル
木村 駿 吉
著

大正三年
内田老鶴圃

大正
3. 9. 30
内交

序

本書三篇は 電機器製造の参考たらしめんとて 豫て調査したるものを 分類記述したるに過ぎず 又素より三篇を以て悉すものに非ず 本書の價値は其の材料に在り 英米獨最高研究所の報告に基きたるもの多きが故に 較や遺憾なきを得べしと雖も 編纂其の宜しきを得ざりしことを恐懼す 然れ共將來本邦に於て電機器の製作を盛んならしめんとすれば 物理的電氣學は必ず其の根據とすべきものならんと信ず 之れ自ら圖らず死馬の骨として本書を提供したる次第なり

電氣抵抗とは日常常慣の事にして 何等新しき研究なかるべしと想像せらるゝも 事實は正に然らずして 正確なる電機器を製作せんとすれば 一々限りなく研究すべき事項あり 絶縁物の學理的研究に至ては 今に於て漸く開始せられんとする機遇に達したるのみ 從來導體のみに重きを措きたるは陋なりし 高周波の電流は今迄不注意に過ごしたりし事項を明かに展開して 電氣學者の眼界を廣め足元を明るくした

ること少からざるべし

本書編纂中 雲霓の思を以て 電気工藝委員
會の選定に係る電気工學術語集の刊行を待ちたりしが 校正粗ぼ了りたる時に其の出版を見る
執て之を視るに適切明晰なる金玉の譯語に充つ
編者不遇にして盡く之を用ゆること能はざりし
は 遺憾之に過るものなし

大正三年六月 日

木 村 駿 吉 識

目 次

緒 言	1—10
第一章 直流抵抗	4
フーム法則 1	a. 整流作用 2
b. 傳導率 3	c. 分電路 3
d. 電熱 5	e. 抵抗測定 6
第二章 比抵抗	7
四種比抵抗 $\rho, \rho', \rho'', \sigma$ 7	原素金屬の比抵抗 9
合金の比抵抗 10	a. 比傳導 11
水浴電解液の比傳導 12	標準水溶液比傳導 13
b. 強弱電流用抵抗材料 13	c. 電力輸送材料 14
銅アルミニウム比較表 15	銅アルミニウム 14
第三章 抵抗の溫率	16
抵抗の溫率と比抵抗の溫率 16	合金抵抗線の溫關係 17
a. 數種抵抗溫率の關係 19	b. 原素金屬合金の抵抗溫率 24
鐵の溫率 25	抵抗溫率の用途 25
溫率の測定 25	マンガン 27
c. 正號溫率と負號溫率の物質 27	發電子銅の品質及溫の測定 28
抵抗を標準溫に換算す 29	換算表 30
換算表の用途 31	米標準局換算表 32
第四章 表皮作用	33
抵抗増加 33	導線内部の誘導 34
表皮作用 35	a. 電流密度の計算 35
定數表 36	b. 帶狀導線の有効層 39
透入深度表 40	有効最大直徑表 40
c. 單式燃線複式燃線 41	ヒステリシス 41

d. 表皮作用を考慮する場合	42	磁氣の表皮作用	43
第五章 有効抵抗	45		
有効抵抗の測定	46	有効抵抗と直流抵抗の關係	43
有効抵抗對リアクタンス	49	衰減交流に對する有効抵抗	50
線輪の有効抵抗	50	銅線の有効抵抗表	51
表皮作用なき線及直徑表	52	毛線及び表	55
第六章 標準抵抗	58		
水銀標準	58	標準抵抗器	59
安全電流	61		
a. 標準抵抗器の製作	64	シャペロン卷	65
b. マンガニン	66	c. 附隨定數	63
溫率零價の抵抗器	69		
d. 測定用抵抗器	70		
第七章 ホキートストーン電橋	73		
電橋原理	73	誤差原因	75
a. 最精密なる測定	76		
d. 電橋の製作	77	フォイスナーの研究	80
ホキートストーン電橋雜件	81		
第八章 タムソン電橋	85		
小抵抗測定及公式	85	誤差修正	87
a. タムソン電橋の製作	87	b. 測定の方法	91
c. ライヒスア ンスタルトに於ける小抵抗測定法	93	對偶的電橋	94
非對偶的電橋	97	d. フーアの電橋	100
第九章 抵抗の絶對測定	102		
ローザの方法及例	102		
第十章 示差電流計を以て抵抗の測定	107		
a. 直列接続	107	b. 并列接続	109
c. 其の二	110		
d. 實用裝置	113		

第十一章 カレー・フスターの電橋	116
第十二章 電流計の抵抗とシャント	118
a. 電流計の抵抗測定	118
b. 同	120
c. 電流計を以て測定する電流	121
d. シャント管	122
エヤトンの萬能シャント	123
e. シャント管二	125
シーメンスハルスケのシャント管	127
第十三章 電池と電解液の抵抗	128
a. コーラッシュの電橋	128
b. ネルンストの電橋	129
c. 電解液の抵抗	131
標準電解液の比傳導	133
第十四章 電流計と電壓計を以て抵抗の測定	135
原理	135
携帶用發電子抵抗測定器	138
ダクター	139.
第十五章 直示オームメートル	141
原理	141
a. シーメンスハルスケの直示オーム計	143
b. ハルトマン・ブラウンの直示オーム計	145
c. シーメンスハルスケの數重直示オーム計	146
第十六章 大抵抗の測定	149
a. 直接法	149
b. 置換法	151
c. 并列裝置	152
第十七章 接觸抵抗線の檢定	154
a. ヘルムホルツの方法	155
b. ブラウンの方法	156
c. 示差電流計の方法	158
第十八章 高周波に於ける抵抗測定	160
高周波抵抗測定	160
a. 測定裝置に反作用なき場合	

162 b. 測定装置に反作用ある場合 164 實例 165

第十九章 銅.....167

a. 現在各國の軟銅標準 169 百分電導率 169 本邦銅 170 米國銅 170 國際標準規定 171 b. 抵抗と溫の關係溫率の一定 173 比抵抗溫度間の定數 174 比抵抗の溫率と抵抗の溫率 174 比抵抗より抵抗溫率の計算 174 實用上の法則 175 抵抗溫率 175 比抵抗溫率 176 標準溫の比抵抗算定 176 電機平均溫の算定 176 溫率より百分傳導率比抵抗の算定 177 c. ムーシエル試驗 177

第二十章 線番號線徑規.....179

變遷 179 ブラウン・シャープ徑規の優點 180 同表 182 標準軟銅線・耗徑規 183 同(英)スタンダード線徑規 184 同(米)徑規 185 同(米)徑規 186 アルミニウム硬(米)徑規 187 同(米)徑規 188

⑥ 第二十一章 電氣金屬材料.....189

六種抵抗材料 189 鐵 190 銅 190 アルミニウム 191 洋銀 192 プラチノイド 192 ニッケリン・レオタン 192 プラチナムシルバー 192 バテン トニッケル 192 マンガニン 192 ニッケル鋼 193 クロームニッケル 193 タンタラム 193 タングステン 194 白金 195 白金溫度計 197 シリコン 197 電熱體 197 炭 198 熔解線材料 198

第二十二章 工業用抵抗器.....200

第二十三章 絶緣材料.....206

性質 206 a. 絶緣抵抗 207 b. チェレキ定數 208

直列絶緣材料 209 チェレキ定數表 210 c. 耐電力 210 試驗用變壓器 211 貫通放電 213 諸材料表 214 d. ピセイン測定法 217 e. N.P.L.の測定法 220 f. 空氣の耐電力 222 g. 普通絶緣材料 224

終

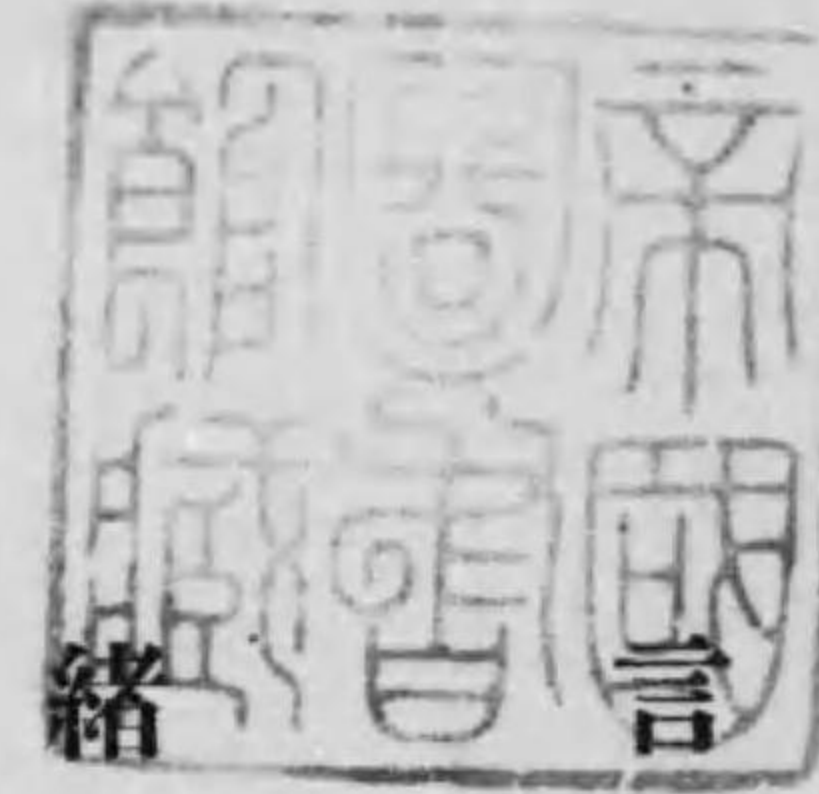
記 號

<p>C 電容量</p> <p>\underline{C} 電容量(有効價)</p> <p>$j = \sqrt{-1} \quad j^2 = -1$</p> <p>$L$ 自己誘導(係數)</p> <p>\underline{L} 自己誘導(有効價)</p> <p>n 周波數</p> <p>$p = 2\pi n$ 角速度</p> <p>R, r 抵抗</p> <p>\underline{R} 抗抵(有効價)</p> <p>V 電壓(直流又は有効價)</p> <p>δ 密度・衰減係數</p> <p>ρ 比抵抗・吸收抵抗</p> <p>σ 比抵抗(フーム・グラム・メートル)</p> <p>ρ_s 標準物の比抵抗</p> <p>ϵ ファエレキ定數</p> <p>τ, θ 溫度・損失角</p> <p>φ, ψ 位相角</p>	<p>I 電流(直流又は有効價)</p> <p>i 電流(瞬時價又は直流)</p> <p>M 相互誘導(係數)</p> <p>m 質量・メートル</p> <p>q 切斷面積</p> <p>Q 電量</p> <p>S 面積</p> <p>t 時間 溫度</p> <p>W, w 抵抗(補助)</p> <p>v 電壓(瞬時價又は直流)</p> <p>λ 電波長</p> <p>\varnothing 對數衰減(係數)</p> <p>σ_s 標準物の比抵抗</p> <p>Θ 電熱量</p> <p>γ 電容量修正用</p> <p>α, β 偏斜・其他</p>
--	---

$\pi = 3,1416$

<p>A アンペア</p> <p>V ボルト</p> <p>\ominus フーム</p> <p>C クーロム</p> <p>F フラツド</p>	<p>$^{\circ}$ 攝氏度</p> <p>g グラム</p> <p>H ヘンリー</p> <p>S シーメンス</p> <p>W ワット</p>
--	---

c センチ = 10^{-2} m ミリ = 10^{-3} k キロ = 10^3 μ ミクロ = 10^{-6}



一個電源の端極を結付るに長短大小に拘らず一條の導線を以てすれば 電流は通じてエネルギーは導線に沿ふて流る導線の一個所に此電流の供給を受けて仕事をなす器械あれば電源は之に電力を供給すると云ふ

然るに電源より出る電力は盡く器械の仕事に變ずるものに非ず 電路たる導線を傳ふて器械に達する迄に電力の一部分は三様の状態に於て費さるゝものなり 此事は電路の凡ての場所に於て然るものなるが故に 電路の任意一個所の小部分に就て説明せんに 此部分は始に電流通せざりしが電流は追追に發達して最後に I となり 始に電位なかりしが電位は追追に昇りて最後に V となり 其間電路の周囲の空間は異常の状態となりてエネルギーを貯へ 此處に磁石を持行けば磁石は一定の方向に安定する方向力を受け 此處に輕き塵芥を散すれば塵芥は電路たる導線に向て飛び付き然る後吹飛ばされ電流の全く通せざりし初の境遇とは全然異なる現象を示す 此の如き状態に在る空間を名付て電磁野と合稱し 又前述磁石と塵芥に於ける如く區別して一を磁野と云ひ一を靜電野と云ふ 電流が初の零價より發達して最後の I となる迄に此磁野に貯へらるゝエネルギーの量は I の二乗に比例するを以

- | | |
|--|---|
| (1) Electric Source; Elektrizitätsquelle. | (2) Terminals; Klemmen. |
| (3) Conducting wire; Leitungsdraht. | (4) Electric current; elektrischer Strom. |
| (5) Electric power; elektrische Leistung. | (6) Circuit; Stromkreis. |
| (7) Electric Potential; elektrisches Potential. | (8) Directive force; Direktionskraft. |
| (9) Electromagnetic field; elektromagnetisches Feld. | (10) Magnetic field; magnetisches Feld. |
| (11) Electrostatic field; elektrostatisches Feld. | |

て比例率 $\frac{1}{2}L$ を付して此エネルギーを

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

なる式に依つて表はす 又电路の一小部分に於て其の電位が初の零價より發達して最後の V となる迄に 此小部分の周囲の静電界に貯へらるゝエネルギーは V の二乗に比例するが故に $\frac{1}{2}C$ なる比例率を付して此エネルギーを

$$\frac{1}{2}CV^2$$

なる式にて表はす

此等二様のエネルギーは電源の電力を導線より奪ひて周囲の空間に貯へらるゝものなれ共 之を貯ふるは唯電流と電位が最後一定の價に達する迄の間にして 其の以後は増減なく謂ゆる飽和したる有様に存して重て電力を電源より奪ふことなし加ふるに又周囲空間内に此く貯へられたるエネルギーを横領して熱に變ずるが如き物質なくば 導線の電位電流が零價に戻る時には 此等のエネルギーは周囲の空間より电路たる導線に回收せられ 其の一部分は電源に返却せらるゝものなり 即ち物理学に謂ゆる可逆的の現象にして電氣工學に謂ゆる反應電力⁽¹²⁾又は無ワット電力⁽¹⁴⁾と稱せらるゝものなり

然るに電源の電力を導線の途中に於て奪ふもの尙一つありて 其エネルギーは周囲の空間に移らずして導線内に殘留す

电路に電流通すれば必ず之に熱を生ず 此熱は電流が如何にも小なるも又如何に大なるも 最後一定の電流に達する前にも又其の後にも其の時其の時の電流に相當して絶間なく熱を生じ 電源の電力は一部奪はられて此熱に變じ 此熱は周囲の空間に放電せられ又導線を温めて電流息むも其エネルギー

(12) Reversible; umkehrbar. (13) Reactive Power; Reaktivleistung.
(14) Wattless component, Wattlose Komponenten.

は回收せられず 物理学に謂ゆる不可逆⁽¹⁵⁾の現象にして純損失なり 而して其の量は毎秒に計算する其の時の電流 I の二乗に比例し比例率 R を付して 一秒間の損失エネルギーを

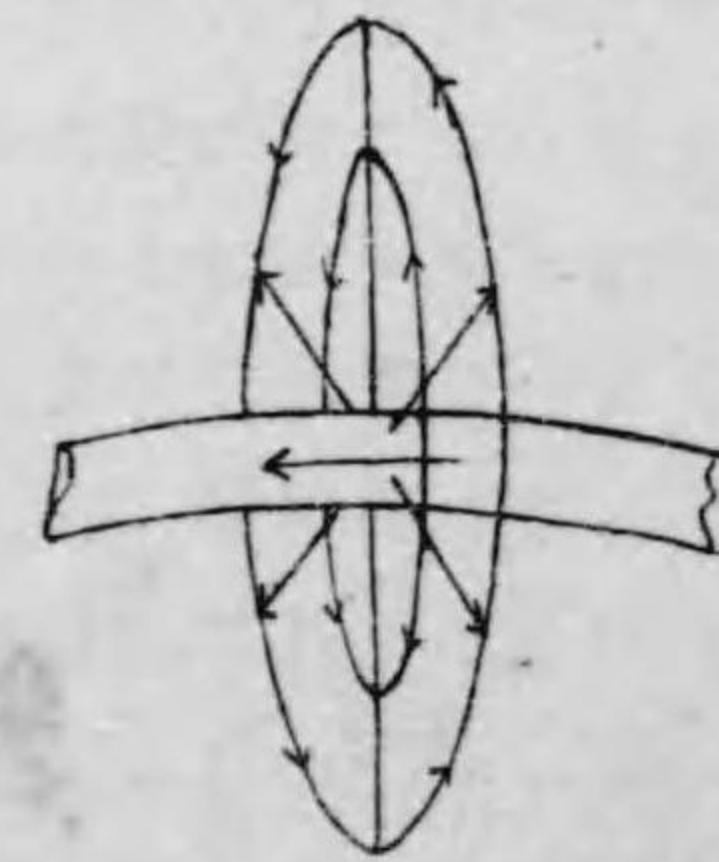
$$RI^2$$

なる式にて表はし 之に電力落差⁽¹⁶⁾なる名稱を付す

上述三様のエネルギーの流動する方向は互に直角をなし導線の一部に付て之を言ふに 静電界の電力線⁽¹⁷⁾は此部分の各點より出で、導線の表面と直角をなし 磁界の磁力線⁽¹⁸⁾は導線を直角に切斷する平面内に在りて導線を軸とする同心圓を爲し電力落差は導線と平行す 而して电路より此等三状態のエネルギー失はるゝに依り 電源は目的器械に供給する電力以外に此等に相當する電力を吐出さるゝを得ざるものなり 其の中に於て電力落差は電氣工學に謂ゆる實電力⁽¹⁹⁾にして總電流の中之に關する部分をワット電流⁽²⁰⁾と云ふ

电路の電流に伴ひ空間内に貯蓄せられ又电路内に消耗せら

第一圖



(15) Irreversible; nichtumkehrbar.
(16) Power gradient; Leistungsabfall (17) Electric lines of force; elektrische Kraftlinien.
(18) Magnetic lines of force; magnetische Kraftlinien. (19) Real power; Reelleistung.
(20) Watt current, Wattstrom.

る、エネルギーを以て電流電位の二乗に各比例率を付し

$$RI^2 \quad \frac{1}{2}LI^2 \quad \frac{1}{2}CV^2$$

なる式を以て表はしたるが R なる比例率を名付けて抵抗⁽²¹⁾と云ひ又直流抵抗又はローム抵抗とも云ふ L なる比例率を名付けて自己誘導⁽²²⁾又は誘導率⁽²³⁾と云ひ C なる比例率を名付けて電容量⁽²⁴⁾と云ふ 电路の一小部分に就ても或は又其の全部に就ても何れも夫れ相當の小又は大なる數價を有し 电路の全部に於ける此等三個の數價を以て諸电路の基本定數⁽²⁵⁾と云ひ 交流の場合に於ても或は又振動電流の場合に於ても 小なる實驗用电路に於ても大なる高壓大規模の电路に於ても 此等三個の定數を測定する時は电路其のものは明細に知られたるものなり而して此等三個定數を以て係數となせるエネルギーの中 何れが大にして何れが省略せらるべきかに從て 諸種電氣器械或は又電氣設備の特質を作ると雖も 如何なる电路も此等三個の定數を兼有せざるものは在らず 唯夫れ等の比較的大小に於て差異あるのみ 即ち普通使用する抵抗コイル⁽²⁶⁾は抵抗に於て大に勝るものなれ共 精密なる測定に於ては之に直列する自己誘導あり又之に併列する電容量ありとせざるべからず 自己誘導を測定する標準コイル⁽²⁷⁾に於ても亦最も著しき自己誘導の外 之に直列する抵抗あり之に併列する電容量ありとして始めて實際を現はすべく 蓄電器⁽²⁸⁾に在りても其の電力吸收を表はすに直列抵抗を以てし 絶縁抵抗⁽²⁹⁾の如何に基く漏電⁽³⁰⁾を

(21) Resistance; Widerstand. (22) Direct current resistance; Gleichstromwiderstand.
 (23) Ohmic resistance; Ohm'scher Widerstand. (24) Self-Induction; Selbstinduktion.
 (25) Coefficient of self-Induction, Inductance; Selbstinduktionskoeffizient, Selbstinduktivität.
 (26) Capacity; Kapazität. (27) Fundamental Constants; Fundamentalkonstanten.
 (28) Alternating currents; Wechselströme.
 (29) High frequency currents; Hochfrequenzströme, Schwingungsströme.
 (30) Resistance coil; Widerstandsspule. (31) in series, im Reihe.
 (32) in parallel, in Nebenschluss. (33) Standard inductance coil; Induktionsnormalspule.
 (34) Condenser; Kondensator (35) Absorption; Absorption.
 (36) Insulation-resistance; Isolationswiderstand. (37) Leakage; Streuung

表はすには併列抵抗を以てし 其外微少なれ共必ず自己誘導あり

電流の種類が电路の三個定數に及ぼす影響に付ては 直流は電流中の最も簡單なるものにして 電壓の向きも數價も一定不變なる電源より生ぜられ 電流が一定の數價に落付きたる後は電源の電壓 V と電流との關係は謂ゆるローム法則⁽³¹⁾に依り

$$I = \frac{V}{R}$$

にて表はされ 电路の自己誘導も電容量も電流電壓の關係に何等の影響なく 电路の途中に蓄電器直列すれば之れは單に电路を絶つのみを用をなし電流は通せず 電流若し通ずることあれば蓄電器の不備即ち漏電に據るものなり 交流は一秒間數十數百回其の方向を逆轉する電壓の電源より生じ 電流の方向は之に應じて同様に逆轉せんとするを以て 周圍の空間内に牽はる、エネルギーはその毎に新たになり 磁野靜電野は交流の各週期に於て最大量迄發達して後消滅し再び方向を逆にして最大量に發達し 絶へず此の如く消長して現はるるエネルギーは电路と空間とに交互移轉するを以て 先きの直流に於て唯一回之れ有りしことは 交流に於ては各週期に繰返され 從て自己誘導及び電容量の結果は時間と共に増大し 一秒間内に在ては交流の周波數⁽³²⁾に比例して増長すべし

交流に對する抵抗の結果はローム法則の示す通り電流を弱むるに過ぎずして 電壓と電流の間に位相の差を生ぜしむることなれ共 抵抗其のものは表皮作用⁽³³⁾ヒステリシス⁽³⁴⁾の爲

(38) Electric pressure; elektrische Spannung. (39) Ohm's law; Ohm'sche Gesetz.
 (40) Cycle, Frequency; Frequenz, Periodenzahl pro Sekunde.
 (41) Phase-difference; Phasenverschiebung. (42) Skin Effect, Hautwirkung.
 (43) Hysteresis; Hysteresis.

め直流の場合よりも其の價に於て大なり

交流に對する自己誘導の結果は電流をして電壓よりも 90° だけ位相に於て後れしむるのみならず、電流を弱めて $\frac{1}{pL}$ 倍たらしめんとし、交流に對する電容量の結果は電流をして電壓よりも 90° だけ位相に於て進ましむるのみならず、電流を強めて pC 倍たらしめんとし、自己誘導は抵抗と同様の作用を呈し

電容量は自己誘導の結果を減ずるの作用をなす、而して電路の三個定數は必ず相共に各電路に存在するが爲め、電流の強弱は此等定數より別々に定まるものに非ずして、相合して其の結果を作る、故に一般交流電路に於ける電流電壓の數字上の關係は、各定數に基くもの、乗積にあらずして

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (pL - \frac{1}{pC})^2}}$$

なる形式をなし、此分母を名付てインピーダンスと云ひ、式中 L と C のみ周波數の關係を有する如くなれ共、抵抗 R も亦周波數大なるに従て其の數價を増加し、 L と C の夫れ自身は周波數の大なるに従ひ其の數價を減少するものにして、上述の式は $2\pi \times$ 周波數 $= p$ なる時の周波數に於て測定したる R, L, C の數價に於て正しきものなり

茲に掲ぐる電路のインピーダンスは一般の形式を有するものにして、此の如き電路の例は高壓長距離電力線の如き、電話電信電路の如き、無線電信電話の發勵電路⁽⁴⁶⁾の如きものにして、何れも抵抗と自己誘導と電容量は一も省略すべからざる數價を有し、唯前二者と後の一者に於て相違する處は、前二者に在ては自己誘導も電容量も全線に涉りて散在し、其の電容量

(44) p = Frequency per 2π second; Frequenz pro 2π Sekunde.

(45) Impedance; Impedanz. (46) Exciting circuit; Erregerstromkreis.

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (pL - \frac{1}{pC})^2}}$$

Impedance $Z = \sqrt{R^2 + (pL - \frac{1}{pC})^2}$

Short circuit. $pL = \frac{1}{pC}$

は地面に對し往復線間に於て有するものなれ共、後の一者に在ては自己誘導はコイルとして電容量は蓄電器の夫れとして各一個所に集中し、其の電容量は蓄電器の二極板間の電容量なり

インピーダンスの此の如く一般ならずして、電容量の結果を其の他の定數の結果に比して省略するを得べきもの、例は

其の二次線を短絡せしめたる變壓器⁽⁴⁷⁾、低壓交流を用ゆる電燈電力電路の如きに於て之を見るべく、此かる場合に於て電壓電流の結果は

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + p^2 L^2}}$$

を以て之を表はし、 V とは抵抗 R と自己誘導 L とを有する電路又は其の一部分の兩端に於ける電位差即ち電壓なり

此外普通工業に使用する交流よりも周波數の大なるものあり、電話線に於ける電氣振動⁽⁴⁹⁾は平均に於て約 1000 の周波數を有し、測定又は試験用としては約 5000 迄の周波數を用ひ、無線電信電話に在りては 30000 乃至 100000 の周波數を用ふ、此の如く周波數大なるに従ひ抵抗 R は直流の場合よりも遙に増加し、自己誘導及び電容量の結果は平常の交流に於て想像し得られざる程度に進み、銅線も一部不導體の體裁をなすことあり、鐵塊は一見受磁性を失ふもの、如く見ゆることあり、絶縁物は導體の性質を帯ふることあり、電力は電路を去りて空間に散亂すると雖も、凡ての現象は普通交流の場合と連續するものにして、諸物質の性能變化を算入すれば、此の如き電路も亦其の三個定數を以て完全に之を理解するを得べきものなり

(47) Short circuit; Kurzschluss; (48) Transformer; Transformator, Umwandler

(49) Electric oscillations; elektrische Schwingungen.

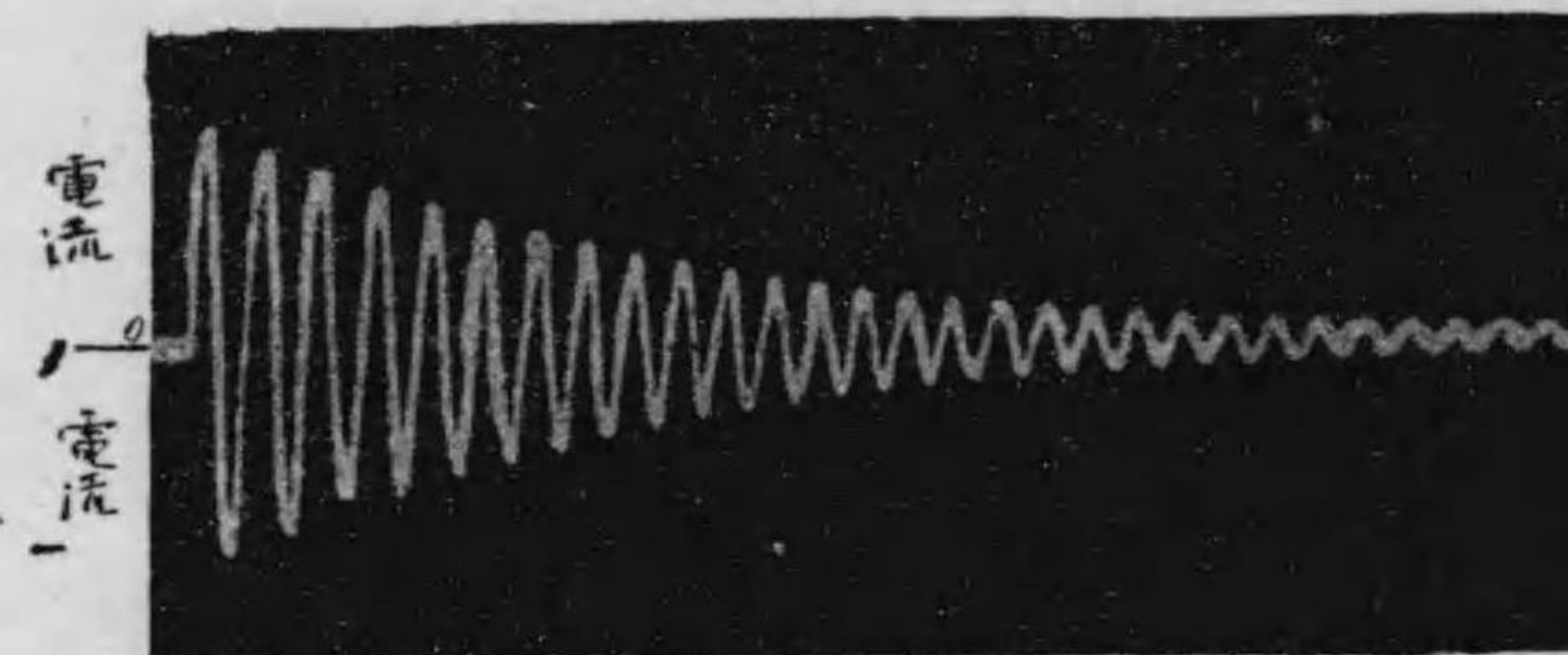
故に如何なる電路に在ても又如何なる種類の電流に在ても電路の三定數に關する知識及び之が測定は根本的の問題にして此等三定數を精細に知る時は設計と其の結果とは合同し計算と事實とは一致すべし蓋し種々の科學と應用とに於て電氣學はと數理と實際と良く相一致し然も簡單なる關係を以て一致するものは甚かるべし

茲に掲ぐる表は交流の周波數と之に對する波長を示し電路の全長が波長の一半に比較して甚小なる場合には電路の何れの部分に於ても電流は同時刻に同一の振幅と位相を有し又同時刻に於て何處も電流の零價又は最大正價又は最大負價を有す此の如き電路に在ては電流は全部に涉りて一定の位相と一定の強さを有するものとなし此の如き電流を以て半定常電流と云ふ然るに電路の長さが波長の一半に近きか或は又其の以上の長さある時は電流の位相は假ひ何處に於ても同一なりとするも其の振幅は一點より一點に變化し行き電路一層長ければ一個所に於て電流は正號なるも他の一個所にては同時刻に負號の電流を有し同一の電路にて有り乍ら電流は或は右に流るゝ處あり或は左に流るゝ處あり又最大なる電流を有する個所もあれば零價の電流を有する個所もあり此の如きを名付て非半定常電流と云ひ前者は普通工業用交流電路の場合及び又無線電信電話の發勵電路の場合にして後者は工業用交流電路に雷擊の如き高調トランシェンツの現はれたる場合及び又無線電信電話に用ゆる空中線電路の普通の場合なり而して此等の電流は何れも一定の週期を以

(50) Wave-lengths; Wellenlänge. (51) Quasi-stationary currents; Quasistationäre Ströme.
 (52) Nicht quasistationäre Ströme. (53) High frequency transients; Hochfrequenztransienten.
 (54) Aerial circuit; Antennenkreis

て振動すると同時に其の振幅の漸次減少し行く處の衰減振動にして第二圖は其の實物寫真を示し一週期を隔てたる二

第二圖
時間



個振幅 A_1, A_2 の比は

$$A_1 : A_2 = e^{\delta T}$$

なる一定の關係をなし e は自然對數の基數 T は完全週期の時間にして δ を名付て衰減係數と云ひ從て

$$\log. \text{nat} (A_1 : A_2) = \delta T = \delta$$

と書し之を名付て衰減率又は對數衰減率と云ひ一般衰減電流の式は

$$I = I_0 e^{-\delta t} \sin \pi t = I_0 e^{-\frac{\delta}{T} t} \sin \frac{2\pi}{T} t$$

を以て之を表はす

此の如き衰減振動電流は今や物理電氣の範圍より工業電氣の範圍に移らんとし不衰振動電流たる交流の場合に於ても普通の二十五乃至百の周波數より遠く隔絶したる數萬サイクルのものも亦工業電氣専門家の考慮を要するものとなりたり

(55) Amplitude; Amplitude. (56) damped oscillations; gedämpfte Schwingungen.
 (57) natural or Napierian logarithm; natürlicher Logarithmus. (58) Complete period; periode.
 (59) Coefficient or factor of damping; Dämpfungsfaktor.
 (60) Logarithmic decrement; logarithmische Dekrement.

周波数 n と波長 λ

$$\lambda (\text{米}) = \frac{3.10^8}{n/\text{秒}}$$

周波数 / 秒 ν_{osc}	波長 (米) $\lambda (m)$	
25—120	1,2.10 ⁷ —2,5.10 ⁶	電燈電力交流
500	600 000	無線電信用 } 磁場的に低週數高電 電話平均 } 一次線交流 } カトドンエンツ } 試験用流 } 高調トランジエンツ }
1 000	300 000	
1 500	200 000	
3 000	100 000	
3,0 .10 ⁴	10 000	遠距離無線電信 } ゴールドシュミット交流 } } アルコー交流 } } アレキサンダソン交流其他 } } } 空中電氣振動
3,7 .10 ⁴	8 000	
6,0 .10 ⁴	5 000	
1,0 .10 ⁵	3 000	
1,5 .10 ⁵	2 000	
3,0 .10 ⁵	1 000	公衆用無線電信 } 普通無線電信 } } } } テスラ電流 }
5,0 .10 ⁵	600	
1,0 .10 ⁶	300	
3,0 .10 ⁶	100	
5 .10 ¹⁰	0,006	最短物理電波
5 .10 ¹²	0,000 06	最長熱波
3 .10 ¹³	0,000008 6	最長光波

第一章 直流抵抗

導線を曲げて大なる輪を作り 其の兩端をダニエル電池⁽¹⁾又は標準電池⁽²⁾の如き 一定不變の電壓を有する電源の端極に結ぶ時は 一定不變の電流即ち直流⁽³⁾は導線に流るべし 此電流は電源の電壓に比例し 其の比例率は導線の物質と形骸の大小と温度⁽⁴⁾の高低のみに關し 電流 I と電源の電壓 V との關係は

$$I = \frac{1}{R} V \dots \dots \dots (1)$$

なる式を以て表はされ $\frac{1}{R}$ は茲に謂ふ處の比例率にして R を以て直流抵抗と云ひ I と V との關係を表はす此式を以てオームの法則⁽⁵⁾と云ふ 交流に於ては R が純抵抗なる時のみ此法則は行はれ一般の場合には R に代ゆるにイムピーダンスを以てす(第二冊イムピーダンス)

直流抵抗の特質は 電流が導線の切断面内の何れの部分にも同様に流れて 切断面内の中央部と外邊部との間に於て電流密度⁽⁶⁾に何等の差別なきものなり 此かる事は唯前述するが如き電源の電壓一定不變の強さを有して且一定の向きに於て働き 従て電流の流るゝ向きと其の強さとが始終同一なる場合に限らるゝものにして 即ち直流の場合のみに限られ 電圧の強さと其の向きが變化するか 従て又電流の強さと其の向きが變化するに於ては 電流は導線の切断面内何れの部分

- (1) Daniell's cell; Daniell Element. (2) Standard cell; Normalelement.
- (3) Direct current; Gleichstrom, Stationärstrom.
- (4) Direct current resistance; Gleichstromwiderstand.
- (5) Ohm's law; Ohmsches Gesetz. (6) Current-density; Stromdichte.

レジスタンス

に於ても同一の密度を以て流るゝものに非ず

a. フォーム法則の特質は R なる直流抵抗が 唯導線を成せる物質の性質と形状と温⁽⁷⁾のみに關して定まり 此物質的係数が電流の大小に依りて變ずることなく 又電流が其の一端より他端に向て流るゝ場合と 他端より一端に向て流るゝ場合に相違を生ぜざるべきを要す 此の如きは物質が金屬的導體⁽⁷⁾たるか 或は又電解液たる場合に限られ 凡ての物質に於て皆然りと云ふこと能はず 電流を傳ふる瓦斯の如きに在てはフォーム法則は全然應用すべからず 稀薄瓦斯の兩極に在る二電極の一を高温に保ち他を低温に保つ時は 高温極より低温極に向つては抵抗少なく 反對に向ては抵抗大なり 又數種の結晶物を金屬又は他の結晶物と接觸せしむれば 一方向には抵抗少なくして逆方向には抵抗大なり 此の如きは無線電信の受信機に應用して檢波器を作り 振動電流⁽⁸⁾を變じて一方向の間歇電流⁽¹¹⁾となし 之に依りて始めて電話受聽器⁽¹²⁾を作働せしむるものとす

電解液に於ても液其のものはフォーム法則を應用し得ると雖も其の兩極にアルミニウムを使用すれば 電流の入る極の面には絶縁膜と瓦斯の薄層を作りて 電流の出る極には何等の變化なく 其の爲め一方向の電流に對しては電流が電解液に達する以前に大抵抗を受け 逆方向の電流に對しては遮斷なく電解液に達す 従て此の如き装置を以て交流を變じて一方向の間歇電流⁽¹¹⁾とならしむ 凡て此等の装置を名付て電氣瓣⁽¹³⁾と云

(7) Metallic conductor; metallisches Leiter. (8) Electrolytes; Elektrolyten.
 (9) Detector; Detektor. (10) Electric oscillations; Schwingungsstrom.
 (11) Intermittent current; intermittierender Strom.
 (12) Telephon receiver; Hoerer, Telephon. (13) Electric valve; elektrisches Ventil.

ひ又整流器⁽¹⁴⁾と云ふ フォーム法則の行はれざる點を利用して應用電氣の用途に供するものなり 然れ共フォーム法則が其の全部に於て行はるゝと否とに拘らず 直流を以て測定する抵抗を名付て直流抵抗⁽¹⁵⁾又はフォーム抵抗⁽¹⁶⁾と云ふ

b. フォーム法則は常に電路の全部に就て云ふのみならず 電路の一部分に於ても同一の式を以て之を表はす 此一部分の兩端に於ける電壓を V となし I なる電流が通じ居る時は

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{又は} \quad V = RI \dots \dots \dots (2)$$

にして R とは此一部分の抵抗なり 而して V なる電壓を以て此一部分の一端より他端に至る間の電壓落差とも云ふ フォーム法則を表はせる式に於て諸量の間適用する單位はホルトアンペア、フォームにして フォームの代はりに Θ なる記號を用ひホルトは (V) アンペアは (A) なる記號を用ひ 即ち

$$I(A) = \frac{V(V)}{R\Theta} = \frac{1}{R} (S) V(V)$$

なる式を以てフォーム法則を表はし R の逆數を以て傳導率⁽¹⁸⁾と名付け フォームの單位にて抵抗を表はし 其の數價にて 1 を除したる數價は則ちシーメンス⁽¹⁹⁾を單位とする傳導率にして此單位は (S) なる記號にて之を示す

c. 數個の導線を直列⁽²⁰⁾に結ぶ時は 其の總抵抗は各個抵抗の和に等しく 電流は各線に於て同一なり 即ち

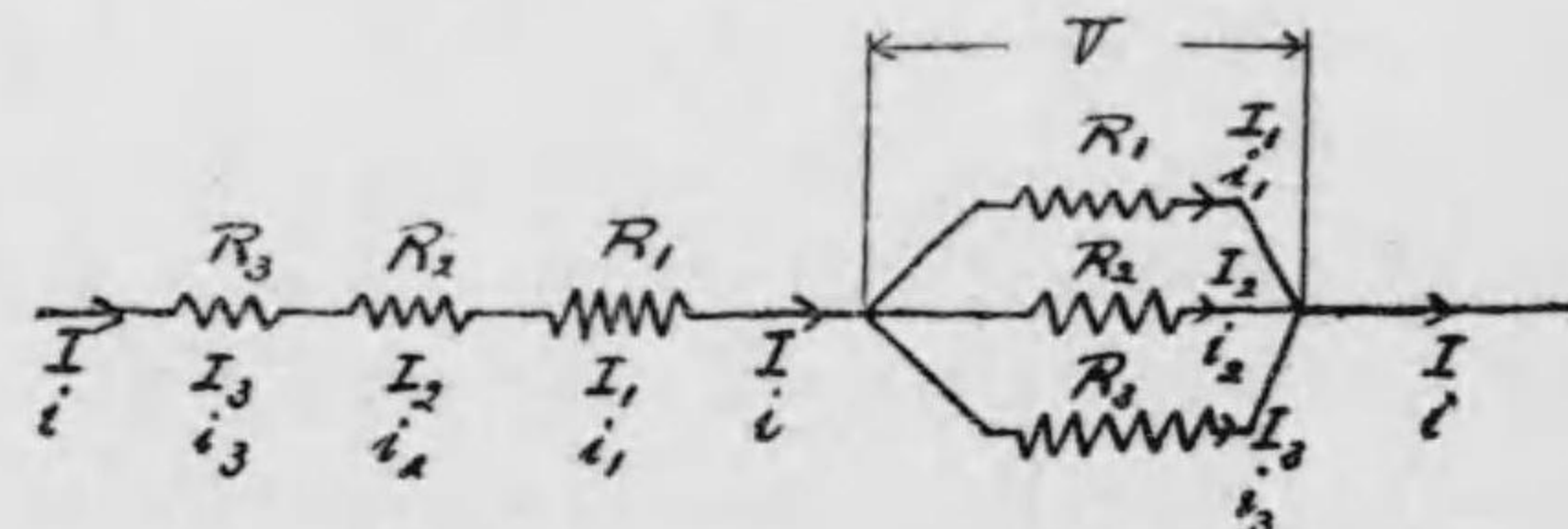
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

(14) Rectifier; Gleichrichter. (15) Direct current resistance; Gleichstromwiderstand.
 (16) Ohmic resistance; Ohmscher Widerstand.
 (17) Voltage drop; Spannungsabfall, Voltverlust.
 (18) Conductivity; Leitwert. (19) Siemens.
 (20) Connected in series; hintereinander oder in Serie geschaltet.

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n$$

なり 此法則は交流の場合にも行はるゝも 電流 I 等は凡て 瞬時電流たるべし 直流なれば瞬時電流も永久電流も同一なり R_1, R_2, R_3 が何れも純抵抗⁽²²⁾なれば 電流 I 等は交流アンペア計の示す電流として可なり

第一圖



直列電網 併列電網

數個の導線を併列⁽²³⁾に結ぶ時は 其の共同兩端に於ては 電壓落差は各線に於て皆相同じく 併列電網内の各線に於ける分電流⁽²⁴⁾の和は電網に出入する電流に等し 即ち

$$V = R_1 I_1 = R_2 I_2 = R_3 I_3 = \dots = R_n I_n \dots \dots \dots (1)$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \dots \dots \dots (2)$$

なり 故に電線網の總抵抗に當量なる一抵抗を R となし 之を以て併列電網の合成抵抗⁽²⁵⁾とすれば 電壓落差は前と同一なるを以て

$$V = RI \dots \dots \dots (3)$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V}{I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n} \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{V} = \frac{V/R_1 + V/R_2 + V/R_3 + \dots}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \dots (5)$$

(21) Instantaneous currents; Momentanwert der Stromstärke.
 (22) Pure resistance; reine Widerstand.
 (23) Connected in parallel; nebeneinander oder parallel geschaltet.
 (24) Electric network; Leitungsnetz. (25) partial currents; Teilstrome.
 (26) Equivalent; Aequivalent. (27) Resultant Resistance; resultierender Widerstand.

にして 當量抵抗は併列電網の共同電壓を 分電流の總和にて除したるに等しく 又當量抵抗の逆数は分電路の抵抗⁽²⁸⁾の逆数の和に等し 而して各線に於ける分電流は

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{V}{R_1} = \frac{RI}{R_1} = \frac{I}{R_1} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}} \dots \dots \dots \\ I_2 &= \frac{V}{R_2} = \frac{RI}{R_2} = \frac{I}{R_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (6)$$

等にして自己抵抗に轉比例するものなり

凡て此等の計算式に於て電線網に通ずる電流が強さと方向に於て一定する直流なれば 各線の抵抗に附隨する自己誘導⁽²⁹⁾と分布電容量⁽³⁰⁾ありとも 此等附隨物には何等の關係なくして何れの式も正しく行はれ 交流に在ては(2)のみ正しく行はれて 然も電流 I 等は瞬時電流 i 等を以て之に代ゆべく 而して R_1, R_2 等が純抵抗なる時に於て(1)(3)(4)(5)(6)は正しく行はれて V, I, I_1 等は交流ボルト計アンペア計⁽³¹⁾の示す儘の電壓電流とすることを得るものなり

d. 抵抗 R を有する導線に電流 I を通ずる時は 此導線に發する熱量は電流の二乗に比例し 抵抗に比例し 又電流の通ずる時間に比例す 而して此熱量の單位をグラムカロリーとし 電流の單位を (A) とし 時間の單位を秒とすれば

$$Q(\text{グラムカロリー}) = 0,23865 I^2 (A) R (\Omega) t (\text{秒})$$

に依て此の熱量を計算す 而して此の熱を名付て電熱損失⁽³²⁾と云ひ 上述の關係をジャウルの法則⁽³³⁾と云ふ 此式は交流に於ても其の儘正しく用ひらるゝものなり 此熱は電力輸送に於

(28) Branch conductors; Leitungszweige. (29) Self-induction; Selbstinduktivität.
 (30) Distributed capacity; verteilte Kapazität. (31) Voltmeter, Amperemeter.
 (32) Ohmic loss; Stromwärmeverlust. (33) Joule's Law; Joulesche Gesetz.

てはエネルギーの純粹なる損失⁽³⁴⁾にして 電氣暖爐電氣割烹に於ては之を利用す 故に電力輸送には抵抗の成るべく小なるべき電線を撰用し 電流の大なる場合に於て特に之に注意するものとす

e. 電路定數の中に於て抵抗の測定は最も要用なるものなり 電力應用の盛なるに當り 抵抗より來る純粹の損失は一時も息むことなく増長するを以てなり 而して電氣物理の方面に於ては電流測定の方法は大に進歩して 其の誤差僅かに百萬分の一に過ぎざるものとなりしを以て 之に相當して抵抗の測定も亦極て精微正確なるを要す 特種金屬線の發見に加ふるに之が研究も亦其の詳細を盡すに至りしが爲め 繁雜なる水銀原器を使用せざらんとする氣運に達し 然も抵抗の測定精密なると共に標準電池⁽³⁵⁾の製作も亦所期の希望を充たすに至りたるが爲め 抵抗を基礎したるポテンシオメートル⁽³⁶⁾の發達著しく 之に依りて電流電壓を最も精確に測定し得ることとなりたり 既往の如く抵抗の原器を水銀柱に取り 電流の單位を銀の電氣分解に求め 此等二者を以て電氣諸量の測定の基礎とすることは 將來に於て或は唯時々稀れに用ゆる處の標準たるに止め 之に反して金屬線の抵抗と標準電池の二者を以て諸量測定的一般基礎となせば 何處に於ても此等は容易に備へられ 何人に依りても容易く使用せられて 從て根本的の研究が從來の如く少數の場所と人に限らるゝことなき有様となれることは 今日既に達し得たる事實なり

(34) Loss of Energy; Energieverlust. (35) Standard cell; Normalelement.
 (36) Potentiometer; Kompensationsapparat. (第三個ポテンシオメートル)

第二章 比抵抗

ヲーム法則の行はるゝ物質を以て太さ一樣なる線の電路を作り 之に直流を通ずる時は 電流の密度⁽¹⁾は切斷面内の何れの部分に於ても同一なれば 電線の太き程電流は夫れ丈け強く 電線の長き程抵抗は夫れ丈け大なるべし 故に長さ一米切斷面一平方糎の電線の抵抗を $\rho(\Theta)$ とすれば 長さ l 米切斷面 q 平方糎の電線の抵抗は

$$R(\Theta) = \rho(\Theta) \frac{l(m)}{q(mm^2)} \dots \dots \dots (1)$$

にして ρ を以て電線を成せる物質の比抵抗⁽²⁾と云ひ 物質の大きさを表はす長さ⁽³⁾と切斷面積の單位と抵抗の單位によりて其の數價を異にす 而して(1)の式に使用する單位に於ける比抵抗は

$$\rho(\Theta, m, mm^2) \dots \dots \dots (2)$$

と明記するを以て適當なりとす

若し又測定する物質の大きさを表はすに付て長さに種を用ひ 切斷面積に平方種を用ひ 抵抗を表はすにマイクロヲーム⁽³⁾ ($\mu\Theta$) 即ち $10^{-6}\Theta$ を以てすれば 此物質の總抵抗は

$$R(\mu\Theta) = \rho'(\mu\Theta) \frac{l(cm)}{q(cm^2)} \dots \dots \dots (3)$$

にして ρ' は此等單位に對する比抵抗を表す 即ち此物質の長さ一糎切斷面積一平方糎の抵抗 ($\mu\Theta$) の數價なり 故に此比抵抗は

(1) Current density; Stromdichte. (2) Specific resistance; Resistivity; spezifischer Widerstand.
 (3) Micro-Ohm.

$$\rho'(\mu\Theta, cm) \dots \dots \dots (4)$$

として各單位を明記するを適當となす

前述する處の二個の定義に於ては 其の抵抗 R を測定する物質は一定の切斷面積を有する線狀を爲すものと假定すと雖も 測定する標準は必ず皆此かる形狀を有し得ざるが故に 任意線狀の物質一米の抵抗を Θ にて測定し 其の數價に此長さの全質量グラム⁽⁴⁾の數價を乗じて 之を此物質の比抵抗となし 名付てメートル・グラム・フォームの比抵抗と云ひ

$$\alpha(\Theta, m, g) \dots \dots \dots (5)$$

として其の單位を明記す

此等三種の單位を用ひたる比抵抗は用途に従て夫々使用せらるゝを以て 其の間の關係を知り居らざるべからず 即ち

$$\rho'(\mu\Theta, cm) = 10^3 \rho(\Theta, m, mm^2) = 10^6 \rho''(\Theta, cm) \dots \dots \dots (6)$$

$$\alpha(\Theta, m, g) = \delta \rho(\Theta, m, mm^2) = 10^{-2} \delta \rho'(\mu\Theta, cm) \dots \dots \dots (7)$$

にして δ とは比抵抗を云々する物質の比重なり

第一表は電氣工業上重要なる金屬原素の比抵抗にして第二表は同様合金類の比抵抗なり 而して此等の表は大體を示すに止まり標本に依りて多少の異同あるを免かれず 合金の或る種類に於て特に然るものなり

(4) Meter-gram-Ohm. (5) Alloys; Legierungen.

第一表
原素金屬の比抵抗

原素金屬	比重 δ 15°C	$\rho(\Theta, m, mm^2)$ ⁽⁶⁾ 0°C	$\rho'(\mu\Theta, cm)$ ⁽⁷⁾ 15°C	$\alpha(\Theta, m, g)$ ⁽⁸⁾ 15°C
アルミニウム ⁽⁹⁾	2,58	0,03—0,05	2,90	0,075
鉛	11,35	0,22	20,8	2,31
カドミウム ⁽¹⁰⁾	8,69	0,07	7,0	0,60
鐵	7,88	0,10—0,12	12,1	0,95
同 フルース ⁽¹¹⁾	7,85	—	13,0	1,02
同 鑄 ⁽¹²⁾	7,30	—	20—37	1,46—2,19
同 グーススター ⁽¹³⁾	8,0	—	14—20	1,12—1,60
同 シミード ⁽¹⁴⁾	7,8	—	12,5—13	0,97—0,98
黄銅	19,3	0,02	2,20	0,42
黒鉛	2,33	—	390—900	9,1—21,0
同 レトルト ⁽¹⁵⁾	1,89	—	1500	58,4
炭	1,40	—	—	—
同 アモーフハス ⁽¹⁶⁾	1,6	—	2500	35,0
同 ホモゲン ⁽¹⁷⁾	—	55—78	—	—
同 貫孔 ⁽¹⁸⁾	—	57—88	—	—
同 白熱燈用	1,7	—	2000	34,0
同 同 新	—	40	—	—
同 同 使用舊	—	30	—	—
銅	8,92	0,018—0,019	1,67	0,15
同 純	8,60	—	1,76	0,15
同 鑄	8,95	—	1,75	0,16
同 硬 延	8,05	—	5,0	0,40
モリブデン ⁽¹⁹⁾	9,20	0,10	9,0	0,83
ニッケル ⁽²⁰⁾	22,5	0,251	25	5,60
チタニウム ⁽²¹⁾	21,49	0,12—0,16	9,2	1,95
白金	13,596	0,95	94,2	12,78
水銀	1,52	—	11,9	0,18
ルビウム ⁽²²⁾	10,45	0,016—0,018	1,61	0,17
銀	10,62	—	1,64	0,17
同 延	2,39	—	59,5	1,39
シリコン ⁽²³⁾	16,5	—	16,5	2,75
タンタラム ⁽²⁴⁾	9,8	1,2	120	11,80
ビスマス ⁽²⁵⁾	18,7	—	6,0	1,12
タンガステン ⁽²⁶⁾	7,1	0,06	6,02	0,42
亜鉛	7,3	0,10	12	0,88
錫				

(6) Strecker, 8te. Aufl., 1912. (7) Linker, 2te Aufl., 1912. (8) $\sigma = 10^{-2} \rho'$ (9) Aluminium.
 (10) Cadmium. (11) Mild steel; Fluszeisen. (12) Cast iron; Guszeisen.
 (13) Cast steel; Stahlguss. (14) Wrought iron; Schmiedeeisen.
 (15) Retort graphite, Retortengraphite. (16) Amorphous carbon; Amorphkohle.
 (18) Corel carbon; Doehtkohle. (19) Molybdeum; Molybden. (20) Nickel.
 (21) Osmium.
 (22) Rubidium. (23) Silicon; Silicium. (24) Tantalum; Tantal.
 (25) Bismuth; Wismut. (26) Tangsten; Wolfram.
 レジスタンス

第二表
合金の比抵抗

金 合	成 分	比重 15°C	ρ (Θ, m, mm ²) ⁽²⁷⁾		
			0°C	15°C	15°C
アロニウム ⁽²⁹⁾	Su 15-80	8,1	0,018-0,056	3	0,24
アルミニウム銀 ⁽³²⁾	Al 94; Ag 6	—	0,046	—	—
アルミニウム銅 ⁽³²⁾	Al 94; Cu 6	—	0,029	—	—
アルミニウムアロンズ ⁽³³⁾	Al 3; Cu 92	—	—	2	—
銅アルミニウム ⁽³⁴⁾	Cu 97; Al 3	—	0,088	—	—
銅ニッケルアルミニウム ⁽³⁵⁾	Cu 87; Ni 6,7; Al 5,5	—	0,149	—	—
ゴルトシルバ ⁽³⁶⁾	Au 90; Ag 10	—	0,063	—	—
コンスタンタン ⁽³⁷⁾	Cu 58; Mn 1; Ni 41	8,82	0,49	50	4,42
ケルツピン ⁽³⁸⁾	Cu Fe	8,10	0,85	85	6,88
マンガン ⁽³⁹⁾	Cu 48; Mn 12; Ni 4	8,3	0,43-0,47	43	3,57
真鍮	—	8,55	—	8	0,68
同上	—	8,57	—	7,5	0,64
洋銀 ⁽⁴⁰⁾	Cu 26; Ni 37; Zn 37	8,30	0,37	51	4,20
同上	Cu 52; Ni 22; Zn 26	8,45	—	45	3,80
同上	Cu 59; Ni 11; Zn 30	8,34	—	35	2,92
同上	Cu 63; Ni 6; Zn 31	8,30	—	30	2,49
同上	Cu 50; Ni 20; Zn 30	—	0,3	—	—
ニッケル ⁽⁴¹⁾	Cu 54; Ni 26; Zn 20	8,62	0,32-0,44	42	3,62
同上 硬あり軟あり	—	—	—	—	—
パテントニッケル ⁽⁴²⁾	Cu 75; Ni 25	8,70	0,84	34	2,95
マンガニウム ⁽⁴³⁾	Mn 12; Fe 80	—	0,67	—	—
ニッケル鋼 ⁽⁴⁴⁾	Ni 4,35	—	0,29	—	—
プラチンイリジウム ⁽⁴⁵⁾	—	—	—	35	—
同上	Pt 80; Ir 20	—	0,31	—	—
プラチンシルバ ⁽⁴⁶⁾	—	—	—	25	—
同上	Pt 33; Ag 66	—	0,32	—	—
プラチンローダウム ⁽⁴⁷⁾	Pt 90; Rh 10	—	0,21	—	—
レガタム ⁽⁴⁸⁾	Cu Ni Zn	—	0,48	47	—
同上 CN 號	—	8,9-9,0	0,48	—	—
同上 S 號	—	—	0,72	—	—
レオスタチン ⁽⁴⁹⁾	—	—	0,48	—	—
スベリヤ ⁽⁵⁰⁾	Cu Fe	8,5	0,86	86	7,30
ブランカエキストラ ⁽⁵¹⁾	—	—	0,48	—	—
エキストラブリマ洋銀 ⁽⁵²⁾	—	—	0,50	—	—
エキセルシガル I 號 ⁽⁵³⁾	—	8,7-9,1	0,86	—	—
同上 II 號	—	—	0,58	—	—
W T I	—	8,06	0,95-1,00	—	—

(27) Streckler, Ste Adf. 1912; Roller 1907. (28) Linker, 2te Aufl. 1912.
 (29) $\sigma=10^{-2} \delta$. (30) Bronze. (31) Aluminium Silver.
 (32) Aluminium Copper. (33) Aluminium Bronze. (34) Copper Aluminium.
 (35) Copper Nickel Aluminium. (36) Gold silver.
 (37) Constantan. (38) Krupp. (39) Manganin.
 (40) German silver; Nensilver. (41) Nickel. (42) Patent Nickel.
 (43) Mangan steel. (44) Nickel steel. (45) Platin Iridium.
 (46) Platin silver. (47) Platin Rhodium. (48) Rheotan.
 (49) Rheostatin. (50) Superior. (51) Blanca Extra.
 (52) Extra prima Nensilver. (53) Excelsior.

a. 比抵抗の逆数を名付けて比傳導と云ひ 比抵抗の測定に用ひたる單位に従ひ之を區別して

$$\frac{1}{\rho(\Theta, m, mm^2)} \quad \frac{1}{\rho'(\mu\Theta, Cm)} \quad \frac{1}{\sigma(\Theta, m, g)}$$

等を以て之を表はす 或は又便宜に従ひ Θ と種を單位として 其の數價を掲ることあり 然る時は

$$\frac{1}{\rho''(\Theta, Cm)} = 10^9 \cdot \frac{1}{\rho'(\mu\Theta, Cm)} = 10^4 \cdot \frac{1}{\rho(\Theta, m, mm^2)} = 10^{18} \cdot \frac{1}{\sigma(\Theta, m, g)} \quad (8)$$

に依りて此等數種の比傳導を換算するを得 第三表は數種水溶液の比傳導にして 此等の數價より任意の切断面と長さを有する管内電解液の全抵抗を計算するを得べく 又同一の器に交る交る任意の電解液と標準電解液を入れて 其の抵抗を比較測定すれば 其の比は比抵抗の比又比傳導の比を爲すものなり 第四表は此の如き標準液の比抵抗と比傳導を示し 此等に對する完全の公式を之に附す

(54) Specific conductivity; spezifischer Leitwert, Leitfähigkeit, Leitvermögen.
 (55) Aqueous solutions; wässriger Lösungen.

第三表
水溶液の比傳導

18°C.

$$\frac{1}{\rho''(\Theta, cm)}$$

溶解物	重量%に於て混溶の割合				
	5	10	15	20	25
K Cl	0,069	0,136	0,202	0,268	—
Na Cl	0,097	0,121	0,164	0,196	0,214
K NO ₃	0,045	0,084	0,119	0,051	—
Na NO ₃	0,044	0,078	—	0,130	—
Na ₂ SO ₄	0,041	0,067	0,089	—	—
Zn SO ₄	0,019	0,032	0,042	0,047	0,048
Cd SO ₄	0,015	0,025	0,033	0,039	0,043
Cu SO ₄	0,019	0,032	0,042	—	—
Mg SO ₄	0,026	0,041	0,048	0,048	0,042
Ni NO ₃	0,026	0,043	0,068	0,087	0,106
Ma OH	0,197	0,312	0,346	0,327	0,272
H Cl	0,395	0,630	0,745	0,762	0,723
H ₂ SO ₄	0,509	0,392	0,543	0,653	0,717

第四表
温 t°C

水溶液	比重 18°C	比抵抗 $\rho''(\Theta, cm)$	比傳導 $\frac{1}{\rho''(\Theta, cm)}$
稀硫酸 (H ₂ SO ₄)	1,223	=1,35[1-0,016(t-18)]	
飽和食鹽水 26,4% NaCl	1,201	=4,63[1-0,022(t-18)]	= [215+4,8(t-18)]10 ⁻³
硫酸マグネシウム液 17,3% MgSO ₄ (無水)	1,187	=20,3[1-0,026(t-18)]	= [48,8+1,28(t-18)]10 ⁻³
鹽化ポツターシウム液 7,46% KCl	1,045	=10,2[1-0,020(t-18)]	
醋酸 16,6% C ₂ H ₄ O ₂	1,022		= [1,62+0,029(t-18)]10 ⁻³

b. 電氣の應用に於て物質の抵抗は成るべく之を避んとする場合あり 又成るべく抵抗の大ならんことを欲する場合あり 此等は金屬其の他の物質に於て比抵抗の成るべく小又成るべく大なるものを選びと雖も 抵抗の大小に拘らず必ず之に附隨して如何なる強さ迄の電流を安全に永く流通せしめ得べきかに注意せざるべからず 故に抵抗を利用するに當りても弱電流⁽⁵⁶⁾と強電流⁽⁵⁷⁾とに對して區別するを要す 弱電流に在ては細き抵抗線を使用して萬事輕便なれ共 強電流に在ては之が熱を發するも差支なき装置を施し 自然通風にて冷却せしむるか 或は又油中に浸して熱を放散せしめ 合金の外鍍黒鉛、曹達水溶液等を使用することあり 極て弱き電流に使用する大抵抗としては硝子又は陶器板上に引きたる鉛筆の線⁽⁵⁸⁾を用ゆることあり 又小抵抗の場合にも硝子板上に鍍金したる白金の薄膜を用ゆることあり 弱電流に使用する測定用抵抗線にはコンスタンタン、マンガニン等の合金を用ゆ 此等は何れも至大の比抵抗を有するを以て 線長少なく容積小にして最も有効なる抵抗を爲す 其中マンガニンは温⁽⁵⁹⁾の變化に對し抵抗の變化殆んど之れなきのみならず 銅と接觸する場合の熱電壓⁽⁵⁹⁾は極て微少なるを以て 抵抗線として最も便利なるものなり 然れ共其の表面は酸化し易きが故に之を保護するを要す コンスタンタンは高熱に遇ふも表面酸化を爲さざるを以て此點に於て優れりとなすも 温の變化に伴れて抵抗の變ずること大なるを以て之を一定の温に保つべきことの不便あり 熱

(56) Weak current; Schwachstrom.

(57) Heavy current; Starkstrom.

(58) Pencil-streak; Graphitstrich.

(59) Thermoelectric force; Thermokraft.

線電流計⁽⁶⁰⁾にしてシャント⁽⁶¹⁾の設計なく 数十アンペアの電流を測定する爲にはプラチンイリヂウムの線又は紐を用ゆ

C. 強電流を輸送する場合には一秒間毎に損失するエネルギーは RI^2 なるが故に 成るべく比抵抗の少なき銅線を使用し銅の品質も亦厳密なる調査を要す 高圧輸送線に於ては電壓落差は RI なるが故に 同しく比抵抗の小なるべき物質を選び然れ共電力輸送線の必要状態は獨り抵抗のみならず 機械的の耐力重量保存價格等の問題ありて 場合に依りてはアルミニウム線ブロンズ線鋼線等を用ひ 又交流輸送に於て耐力と高傳導を兼有せしむる爲に鋼心に銅を熔着せしめたるモンノットメタル線⁽⁶²⁾を用ゆることあり

アルミニウム線は其の比抵抗に於て銅の次に位し銅に比すれば約六割高く 温率は約同一なり アルミニウム線は酸化に對しては強く 乾濕空氣に對し水に對し硫化水素に對しては無感なれ共 稀硫酸稀硝酸に對しては除々に腐蝕せられ食鹽アルカリに依りて速に腐蝕せらる 又アルミニウム線は臘付すべからざるを以て 二線の結合は圓錐形の接續管⁽⁶³⁾を以てする方法に依るものとす 第五表は同一の抵抗を有する銅線とアルミニウム線の比較なり アルミニウム線は銅線よりも太きが故に速かに之を燃線にする必要あり

(60) Hot-wire amperemeter; Hitzdraht Amperemeter.

(61) Shunt; Nebenschluss. (62) Monnotmetall.

(63) Cylindrical coupling sleeve; Zylindrische Verbindungsmaße.

第五表 (a)
同抵抗を有する銅線とアルミニウム線

切 断 面 積 平 方 耗 mm^2	長 ざ 1000 米 の 抵 抗 150Ω	燃 線 の 數	各 燃 線 の 直 徑		全 直 徑		長 ざ 1000 米 の 重 量			
			銅	アルミニウム	銅	アルミニウム	銅	アルミニウム		
0,5	0,8 ₂	31,90	1	1	0,80	1,04	0,8	1,0 ₁	4,5	2,1
1,0	1,6 ₅	17,45	1	1	1,13	1,45	1,1 ₂	1,4 ₅	8,9	4,3
1,5	2,4 ₇	11,634	1	1	1,33	1,77	1,3 ₈	1,7 ₇	13,4	6,4
2,0	3,2 ₉	8,725	1	1	1,55	2,05	1,5 ₆	2,0 ₅	17,8	8,6
2,5	4,1 ₂	6,980	1	1	1,78	2,29	1,7 ₈	2,2 ₉	22,2	10,7
3,0	4,9 ₄	5,817	1	1	1,96	2,51	1,9 ₆	2,5 ₁	26	13
4,0	6,6 ₅	4,363	1	1	2,26	2,90	2,2 ₆	2,9 ₀	36	17
5,0	8,2 ₇	3,490	1	1	2,52	3,24	2,5 ₂	3,2 ₄	45	21
6,0	9,8 ₈	2,908	1	1	2,76	3,55	2,7 ₆	3,5 ₅	53	26
7,0	11,5 ₉	2,493	1	1	2,99	3,83	2,9 ₉	3,8 ₃	62	30
10,0	16,4 ₇	1,745	1	1	3,67	4,58	3,7	4,5 ₈	89	43
12,5	20,5 ₇	1,396	1	1	3,99	5,12	4,0	5,1 ₂	111	54
16,0	26,3 ₅	1,091	1	7	4,52	2,18	4,5	6,5 ₀	142	69
20,0	32,9 ₄	0,873	1	7	5,05	2,45	5,1	7,4 ₀	178	86
25,0	41,1 ₈	0,698	1	7	5,64	2,74	5,6	8,2 ₀	224	107
35,0	57,6 ₁	0,499	7	19	2,52	1,97	7,6	9,8 ₅	311	150
50,0	82,8 ₅	0,349	19	19	1,83	2,35	9,1	11,7 ₅	445	214
70,0	115,2 ₉	0,249	19	19	2,16	2,78	10,8	13,4 ₀	623	300
95,0	156,4 ₆	0,184	19	19	2,52	3,24	12,6	16,1 ₅	846	407
115,0	189,4 ₁	0,152	19	19	2,78	3,56	13,9	17,8	1023	492
120,0	197,6 ₁	0,145	19	19	2,84	3,64	14,2	18,2	1063	514
125,0	205,8	0,140	19	19	2,91	3,71	14,5	18,5 ₅	1113	535
130,0	214,1	0,134	19	19	2,96	3,79	14,8	18,9 ₅	1157	557
140,0	230,5 ₈	0,125	19	19	3,07	3,93	15,5	19,6 ₅	1246	601
150,0	247,0 ₅	0,116	19	19	3,18	4,07	16,0	20,3 ₅	1335	642

(a) Rliiza u. Seidener, Starkstromtechnik, s. 58, 1912.

第三章 抵抗温率

金属其の他の物質は温度に依りて其の抵抗の数値を變ず 従て又此れ等の比抵抗も同様なり 然し乍ら大多數の物質に在ては幸にして其の變化は規則正しく 温對抵抗の關係は殆んど直線をなし 0°Cとθ°Cの抵抗比抵抗を表はすに右の下に付したる小字を以てすれば

$$R_t = R_0(1 + a_0 t) \quad R = R_0[1 + a_0(t - \theta)] \dots \dots \dots (1)$$

$$\rho_t = \rho_0(1 + a_0 t) \quad \rho = \rho_0[1 + a_0(t - \theta)] \dots \dots \dots (2)$$

なる簡單なる數式を以て 0°C 又は θ°C の抵抗比抵抗より 任意温 θ°C に於ける夫れ等を計算するを得べく a₀ a₀ とは 0°C, θ°C に於ける抵抗温率にして 其の意味は 0°C, θ°C の温に於て其の温を 1°C だけ昇らしむることに依りて抵抗比抵抗の増加する割合なり 即ち(1)(2)の式に於て t=1 又は t-θ=1 とすればなり

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{R_1 - R_0}{R_0} = \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_0} \dots \dots \dots \\ a_0 &= \frac{R_{\theta+1} - R_\theta}{R_\theta} = \frac{\rho_{\theta+1} - \rho_\theta}{\rho_\theta} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (3)$$

抵抗温率 a は測定に依りて其の数値を知るものとす 即ち(1)の關係により任意温 θ°C に依りて一物質の抵抗を測定して R_θ を知り 次に温を 3° 又は 5° 等だけ上昇せしめて再び其のものの抵抗を測定して R_{θ+3} 又は R_{θ+5} を知る時は 初の温 θ°C に於て (1) Temperature-Coefficient; Temperaturkoeffizient. (温度係数とも云ふ)
(a) (1)式の a は後に至りて a₀ を以て表はし (2)式の a は後に至つて a₀ を以て表はし 同一なるものには非ざれ共 其差は極て少にして測定誤差の内に在るが故に (1)(2)の式に於て a は同一として可なり

ける温率は(1)の關係に於て t-θ=3 又は 5 として之を知るべく

$$a_0 = \frac{1}{3} \left(\frac{R_{\theta+3}}{R_\theta} - 1 \right) \quad a_0 = \frac{1}{5} \left(\frac{R_{\theta+5}}{R_\theta} - 1 \right) \dots \dots \dots (4)$$

等を以て多數の数値を算出すべく 夫れ等を集めて最も正確なる一數値を定め之を a₀ の數値と爲す 而して任意温 θ°C に於ける温率の一般公式は

$$a_t = \frac{1}{R_t} \left(\frac{dR}{dt} \right)_t \dots \dots \dots (5)$$

に依りて之を表はす 即ち θ°C に於て一物質の抵抗が温に對して變化する速度を此温に於ける抵抗にて除したるものなり 而して此式中に於て自然に入り來る他の温例へは 0°C, θ°C の如きは標準温を意味するものなり 之を平たく書換ゆる時は(3)の式と同じく

$$a = \frac{1}{R_t} \frac{R_t - R_\theta}{t - \theta} = \frac{1}{R_t} \frac{\rho_t - \rho_\theta}{t - \theta} \dots \dots \dots (6)$$

となり 此等に於て θ は標準温なり 多數の物質に於ては測定の結果として抵抗と温は直線的の關係を以て變じ 少くとも電氣的常温範圍に於て然るものなり 例へば發電機を作れる銅線の抵抗は發電機の使用せらるる常温範圍 0°C と 100°C の間に於て(1)の公式の如く規則正しく變化すと雖も マンガン等の二三の重要材料に於ては同一の温範圍に於て抵抗對温の關係は投物線の形狀をなすこと第一圖の如し 故に一般の場合には温對抵抗の關係は二次式にて表はすべきものにして 標準温 θ°C に於ける抵抗比抵抗と任意温 θ°C に於ける夫等の關係は二個獨立したる係數 a₀, b₀ を有し(7)(8)の代はりに

$$R_t = R_0[1 + a_0(t - \theta) + b_0(t - \theta)^2] \dots \dots \dots (7)$$

$$\rho_t = \rho_0[1 + a_0(t - \theta) + b_0(t - \theta)^2] \dots \dots \dots (8)$$

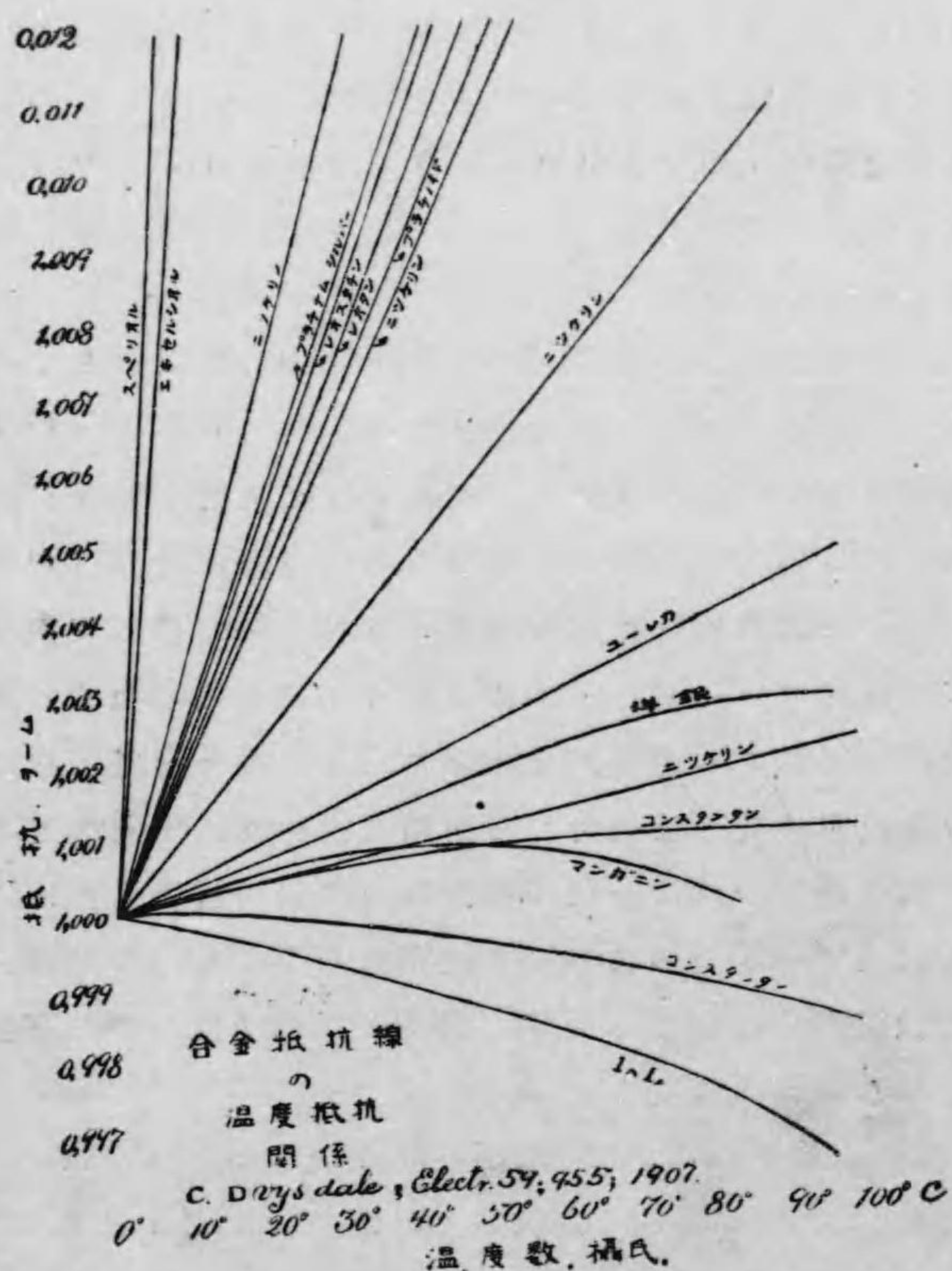
と書すべきものなり 従て(5)の公式に依り θ°C を標準温とレジスタンス

して θ C に於ける温率は

$$a_t = \frac{a_\theta + 2b_\theta(t-\theta)}{1 + a_\theta(t-\theta) + b_\theta(t-\theta)^2} \dots\dots\dots (9)$$

なり 電氣工業及び測定に使用する重要金属材料に在ては a , b は何れも極て小数にして 温差 $t-\theta$ も亦 100° C を越へざるを以て (9) の式は大に省略するを得べく 實測に於てマンガニ

第一圖



ンは最も際立ちたる投物線關係を示すものなれ共 $\theta=25^\circ$ C の場合を取て其の一標本に就て a, b の數値を測算するに

$$a_{25} = -0,000\ 01 \text{ 乃至 } +0,000\ 03$$

$$b_{25} = -0,000\ 000\ 3 \text{ 乃至 } +0,000\ 0005$$

の如き小数にして 其の他の金属材料に於ては一層小数なるが故に一般に $a_\theta(t-\theta) + b_\theta(t-\theta)^2 \ll 1$

となし 従て温率は θ C を標準温として

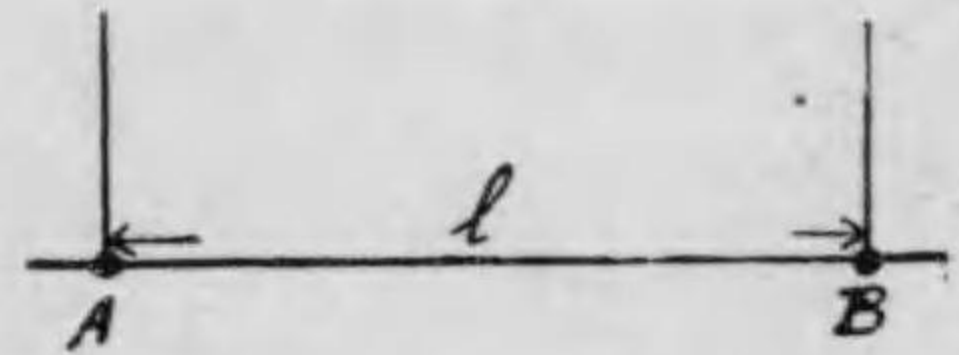
$$a_t = a_\theta + 2b_\theta(t-\theta) \dots\dots\dots (10)$$

とするを得べし 温對温率の關係も亦た直線狀を爲すものなり

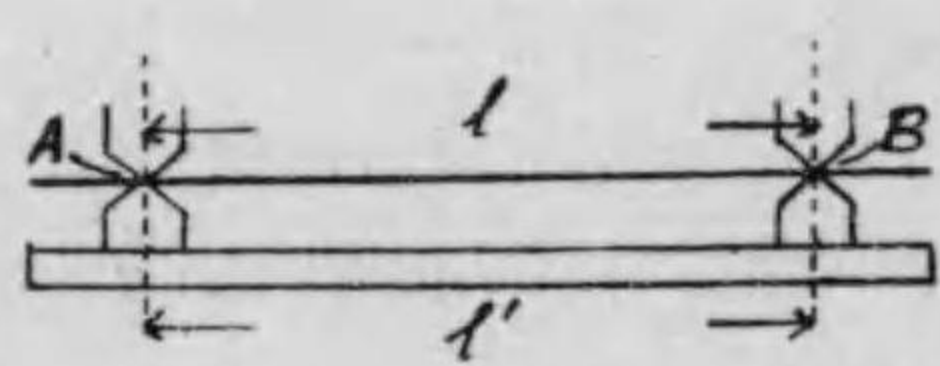
a. 抵抗温率は (1)(2) に示す如く抵抗又は比抵抗の數値の變化より之を導くものなるが 比抵抗の數値は種々の單位(第二章)にて表はされ 或は $\rho(\Theta, m, mm^2)$ を用ひ或は $\rho'(\mu\Theta, cm), \rho''(\Theta, cm)$ を用ふ 而して此等より導かるゝ温率は不變容積に於ける温率なり 或は又一米の線狀物質の抵抗に此一米の質量グラムを乗じたる $R(\Theta, m, g)$ を用ゆる時は 之より導かるゝ温率はメートル, グラム, フォームの温率なり 此等單位を異にしたる比抵抗より導かるゝ温率は 其の間に如何なる差別を附し 其の一より他に移るに當りて如何なる換算法を用ゆべきや 又比抵抗を測定する方法に於て之を見るに 或は第二圖の如く測定せんとする物質 AB の二個所 A と B とに導線を臘付けし之を油槽内に入れて温の變化を行ふに AB なる長さ l と AB 線の切斷面積は温に依りて自由に膨脹收縮すると雖も 其の質量は一定不變なり 此の如き装置を以て測定する温率は則

(2) "Constant volume" temperature coefficient.
 (3) Temperature coefficient at m-gr. Ohm.

第二圖



第三圖



ち不變質量に於ける温率⁽⁴⁾なり 又第三圖の如く測定せんとす
る金屬線の二個所 A, B に接觸刃を當て 其の臺と共に油槽内
に入れて温の變化を行ふ時は AB 線の延長膨脹と同時に臺
の延長あり 此等を合成したる結果は此等二者の比較的延長
に關し 此の装置にて測定したる温率は必ずしも測定する物
質の定數のみにあらずして 二刃を取付たる臺の如何にも關
係す 此くして測定したる温率は接觸刃温率⁽⁵⁾として其の内義
を明記するを要す 凡て此等の單位と測定法を異にしたる温
率數價の關係は 次に記載する處に依て其の間に換算を行ふ
を得べし⁽⁶⁾

測定せんとする物質線の A, B 二點間の長さを $l(\text{cm})$ とし其の
切斷面積を $q(\text{cm}^2)$ とし 標準温 0°C に於ける其の比重を δ と
なし 測定したる A, B 間の抵抗を $R(\Theta)$ とす γ を以て其の
延長率となし 接觸刃の場合には A, B 二點間の臺の長さを l'
(cm) とす 而して種々の比抵抗は(第二章)によりて

$$\left. \begin{aligned} \rho'(\mu\Theta, \text{cm}) &= 10^3 \rho(\Theta, m, \text{mm}^2) = 10^6 \rho''(\Theta, \text{cm}^2) \dots\dots\dots (11) \\ \sigma(\Theta, m, g) &= \delta \rho(\Theta, m, \text{mm}^2) = 10^{-2} \delta \rho'(\mu\Theta, \text{cm}) \dots\dots\dots \end{aligned} \right\}$$

なり 故に

$$a_v = \text{不變容積に於ける比抵抗温率} \dots \rho_t = \rho_0(1 + a_v t)$$

(4) "Constant mass" temperature-coefficient.
(5) "Knife-edge" temperature-coefficient.
(6) Dellinger: Bull. Bur. St. 1911.

$$\begin{aligned} a_m &= \text{不變質量に於ける抵抗温率} \dots R_t = R_0(1 + a_m t) \\ a_\sigma &= (m, g, \Theta) \text{に於ける比抵抗温率} \dots \sigma_t = \sigma_0(1 + a_\sigma t) \\ a_z &= \text{接觸刃に於ける抵抗温率} \dots \left(\frac{R}{l}\right)_t = \left(\frac{R}{l}\right)_0(1 + a_z t) \end{aligned}$$

なる區別をなし 抵抗線の延長と切斷面積の膨脹は各

$$l_t = l_0(1 + \gamma t) \quad q_t = q_0(1 + \gamma t)^2 \dots\dots\dots (12)$$

なり

不變容積の温率と不變質量の温率を比較するに(1)(2)により

て

$$R_t = R_0(1 + a_m t) \quad \rho_t = \rho_0(1 + a_v t) \dots\dots\dots (13)$$

なり 然るに(第二章)の(1)により

$$\begin{aligned} R_t &= \rho_t \frac{l_t}{q_t} = \rho_0(1 + a_v t) \frac{l_0(1 + \gamma t)}{q_0(1 + \gamma t)^2} = \rho_0 \frac{l_0}{q_0} (1 + a_v t)(1 - \gamma t) \\ &= \rho_0 \frac{l_0}{q_0} [1 + (a_v - \gamma)t] = R_0 [1 + (a_v - \gamma)t] \end{aligned}$$

なるが故に (13) の R_t と比較して

$$a_m = a_v - \gamma \dots\dots\dots (14)$$

を得 即ち不變質量の抵抗温率は不變容積の抵抗温率より測
定する抵抗線の延長率を減したるに等し 而して ρ, ρ', ρ'' は
何れも不變容積の比抵抗にして其の間一定の比をなすものな
れば 此等比抵抗より導かるゝ温率は何れも a_v にして $\rho, \rho',$
 ρ'' の何れより導くとも同一數價の温率 a_v を得るものなり

次に接觸刃の抵抗温率と不變質量の抵抗温率との關係を求
むるに 刃の取付けらるゝ臺の延長率を γ' となし l' を兩刃
間の長さとなし 接觸刃の抵抗温率の定義を新たに定めて之
を

$$\left(\frac{R}{l'}\right)_t = \left(\frac{R}{l'}\right)_0(1 + a_z t) \dots\dots\dots (15)$$

とすれば

$$R_t = \left(\frac{R}{V}\right)_t \left(\frac{l}{V}\right)_t = \left(\frac{R}{V}\right)_0 \left(\frac{l}{V}\right)_0 \left(\frac{1+\gamma t}{1+\gamma' t}\right) (1+a_s t)$$

$$= R_0 [1+(\gamma-\gamma')t] (1+a_s t)$$

$$= R_0 [1+(a_s+\gamma-\gamma')t]$$

なり 故に之を(13)の R_t と比較して

$$a_m = a_s + \gamma - \gamma' \dots\dots\dots (16)$$

を得 即ち不変質量の抵抗温率は接触及の抵抗温率に加ふるに測定する抵抗線と臺の比較延長率(の差)を以てするに等し故に二刀を取付る臺が抵抗線と同一物質にて作らるゝ時は此の附加数は零にして

$$a_m = a_s \dots\dots\dots (16')$$

なり 若し又此臺が温に對して延長收縮せざる物質インバーにて作らるゝ時は $\gamma' = 0$ なるを以て

$$a_m = a_s + \gamma \dots\dots\dots (16'')$$

なり

次にメートル・グラム・フォームの比抵抗 σ より導かるゝ比抵抗温率と 不変質量の抵抗温率とを比較するに 後者の質量を以て m となし 前者の温率 a_s の定義を以て他の温率と同様に

$$\sigma_t = \sigma_0 (1+a_s t) \dots\dots\dots (17)$$

とすれば(7)と第二章の(1)により

$$R_t = \rho_t \frac{l_t}{q_t} = \frac{\sigma_t l_t}{\delta_t q_t} = \frac{\sigma_t l_t^2}{m} = \frac{\sigma_0 l_0^2}{m} (1+a_s t)(1+\gamma t)^2 =$$

$$= \frac{\sigma_0 l_0}{\delta_0 q_0} (1+a_s t)(1+\gamma t)^2 = \rho_0 \frac{l_0}{q_0} (1+a_s t)(1+\gamma t)^2 = R_0 [1+(a_s+2\gamma)t]$$

(6) Invar インバーとは鐵とニッケルの合金にして普通大氣中の温度差に對しては其の膨脹率極少なく 1°C に付 0,000 000 374 乃至 0,000 000 44 に過ぎず即ち鋼の膨脹率の 1/25 にして物理器械・時計の振子・測量用の組尺・尺度等の材料となり三角測量の外は膨脹の修正を要せず Guillaum の測定に依れば 0°C より 200°C に至る範圍に於て延長率は (0,877+0,00117t) 10⁻⁶ なりと云ふ

なるが故に之を(13)の R_t と比較して

$$a_m = a_s + 2\gamma \dots\dots\dots (18)$$

なる關係を得 即ち不変質量の抵抗温率は メートル・グラム・フォームの比抵抗温率に抵抗線の二倍延長率を加へたるものなり

此等數種の温率の中普通一般に實行する如く ρ, ρ', ρ'' の比抵抗より導ける a_s は最大にして a_m と a_k は中間に位し a_r は最小なり 然れ共其の差は抵抗線の延長率又は其の二倍に過ぎざるを以て 實際使用する諸金屬の抵抗線に於ては此差極て少々なり 銅の場合に於て之を見るに

$$a_m = 0,00428 \quad a_s = 0,00425 \quad a_r = 0,00429$$

にして此の間の差よりも 測定用標本の相違に基き 或は又温率を定むる標準温の異なるが爲に生ずる誤差の方反て之より大なること往々あり 而して a_m と a_k は直接に測定して之を導くものなるが故に第二圖第三圖の装置は常に使用せられ a_r と a_s は唯計算上より導かるゝものにして 此等同種の温率は殆んど同一の數價なりとは云へ 確乎たる規定を設けんとすれば 温率は不変質量の抵抗温率を以て正當なる者とすべく 普通は何等の書添ひなく a_m と a_s を混同使用すと雖も 測定する抵抗線が幾何的に正しき形を爲さるものなれば 其の兩極端に電極を臘付して其の温率を測定するを至便となす 而して此場合の温率は則ち a_m に外ならざるなり⁽⁷⁾

b. 主要なる金屬原素及び合金類の抵抗温率は第六表第七表に在り 之を通覽するに水銀の抵抗は攝氏一度毎に殆んど

(7) J. H. Dellinger, Bull. Bur. St. Vol 7, No. 1, p 71, 1911.

第六表
元素金属の温率

金属	a_{15} (\ominus, m, mm^2)	金属	a_{15} (\ominus, m, mm^2)
アルミニウム	0.0040	銅全純	0.00394
鉛	0.0040	銅全純	0.0040
力	0.0040	銅全純	0.0040
鐵	0.0045	銅全純	0.0033
全	0.0040	銅全純	0.0043
上	0.0035	銅全純	0.00372
上	0.0036	銅全純	0.0038
上	0.0045	銅全純	0.0009
全	0.0035	銅全純	0.0024
全	-0.0005	銅全純	0.0038
全	-0.0005	銅全純	0.00415
全	-0.0005	銅全純	0.0040
全	-0.0004	銅全純	0.00234
全	0.0037	銅全純	0.0032
全	0.0045	銅全純	0.0045

第七表
合金類の温率其他⁽⁸⁾

合金	比重 δ	比抵抗 p' ($\mu\Omega, cm$) 0°C	温率 a ($\mu\Omega, cm$) 17°C	銅に對する熱電壓 (μv) per 1°C
ニッケリン ⁽⁹⁾	8,61-9,08 ₂	26,9 ₆ -40,6 ₂	0,00245-0,031	19,7-37,5
コンスタンタン ⁽¹⁰⁾	8,90 ₃ -8,99 ₃	47,05 ₆ -48,21	-0,00073 ₂ -+0,00143 ₇	35,75-57,6
マンガニン ⁽¹¹⁾	8,60 ₂ -8,61 ₂	36,6 ₂ -39,14 ₁	0,00175-0,001763	1,4-1,44
レオスタタン ⁽¹²⁾	8,61 ₃	47,55	0,024	13,8
エキストラ・プリマ ⁽¹³⁾	8,80 ₁	29,35	0,028	16,55
レオスタタン ⁽¹⁴⁾	8,60-8,65	47,57 ₈ -48,43 ₂	0,0256-0,0274	20,75-20,9
洋銀 ⁽¹⁵⁾	9,05 ₈	42,88 ₇	0,00385	35,75
エーレンカ ⁽¹⁶⁾	8,96	47,40 ₁	0,0048	40,6
プラチノイド ⁽¹⁷⁾	8,83	33,62	0,0224	23,5
プラチナムシルバー ⁽¹⁸⁾	-	-	0,0263-0,0274	-
ニュー・メタル ⁽¹⁹⁾	8,96	51,10	0,0038	35,8
スペリオル ⁽²⁰⁾	8,24 ₁	81,02 ₄	0,1148	7,44
エキセルシオル I ⁽²¹⁾	8,04	80,29 ₂	0,0947	4,9
エキセルシオル II	8,75	5,29 ₂	0,1417	1,56
IA IA	8,97 ₆	50,7	-0,0029	39,12

(8) V. Drysdale, Electr 59; 990; 1907.
 (9) Nickelin (10) Constantan (11) Manganin (12) Rheostan (13) Extra Prima
 (14) Rheostatin (15) German Silver; Neusilber (16) Eureka (17) Platinoid
 (18) Platinum Silver; Platinsilber (19) New metal (20) Superior (21) Excelsior

$\frac{1}{1000}$ づゝ増加し 他の金属原素は之に比して約四倍の増加を示し 鐵に於ては最大にして約四倍半なれ其標本に依りて六倍に達するものあり 故に温度の變化に對する抵抗變化は鐵に於て最も鋭敏なるを以て 熱波の輻射等を測定するボロメーター⁽²²⁾には鐵の細線を使用し 其の抵抗變化を高感度の電流計にて測定して 鐵線の受けたる輻射を知るものとす 隔たりたる室内の温度を測定するには隔離寒暖計⁽²³⁾を用ひ 竈爐内の火熱温を知る爲には火力計⁽²⁴⁾を用ふ 此等の一種は何れも抵抗寒暖計にして白金線の温率を利用し抵抗の變化に基く電流の増減を電流計にて測定し 之に依て直接に測定し得られざる温を知るものとす

金属類の抵抗温率は其の物質の純不純を檢查する方法として往々化學的定量分析以上の確實精度を有し 合金線の檢查には之を實地適用せり 二個の定温に於て此物質の小抵抗を測定して温率を算出するものなるが 此の如き小抵抗の測定にはケルキン電橋又は之を改造したる装置を使用し 測定の精度は 0,01% 以下に達して極めて精密なるものなり 即ち t_1 C, と t_2 C に於て一個金属線の抵抗を測定し之を R_1, R_2 とすれば 温率は (6) に依て

$$a_{t_1} = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_1 - R_2}{t_1 - t_2} \dots \dots \dots (19)$$

より直ちに算出するを得べし 而して一般の場合には t_1 と t_2 は遠く隔たらしめる二温たるべしと雖も 其の物質が多くの研究を経て其の抵抗が温に對して直線的に變化する者たるを知らば 遠く隔たりたる二温を用ゆるも可なり 假へば銅の一個見本に就て温率を定めんとすれば 室内の温と氷解温或は

(22) Heat-radiation; Wärmestrahlung. (23) Bolometer (24) Fernthermometer
 (25) Pyrometer (26) Thomson Bridge; Kelvin Brücke.

又室内温と沸水温に於て抵抗を測定し之よりして温率を導くも可なり 若し又同一の油槽内又は水槽内に 既知の標準物質と測定する物質とを共に入れて同温に昇らしめ夫れ等の抵抗を測定する時は 標準物質の温率に比較して測定物質の温率を定むるを得べし 假へば a_1 を以て測定物質の温率となし a_1' を以て標準物質の既知温率とすれば

$$a_1 = \frac{R_{t_1} - R_{t_2}}{R_{t_1}(t_1 - t_2)} \quad a_1' = \frac{R'_{t_1} - R'_{t_2}}{R'_{t_1}(t_1 - t_2)}$$

なるが故に

$$\begin{aligned} a_1 - a_1' &= \frac{1}{t_1 - t_2} \left(\frac{R_{t_2}'}{R_{t_1}'} - \frac{R_{t_2}}{R_{t_1}} \right) = \frac{1}{t_1 - t_2} \left(\frac{R_{t_2}'}{R_{t_2}} \cdot \frac{R_{t_2}}{R_{t_1}'} - \frac{R_{t_1}'}{R_{t_1}} \cdot \frac{R_{t_2}}{R_{t_1}'} \right) \\ &= \frac{1}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\frac{R_{t_2}'}{R_{t_2}} - \frac{R_{t_1}'}{R_{t_1}}}{\frac{R_{t_1}'}{R_{t_2}}} \approx \frac{1}{t_1 - t_2} \cdot \frac{\frac{R_{t_2}'}{R_{t_2}} - \frac{R_{t_1}'}{R_{t_1}}}{R_{t_2}} \\ &\approx \frac{r_{t_2} - r_{t_1}}{r_{t_2}(t_1 - t_2)} \dots \dots \dots (20) \end{aligned}$$

にして r とは同一温に於ける二物質の抵抗比即ち

$$r_{t_1} = \frac{R_{t_1}'}{R_{t_1}} \quad r_{t_2} = \frac{R_{t_2}'}{R_{t_2}}$$

なり 而して二物質を同一油槽内に入れて同一温に保ち 其の抵抗比を測定するは 電橋測定に於て最も容易とする所なり 而して標準物質の温率が零なる時は前述の式に於て a_1' は零なるが故に此の測定は最も簡單なり 且又温率の測定に於ては必要上測定すべき物質は油槽又は水槽内に入れて之を温め 電橋の如き測定器は之を外器中に置くを以て 自ら電路内に於て温の高き處と低き處あるが爲め 之より熱電壓を發生し測定の結果を亂すべきを以て 銅と接觸するに當りて熱電壓の極微なる物質は標準材料として貴重すべきものなり

第七表より之を見るに合金類の温率は金屬原素よりも小數

(27) thermoelectric force; Thermokraft.

なり 故に温に依りて抵抗の變化を招かざらん爲には合金を用ゆ 就中マンガニンの温率は最も小量にして殆んど零に近く加ふるに銅と接觸せしむるに其の熱電壓は最少にして攝氏一度に付き 1.5(μ V)に過ぎず 故に現在の標準及び測定用抵抗線は皆其材料を以てマンガニンをなす 今假りにマンガニンの温率を以て 0.000010 とすれば 攝氏零度の時の其の線の抵抗が 1% だけ増加すべき爲には 温は 1000°C 迄昇らざるべからず 此點に於てマンガニンに次ぐものをコンスタンタンとなす 然れ共コンスタンタンは銅に對する熱電壓大なり

C. 金屬類の抵抗温率は正號なり 即ち温昇れば其の抵抗は増加し温降れば減少す 然るに炭及び電解的に電氣を傳ふる物質⁽²⁸⁾に在ては温率は負號にして 温昇れば其の抵抗は減少す 故に炭線の電燈⁽²⁹⁾及びネルンスト電燈⁽³⁰⁾の酸化物體は 發電所の電壓變化⁽³²⁾に對して著しく光力を變ず 即ち發電所の電壓少しく高まれば 電流は少しく増加して此等に通じ 光を増すと共に熱と温を高め 其結果抵抗は減少して電流は一層増加するを以て光力は尙一層増加し 發電所の電壓低くなれば反對の結果ありて 發電所に於ける變化を誇張するものに似たり 之に反してラスミウム、タンタラム、タングステン等の金屬線電燈⁽³³⁾に於ては 温率正號なるを以て電壓變化に對して逆の作用をなし 従て發光線の太さが同一なれば發電所に於ける電壓の變化に對して光力の變化は炭素電燈よりも少かるべき者なり

(28) Electrolytic conductor; elektrolytisch leitende Substanz.
 (29) Carbon filament lamp; Kohlenfadenglühlampen
 (30) Nernst lamp. (31) Lighting Station; Beleuchtungszentrale
 (32) Fluctuation of voltage; Spannungsschwankungen.
 (33) metallic filament lamp; Metallfadenglühlampe.

り 一般に電燈に於ける電流の増加は線の温を高むるを以て規定以上の光力を發する時は電燈の損傷を招き 炭線電燈の尋常光照温は計算上 1900°C 以下にして 2500°C となれば炭線は著しく剝離し タンタラム電燈の尋常光照温は計算上 2000°C にして 2200°C に於て剝離し タングステンに在ては尋常光照温は計算上 2300°C にして 2800°C 以上となれば剝離せずして熔解す 故に炭線電燈は發電所の電壓上昇に對して自滅の性質を有し 金屬線電燈は自衛の性質を有する者と云ふべし 電路中に入れて電流の加減をなすべき抵抗器に在ても 金屬抵抗と炭線電燈の抵抗は前述する處と同様の働きをなし 電源の電壓に變化あれば炭線電燈の抵抗は此變化を誇大にす 唯此種の抵抗の有する利點は交流に對して殆んど純抵抗なることとなり 發電機交流機を製作するに當り其の發電機界磁線輪等の抵抗を製作工場にて測定し 其の後之を据付たる時に此抵抗を測定すれば 其の間氣節及び室内温の變更あるが爲め 此等二種の温 θ_1, θ_2 に於ける抵抗 R_1, R_2 より 此發電子を成せる銅の品質に固有なる α_2 °C の温率 α_2 を定むるを得べし 即ち (1) によりて

$$\alpha_2 = \frac{R_1 - R_2}{R_2(\theta_1 - \theta_2)}$$

より算出するを得べし 而して他日試運轉を行ふる當り發電子の温の上昇は寒暖計を以て其の外より正確に測り得べからざるも 此温率を使用して試運轉の後其の抵抗 R_t を測定すれば其の温 t °C は (1) に依て

$$t = \theta_2 + \frac{R_t - R_2}{\alpha_2 R_2} \dots \dots \dots (33)$$

(34) Armature, rotor; Anker, Rotor, Läufer.

(35) Field coil; Feldspule.

(36) Trial; Probe.

より之を計算するを得べし

送電線の抵抗を時々測定して電路絶縁の損傷を檢查し 或は又發電機發電子の各部分に就て其の抵抗を測定して其異狀の有無を確め 或は起動機其他の抵抗を測定して其の檢查を行ふに當りては 測定したる抵抗の數價は何時も必ず一定の標準温に換算するに非ざれば其の測定は價値なきものなり 特に近來の送電線に在ては其の抵抗は甚少量にして 1Ω を超へざるに屢なれば此換算は益必要なり 換算すべき標準温は 0°C にても 15°C にても 20°C にても可なり 唯何時も同一の標準温たるべきことを要す 測定したる時の温度を t °C となし 其の時の抵抗を R_t とすれば 標準温 θ に換算したる抵抗は (1) によりて

$$R_\theta = \frac{1}{1 + \alpha_\theta(t - \theta)}, R_t = A_t R_\theta \dots \dots \dots (22)$$

なり 此式に於て A_t とは t °C に於ける抵抗 R_t を標準温 θ °C の場合に換算すべき係數即ち乗すべき數にして 此く換算したる後の數價が平常の數價より減し居れば 其電路には一部の短絡又は漏電あることの證なり 電路の抵抗測定は該電路に在り得べき病症の診斷とも謂ふべきものにして 第八表は標準温を $\theta = 20^\circ C$ となし高度導通の銅に於ける 20°C の温率を $\alpha_0 = 0,00394$ として算出したる換算係數 A_t の數價なり

(37) Transmission line; Übertragungsleitung. (38) Insulation; Isolation. (39) Starter; Anlasser

(40) Short-circuit; Kurzschluss. (41) Leakage of current; Stromverlust.

(42) High-conductivity copper; Kupfer von hoher Leitfähigkeit

(43) 此數は目下米國標準器局より銅の温率の國際數價として各國に提出したるものなり

第 八 表

抵 抗 の 換 算

温	係数	温	係数	温	係数	温	係数	温	係数
0	1,085	20	1,000	40	,927	60	,864	80	,809
1	1,081	21	,995	41	,924	61	,861	81	,806
2	1,076	22	,992	42	,920	62	,858	82	,804
3	1,072	23	,988	43	,917	63	,855	83	,801
4	1,067	24	,985	44	,914	64	,852	84	,799
5	1,063	25	,981	45	,910	65	,849	85	,796
6	1,058	26	,977	46	,907	66	,847	86	,794
7	1,054	27	,973	47	,904	67	,844	87	,791
8	1,050	28	,969	48	,901	68	,841	88	,789
9	1,045	29	,966	49	,897	69	,838	89	,786
10	1,041	30	,962	50	,894	70	,835	90	,784
11	1,037	31	,959	51	,891	71	,833	91	,781
12	1,033	32	,955	52	,888	72	,830	92	,779
13	1,028	33	,951	53	,885	73	,827	93	,777
14	1,024	34	,948	54	,882	74	,825	94	,774
15	1,020	35	,944	55	,879	75	,822	95	,772
16	1,016	36	,941	56	,876	76	,819	96	,770
17	1,012	37	,937	57	,873	77	,817	97	,767
18	1,008	38	,934	58	,870	78	,814	98	,765
19	1,004	39	,930	59	,867	79	,811	99	,763
20	1,000	40	,927	60	,864	80	,809	100	,760

温	係数	温	係数	温	係数	温	係数	温	係数
100	,760	120	,717	140	,679	160	,644	180	,613
102	,756	122	,713	142	,675	162	,641	182	,610
104	,751	124	,709	144	,672	164	,638	184	,607
106	,747	126	,705	146	,668	166	,635	186	,604
108	,742	128	,701	148	,665	168	,632	188	,602
110	,738	130	,698	150	,661	170	,628	190	,599
112	,734	132	,694	152	,658	172	,625	192	,596
114	,730	134	,690	154	,654	174	,622	194	,593
116	,725	136	,686	156	,651	176	,619	196	,590
118	,721	138	,683	158	,648	148	,616	198	,588
120	,717	140	,679	160	,644	180	,613	200	,585

故に任意温例へば 80°C の時に銅の抵抗を測定して R_{80} を得るとせば之を 20°C の場合に換算せんとすれば表中 80° に對する係数を乗じて

$$R_{20} = R_{80} \times 0,809$$

を得べし 若し又發電子の 20°C に於ける抵抗 R_{20} を知るものとし 之を他の場合に測定し不明の温に於て R_t を得れば

$$\frac{R_{20}}{R_t}$$

なる分數を計算して 此數を表中に求め例へば此數が 0,864 なる時は 之に對する温を見て 60°C を得べく 先の不明なりし t°C なる發電子の温は 60°C なり

第九表は先の米國標準器局より提供したる萬國標準數價に基き 任意温に於て測定したる比抵抗及び抵抗を 20°C の標準温の場合に換算する數字にして 第一行は觀測したる温を表はし 第二行第三行第四行第五行は測定したる此抵抗の數價を 20°C の場合に改むる爲に加ふべき數字を表はし 何れも觀測温と 20° の差に乗ずるに先に示したる定數を以てしたるものなり 次の三行は三種百分傳導度の銅に於て測定したる抵抗數價を 20°C の標準温の場合に改むる爲に乗すべき係數にして 例へば 100% の傳導度を有する銅に在ては 此係數は

$$\frac{1}{1+0,003930(t-20)}$$

なる式より算出せられたるものなり

第九表

銅の比抵抗及び抵抗を 20°C に換算する数字

温 °C	比抵抗を 20°C に直す爲に加ふべし				抵抗を 20°C に直す爲に乗ずべし		
	($\Theta, m.g$)	($\mu\Theta, cm$)	($\Theta, mils, pound$)	($\mu\Theta, in.$)	導率度 96%	導率度 98%	導率度 100%
0	+ 0,011 94	+ 0,1361	+ 68,20	+ 0,053 58	1,0816	1,0834	1,0853
5	+ ,008 96	+ ,1021	+ 51,15	+ ,040 18	1,0600	1,0613	1,0626
10	+ ,005 97	+ ,0681	+ 34,10	+ ,026 79	1,0392	1,0401	1,0409
11	+ ,005 37	+ ,0612	+ 30,69	+ ,024 11	1,0352	1,0359	1,0367
12	+ ,004 78	+ ,0544	+ 27,28	+ ,021 43	1,0311	1,0318	1,0325
13	+ ,004 18	+ ,0476	+ 23,87	+ ,018 75	1,0271	1,0277	1,0283
14	+ ,003 58	+ ,0408	+ 20,46	+ ,016 07	1,0232	1,0237	1,0242
15	+ ,002 99	+ ,0340	+ 17,05	+ ,013 40	1,0192	1,0196	1,0200
16	+ ,002 39	+ ,0272	+ 13,64	+ ,010 72	1,0153	1,0156	1,0160
17	+ ,001 79	+ ,0204	+ 10,23	+ ,008 04	1,0114	1,0117	1,0119
18	+ ,001 19	+ ,0136	+ 6,82	+ ,005 36	1,0075	1,0078	1,0079
19	+ ,000 60	+ ,0068	+ 3,41	+ ,002 68	1,0038	1,0039	1,0039
20	0	0	0	0	1,0000	1,0000	1,0000
21	- ,000 60	- ,0068	- 3,41	- ,002 68	0,9952	0,9952	0,9951
22	- ,001 19	- ,0136	- 6,82	- ,005 36	,9925	,9924	,9922
23	- ,001 79	- ,0204	- 10,23	- ,008 04	,9888	,9886	,9883
24	- ,002 39	- ,0272	- 13,64	- ,010 72	,9851	,9848	,9845
25	- ,002 99	- ,0340	- 17,05	- ,013 40	,9815	,9811	,9807
26	- ,003 58	- ,0408	- 20,46	- ,016 07	,9779	,9774	,9770
27	- ,004 18	- ,0476	- 23,87	- ,018 75	,9743	,9737	,9732
28	- ,004 78	- ,0544	- 27,28	- ,021 43	,9707	,9701	,9695
29	- ,005 37	- ,0612	- 30,69	- ,024 11	,9672	,9665	,9658
30	- ,005 97	- ,0681	- 34,10	- ,026 79	,9635	,9629	,9622
35	- ,008 96	- ,1021	- 51,15	- ,040 18	,9434	,9434	,9443
40	- ,011 94	- ,1361	- 68,20	- ,053 58	,9298	,9285	,9271
45	- ,014 93	- ,1701	- 85,25	- ,066 98	,9138	,9122	,9105
50	- ,017 92	- ,2042	- 102,30	- ,080 37	,8983	,8964	,8945
55	- ,020 90	- ,2382	- 119,35	- ,093 76	,8833	,8812	,8791
60	- ,023 86	- ,2722	- 136,40	- ,107 16	,8689	,8655	,8642
65	- ,026 87	- ,3062	- 153,45	- ,120 56	,8549	,8523	,8497
70	- ,029 86	- ,3403	- 170,50	- ,133 95	,8413	,8385	,8358
75	- ,032 85	- ,3743	- 187,55	- ,147 34	,8281	,8252	,8223

(a) Circular of the Bureau of Standards, No. 31, 1912, p. 5

第四章

表皮作用

ローム法則の應用せらるべき物質 即ち金属又は電解液の管に直流を通ずる時は 其の切断面内の何れの部分に於ても電流密度は同一なり 然れ共此等の物質に在りても交流を通ずる時は電流密度は何處に於ても同一なりとすべからずして導線の表面に於て最大にして之より内部に至るに従ひ漸次減少するを以て 全線の抵抗は物質の比抵抗と線の切断面積より計算すること能はず 電流の通過するに有効なる部分は主として外層に限られ内部は比較的無効なるを以て 導線は恰も切断面積の小なるものと同様なれば 抵抗は夫れだけ増加するものなり 従て交流に對するイムピーダンスの式たる

$$Z = \sqrt{R^2 + (2\pi nL)^2}$$

$R = \text{直流抵抗}$ $L = \text{インダクタンス}$
 $n = \text{周波数}$ $\omega = \text{イムピーダンス}$

に於て R なる抵抗は直流を以て測定するものと異なり 其の線の物質に應じ又之に通ずる交流の周波數に應じて増加したる抵抗なり 而して此抵抗を名付てローム抵抗と稱することは誘導抵抗に對照せられたる語にして 位相の變化に關係して此くは區別せられたるものなり

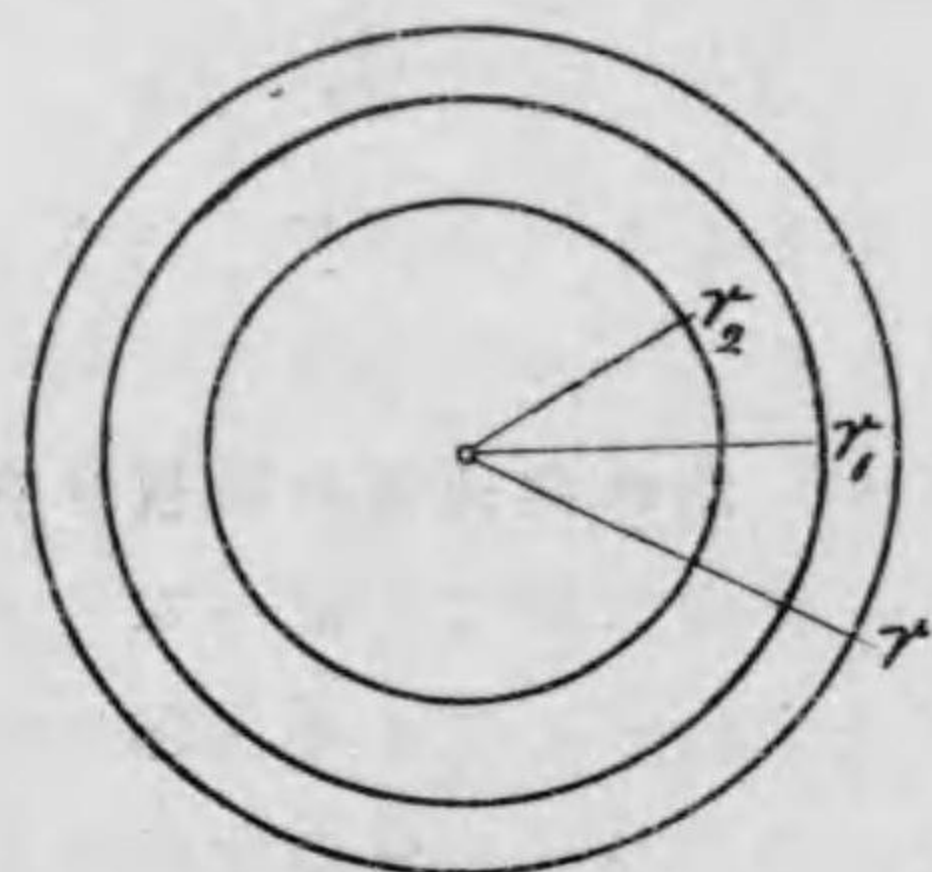
交流に對して上述する如く電流密度の分配に變化を生ずることは 導線の内部に現はるゝ誘導電動力に基くものにして

- (1) Current-density; Strömdichte, Strömung.
- (2) Alternating current; Wechselstrom.
- (3) Impedance; Impedanz.
- (4) Frequency, Periodicity, Number of cycles; Frequenz, Periodenzahl.
- (5) Ohmic resistance; Ohmscher Widerstand.
- (6) inductive resistance; induktiver Widerstand.
- (7) Phase
- (8) induced electromotive-force; induzierte elektromotorische Kraft.

レジスタンス

第一圖を以て導線の切断面となし 其の内部に半径 r_1, r_2 を以て薄き管状の部分を区劃し 此等二管の切斷面積を同一なり

第一圖



とせば r_1 管に働く電働力は導線の兩端に於て全切斷面に加はるもの、外半径 r_1 以外 r 以内に流れ其の方向と強さとを變化する電流より誘導せらるものなり 又 r_2 管に働く電働力は導線の兩端に於て全切斷面に加はるもの、外半径 r_2 以外 r 以内に流れて其の方向と強さとを變化する電流より誘導せらるものなり 従て r_1 管と r_2 管とは切斷面積同一にして長さも亦同一なりと雖も 此等に加はる電働力は異なるものにして 従て又此等の切斷面に於ける電流密度は異なるものなり 此の如き導線の内部に於ける電流密度の分配は此種の問題の最も簡單なるものなりとは云へ 其の計算は數學物理の範圍に屬するを以て 此處に在ては理論の結果を述るに止むべし

(一) 電流密度の振幅は導線の表面に於て最大にして内部に入るに従ひ漸次減少す

(9) Amplitude of current density; Strömungsamplitude, Strömungsscheitelwert.

(二) 導線の表面に於ける電流密度に比して内部に於ける電流密度は位相を異にす 内部に入ること深きに従ひ位相移動は漸次増加す

此等二法則の第一に掲げる現象を名付て表皮作用と云ひ 表面と内部との振幅の變化する關係は物質の定數と交流の定數より成れる二個の係數を以て之を表はすことを得 即ち

$$k = \pi \sqrt{\frac{\mu \rho}{2.10^9 (\epsilon \Theta_m \mu_0 \rho^2)}} \quad \kappa = k.r(cm) \sqrt{2n} \dots \dots \dots (1)$$

にして μ は導線の導磁率 μ_0 は周圍空氣の夫れにして 銅なれば $\mu/\mu_0=1$ 鐵なれば 10 乃至 3000 なるに依り 銅よりも鐵に於て表皮作用は甚大なり 又 ρ は導線の比抵抗にして第二章第一表第二表に掲げる數價なり 従て銅の如き比抵抗の小なる者と電解液の如く比抵抗の大なる者に在ては 表皮作用は之に轉比例して異なるものなり n は交流の周波數なれば緩慢なる電力電燈用の低周波交流と 電氣振動の如き高周波交流に於ては周波數に比例して表皮作用は大に異なるべし 次に r は導線の半径にして細線と太き線に於ては表皮作用は又大に異なることあるべし 第一表は物質の定數に係る係數 k の數價を示すものなり

a. 導線の切斷面内に於ける電流密度の分配を計算するに就ては二個の場合を區別するを要す 次に掲げる公式は直線状と見做すべき形狀の導線に於て交流又は不衰振動電流に適用す

(10) Phase-displacement; Phasenverschiebung.
(11) Skin-effect; Hautwirkung, Randwirkung.
(12) Zenneck, EMS p. 403 により換算 (13) Permeability; Permeabilität
(14) Electrolytes; Elektrolyten. (15) Low frequency current; Niederfrequenzstrom.
(16) electric oscillations; elektrische Schwingungen.
(17) high frequency current; Hochfrequenzstrom.
(18) Zenneck, EMS p. 992. により換算 (19) Zenneck, EMS p. 403
(20) undamped high-frequency currents; ungedämpfte Hochfrequenzströme.

第一表
表皮作用 k の数値

	$\frac{1}{\rho(\Theta, m, mm^2)}$	μ/μ_0	k
鐵	7	3000	1,12
同	7	1000	0,648
同	7	300	0,355
同	7	100	0,214
同	7	10	0,065
同	11	3000	1,39
同	11	1000	0,805
同	11	300	0,441
同	11	100	0,266
同	11	10	0,0805
銅	59	1	0,0537
真 鍍	11-14	1	0,0251
白 金	7,1	1	0,0185
洋 銀	2,3-6,2	1	0,0145
ニ ッ ケ リ ン	2,4	1	0,0110
マ ン ガ ニ ン	2,4	1	0,0107
コ ン ス タ ン タ ン	2	1	0,0100
水 銀	1,063	1	0,00724
Na Cl 飽和水溶液	2.10^{-5}	1	$3.2.10^{-5}$
Zn SO ₄ 最大傳導 同上	$4.8.10^{-6}$	1	$1.5.10^{-5}$
Cu SO ₄ 飽和 同上	$4.6.10^{-6}$	1	$1.5.10^{-5}$
H ₂ SO ₄ 最大傳導 同上	$7.4.10^{-5}$	1	$6.0.10^{-5}$

るものにして 衰滅振動電流又は密に巻きたる線輪には適用せざるものとす

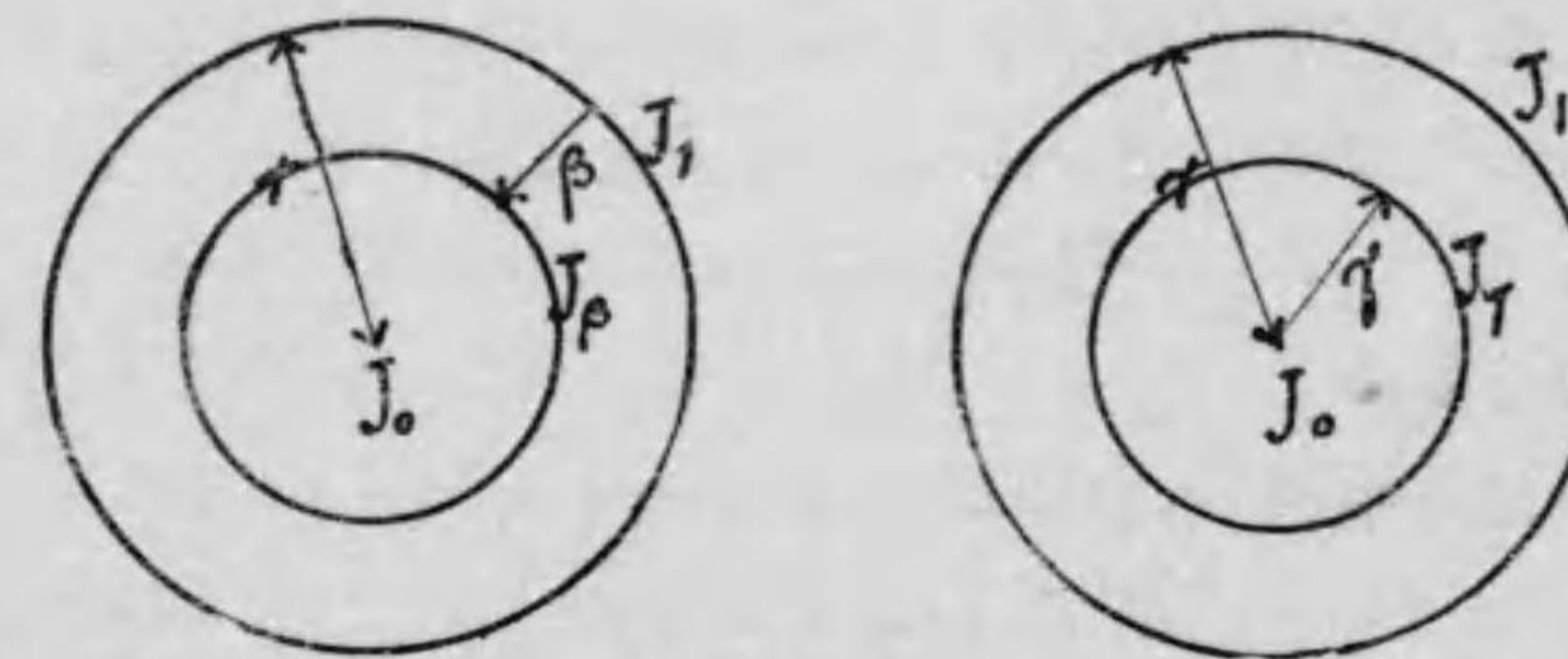
(一) $k \gg 1$ 此場合に於て表面に於ける電流密度の振幅を J_1 とし 表面より深さ β (cm) に於ける夫れを J_β とし 導線の軸
(21) damped electric oscillations; gedämpfte elektrische Schwingungen.

に於ける夫れを J_0 とすれば

$$J_\beta = J_1 e^{-\frac{\beta}{\delta}} \quad J_0 = J_1 e^{-2\beta} \dots \dots \dots (2)$$

にして 電流密度の振幅は表面より内部に向て對數的に減少す

第二圖



(二) $k \ll 1$ 此場合に於て電流密度の振幅 J_1, J_0 は第一の場合の通りとし 軸より r (cm) なる距離の夫れを J_r とすれば

$$J_r = J_0 \left\{ 1 + \kappa^2 \left(\frac{r}{\delta} \right)^2 \right\} \quad J_1 = J_0 (1 + \kappa^2) \dots \dots \dots (3)$$

にして 電流密度の減少する割合は緩漫なり

例一 半径一厘の銅線に於ける普通交流 此場合の諸定数を以て $r=1 \quad n=50 \quad k=0,054$ (第一表)

とするに $\kappa^2 = k^2 \cdot r^2 \cdot 2n = 0,29$ (二)の場合

なるが故に $J_1 = J_0 \cdot 1,085$

にして表皮作用甚少なく 表面と中心とに於ける振幅の差僅に8,5%なり

若し又銅線を以て一層細きものとなし 其の半径を一耗とすれば $r=0,1 \quad n=50 \quad k=0,054$

にして $\kappa^2 = k^2 \cdot 0,01 \cdot 100 = 0,0029 \quad J_1 = J_0 \cdot 1,0000085$

なるを以て表面と中心とに於ける電流密度の振幅は殆んど變

(22) logarithmically; logarithmisch.

りなきものにして表皮作用なしとするも可なり

例二 半径一種の鉄線に於ける普通交流 此場合に於ける諸定数を $r=1$ $n=50$ $k=0,65$ (第一表)

とするに $\kappa^2=k^2 \cdot r^2$ $2n=42,25$ (一)の場合

なるが故に $J_3=J_1 \cdot e^{-1,73}$

なり 即ち表面よりの深さ $\beta=0,05$ (cm) $=0,5$ (mm) にして 振幅は既に半減し 中心に於ける振幅は表面に於けるものゝ

$$J_0=J_1 \cdot \frac{1}{e^{1,73}}=0,33 \cdot J_1$$

三分の一となる

若し又鉄線の半径一耗なれば $r=0,1$ にして

$$J_1=J_0 \cdot 1,18$$

表面と中心に於ては振幅に18%の差あるのみ

例三 半径一耗の銅線に於ける振動電流 此場合に於て諸定数を以て $r=0,1$ $n=\frac{1}{2} \cdot 10^6$ $k=0,054$ (第一表)

となす 然る時は $\kappa^2=k^2 \cdot r^2$ $2n=29,16$ (一)の場合

$$J_3=J_1 \cdot e^{-10,8} \quad J_0=J_1 \cdot e^{-10,8}$$

なるが故に表面よりの深さ $\beta=\frac{6}{100}$ (cm) $=\frac{6}{100}$ (mm) にして振幅は既に殆んど半減し 深さ $\frac{1}{10}$ (mm) にして $\frac{1}{3}$ となり 中心に於ける振幅は殆んど零價なり 故に此の如き電流は銅線の深さ $\frac{1}{10}$ (mm)迄の處を流るゝものとし 其の以内には流れざるものとして差支なきものなり 換言すれば $n=\frac{1}{2} \cdot 10^6$ なる振動電流に對して 半径一耗の銅線は非常に太きに過るものなり

例四 半径 $\frac{1}{10}$ 耗の鉄線に於ける振動電流 此場合に於て諸定数を以て $r=0,01$ $n=\frac{1}{2} \cdot 10^6$ $k=0,65$ (第一表)

とするに

$$\kappa^2=k^2 \cdot r^2 \cdot 2n=42,25 \quad (一)の場合$$

$$\text{なり 故に} \quad J_3=J_1 \cdot e^{-120,7} \quad J_0=J_1 \cdot e^{-12}$$

なるを以て 表面よりの深さ $\beta=\frac{1,1}{1330}$ (cm) $=\frac{8}{1000}$ (mm) にして振幅は既に $\frac{1}{3}$ に減じ J_0 は零なり 故に $n=\frac{1}{2} \cdot 10^6$ の振動電流に對して半径 $0,1$ (mm) の鉄線は即ち非常に太きに過るものなり

例五 半径10種の電解液に於ける振動電流 此場合に於て諸定数を $r=10$ $n=\frac{1}{2} \cdot 10^6$ $k=6 \cdot 10^{-3}$ (第一表)

とするに $\kappa^2=k^2 \cdot r^2$ $2n=0,36$ (二)の場合

なり 故に軸と表面とに於ける振幅の比は

$$J_1=J_0 \cdot (1+\kappa^2)=J_0 \cdot 1,13$$

なるを以て 其の間の差は僅に13%に過ぎず 故に $n=\frac{1}{2} \cdot 10^6$ の振動電流に對して 電解液なれば半径10種よりも太き導線を有効に使用することを得るものなり

b. 上述する如く高周波の交流に對しては銅線の細きものも尙ほ其の内部大部分は無効となり 従て又切斷面積の極て小なる導線を流るゝことゝなるを以て 抵抗は大に發達するが故に 之を免かれんとして一方には極て細き絶縁銅線を撚りて各線を有効にし 全體として大なる切斷面積を有せしめ 又一方に於ては帶狀導線を用ひて表面を大ならしめ以て其の抵抗を減す 此の如き平たき帶狀導線に於て交流を有効に通し得る表面よりの深さを名付て 有効層の厚さ又は透入深度⁽²³⁾と云ひ 其の公式及び計算の結果は次に示すが如し⁽²⁴⁾

$$d \text{ (mm)} = 5030 \sqrt{\frac{\rho (\Theta \cdot m \cdot mm^2)}{n \mu}} \dots \dots \dots (4)$$

此式に於て d は透入深度 n は周波數 μ は導磁率 ρ は比抵抗(第二章第一表第二表)なり

(23) effective layer; effektive Schicht. Eindringungstiefe.
(24) C. Steinmetz, Theory and Calc. of Trans. Elec. Phenom. and Oscillations. 1909, Ch. 7.

第二表
透入深度 d (mm)

物質	μ	$\rho(\Theta, m, mm^2)$	d (mm)				
			n 25	n 60	n 10^4	n 10^6	n 10^9
極軟鐵	2000	0,09	0,65	0,44	$34 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$1,11 \cdot 10^{-3}$
鋼レール	1000	0,10	1,01	0,65	$59 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$0,16 \cdot 10^{-3}$
鑄鐵	200	1,00	7,1	4,6	0,355	$35,5 \cdot 10^{-3}$	$1,13 \cdot 10^{-3}$
銅	1	0,016	12,8	8,2	0,64	$64 \cdot 10^{-3}$	$2,03 \cdot 10^{-3}$
アルミニウム	1	0,03	16,5	10,7	0,82	$82 \cdot 10^{-3}$	$2,63 \cdot 10^{-3}$
洋銀	1	0,33	55,3	35,7	2,76	$276 \cdot 10^{-3}$	$8,8 \cdot 10^{-3}$
黒鉛	1	22	335	217	16,7	1,67	$53 \cdot 10^{-3}$
シリコン	1	125	1125	727	56,3	5,63	$179 \cdot 10^{-3}$
飽和鹽液	1	$5 \cdot 10^4$	$22,5 \cdot 10^3$	$14,5 \cdot 10^3$	1120	112	3,6
純河水	1	$1 \cdot 10^8$	$100,6 \cdot 10^3$	$650 \cdot 10^3$	5030	5030	160

本表に見る如く電解液と河水は 空中電氣の放電の如き高周波の交流に對しても 殆んど何等の表皮作用を現はすことなく 鑄造シリコンは 10^6 の週數に對しても 其の抵抗餘り増加せずして約五耗の厚さを有効に使用するを得べく 其の他の金屬に在ては 周波數 n に應じて有効に使用し得る線の最大直徑は第三表に示す如し

第三表
有効最大直徑(耗)

物質	n 25	n 60	空氣周波數 10^6 迄
鋼線	3,0	2,0	—
銅	26,0	16,0	0,13
アルミニウム	33,0	21,0	0,16
洋銀	—	—	0,55
鑄シリコン	—	—	11,0
鹽液	—	—	220,0
河水	—	—	任意大

(25) Steirnetz 前出

C. 表皮作用は導線を細くするに依て減少し 導線充分に細き時は表面に於ても中心に於ても電流密度は同一なるが故に抵抗線輪標準誘導線輪の如きは一々絶縁したる細線を集め之を撚りて以て全部を有効なる導線となす 撚線には單式撚線と名付て數十數百本の絶縁線を一度に撚りて作りたるもあり此の如きものに在りては内部に存する線と外部に存する線とは電流を通ずること異なりて 尙多少單線と類似する所あり又各線を滿遍なく外部内部に其の所在位置を變せしむる複式編線なるものあり 例へば $5 \times 4 \times 3 \times 3$ なる編線に在りては五本の絶縁線を單式に撚り其の四個を再び撚り又其の三個を撚り最後に其の三個を撚りたるものなり 而して表皮作用の理論に於ては唯導線の内部に於ける電流密度の分配を問ふに止まれ共 周波數高き交流に對し其の γ 抵抗の増加することは 獨り表皮作用のみに止まらず 絶縁物のヒステリシス⁽³¹⁾も亦其の原因の一部となり 大體の關係に於ては 單線の抵抗増加(直流抵抗に比して)は周波數の増加するに従ひ其の數の二乗に對して投物線的なること第三圖 I に示す如く 圖に於て f は周波數を表はすものなり 單式撚線に在ても抵抗増加は投物線的なれ共 幾分直線に近付くこと II に示す如く之に反して充分細き絶縁線を集めて作りたる複式編線に於ては 抵抗増加は周波數の二乗に對して直線的の關係あり 從

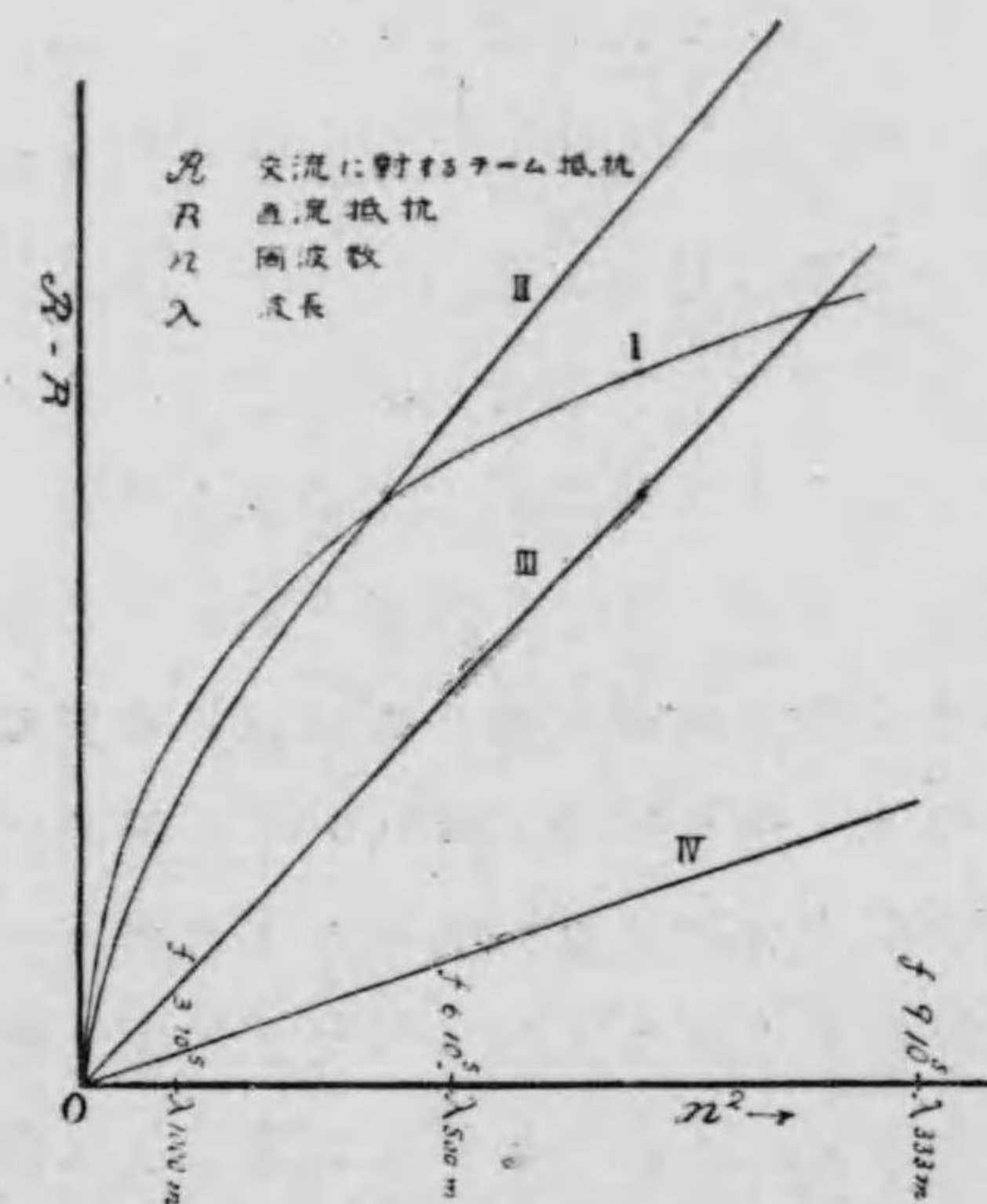
(26) Resistance coil; Widerstandsspule.

(27) Standard of induction; Induktionsnormal (28) Simple strand; einfach verdrehte Litze.

(30) Complex strand; mehrfach verdrehte Litze. (29) Solid wire; Volldraht.

(31) Hysteresis. (32) parabolic; parabolisch.

第三圖



て其の比率は一定すること III の如く 編線を作る各線の細きに從て此比率は減少してIVの如き直線となり 各線尙細き時は遂に横軸と合する直線となり 比率は1となりて抵抗は周波数の大小に拘らず同一の數價となるべしと雖も 線を絶縁する物質にヒステリーシスある時は エナジーを幾分之が爲に吸収するに依て 恰も抵抗の加はると同一の結果を生ずべし 此の如き現象あるに依り絶縁物の絶縁能低き時は燃線は反て單線よりも一層多量の抵抗増加を現はすことあり

d. 電氣應用に於て表皮作用を考ふべき場合種々あり 電流密度の不等分配より生ずる抵抗増加を避くべき爲には弱電流の場合には燃線編線を用ひ 強電流の場合には平たき紐形

の導線を用ひ 表皮作用を考慮すべき場合次の如し

- 一 太き導線を以て低電壓強交流⁽³³⁾を分配する場合
- 二 高壓傳送に於て小電力分電路として鐵線を用ゆる場合
- 三 高壓傳送に於て架空線をして鋼の電線⁽³⁴⁾を用ゆる場合
- 四 空中電氣の放電又は振動電流の如き周波數大なる電流を傳ふる場合

鐵體の周圍に線輪を備へて之に交流を通ずる時は 交流の周波數高きに從て磁氣誘導⁽³⁷⁾は表面のみに存して内部は磁氣を受けざるものとなる 此の如きは磁氣の表皮作用にして 其の公式は(1)(2)(3)とも電流密度の場合と全然同一なり⁽³⁸⁾ 唯此場合に於ては電流密度の振幅に代ゆるに磁氣誘導の振幅を以てす 而して鐵體の周圍に備へたる線輪に交流を通じて之より導磁率⁽³⁹⁾を測定するに 此率の數價は交流の周波數高きに從て速に減少するを以て 之よりして一般の見解を下し鐵の磁性は周波數高き交流に追従するものに非ず 周波數高き交流に對しては鐵を使用するは管に無効なるのみならず反て有害なりとせり 然れ共周波數200 000迄を生じ得る交流機を以て之が解決試驗を行ふに 鐵の磁性は如何なる周波數の交流にも追従し得るものにして 一見其の導磁率の甚しく低下するものは 磁氣に對する表皮作用に基くものとして優に之を計算説明するを得べく 鐵の導磁率其のものに至ては周波數60に對しても周波數200 000に對しても 同一數價にして變化なきものとするを適當とす 之を實際の場合に適用すれば 周波

(33) Low tension heavy alternating current; niederpannung stark Wechselstrom.
 (34) branch line; Zweigleitung (35) steel cable; Stahlkabel.
 (36) atmospheric discharges; atmosphärische Entladung.
 (37) magnetic induction; magnetische Induktion.
 (38) Zenneck, EMS, p 205. (39) Permeability; Permeabilität.
 (40) E. Alexanderson, ETZ, 1078, 1911.

數高き交流に對しては鐵を相當に細く又は薄くして之を合せ此くして表皮作用より免かるゝ時は全部の鐵體は平素の導磁率を以て高周波の交流に應ずべく其の有効なることは低周波の時と變らざるを得べきものなり 鐵を此の如く細く又は薄くせざる時は 磁氣を付すべき電力線は表皮作用の爲に鐵の内部に透入すること能はずして 唯其の外部表面のみに存し 鐵は恰も極て薄き切斷面積を有するものゝ如くにして其の内部は無効なるを以て 表皮作用に基く修正なくして導磁率を測定する時は 此の無効なる部分をも有効と見做し 全切斷面積を以て平均を取るが爲に 導磁率の數價は大に減少したるものとなるなり 之を既定の事實に徴する周波數 200 000 の交流機も鐵を用ひざれば其の製作不可能なるべく 又普通電氣工業の周波數範圍に於ても 變壓器⁽⁴¹⁾の効率は周波數高きに從て増加し且其の製作輕易なり 電話受聽器も鐵心製作の上に改良を施されたるが⁽⁴²⁾ 凡て此等に於て周波數高きに從て鐵板は益薄かるべく鐵線は益細かるべし 周波數 200 000 に對しては 0.08 耗の鐵板も尙厚きに過ぎ 周波數 7700 にては此鐵板の誘導⁽⁴³⁾は 10 000 の數位に達すれ共 周波數 200 000 にては 1200 の上に出でず磁氣誘導の大にしてヒステリシスに基く損失の少なきものに在てはシリコンを合せたる鐵あり⁽⁴⁴⁾ 今又電氣分解法に依て純粹にして且薄き鐵板も工業上の規模に於て作り得るに至りたれば 凡て高周波の發電機製作及び之に關する實用問題は解釋の範圍を擴め周波數對透磁率の不變關係は電氣工業の上に新生面を開かしむるものなり

(41) Transformer; Transformator. (42) K. Wagner, ETZ 32; 80, 110; 1911.
 (43) Induction; Induktion. (44) Silicon steel; legierte Eisen.
 (45) Electrolytic iron; Elektrolyteisen. ETZ 34, 671, 1913.

第五章 有効抵抗

交流又は振動電流に於ては 導線の切斷面積内にての電流分配は 表面に密にして内部に粗なるを以て 比抵抗よりして其の抵抗を算出すること能はず 又直流を用ひて測定したる抵抗の數價は 交流又は振動電流の場合に於て直ちに之を以て導線のフォーム抵抗の數價とすること能はず 故に簡單なると複雑なるとを問はず何れの交流に對しても應用せらるべく 且又不衰と衰滅とを問はず何れの振動電流に對しても應用せらるべき目的を以て 直流抵抗と對照すべき有効抵抗⁽¹⁾なるものを新設し 其の定義を以て電流の一秒間に發生する熱量に對する一秒間の有効二乗電流の比率となす 即ち此有効抵抗を R とし Q を以て熱量とすれば

$$Q = R \int_0^1 i^2 dt \dots \dots \dots (1)$$

にして 正絃則の交流又は不衰振動電流に在りては

$$Q = R \cdot I^2 \dots \dots \dots (2)$$

となり I とは交流アンペア計或は分電路なき熱線アンペア計⁽²⁾の示す電流の數價にして 熱量 Q は別に之を測定するか或は比較して以て R の數價を測定するものとす 而して(1)(2)の定義に基く有効抵抗は 如何なる電流に對するものなるか 又之を通じて此抵抗を測定したる導線が如何なる製作形狀を有するものなるかを指定附記するに非ざれば 單に R の數價

(1) effective resistance; effektive Widerstand. (2) hot wire amperometer; Hitzdrahtamperometer.

を掲るとも確乎たる意義を爲さざるものなり 假へば周波數 10^6 の不衰振動電流に對して直線狀をなせる直徑5耗の銅線の有効抵抗と云ふべきが如し 故に若し同一の導線に直流電流を通じて熱量 q を発生したりとせば

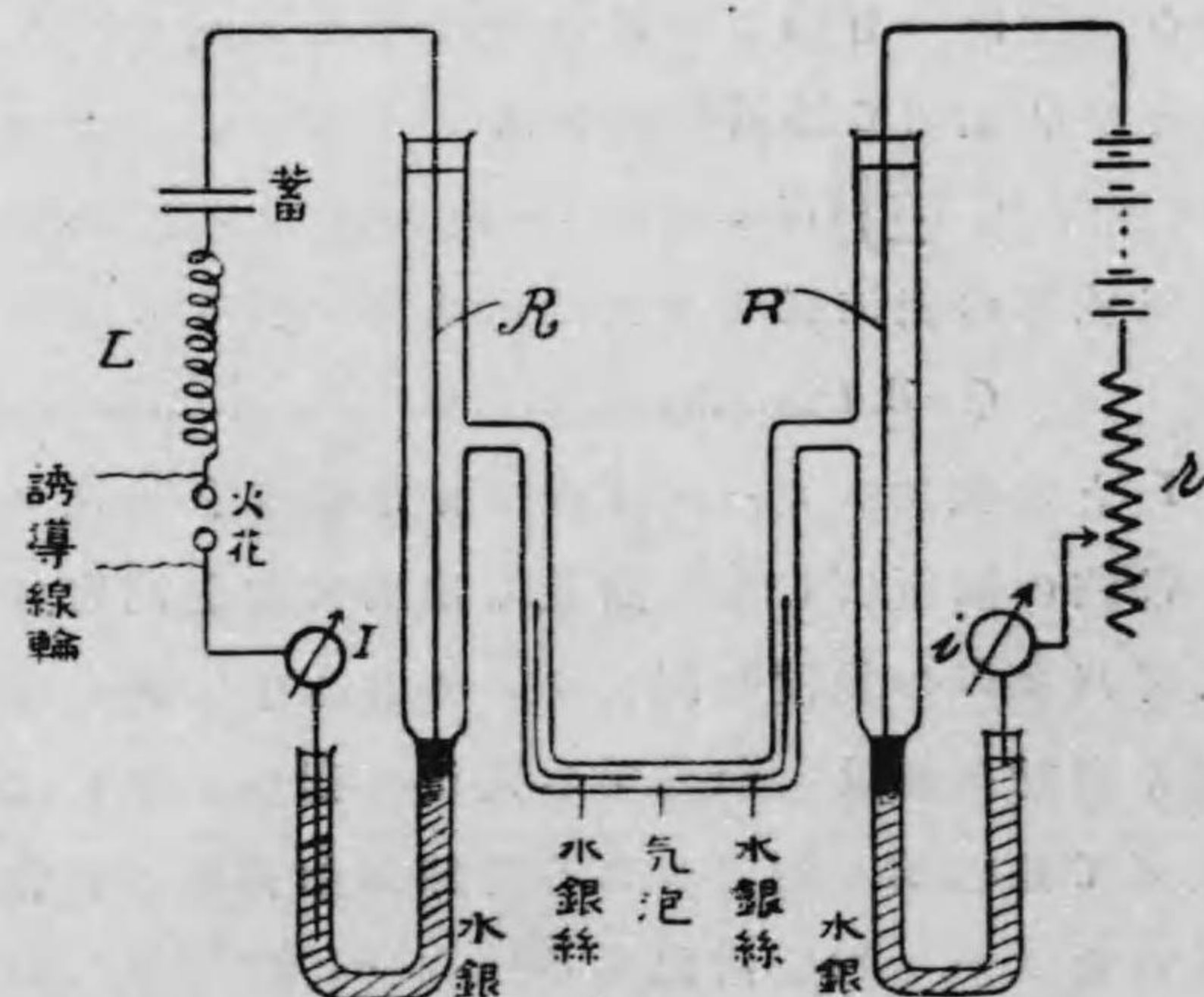
$$q = R \cdot i^2 \dots \dots \dots (3)$$

にして R は即ち直流抵抗⁽³⁾なり 従て此等導線に電流を通じ之が爲に発生する熱量と 導線より放散する熱量とが釣合を保ち 導線の温が一定したる時に於て 交流に基く熱量と直流に基く熱量とが相等しき場合には (2)(3)の式より

$$R = R \cdot \frac{I^2}{I^2} \dots \dots \dots (4)$$

なる關係を得 二個アンペア計の示す數價の二乗と直流抵抗よりして 任意電流に對する有効抵抗 R を測定するを得べし 此の如き測定法の例はフレミング⁽⁴⁾の示差空氣寒暖計⁽⁵⁾の方法に

第一圖



(3) Direct current resistance; Gleichstromwiderstand.
 (4) J. Fleming, (5) differential air thermometer; Differentialluftthermometer

して 同一材料同一の長さの線を左右硝子管内に入れ 其の一には任意の電流を通じ 他には直流を通じ 何れも其の電路に存する外部抵抗を調整して 導線の發熱に基く空氣膨脹を等しからしめ 之が爲に二管に通ずる横管水銀内の氣泡をして發熱前と同一の零位にあらしめ 其時に於て各電路に存する熱線電流計の示度 I を読み 別に直流抵抗を測定して R を求め (3)の式に從て有効抵抗 R を算出するものとす

電流の發生する熱量を以て有効抵抗と直流抵抗との比較を行ふべき一般の方法は 二個同一の熱量計⁽⁵⁾を用ひ其の一には任意の導線を入れ 其の他には他の任意の導線を入れ此等導線は直流に對して何れも同一の抵抗を有するものならしむ而して此等導線を直列に結びて同一の交流又は振動電流を通じて 熱量計内の液體例へばパラフィン油の如きもの膨脹を測定する時は 此膨脹は各熱量計内に於て電流の爲に發生したる熱量を表はすものなり 故に甲の導線に於ける直流抵抗 有効抵抗及び熱量を表はす膨脹示現を以て R, R', Q となし 乙の導線に於ける夫れ等を以て R'', R'', Q'' とすれば 使用する電流は同一なるが故に(2)に從て

$$\frac{R'}{R} = \frac{Q'}{Q} = \frac{K'R'}{KR} = \frac{K'}{K}$$

となり K, K' は甲乙二導線に於ける直流抵抗と有効抵抗の比率なり 此の方法に依り 絶縁細線を多數然編みて材料線としたる導線も 之を線輪となす時は 同一直流抵抗を有する。單線の線輪よりも高周波の振動電流に對して一層多額の有効抵抗を有し 周波數低き時は反對の關係を有することとを證明せられたり

(5)¹ Calorimeter; Kalorimeter. (5)¹¹ K. Herrmann, Verh. D. Phys. Ges. 13, 978, 1911.

有効抵抗 R は直流抵抗 R よりも必ず大なるものなり 銅線に亜鉛鍍して之に 2.10^8 の周波数を有する振動電流を通ずる時は 亜鉛鍍せざるものに比して著しく抵抗を増加す 之に反して鐵線の上に厚さ 0.028 耗の銅鍍を爲し同一の電流を通ずる時は 其の抵抗は銅の抵抗にして鐵の有無には關係なきものとなる 何れも皆表皮作用の適例なり

a 有効抵抗は導線の切斷面内に於ける電度密度の分配即ち表皮作用に基くを以て 之を算出するには第四章の(1)に掲ぐる二個の係數を使用す 而して此算用は直線狀の導線に限るものとす(35頁参照)

$$k = \pi \sqrt{\frac{\rho/\rho_0}{2.10^8 \rho(\Theta, m, mm^2)}} \quad \kappa = k \cdot r(cm) \sqrt{2n} \dots \dots \dots (4)$$

而して κ の大小に依りて大約二個の區別あり

(一) $\kappa \gg 1$ なる時は $R = \kappa \cdot R \dots \dots \dots (5)$

(二) $\kappa \ll 1$ なる時は $R = (1 + \frac{\kappa^2}{3})R \dots \dots \dots (6)$

例一. 電力用交流 $n=50$

銅線	$r=1 (cm)$	$\kappa=0.54$	$R=1.028 R$
	$r=1 (mm)$	$\kappa=0.054$	$R=1,000 002 8 R$
鐵線	$r=1 (cm)$	$\kappa=6.5$	$R=6.8 R$
	$r=1 (mm)$	$\kappa=0.65$	$R=1.06 R$

例二. 振動電流 $n = \frac{1}{2} \cdot 10^6$

銅線	$r=1 (mm)$	$\kappa=5.4$	$R=5.7 R$
鐵線	$r=1 (mm)$	$\kappa=6.5$	$R=21.4 R$
稀硫酸	$r=1 (cm)$	$\kappa=0.0036$	$R=1,000 004 R$

此等計算上の結果に據るに 周波數少なき電力用交流に在て (6) Zenneck, EMS p 410. 第四章の(1)と同じく μ は導線の導磁率 μ_0 は空氣の夫れにして ρ は比抵抗(7頁) k の表は 第四章に在り r は導線の半徑にして n は周波數なり

も 太き銅線は抵抗増加し細きものは直流抵抗と殆んど同一なり 然れ共鐵線に在ては半徑 1 種のものも約七倍の抵抗となり細きものに在りても 6% の増加あり 振動電流に在ては抵抗増加は一層著しく十倍二十倍となるは普通なり 而して電解液に在ては太きものと雖も抵抗増加は殆んど皆無なれ共此の如き材料に於ては直流抵抗も既に大なるものなり

直流抵抗は導線の切斷面積に轉比例し従て $R \propto \frac{1}{r^2}$ なれ共 有効抵抗は表面の面積に轉比例し $R \propto \frac{1}{r}$ なり 故に振動電流に對して抵抗を小ならしめんとすれば 太き單線を使用するは無益にして 細き絶縁線を數多く撚編みたるものを用ゆるか或は又平たき紐形の銅帶を用ゆるを可とす 避雷針より空中電氣の振動的放電を地に導く爲めの導線としては 銅帶又は面積の一層大なる鐵帶を用ゆるべく 此くして抵抗を小ならしむるのみならず 兼て電流より發する熱を放散し易からしむ 然れ共導線が直線狀をなさずして其の全部の途中に曲りある時は 振動電流を導通する程度は有効抵抗よりも尙多く其の各局部の自己誘導⁽⁷⁾に關係す 各局部の自己誘導に基くリアクタンスは周波數に比例して増加し 而して此リアクタンスは抵抗と同一の動作をなす以て 周波數大なる時は自己誘導は小なりともリアクタンスは大量となり 之が爲に有効抵抗 R の存在は殆んど無視せられて リアクタンスの獨り導通の良否を決するものとなる

第一表は(4)(5)(6)の公式より計算したる銅線の抵抗にして 導線は何れも長さ一米の直線形をなし 電流は何れも不衰振動電流又は正絃交流たるものなり 導線が直線狀たらずして

(7) Self-induction; Selbstinduktivität. (8) Reactance; Reaktanz

レクタンス

線輪をなせば之が爲に抵抗は一層増加し 振動電流が衰減的のものたれば之が爲にも増加す 對數衰減率⁽⁹⁾を以て α となし之が餘り大ならざるも 4π に比して省略するを得ざる程大なる時は 其の時の有効抵抗 R_0 は不衰振動電流に對する有効抵抗 R に對して

$$R_0 = \left(1 + \frac{1}{2\pi}\right) R \dots \dots \dots (7)$$

なる關係あり 又導線が線輪たる時の抵抗と 之が直線狀たる時の抵抗の比較は 多數の數學物理大家に依りて研究せられ⁽¹⁰⁾ 其の公式は茲に掲げざるも 電流密度は外邊に於て集るが爲め直線狀の場合よりも抵抗は増加し 周波數の大なるに従ひ又線輪の巻方密なるに従ひ導線の直徑大なるに従て有効抵抗は益々増加するものなり 而して此等理論に據るも將又測定の結果に據るも 同一周波數の振動電流に對して線輪の有効抵抗は 此線輪を解きて直狀導線としたる時の有効抵抗よりも二倍三倍の數價となるは稀れに非ず 又絶縁したる細線を燃編みて作りたる線輪は單導線にて作り同一の直流抵抗を有する線輪に比し 周波數低き時は減少したる有効抵抗を示すと強も 10^6 程度の周波數に對しては 反て比較的高價の有効抵抗を有するものなり 従て線輪の形狀に於て高周波に對して低抵抗を有せしめんとすれば 之が材料は帶狀線を用ゆるの外なきものなり

(9) logarithmic decrement; logarithmische Dekrement.
 (9) E. Barton, Phil. Mag. (5) 4 7, 433, 1899. Zenneck, EMS, p 417.
 (10) Dolzalek, 1903; M. Wein, 1904; Sommerfeld, 1904, 1906; Picciotti, 1906; Cohen, 1907; Lenz, 1911.

第一 表^(b)
 銅線一米に於ける直流及有効抵抗 Θ
 直線狀銅線 不衰振動電流

n =周波數 數の精度 1 乃至 2% $\rho=0,0174(\Theta m, mm)$ λ =電波長(米)

線の直徑 耗	直流抵抗	$n=5 \cdot 10^4$ $\lambda=6000m$	$n=10^5$ $\lambda=3000m$	$n=5 \cdot 10^5$ $\lambda=600m$	$n=3 \cdot 10^6$ $\lambda=100m$
0,2	0,554	0,550	0,560	0,570	0,865
0,4	0,138	0,139	0,157	0,183	0,399
0,6	0,0615	0,063	0,093	0,115	0,257
0,8	0,0346	0,0370	0,067	0,083	0,190
1,0	0,0221	0,0254	0,052	0,069	0,151
1,2	0,0154	0,0196	0,0427	0,0530	0,125
1,4	0,0113	0,0164	0,0359	0,0450	0,106
1,6	0,0865	0,0140	0,0311	0,0394	0,093
1,8	0,0683	0,0123	0,0273	0,0345	0,083
2,0	0,0554	0,0110	0,0245	0,0310	0,074
2,2	0,00457	0,0098	0,0221	0,0280	0,067
2,4	0,00384	0,0089	0,0202	0,0257	0,062
2,6	0,00328	0,0081	0,0186	0,0237	0,057
2,8	0,00282	0,0075	0,0172	0,0223	0,053
3,0	0,00246	0,0069	0,0160	0,0204	0,0497
3,2	0,00216	0,0065	0,0149	0,0190	0,0459
3,4	0,00192	0,0061	0,0141	0,0178	0,0431
3,6	0,00171	0,0057	0,0133	0,0168	0,0407
3,8	0,00153	0,00535	0,0125	0,0159	0,0386
4,0	0,00138	0,0051	0,0118	0,0151	0,0366
4,2	0,00125	0,00479	0,0112	0,0145	0,0349
4,4	0,00114	0,00456	0,0107	0,0138	0,0331
4,6	0,00105	0,00438	0,0103	0,0131	0,0317
4,8	0,000961	0,00417	0,0096	0,0127	0,0304
5,0	0,000886	0,00400	0,0094	0,0124	0,0292
5,2	0,000819	0,00383	0,00905	0,0116	0,0281
5,4	0,000759	0,00368	0,0086	0,0112	0,0271
5,6	0,000706	0,00354	0,0083	0,0108	0,0261
5,8	0,000658	0,00341	0,0081	0,0104	0,0252
6,0	0,000615	0,00330	0,0078	0,0101	0,0243
6,2	0,000576	0,00319	0,00755	0,0098	0,0235
6,4	0,000541	0,00309	0,0073	0,0095	0,0228
6,6	0,000508	0,00299	0,0071	0,0092	0,0221
6,8	0,000479	0,00290	0,00685	0,0088	0,0214
7,0	0,000452	0,00281	0,0067	0,0085	0,0208
7,2	0,000427	0,00272	0,00645	0,0083	0,0203
7,4	0,000404	0,00265	0,0063	0,0081	0,0196
7,6	0,000383	0,00257	0,0061	0,0079	0,0192
7,8	0,000361	0,00251	0,0059	0,0077	0,0186
8,0	0,000346	0,00244	0,0058	0,0075	0,0182

(b) Zenneck, EMS p409, 994

b. 第一表に示す如く銅線の太きものに在ては 周波数の高きに従て其の抵抗大に増加すと雖も 細きものに在ては變化少なし 故に高抵抗を有する特別線に於て其の半徑又は厚さを適宜に撰む時は 直流に對しても振動電流に對しても其の抵抗殆んど同一なるを得べし 即ち表皮作用なくして規定周波數以下の振動電流又は交流に使用して 其の直流抵抗を以て直ちに有効抵抗と爲すことを得べきものなり 振動電流計は其の目盛を直流に依て施すが故に 電熱に依りて延長せしむべき材料線は前述する如き厚さを有し 其の抵抗は周波數に無關係にして一定し居るを要す

第二表に掲るものは規定周波數の振動電流に對する有効抵抗と 直流抵抗との差僅かに1%たるに過ぎざるべき 抵抗線の最大直徑を示し 此直徑以下の細き線を使用する時は 其の有効抵抗は直流抵抗と同一なりとするを得べし 若し又此等二種抵抗の差をして1%を越へざらしめんとすれば 抵抗線の直徑は第二表に示す數よりも約半減(0,56倍)すべく 第二表に示す直徑を約二倍(1,78倍)にすれば二種抵抗の差は10%に達すべし 第二表の數字は(5)(6)の公式に於て

$$\left. \begin{aligned} \text{(一)} \quad \kappa > 1 \quad \frac{R}{R_0} &= \kappa = kr(cm) \sqrt{2n} = 1,01 \dots \dots \dots \\ \text{(二)} \quad \kappa < 1 \quad \frac{R}{R_0} &= 1 + \frac{x^4}{3} \quad \frac{x^4}{3} = \frac{k^4 r^4 (cm)^4 n^2}{3} = 0,01 \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (8)$$

より計算したるものなり 故に第二表以外の金屬に付ても(8)の式に依り第四章の第一表を用ひ同様の數を計算するを得べし

第二表 (a)

抵抗線の最大直徑. 耗
有効抵抗と直流抵抗の差 1%

n=周波數 R=1,01 R λ=電波長(米)

抵抗線の物質	最大直徑(耗)			
	n=5.10 ⁴ λ=6000m	n=2,5.10 ⁵ λ=1200m	n=5.10 ⁵ λ=600m	n=2,5.10 ⁶ λ=120m
鐵	0,019	0,0084	0,0060	0,0027
全	0,033	0,015	0,010	0,0046
全	0,059	0,027	0,018	0,0084
全	0,099	0,044	0,031	0,014
全	0,33	0,15	0,10	0,046
黃金	0,56	0,25	0,17	0,079
銅	0,49	0,22	0,15	0,069
コンスタンタン	2,6	1,2	0,83	0,37
マンガニンニツクリン	2,4	1,1	0,75	0,34
白金	1,2	0,57	0,37	0,17
黒鉛	13,2-5,9	5,9-2,7	4,2-1,9	1,9-0,84
炭 (アーク燈用)	23,6	10,6	7,5	3,4
水銀	3,6	1,6	1,1	0,51
飽和硫酸銅液	175	78	55	25

第三表 (b)

抵抗線の直徑. 耗

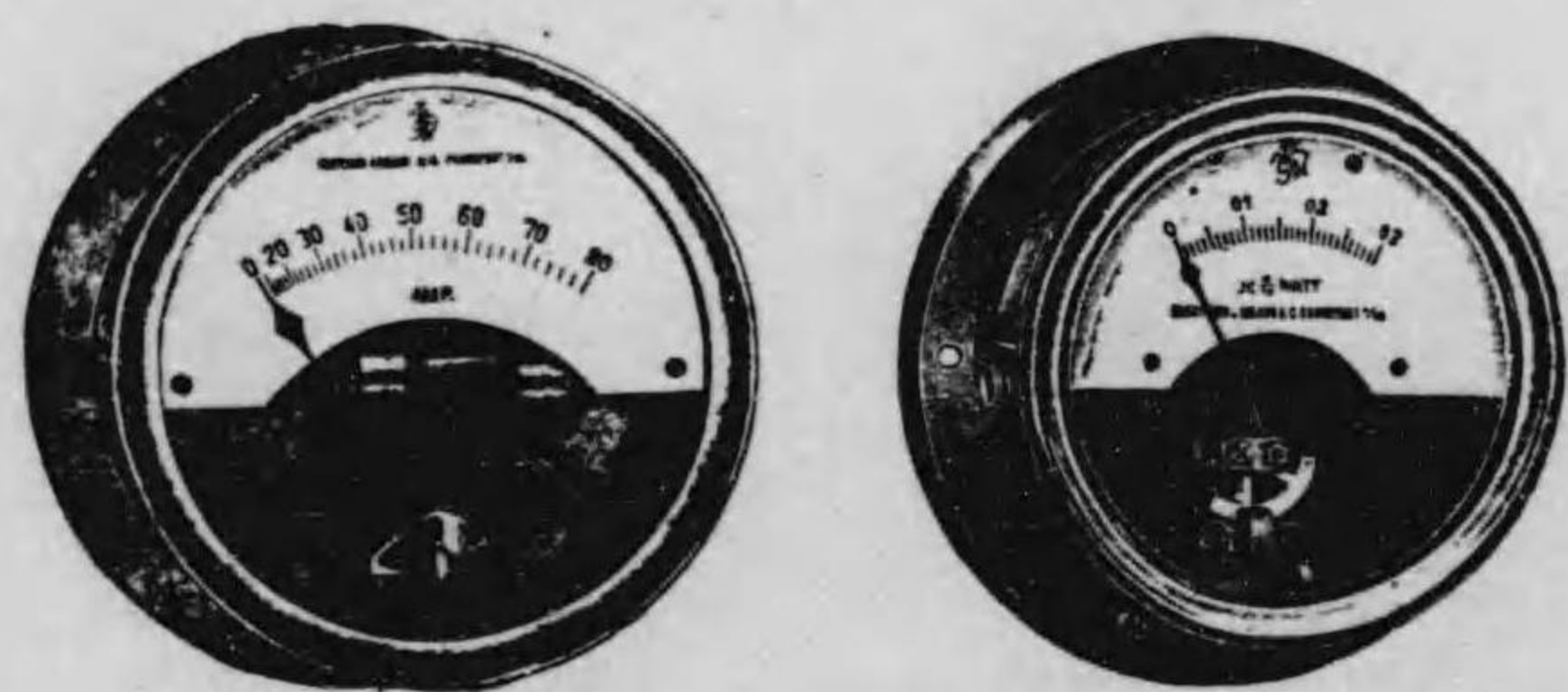
高周波電氣振動に對する抵抗は直流抵抗より増加すること 1%以内

波長 米	周波數	コンスタンタン線		マンガニン線	白金線	銅線
		直徑	最大電流 A			
100	3.10 ⁶	0,30	3,5	0,29	0,13	0,006
200	1,5.10 ⁶	0,46	4,5	0,40	0,20	0,045
300	1.10 ⁶	0,57	5,5	0,50	0,27	0,09
400	7,5.10 ⁵	0,66	7,0	0,69	0,30	0,10
600	5.10 ⁵	0,83	8,0	0,75	0,37	0,15
800	3,75.10 ⁵	0,98	10,0	0,88	0,42	0,20
1000	3.10 ⁵	1,10	11,5	0,99	0,50	0,21
1200	2,5.10 ⁵	1,20	12,5	1,10	0,57	0,22
1500	2.10 ⁵	1,30	14,0	1,21	0,63	0,26
2000	1,5.10 ⁵	1,52	17,0	1,38	0,73	0,30
3000	1.10 ⁵	1,81	24,0	1,62	0,80	0,33

(a) Zenneck, Lehrbuch 1913, p476.
(b) L. W. Austin, Jahrb. d. drahtl. Tel. 6. 588; 1913.

第二表及第三表より之を見るに直流抵抗と高周波有効抵抗との相違少々なるべき材料として 電解液は最大の直径を使用するを得べく 次は炭棒にして従て振動電流に對する有効抵抗を測定するに當りては附加抵抗⁽¹¹⁾として使用せられ 次はマンガニン、ニッケリンなれ共此抵抗過大にして電流負擔量⁽¹²⁾少なく容易に赤熱となるを以て 熱線アンペア計には従來白金線又はプラチンシルバー線を用ひ最近に於てプラチンイリヂウム線又は帶を用ひ プラチンイリヂウムの主なる利益は熱線電流計の缺點と認められたる零點移動⁽¹³⁾を防ぎ得るに在て兼て高温に於ても其の動作確實なものなり 第二圖はハルトマン、ブラウンの熱組電流計⁽¹⁴⁾にして300(A)迄を測定せしむるもの迄供給せられ 第三圖は熱線ワット計⁽¹⁵⁾して少量の電力を測

第二圖 第三圖



定せしめ 一目の價0,001ワットに達し 何れも直流たると交流たるとに拘らず 又周波數の普通なると10⁶以上なるとに拘らず 正確なるものなり

(11) additional resistance; Ansatzwiderstand. (12) carrying capacity; Belastungsfähigkeit.
 (13) Zero error; Nullpunktabweichung, Nullpunktswanderungen.
 (14) Hartmann Braun, Hitzband Amperemeter; ETZ, 1911; Jahrb. d. d. T. T. 5. 1912.
 (15) Hot-wire wattmeter; Hitzdrahtwattzeiger.

種々の研究測定に用ひて極めて便利なる毛線⁽¹⁶⁾なるものは 諸金屬の細線にして 直径0,015 mm乃至0,2 mmに及び 其の抵抗は一米に付き2850Ωの高値に達す 此外ウラストン線⁽¹⁷⁾と稱するものあり 細き白金線に銀を衣せ 之を極めて細く引延ばしたる後 化學的方法を以て銀を取去り白金の心線のみを残したるものにして 其の直径最も細きは0,0015 mmに達す 又水晶毛線⁽¹⁸⁾に鍍銀して之を導線に用ゆることあり或は又硝子板に白金鍍して之を抵抗に使用することあり 第三表はハルトマン、ブラウンの特製に係る諸種の毛線にして 其の一米の抵抗オーム數にして(mA)は其の一種の長さを熔解せしむ電流ミリアンペアの數價なり 此外尙ほ亞鉛及びビロチンと名付る合金の毛線あり 又電氣分解に依て得たる純粹ビスマスの毛線ありて其の直径0,06 耗の細きに達す

(16) wire filaments; Haardrahte. (17) Wollaston wires; Wollaston-drahte.
 (18) Quarzfiber; Quarzfäden.

第三表 毛線

Table with columns for material types (e.g., 銀, 銅, アルミニウム) and diameters (20 to 2), listing weight and length values.

第三表 毛線

Table with columns for diameters (I to XXII) and material types (e.g., Silver, Copper, Aluminium), listing weight and length values.

レジスタンス

第六章 標準抵抗

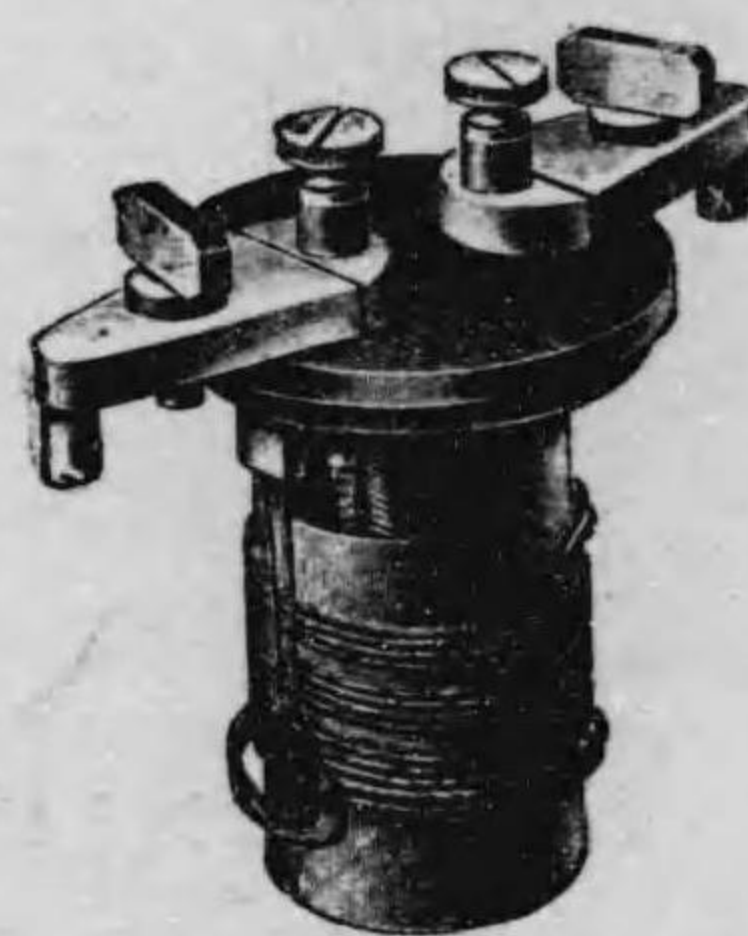
今日一般に用ゆる抵抗の單位は 1893 年に萬國電氣學會に於て決議をなし 其の後各國政府に於て法律を以て制度したる國際オーム⁽¹⁾と稱するものにして 全長に涉りて同一の切斷面積を有して其の面積は一平方耗と認べく 其の長さは 106,3 釐にして其の質量 14,4521 瓦なる純粹水銀の線が解氷温⁽²⁾に於て有する抵抗を云ふ 此の如くしてオームなる根本單位は國際間に制定せられたりと雖も 水銀は液體にして酸化し易く 之を充たすに規定の如く切斷面一樣なる硝子管を求て 之に規定の質量を充たさむことは容易なる仕事に非ず 又規定の長さに於て水銀と接觸せしむべき電極を設け 且又全體をして精確に一定の溫度に在らしむることも容易の業に非ず 從て之を設備するも特別の場合の外は直接に之を使用することなく 之を使用するには極度の熟練と注意を要するものなり 水銀オームは至竟する處一個の隨意に定めたる便宜上の單位に過ぎずと雖も 前述の定義に從て何時にても之を再製恢復するを得べく 各國に於て製作し其の國最高物理電氣實驗所に於て測定する處は 何れも 0,002% 乃至 0,003% 以内に於て互に一致し 絶對測定に於て之れ程綿密に一致するものは未だ曾て他に之れなしと云ふ

(1) International Congress of Electricians.
 (2) International Ohm.
 (3) Temperature of melting ice; Temperatur des schmelzenden Eis.

物理又は電氣實驗室に於て平素使用する處の標準抵抗器は水銀ならずして皆合金線の抵抗なり 此合金線は短かくして所要の抵抗數價を得べき爲に比抵抗⁽⁴⁾の大なるものを選び 又温に關する誤差小なるべき爲に温率⁽⁵⁾の小なるものを選び 各國に於て有名なる製作所に在ては其の國政府の中央物理實驗所又は原器局の檢定表を附し 誤差僅に 0,01% なる精度を有する合金抵抗器を供給するあり 之を標準抵抗⁽⁶⁾と稱す 標準抵抗の製作上に關する要件は 電流の爲に發生する熱を速に放散せしめ且又抵抗線の温を正確に知り得べからしむるにして 第一圖を以て示す者はライヒスアンスタルト型と稱し ウォルフ、シーメンスハルステ、リーズノー、スラツプ等の標準抵抗にして 其の或る者は水銀壺を用ひて銅の端極を外部と接觸せしむるあり 又或るものは大形二重螺子を以て接觸せし

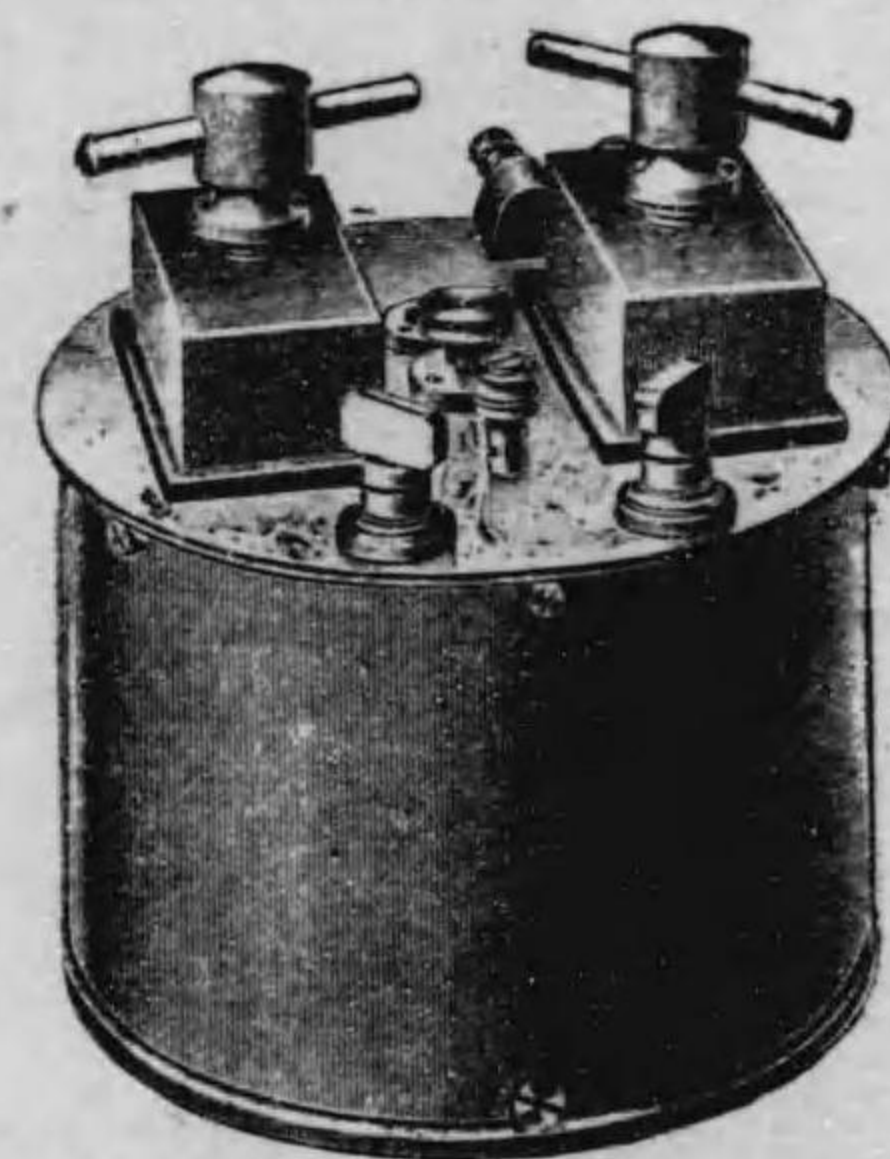
第一圖

ウォルフ製作小形標準抵抗器



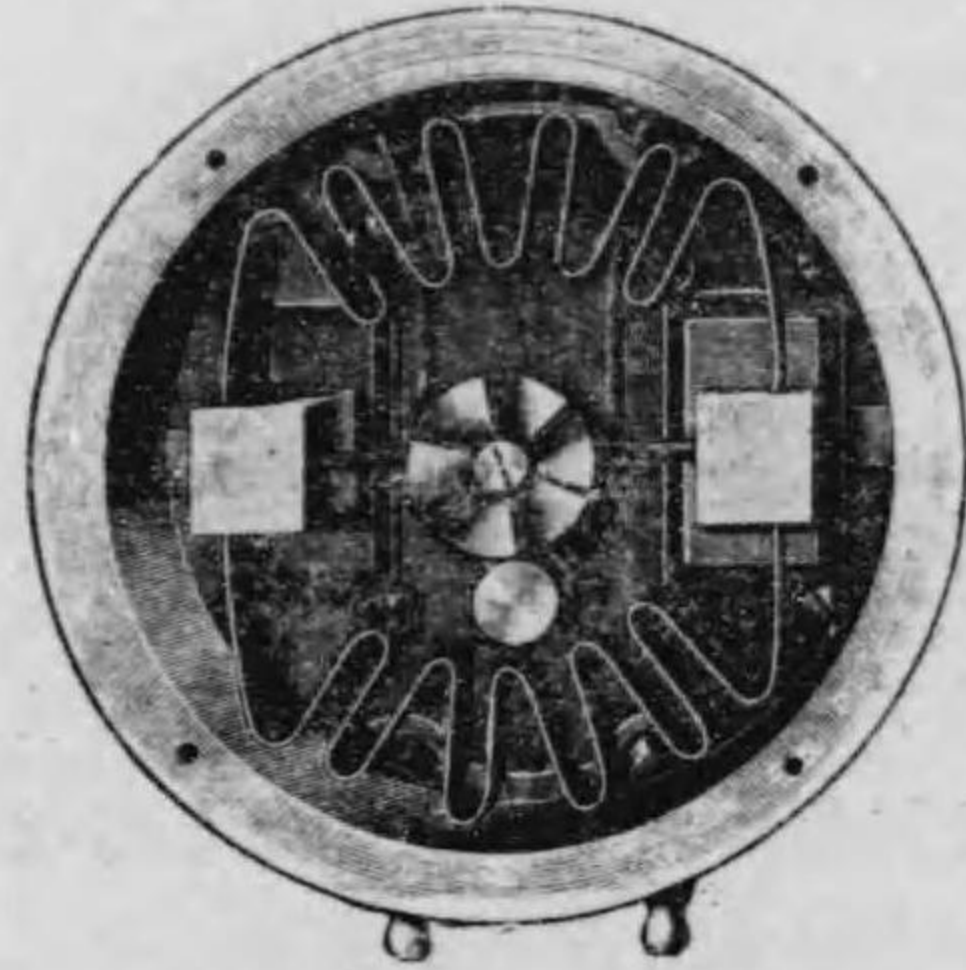
第二圖

ウォルフ製作大形標準抵抗器

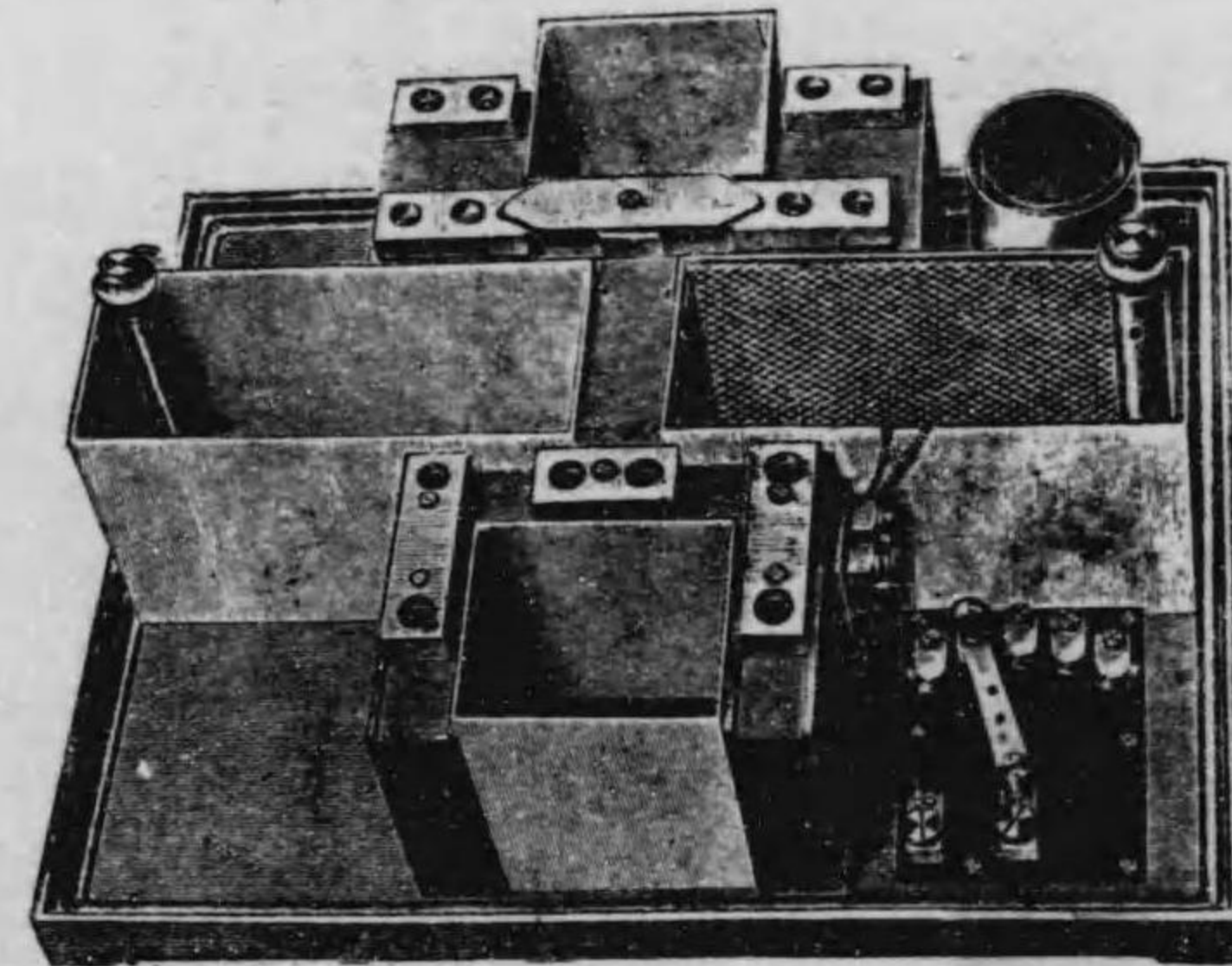


(4) specific resistance; spezifische Widerstand.
 (5) Temperature-coefficient; Temperaturkoeffizient.
 (6) Standard resistance; Normalwiderstand.

第三圖
電流用標準抵抗器

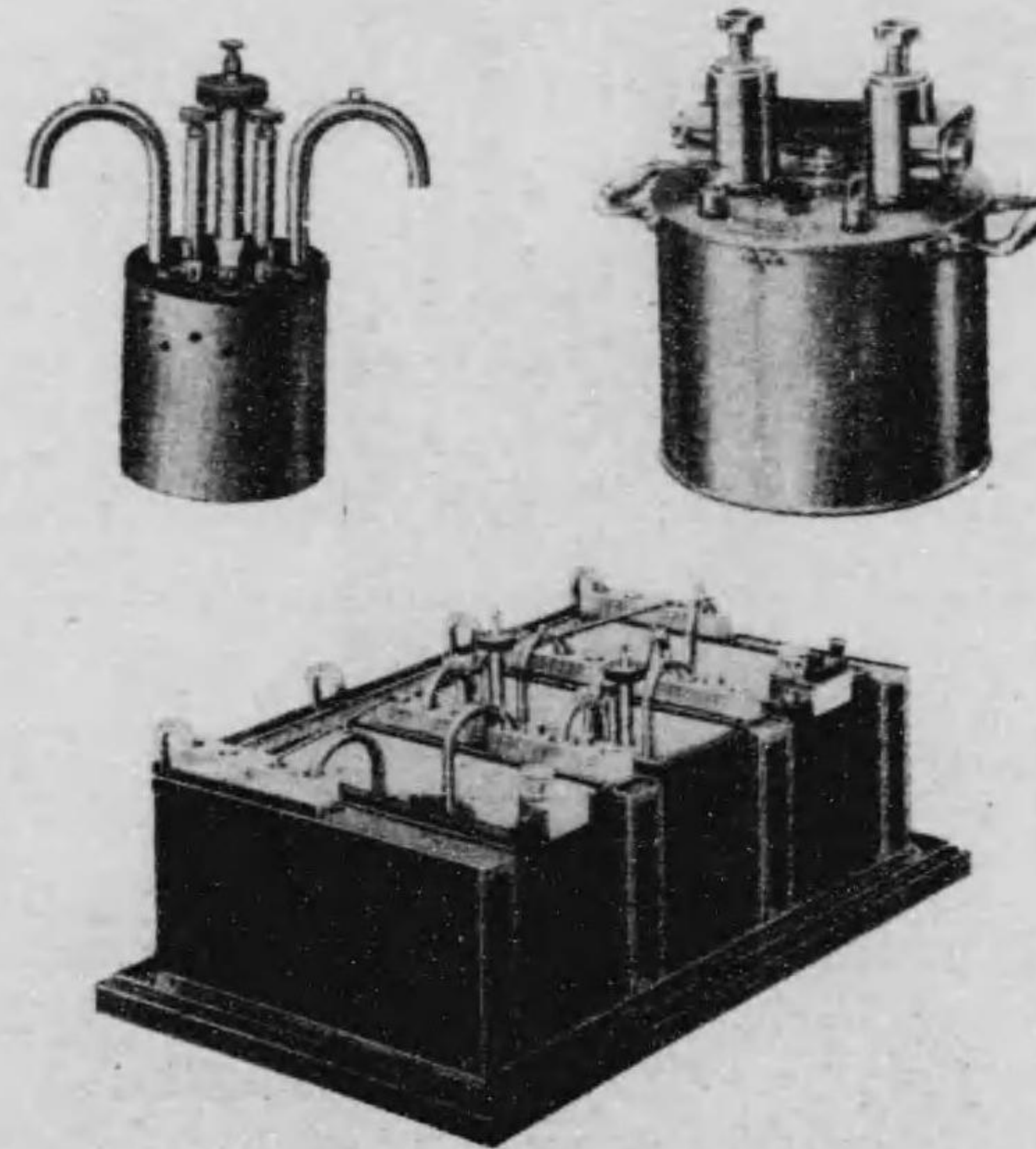


第四圖
ウ・ルフ製作石油浴槽



むるものあり 何れも電壓端極⁽⁷⁾を備へて其の間の電流と抵抗の乗積即ち電壓を測定する價宜となし 電流を通するに依て抵抗線の過熱を防ぎ且又任意の温に之を保つ爲に之を油槽中に装置し 油を攪亂して温を一様ならしむる設備あり 此等
 (7) Potential-terminals, Potentialklommen.

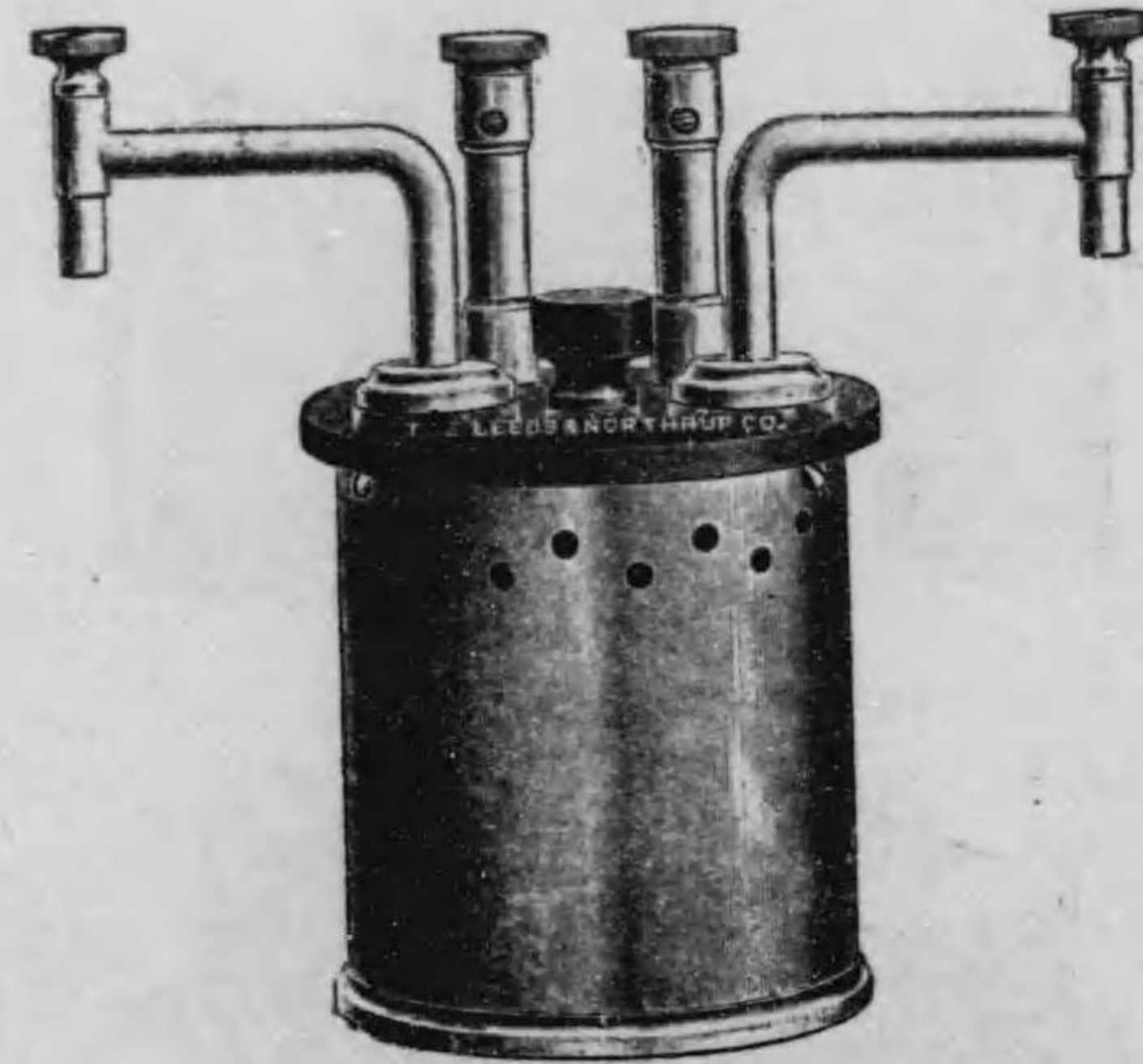
第五圖
シーメンス・ハルスケ製作標準抵抗器及油槽



標準器の抵抗線は凡てマンガニン⁽⁸⁾にて作られ 抵抗高くして少量の電流を通するものは線状をなし 抵抗低くして多量の電流を通するものは紐状のマンガニン或は極太き且並列せる銅片を用ゆることあり 第七圖に示す銅片の標準抵抗は抵抗 $0,00002\Omega$ 以下のものにして安全に通じ得べき電流は $3000(A)$ に及ぶ 而して之に電壓端極の設けあるはポテンシオメートルを用ひて電流又は抵抗の測定を行ふ等の爲にするものなり 標準抵抗器は其の抵抗線の大小に依りて安然に之に通じ得べき電流の規定あり 此規定は空氣中に於て使用すると油槽
 (8) manganin

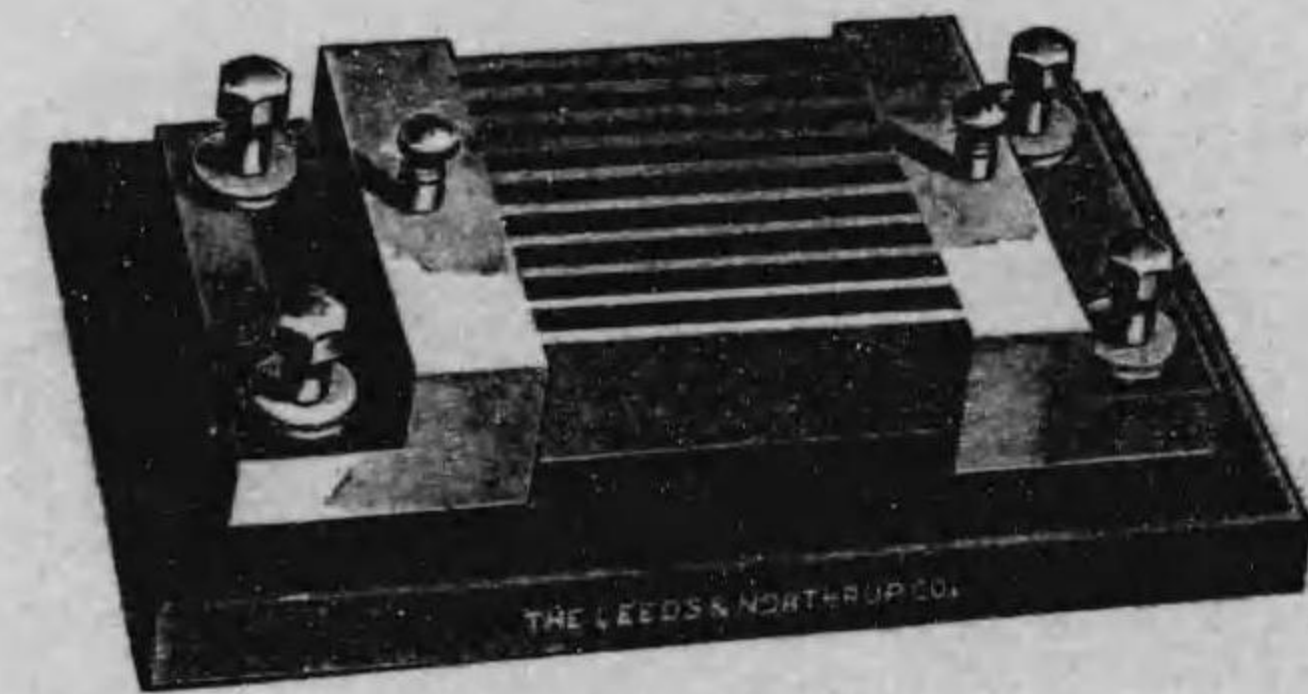
第 六 圖

リーズノースラツプ製作小電流用標準抵抗器



第 七 圖

リーズノースラツプ製作大電流用標準抵抗器



中に於て使用するとに従て其の量を異にす 又極て精密を要する場合と 彌之を緩にするとに依て其の量を異にす 次に記載するは前述の三個製作所に於て製造する標準抵抗器の規定なり

ワット・ウォルフ製作

抵抗 Ω	油槽内小形標準器に於て安 然に通じ得る電流 (A)		大形標準抵抗器に於て安 然に通じ得る電力 (ワッ ト)水を以て冷却す
	極度精測及抵抗比較	電流測定	
100 000	0,003	0,01	
10 000	0,01	0,03	
1 000	0,03	0,1	
100	0,1	0,3	
10	0,3	1	
1	1	3	
0,1	3	10	
0,01	10	100	500
0,001	30	300	1000
0,000 1	100	1000	2500
0,000 01			2500

シーメンス・ハルステ製作

抵抗 Ω	小形標準抵抗器に於て安 然に通じ得る電流 (A)		大形標準抵抗器に於て安 然に通じ得る電流 (A) 冷却
	空 氣 中	油 槽 中	
100 000	0,001	0,001	
10 000	0,01	0,01	
1 000	0,05	0,1	
100	0,3	1	
10	1	3	
1	3	10	
0,1	10	30	
0,01	30	70	
0,001	100	200	1000
0,000 1	200	300	3000

リーズノースラツプ製作

標準小抵抗器

抵 抗 Ω	安然に使用し得る電流 (A)
0,1	0,1 - 15
0,01	1 - 100
0,001	10 - 600
0,000 04	250 - 1500
0,000 02	500 - 2000
0,000 01	1000 - 3000

a. 標準抵抗器にしてライヒスアンスタルト⁽⁹⁾型と稱するは抵抗線の全長を一半の處にて折曲げて往復線となし熱の放散を良好ならしむる爲め之を真鍮銅に巻きたるを以て自己誘導は少量なれ共電容量は少しく存在す此の如きを名付けて別々に附隨自己誘導及び附隨電容量と云ふことあり直流測定には無害なるも交流の測定別して高周波の交流に對しては誤差の原因なり此標準抵抗器を製作して完全に所要のオームを有せしめ0.01%迄精確ならしむる爲には先づ前述往復線を以て特に目的以上の抵抗數價を有せしめ之と并列して細き抵抗線を同一端極間に結びて之を調整し以て全部の抵抗を精密に調整せしむ假へば同一の長さに於て細線の抵抗が主線の夫れに百倍するものなれば細線を調整すること一厘なれば之れは細線なき主線のみを $\frac{1}{100}$ 厘即ち一耗の $\frac{1}{10}$ 調整すると同一なり従て調整は極て綿密なるを得るなり

精密なる抵抗線は二重絹巻にすべくエナメル⁽¹⁰⁾線は善良なる抵抗器に使用すべからずエナメル線を剥離すれば明かに紅色の酸化銅を認むべくしてエナメル即ち絶縁塗料は金屬線の表面を漸次酸化せしむるか故なり抵抗線は之を胴に巻きたる後ラック⁽¹¹⁾を施し然る後ラックを完全に乾かす爲に攝氏百四十度の竈に入れて十時間之を放置するものとす之を名付けて人工的に枯れしむると云ふ即ち其の性質を落付かしむるとなり一層完全なるは製作後約一年間放置する者にして自然の落付をなさしむ此くする時は抵抗は約1%乃至2%を以て減するものなり而して又ラックは濕氣を吸収して膨

(9) Reichsanstalt. (10) enamel wires; Emailldrähte. (11) to shellac; schellackieren.
(12) ring; altern.

脹し其の爲に抵抗も變せしむるが故に油槽を以て温を自由に變せしむる標準抵抗器の外普通測定用の標準抵抗器はラックを乾かしたる後パラフィン臘にて全部を固め濕氣の浸入を防ぐものとす然る時は熱の放散自由ならざるが故に此かる抵抗器に通ずる電流は極て少量ならしむ

抵抗線の全長を二等分に折曲げて往復線となし胴軸に之を一層巻き終りて次の一層に移り謂ゆる二線⁽¹²⁾巻きとなすに於ては自己誘導は少量なれ共層と層の間又第一層と金屬胴の間の電位差⁽¹³⁾割合に大なるを以て其の全體は全長に分配されたる電容量⁽¹⁴⁾を有し線の長さに従ひ又線の太さに従ひ電容量は之に應じて益大なるべく交流を之に通ずる時は抵抗器は純抵抗⁽¹⁵⁾たらずしてイムピーダンス⁽¹⁶⁾を有し自己誘導と電容量に對して適當なる誤差修正を施さるべからず此點に就て改良を行ひ誤差を數倍少からしめたる者を以てシャペロン⁽¹⁷⁾巻となす即ち一個の抵抗を成すべきコイルを數部分に分ちて之を直列に結び其の各部分の巻方に就ては單線を少しく巻きたる後之を逆の方向に巻き逆の巻方と正の巻方とに依て線の作る面積即ち磁力線と交叉する面積を同一ならしめ此正逆の巻方を繰返へして一部分を終り次の一部分に移りて同様の事を繰返し此等の部分を直列に結びて一個の抵抗線輪と爲す故に各部分に於て線の一層と次層の間の電位差は大に減じ且又分配されたる電容量は直列するを以て全體の電容量は頗る減少し兼て又正逆轉換の巻方に依て自己誘導は極て少量なり此等附隨的の自己誘導 L と電容量

(13) bifilar winding; bifilare Wicklung. (14) potential difference; Spannungsunterschied.
(15) distributed capacity; verteilte Kapazität. (16) pure resistance; reine Widerstand.
(17) Impedance; Impedanz.
(18) Chaperon winding; Chaperon Wicklung, abwechselnde, unifilare Wicklung.

Cと目的物たる抵抗Rを以て

$$CR^2 - L$$

なる量を作りCは(F)にてRは(Θ)にてLは(H)にて之を表はし
 此量を名付て残容量と云ひ⁽¹⁹⁾之が正號なれば附隨電容量の結果は附隨自己誘導の夫れに勝り負號なれば之に反す プラウ
⁽²⁰⁾ンはハルトマンアラウン製作の標準抵抗器に就て二種巻方の
 比較を行ひたるに 次の如き結果を得 抵抗の數價大なるに
 従ひシャペロン巻の効果益良好なるを認めたり 尙ほ近頃交

二線巻	表記抵抗1000Θ	殘容量 0,001120 (μF)
シヤペロン巻	" " 1000Θ	" 0,000105 "
二線巻	" " 400+300+200+100Θ	" 0,001245 "
シヤペロン巻	" " 400+300+200+100Θ	" - 0,000260 "
二線巻	" " 2000Θ	" 0,002275 "
シヤペロン巻	" " 2000Θ	" 0,000060 "

又巻と名付る巻方あり二本線のシヤペロン巻とも云ふべきものにして 并列二線を同一の長さにて逆の方向に巻き 各コイルは二個并列抵抗より成り二線をして精密に同長ならしむる時は自己誘導は殆んど零價なり

b. マンガニンを以て抵抗器の標準物質となすに至りたる徑路は温率⁽²¹⁾少なく熱電力亦少量なる金屬を求めんとする努力に基き 銅ニッケルの種々の合金に就き 及び銅マンガニース種々の合金に就き數年間研究の結果 銅マンガニースの合金に於て最適品を發見し 而して之れが銅と接觸するに當り温

(19) residual capacity; residuelle Kapazität

(20) L. Brown, Phys. Rev. 29, 369, 1909.

(21) Cross winding; Kreuzwicklung, ETZ 33, 721, 1912.

(22) temperature-coefficient; Temperaturkoeffizient.

(23) Thermoelectric-force; Thermospannung.

の相違より生ずる熱電力尙ほ高きに失するを補はん爲め少量のニッケルを加へたるものにして ライヒスファンスタルトは1892年に其の成分を以て銅84%マンガニース12%ニッケル4%と定め 1898年に於て銅86%マンガニース12%ニッケル2%と改めたり 銅の接觸に於ける熱電力の事は測定の精密を期するに當り極めて重要な事項にして 電橋の銅片物質と接觸するに當り 其の二個接觸所間に温の相違あれば測定を亂すべき電壓を生じ 別して温率の測定に於ては 物質を温むる油槽より熱を傳導するに依て誤差の原因を生ずる者なり 然れ共マンガニンの弱點とする處は温率の一定せざる事にして 温度と抵抗の關係は投物線⁽²⁴⁾をなし (第三章第一圖) 0°Cに於ける温率は+0,0035%にして15°Cに於ては+0,002%に減し 35°Cと40°Cの間に於て零價となり 之より以上の温度に於ては負號なり 其の外マンガニンは空氣に暴露すれば酸化する傾あるを以て之を豫防する必要あり 又新製品は抵抗を變ずる傾あるを以て 140°Cの氣室に入れて人工的に其の抵抗を固定せしむるものとす マンガニン線を以て作れる標準抵抗器は 各國の國立物理實驗所に於て製作したるものを互に交換して測定するに 其の結果は0,001%以内に於て互に良く一致し 且又米國標準原器局⁽²⁵⁾に於て二ヶ年半前後に於ける抵抗の變化を測定するに 1Θ標準抵抗器に於て平均0,001%以内の差を示し 10000Θ標準抵抗器に於て平均0,002%以内の差を示したるに過ぎず 而して各個別の標準器に在ては最大に於て0,004%の差を示したるものあり 又少しの差をも示さざるものあり 故にマンガニン標準抵抗器は抵抗の標準として

(24) Bridge; Brücke (25) parabola; Parabel. (26) T. Wenner; Journ. Wash. Ac. Sc. 1912.

国際間の一致を保つことを得るものなり⁽²⁶⁾

C. 標準抵抗器に於て之に附隨する自己誘導を除くことは割合に容易なれ共之に附隨する電容量を除くことは困難なり而して直流抵抗としては此等は無害なりと雖も交流別して周波高さ交流に對しては少量の自己誘導も電容量も誤差の原因となり加ふるに金屬胴には渦電流⁽²⁷⁾を生じてエナジーを消耗することは恰も別に或る抵抗を附隨せしむると同様なれば金屬胴に代ゆるに木質又はベークライト⁽²⁸⁾を以てすれば此點の改良なれ共熱の放散には金屬胴を以て勝れりとする附隨電容量は表記抵抗⁽²⁹⁾に並列する電容量を以て之を表はし得べきことは實驗上正當なる考にして附隨電容量を有する抵抗器を二個並列すれば電容量は二倍となり直列にすれば一半となる故に一定の抵抗を得る爲に抵抗の線輪を直列にして之を作る時は附隨電容量は大に減少するものなり交流ポテンシオメータに於ては電流電壓の外同時に位相差をも測定せしむるものにして電流電壓の場合には附隨する少量の自己誘導と電容量の結果は少々なれ共位相差の測定に於ては其の少量も大なる誤差を招くを以て之に使用する低抵抗標準器には製作上に於て種々の考案あり英國々立物理實驗所に使用する型式に就てはドリステールに依て公表せらるゝも⁽³⁰⁾複雑なれば原文に就て之を読まれんことを希望す今若し R , L , C を以て標準抵抗器の抵抗 (\ominus) 附隨自己誘導 (H) 及び並列にす

(27) eddy currents; Wirbelstrome. (28) Bakelite. Bakelit.

(29) nominal resistance; Nennwiderstand. (30) M. Wien, Ann. Phys. 4; 425, 1901; 14; 1; 1904

(31) A. Taylor and E. Williams; Phys. Rev. 26; 417; 1908.

(32) C. Drysdale, Electr. 66; 34; 1910.

ると見做さるゝ蓄電器を以て代表せしむる附隨電容量 (F) とすれば

$$T(\text{秒}) = \frac{L}{R} - CR = \frac{1}{R}(L - CR^2)$$

を以て此抵抗器の時定數⁽³¹⁾と云ひ之に周波數 n の交流を通ずる時は此抵抗器の自己誘導と電容量の爲に ϕ なる位相變化を生じ之と時定數との關係は

$$\phi(\text{弧の秒數}) = 2\pi n T(\text{秒})$$

なり普通製作法の標準抵抗器に在ては周波數 $n=1000$ の交流に對して數分の位相變化を生じ前述時定數が零に近き程交流に使用して正しきものなりラグネルウェルタイム⁽³²⁾の研究に依れば標準抵抗器の線は何れの巻き方なり共目的數價の抵抗を數部に等分して一々之を別々の金屬筒に巻き之を直列にする爲には各筒の間に絶縁輪を狭み共同の軸心として絶縁體を使用し此等を直列にして目的の抵抗數價を作る時は時定數の數價は零に近く $T(\text{秒})10^3$ をして ± 0.5 以下たらしむるは容易なりと云ふ之に關する測定法及び製作上の異同に就ては原文を参照すべし

マンガニンの唯一弱點とする處は前述するが如く抵抗温率の一定せざる所に在り故に之を補ひて温率の全く零價なる物質を得んとする努力あり正號温率と負號温率の金屬線を並列して互に相償はしめんとし或は又負號温率の金屬線に正號温率の金屬を電鍍して内外相償はしめんとする計畫を以て研究せらるゝと雖も未だ何れも完全に成功するに至らず次に記載するはドリステール⁽³³⁾の測定に係る各種抵抗用合金類

(a) Time-constant; Zeitkonstante.

(b) K. Wagner u. A. Wertheimer, ETZ 34; 613, 1913.

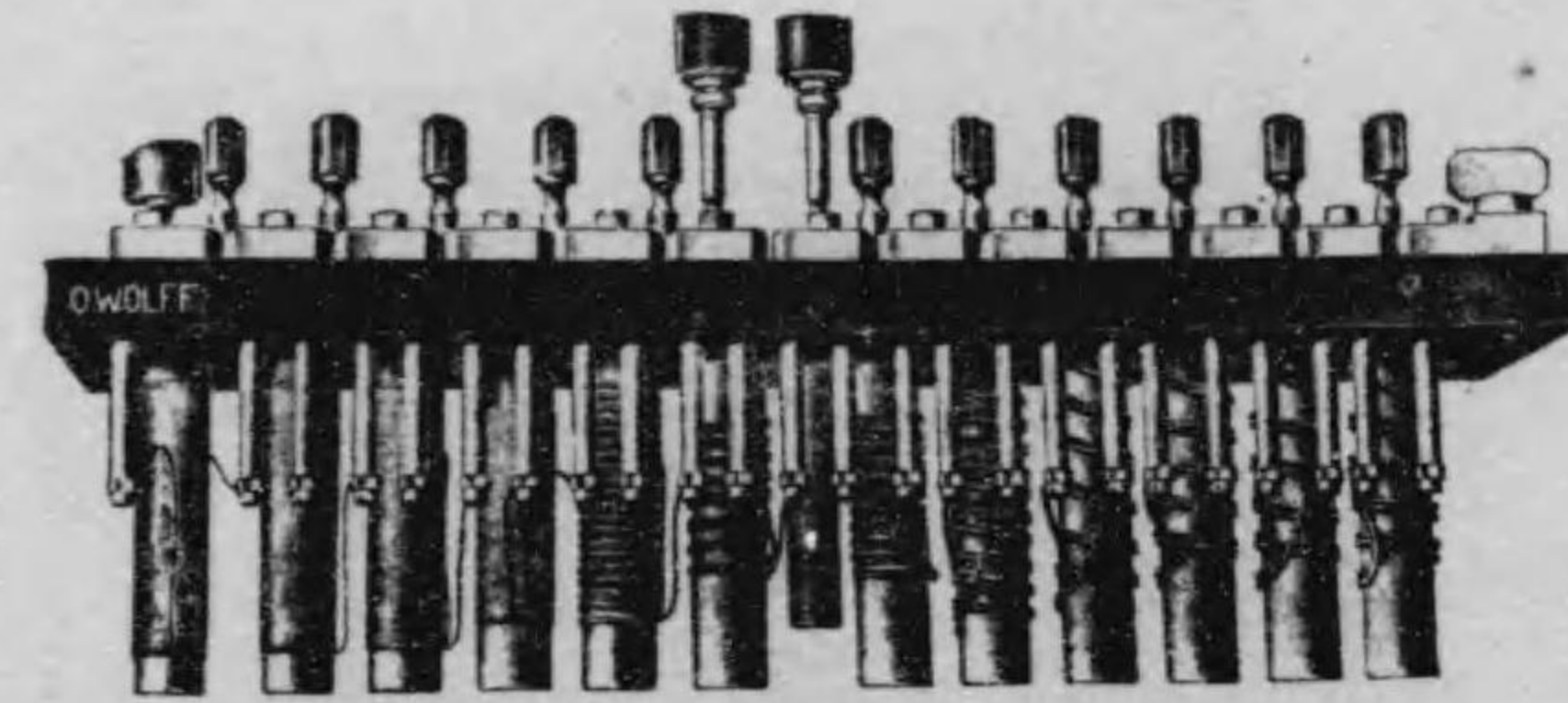
(33) C. Drysdale, Electr. 59; 955; 1907.

抵抗材料	比重	比抵抗 ρ ($\mu\Omega \cdot \text{cm}$) / 0°C	抵抗温率 %, 17°C	對銅熱電力 $\mu\text{V} / \text{C}^\circ$
ニッケリン ⁽³⁵⁾	8,77-8,88 ₄	39,29 ₂ -40,62 ₃	+0,0187 ₂ -+0,021	19,06-20,75
ニッケリン I	9,082	43,13	+0,00245	37,5
ニッケリン O	8,61	26,926	+0,034	19,7
コンスタンタン ⁽³⁶⁾	8,993	47,056	-0,0012	37,5
軟コンスタンタン ⁽³⁷⁾	8,903	48,4	-0,00112	39,2
マンガニン ⁽³⁸⁾	8,632-8,612	36,62-39,144	+0,00175-+0,001763	1,4-1,44
レオスタン ⁽³⁹⁾	8,613	47,55	+0,024	13,8
エキストラプリマ ⁽⁴⁰⁾	8,801	29,35	+0,028	16,55
レオスタチン ⁽⁴¹⁾	8,60	47,578	+0,00256	20,75
洋銀 II ⁽⁴²⁾	9,058	42,887	+0,00385	35,75
ユレカ ⁽⁴³⁾	8,96	47,404	+0,0048	40,6
プラチノイド ⁽⁴⁴⁾	8,83	33,62	+0,0224	23,5
スベリオ ⁽⁴⁵⁾	8,241	81,024	+0,1148	7,44
エキセルシオル ⁽⁴⁶⁾	8,04	80,292	+0,0947	4,6
IA-IA	8,976	53,7	-0,0029	39,12

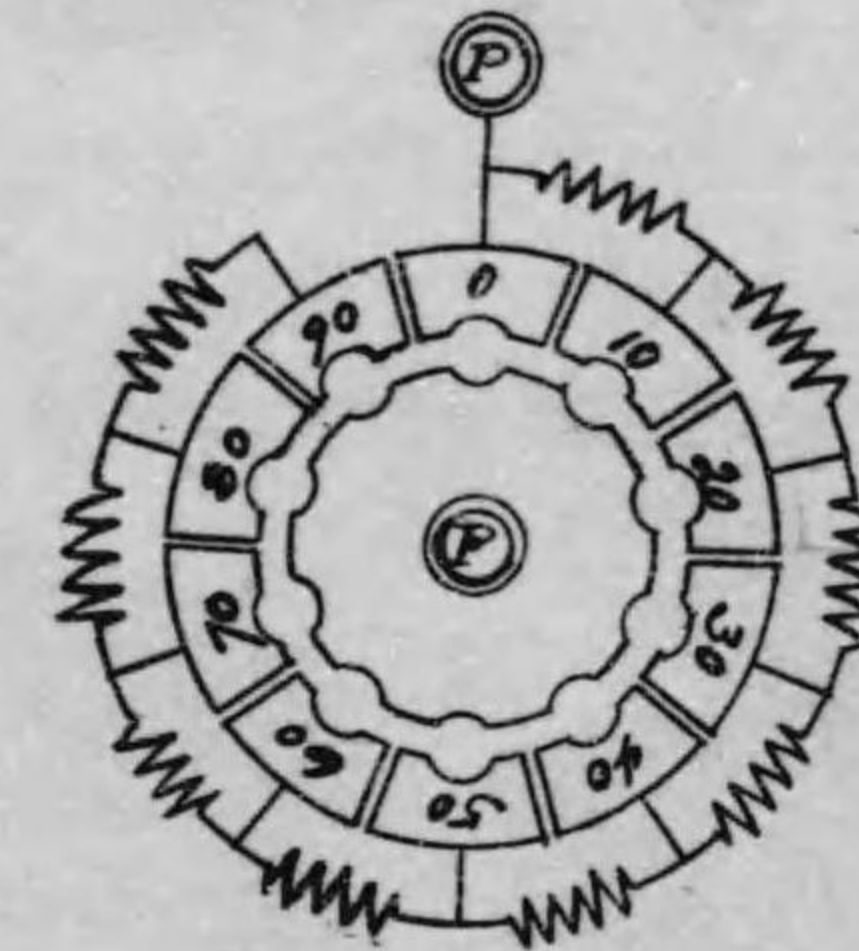
の定数にして 製作会社に依り又見本に依て多少の相違あれ
共 測定は10 0000分の1迄精密なるものなり

b. 標準抵抗器の外之が代用となるべき測定用抵抗器に種々⁽⁴⁷⁾
の製作あり 多数の栓を用ひ抜きたる栓の位置の抵抗を加へ
て總抵抗とする舊來の直列接続抵抗器あり 回轉臂を以て接
觸に依て其の數價を變ずる抵抗器あり 又之れと同一の原理
に依り一位十位百位等各數位に於て唯一個の栓を用ひて各數
位の抵抗を定むる十割抵抗器あり 何れも製作上の進歩頗る
大にして $\frac{1}{50}\%$ 乃至 $\frac{1}{20}\%$ の精度を有す 次に示すものは此等抵
抗器の接続及び其の外形にして 直列接続即ち多数栓抵抗器
(35) nickelin. (36) Constantan (37) softconstantan (38) manganin (39) rheostan
(40) extra prima (41) rheosta tin (42) German silber; Neusilber (43) eureka
(44) platincid (45) superior (46) excelsior (47) Precision-resistance; Präzisionswiderstand
(48) plugs; Stöpsel. (49) plug resistance; Stöpselwiderstände.
(50) dial or lever resistance; Kurbelwiderstände (51) decades resistance; Dekadenwiderstand.

第八圖
直列接続抵抗器

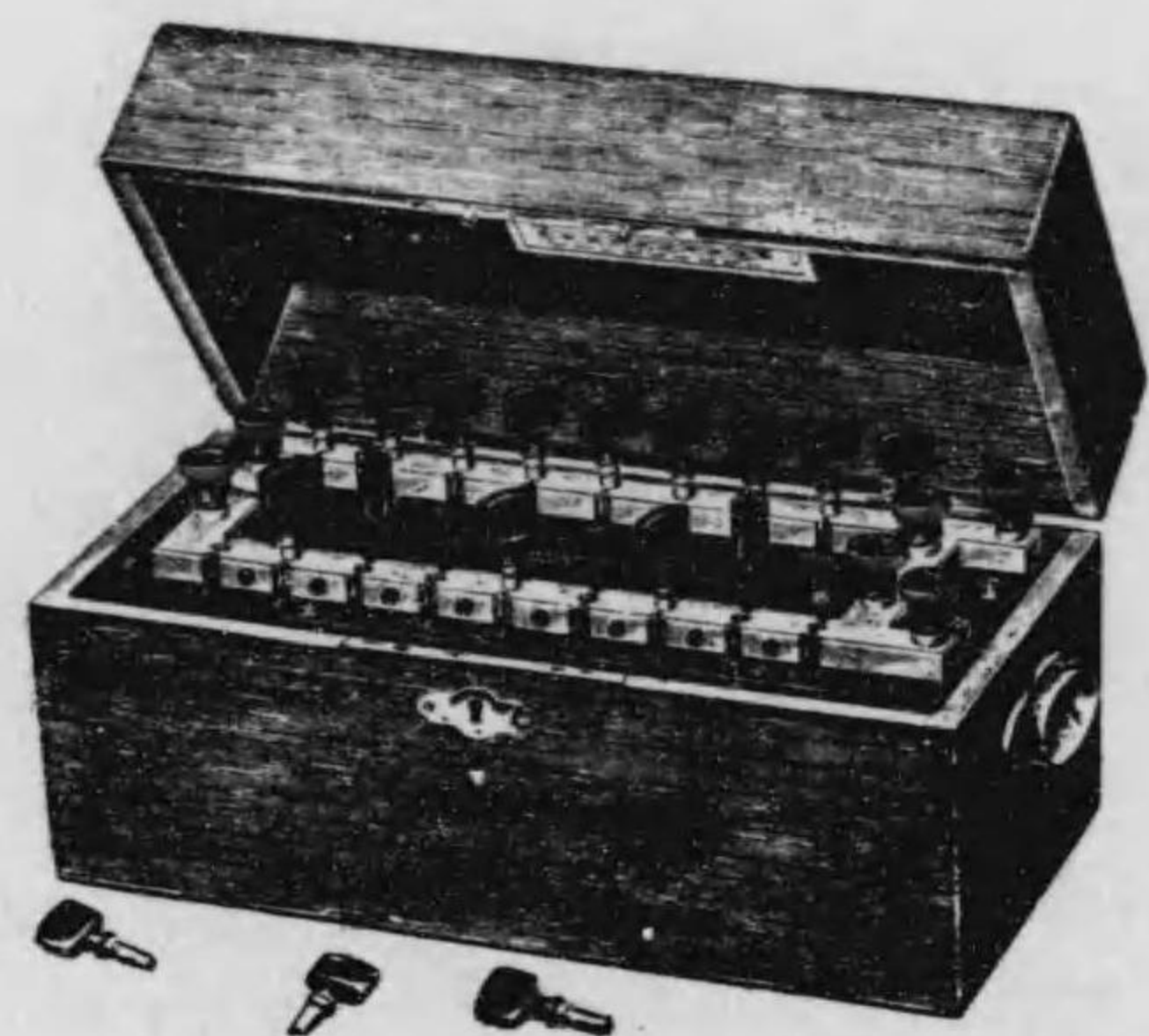


第九圖
十割接觸抵抗器



に於ては栓を抜きたる處に記す抵抗を用ひ 十割及び接觸臂抵
抗器に於ては栓を入れたる處或は又接觸する處に記す抵抗を
用ゆ 凡て此等の抵抗器に安然に通し得べき電壓電力は 100
(V)2(W)以下に止むべく 此くても尙ほ三十分間電流を通する
時は抵抗線の温度は約 15°Cを以て昇ることは測定者の注意す
べき事項なり

第十圖
直列抵抗器



第十一圖
十割抵抗器



第十二圖
回轉臂抵抗器



第七章

ホイートストーンの電橋

ホイートストーン⁽¹⁾の電橋は古く發明⁽²⁾されたる測器なるが、今も尙ほ抵抗測定⁽³⁾の器械として極めて便利なるものなり。然も製作上の材料、其の他装置の進歩に依て絶へず改良を加へられ、之を使用する範圍は直流を以て普通の場合一オーム以上より一千万オーム以上迄の測定に適し、一オーム以下の小抵抗をも測定するを得ざるにあらざれ共、測定する抵抗の小なるに従ひ接續線の爲に生ずる誤差漸次増加するを以て、小抵抗の測定はケルヴェン⁽⁴⁾の電橋を以てす。

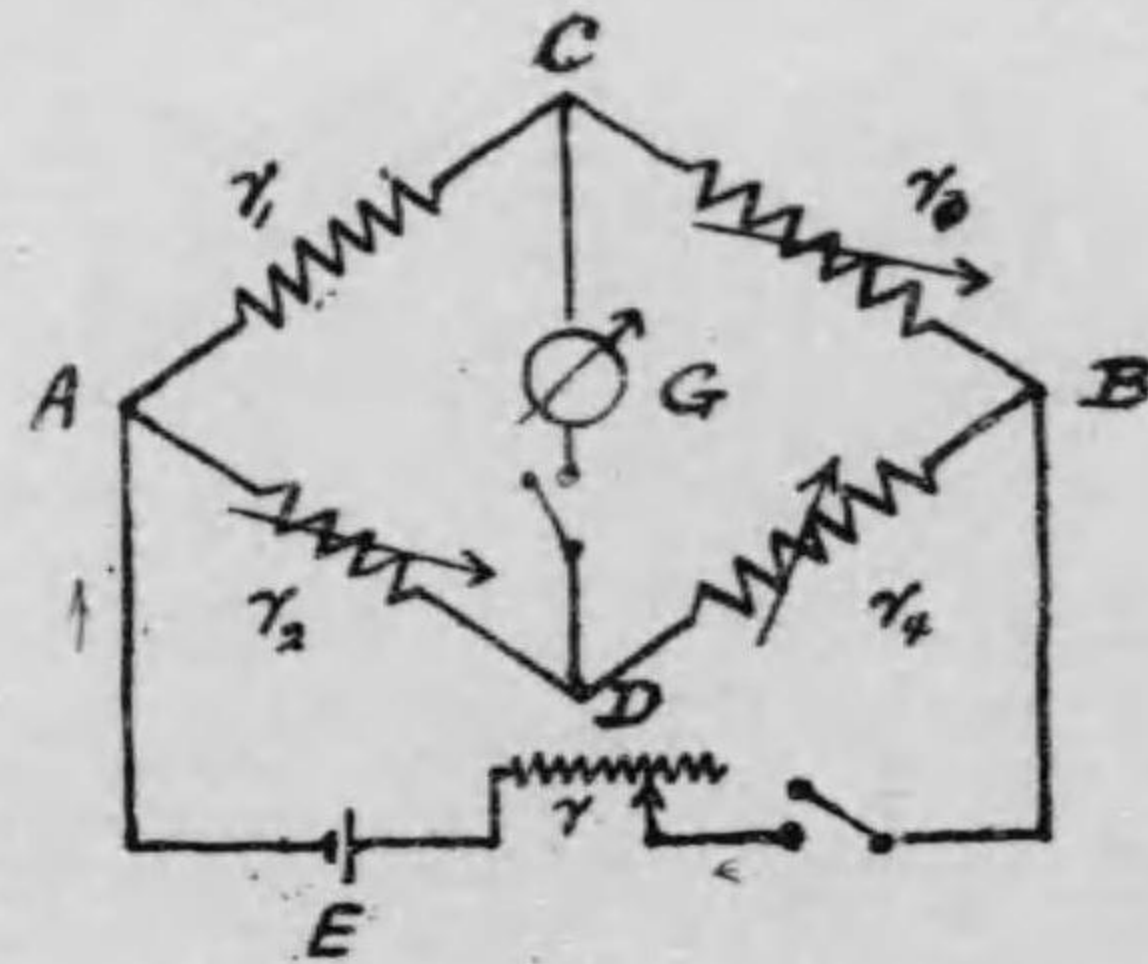
ホイートストーン⁽¹⁾の電橋を以て抵抗の測定を行ふ原理は極めて簡單なり。第一圖に於て四個抵抗 r_1, r_2, r_3, r_4 を井形に結合し、對角線上に直流電流計 G と電池 E を備ふるに、電他の電路を閉ぢ、然る後電流計の電路を閉づるとも電流計の偏斜皆無なる時は、四個抵抗は

$$r_1 = \frac{r_2 \cdot r_3}{r_4} \dots \dots \dots (1)$$

なる關係を保つものなり。故に r_1 を以て測定せんとする抵抗となし、 r_2, r_3, r_4 を以て適宜調整せらるべき既知の抵抗とすれば、前述する如く電流計の無偏斜を確むるに依て r_1 は r_2, r_3, r_4 より算出確定するを得べきものなり。但し r_2 と r_3 なる二個の抵抗は其の比を以て此關係中に入るが故に、其の各個の數價を知る必要なく、唯其の比を知るのみにて可なり。電橋には必

(1) Wheatstone, Bridge; Brücke. (2) Phil. Trans. 1843; Pogg. Ann. 1844.

第一圖



す r_2, r_3, r_4 なる三個抵抗の列と 電池及び電流計の電路を開閉すべき装置を設けあり

ホイートストーン電橋の原理は此の如く極めて簡単なれ共之を以て測定を行ふには實地上注意すべきことあり 電橋に備へられたる r_2, r_3, r_4 三列の抵抗は二線巻き又はシャペロン巻きとして自己誘導と電容量極めて少なく製作せらるゝと雖も 此等は全然零なりと云ふべからず 又此等の抵抗を装置する金屬體は長方形の電路を形成し 電池電流計を接続する線も亦一卷きのコイルを爲して何れも多少の自己誘導を有し 測定せんとする抵抗も亦自己誘導を有する場合少からず 従て四個の抵抗は前述する處の(1)の關係を有するとも 電橋各部の自己誘導と電容量の結果にして互に相消さゝる時は 電池の電路を開閉するに當りて電流計は多少の偏斜を示すべきものなり 何んとなれば前述四個抵抗の關係は何れの部分にも自己誘導又は電容量なしとの假定の下に導きたるものなればなり 故に免かれ難き自己誘導と電容量の結果を除きて精確に抵抗

の測定を行はんが爲には 先づ電池の電路に適宜の抵抗 r を入れて其の生ずる電流を弱め 此電路を引續き接続し置きて各部に一樣不變の微弱なる電流を通せしめ 然る後電流計の電路を閉ぢて之に偏斜あるや否やを見 r_2, r_3, r_4 を調整して偏斜なきに到らしむるものとす 然して後電池の電路に存する抵抗 r を零として之を確め 多少の偏斜あれば尙は一層精密に r_2, r_3, r_4 を調整して全く偏斜なきに到らしめ 此時の r_2, r_3, r_4 の既知數價より(1)の式に依て r_1 を算出す 電流計の偏斜零なることは第一圖の A, B 二點に於ける電位同一なるを確むるものにして(1)の式を導きたる理論は此事を前提としたるものなるが故に 電流計の線輪其のものには自己誘導電容量に付て何等の規定なくして可なるものなり

前述する(1)の式の如く四個抵抗の關係を導きたる理論に於ては r_1, r_2, r_3, r_4 の何れに於ても 或は又電橋の接觸點 A, C, D 及び抵抗調整用の栓の接觸所に於ても 凡て電壓の根源なきを前提とす 若し其の何れに於ても電壓の根源あれば四個抵抗は前述する處の關係を有すとも 電流計に電流通じて偏斜を示すべし 此の如き電壓の根源は電橋電路中の接觸點又は接觸所に生ずることあるべき熱電壓に存し 此熱電壓は其の處に流るゝ電流より生ずる熱に基き電流の二乗に比例するものなるが故に 電池より流るゝ電流は極めて弱かるべきを要す故に一方には電池の電路に調整用抵抗 r を入れて電流を微弱に保ち 一方には此微弱なる電流を以てするも電流計に電流の通ずるや否やを明かにする爲に感度高き電流計を使用するものとす

a. 理論の示す處に依れば最も精密なる測定を行ふ場合 即ち電流計の兩端極 C, D 二點間に最大の電壓を生ぜしむべき様に 四個抵抗間の數價關係を求むる時は

$$r_1=r_2=r_3=r_4=r_g \quad r_g = \frac{(r_1+r_2)(r_3+r_4)}{r_1+r_2+r_3+r_4} \dots\dots\dots(2)$$

なる條件を得べし 即ち四個抵抗が何れも皆同一の數價を有して電流計の抵抗 r_g とも同一なるべく 且又此電流計の抵抗は測定せんとする抵抗次第にて最適量を有するものたるべし

測定に於ては此條件に成るべく應ずる様諸抵抗を撰むべきものなれ共 實際に於て此等條件を満足せしめむことは不可能なる場合多し 然れ共何れの場合に於ても r_2 と r_1 は同一量となし従て其の比をして1ならしむることを可とす 電流計の種類に依りては其の線輪を取換へ得るものあれば 此かる電流計に在ては測定せんとする抵抗 r_1 の大體の價を知らば之と約抵抗を同じくする線輪を撰むを可とす 若し又電流計の抵抗 r_g を以て既定不變の數價となし 第一圖 A より B に到る電池線の抵抗 r も亦既定の數價となし 測定すべき抵抗 r_1 の大體の數價丈は既に知るものとすれば 最も精密なる測定を行ふ爲に他の r_2, r_3, r_4 の爲に撰むべき數價は

$$r_2 = \sqrt{r r_1 \frac{r_1+r_g}{r+r_1}} \quad r_3 = \sqrt{r_1 r_g \frac{r+r_1}{r_1+r_g}} \quad r_4 = \sqrt{r r_g} \dots\dots\dots(3)$$

なり

抵抗 r_1 の測定に於て r_2 と r_4 の比を以て1となすに當り 電橋の r_3 に設けられたる抵抗の全部よりも r_1 が大なる場合には r_2 と r_4 の比を以て10又は $1/10, 100$ 又は $1/100$ 等となす 然るに r に設けある最小單位の抵抗を加減するとも 電流計の偏斜全く零なること能はずして右又は左に偏斜する時は r_3 を r_3' とし

(2) Heaviside, Phil. Mag. 1873.

たる時の最小の左の偏斜 $-a'$ を読み r_3 を r_3'' としたる時の最小の右の偏斜 $+a''$ を読み 然る時は電流計の偏斜全く零なるべき時の r_3 を以て

$$r_3 = r_3' + \frac{a'}{a'+a''}(r_3''-r_3') \dots\dots\dots(4)$$

となし 之を(1)の r_3 となして r_1 を算出す

同様の場合に於ては r_3 の全部又は一部分に之と并列に一個の標準抵抗を加ふることあり 電橋には此事を行はしめん爲に移動端極の設けあり 初めは r_3 を少しく過大にし并列抵抗をも大ならしめ 漸次此并列抵抗を減少して遂に電流計の偏斜をして全く零なるに到らしむ 而して此時の二個并列抵抗を以て r_3''', r_3 とすれば 電橋を釣合はしむべき r_3 の數價は

$$r_3 = \frac{r_3 r_3'''}{r_3 + r_3'''} \dots\dots\dots(5)$$

にして (1)の式に之を入れて r_1 を算出するものとす

化學秤を以て物體の重量を測定するに秤の兩臂の不同より生ずる誤差を除かんが爲に 分銅と物體の位置を取換へて測定の平均を求むることあり 電橋を以て抵抗の測定を行ふにも亦左右電路の不同あるべきに依り同様の注意を要す 特に一時假設的の電橋装置に於て然るものなり 此の如くして電橋の r_1, r_3 なる二臂に於ける接續線の不同より生ずる誤差を除くものとす r_1 と r_3 の位置を取換へて一々 r_1 を測定するに依り其の結果として r_1', r_1'' なる多少異なりたる數價を得る時は

$$r_1 = \frac{1}{2}(r_1' + r_1'') \dots\dots\dots(6)$$

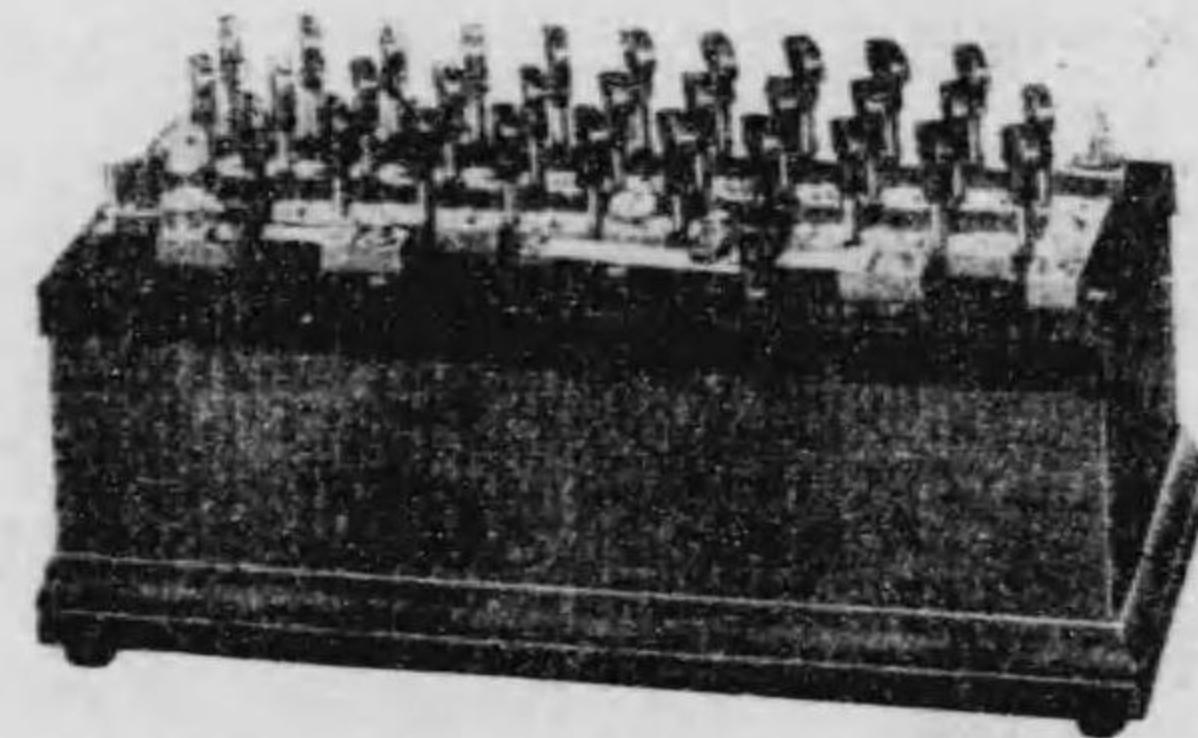
を以て前述の誤差より免かれたる r_1 の數價となす

b. ホキートストーン電橋には多數栓普通型のものあり 回

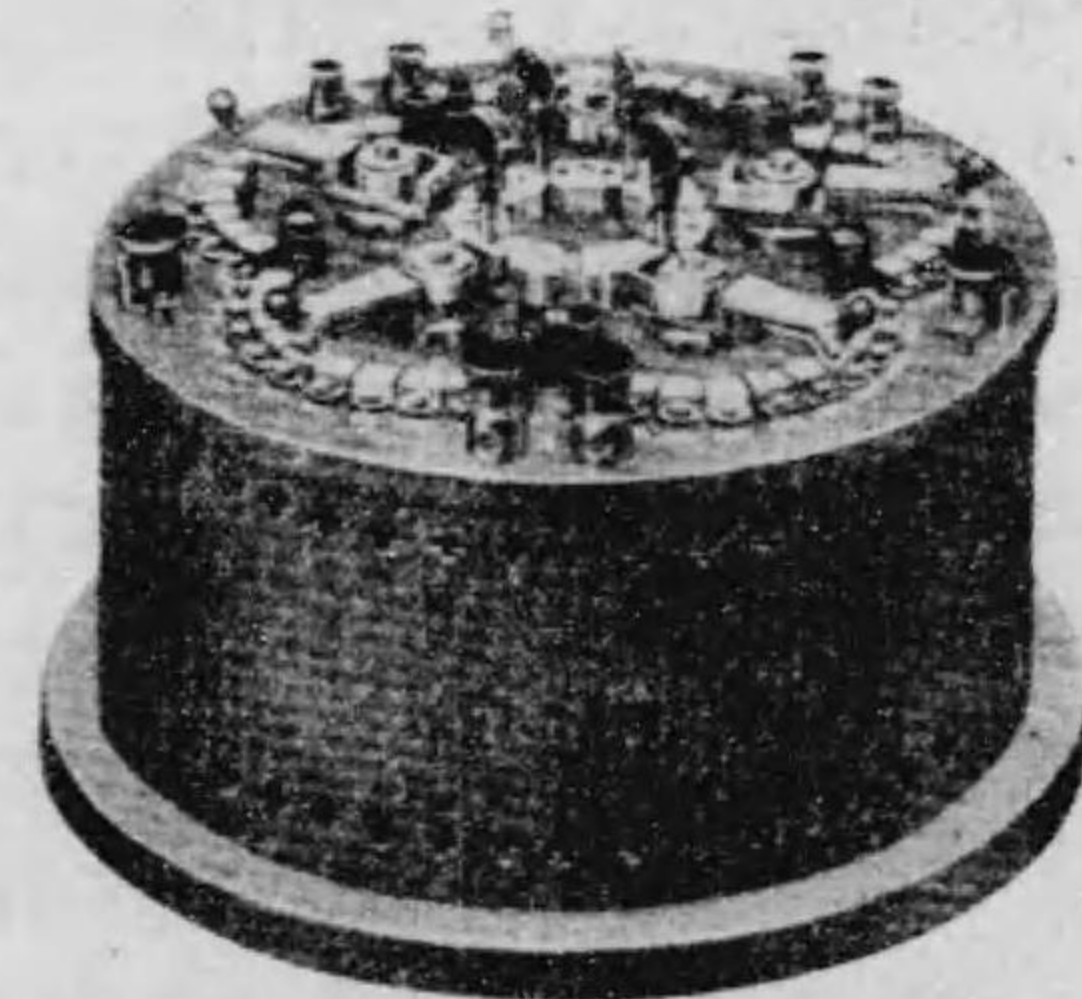
(3) Bridge with plug resistances; Stoepselmezbücke.

轉接觸型にして栓を用ひざるものあり 又十割電橋として各數位に就て一個づゝの栓を用ゆるものあり 第二圖は多數栓電橋にして一千万オーム迄を測定せしむるもの 第三圖は回轉接觸電橋にして九個の0.1オーム、九個の1オーム、九個の10オーム、九個の100オーム、九個の1000オームより成れる五個の回轉接觸抵抗を有し 一百万オーム迄を測定せしむるもの 第四圖は十割電橋にして0.1オーム、1オーム、10オーム、100オーム、1000オームの抵抗何れも十個づゝを有し 各數位に付き一個の栓

第二圖

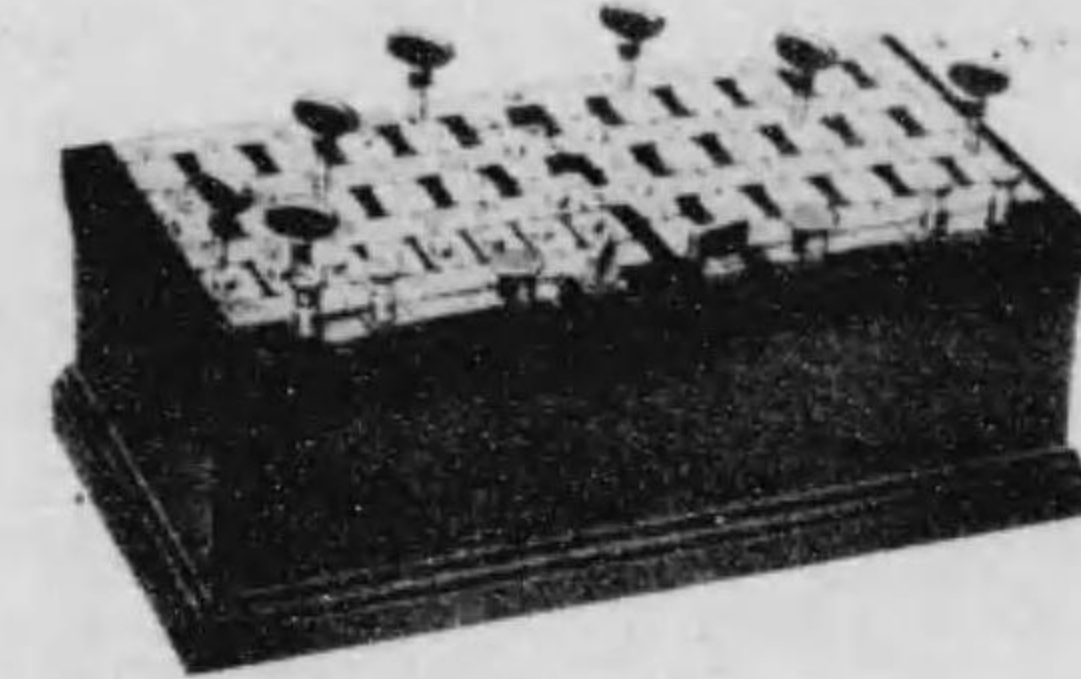


第三圖



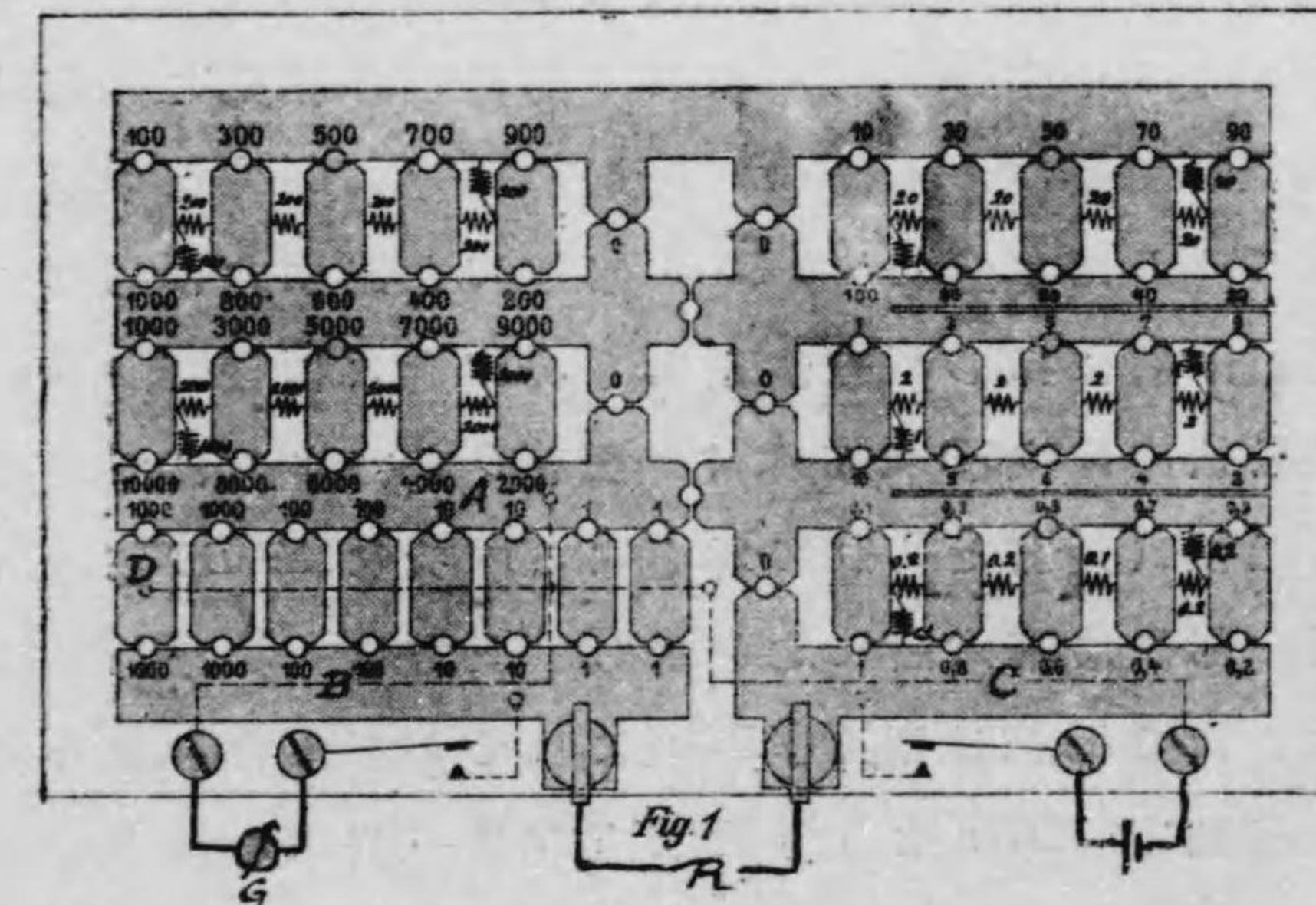
(4) Bridge with switch contacts; Kurbelmeszbrücke.
 (5) Bridge with decades resistances; Dekadenmeszbrücke.

第四圖



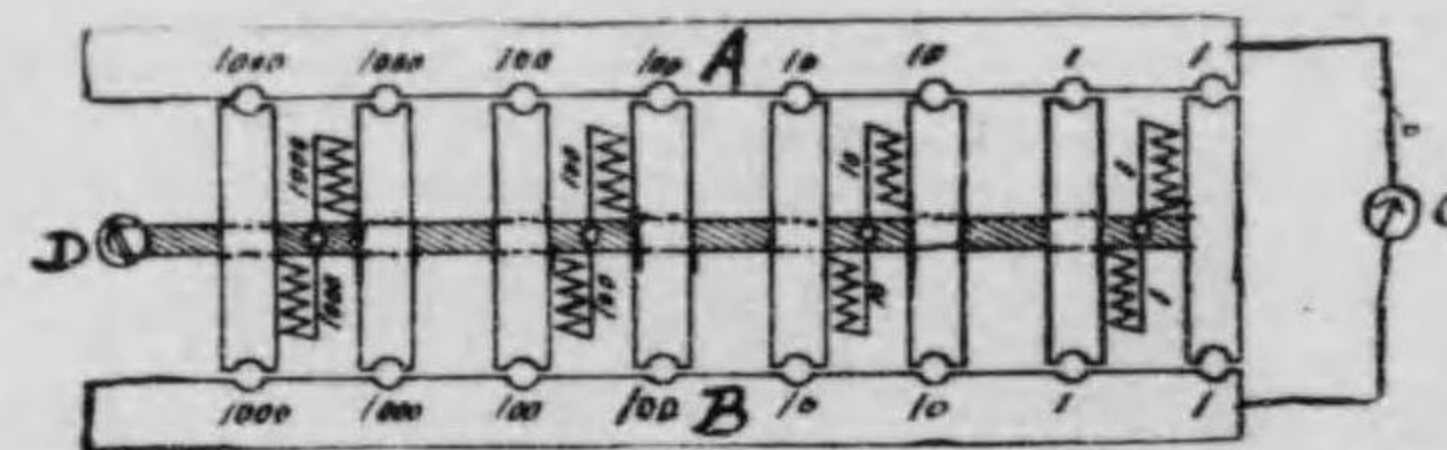
合計五個の栓を有して一千一百万オーム迄を測定せしむ 此等の圖に示すものは何れもシーメンス、ハルスケ最新の製作に係るものなり 就中第四圖の十割電橋に付ては其の詳細に涉りて説明する必要あり 此型式に於ては栓の數甚少なく 數の各位に付唯一個を用ゆるが故に栓の接觸の状態より來る誤差少なく 電橋に備へたる抵抗は各オームに付き五個づゝ同一

第五圖



(6) Siemens Halske 1912.

第六圖



なれば此等は互に比較するを得べく 測定の便宜を兼て測定の精度に於て従來のものよりも進歩したるものなり 第五圖に示すものは第四圖の一層大なるものゝ内部構造を表はし フェイスマーのライヒスアンスタルトに於て研究したる装置にして 第五圖中のADBと記したる部分は第六圖として別に之を表はし 第一圖の r_2, r_1 なる比較部分⁽⁸⁾と同一なるものなるがシューネの意匠を改良したるものなり 之を第一圖の四個抵抗と對照するにBよりCに至る r_2 なる抵抗は $0,1 \ominus$ より $1 \ominus$ に至るもの $1 \ominus$ より $10 \ominus$ に至るもの $10 \ominus$ より $100 \ominus$ に至るもの $100 \ominus$ より $1000 \ominus$ に至るもの $1000 \ominus$ より $10000 \ominus$ に至るものゝ十進五列に分たれ 其間の各抵抗の分配は第五圖に示すが如くなるが故に 一個の栓を 5000 と記す處に挿し 一個を 500 と記す處に挿し 一個を 50 と記す處に挿し 一個と 5 と記す處に挿し 一個を 0,5 と記す處に挿せば BC 即ち r_2 なる抵抗は $5555,5 \ominus$ たるべく 栓を 0 と記す處に挿せば其の數位の抵抗は短絡せられて零となる 次に AD, BD 即ち $r_2:r_1$ なる比例の部分は第六圖に之を示し 上方に一栓を挿せば其處に記されたる抵抗は則ち $AD=r_2$ にして 下方に一栓を挿せば其處の抵抗は $BD=r_1$ なり 故に上下各一個の栓のみを用ひて $r_2:r_1$ の比をして $\frac{1}{1000}$ より 1000 の間に變ぜしむるを得べく

(7) Feusznier (8) Verzweigungsbüchse. (9) O. Schoene, Zt Instrumk. 1878.

$r_2:r_1$ の同一比を以て數度の抵抗測定を爲し其間互に検査を行ふを得べし 例へば $r_2:r_1=1/10$ なる比を作らんとすれば

AD 上の栓を初の 1 に挿し	BD 上の栓を初の 10 に挿し
" " " 初の 1 " " "	" " " 次の 10 " " "
" " " 初の 10 " " "	" " " 初の 100 " " "
" " " 初の 10 " " "	" " " 次の 100 " " "
" " " 初の 100 " " "	" " " 初の 1000 " " "
" " " 初の 100 " " "	" " " 次の 1000 " " "

尙ほ又 AD 上の栓を次の 1 又は 10 又は 100 に挿して同一の測定を爲すべきが故に 總計に於て十二度の測定を爲し $r_2:r_1$ の比より來ることあるべき誤差を減するを得 若し又三個の栓を用ひて AD の上に 1000 と 1 とを并列せしめ BD の上に 1000 を用ゆれば $r_2:r_1$ なる比は 1,001 となり 従て 0,1% の比例差を以て測定装置全部の感度を定むることを得べく 或は又 $r_2:r_1$ なる比を逆となして $r_1:r_2=1,001$ と定め 一々電流計の偏斜 d' と d'' を讀み(4)の式に依て測定せんとする抵抗を算出するを得べし 第六圖の装置に附屬して $9000 \ominus$ の抵抗を有する栓あり 之を AD 上の 1000 に挿し 他の一栓を其の 10 に挿せば r_2 は合計 $\frac{10000}{1001}$ となり r_1 の 10 に對しては 1,001 の比を爲すが故に 此方法を以て $r_2:r_1$ の比に 0,1% の差を生ぜしことを得べし

第五圖第六圖に記載する装置の電橋を用ゆる時は 計算上に於ては $0,0001 \ominus$ より $11111000 \ominus$ 迄を測定し 最高精度は 0,01% 迄に達すべしと雖も 凡てのホキーンストーン電橋に共通する性質として $1 \ominus$ 以下の測定に於ては 測定する抵抗が十分の一に減する毎に精度は同しく約十分の一を以て減じ測定すべき抵抗の小量なるに從て 接續線又は測器電路のレジスタンス

爲に生ずる誤差は益其の影響を大にするを以て 此の如き小抵抗は別に其の目的を以て設けられたる装置と測器とを使用するを要す

電橋を以て抵抗の測定を行ふに當り初め其の四個抵抗の釣合を得ざる間即ち調整中に於て 過大の電流を通ずる懼れあるに依り 電池の電路に前置抵抗を置くこと第一圖の r に示す如くす 之れが爲には $\infty, 10\,000, 1000, 100, 10, 0\ominus$ の六階段を有する抵抗器を使用すれば便利なり 即ち初めに $10\,000\ominus$ を入れて豫備測定を行ひ 四個抵抗の釣合を得るに從て漸次此前置抵抗を減じて測定感度を高むるものとす

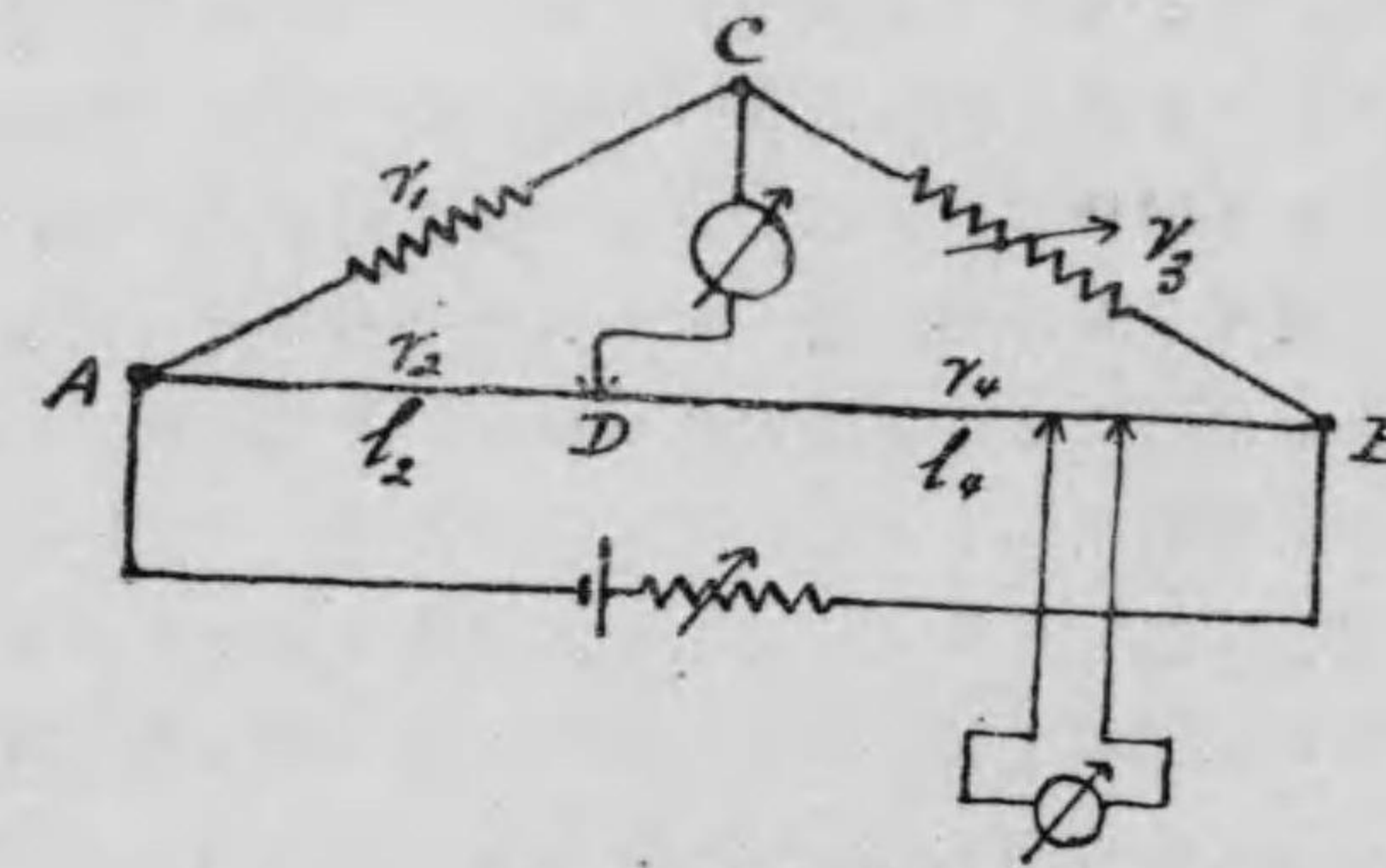
ホキートストーン電橋に在ては r_2 と r_4 は唯其の比を知るのみにて足り 一々其の抵抗數價を知るの要なきを以て 固定抵抗線輪の代はりに一個の線狀抵抗を用ひ 電流計の一端極を此線の上に移動接觸せしめて其の偏斜の零なる處を求むれば $r_2:r_4$ の比は抵抗線の長さの比 $l_2:l_4$ なるを以て(1)の式は

$$r_1 = \frac{r_2}{r_4} \cdot r_3 = \frac{l_2}{l_4} \cdot r_3 \dots \dots \dots (7)$$

となる 第七圖は其略圖を示すものにして 此電橋を名付て接觸線電橋⁽¹¹⁾と云ひ キルヒホッフ⁽¹²⁾の考案に基くものなるが故に キルヒホッフ・ホキートストーン電橋とも云ふ 第八圖は圓形接觸線を以て作りたる電橋にして 之を取扱ふ時は $r_2:r_4$ の比は連続的に且極て細微に變化せしむるを得 且又從て r_3 の設備も簡單にして可なるを以て此等の點に於て至大の便利あり 然れ共接觸線は至る處同一の長さに於て同一の抵抗を有せざるべからざるを以て其の檢定を行はさるべからず 即ち

(10) Series resistance; Vorschaltwiderstand.
 (11) Loop wire or slide wire bridge; Schleifdrahtmeszbrücke.
 (12) Kirschhoff

第七圖



第八圖



一種の不變間隔を有する二個双形の電極を之に接觸せしめ此等二電極を鋭敏なる電流計に結びて電流を通じ得るものとすれば 此の接觸及を接觸線上の何處に移動せしむるも 或は

又其の一端より他端に向て迂らしむるとも 電流計の偏斜は一定して不変なるべきものなり 接觸線を嚴密に檢定する時は必ず多少其の太さに異同あるべきを以て 檢定の結果は寒暖計の檢定表と同様に修正表を作るべきものとす 然れ共此かる檢定は測器の製作所に於て充分に豫め爲さるゝを普通とす 接觸線を用ひたる電橋を備ふる時は 接觸線と之に接觸する白金車は常に清淨に之を保つことを要す

電橋を適當に保存し何時も之に依て精確なる測定を行ふ爲には 溫度に急激の變化なき處に置きて硝子覆を施して塵埃を防ぎ 日光を防ぐ爲に黒布に包み 其の栓は時々塵き磨紙と細さ磨紙にて擦り其の後清淨なる布又は紙にて拭ふべく 栓孔は木製圓錐形の栓にて擦り後ち薄く石油を以て濕したる布片にて拭ふべし 此の孔を磨くには磨紙又は磨粉の類を使用せざるものとす 接觸抵抗線を磨くにも又薄く石油を以て濕したる布片にて拭ひ 決して之を磨り減らす如きことあるべからず 而して又各個の抵抗は時々標準抵抗器を以て比較測定を行ひ 測定の結果は電橋と共に保存するものとす

第八章

タムソンの電橋

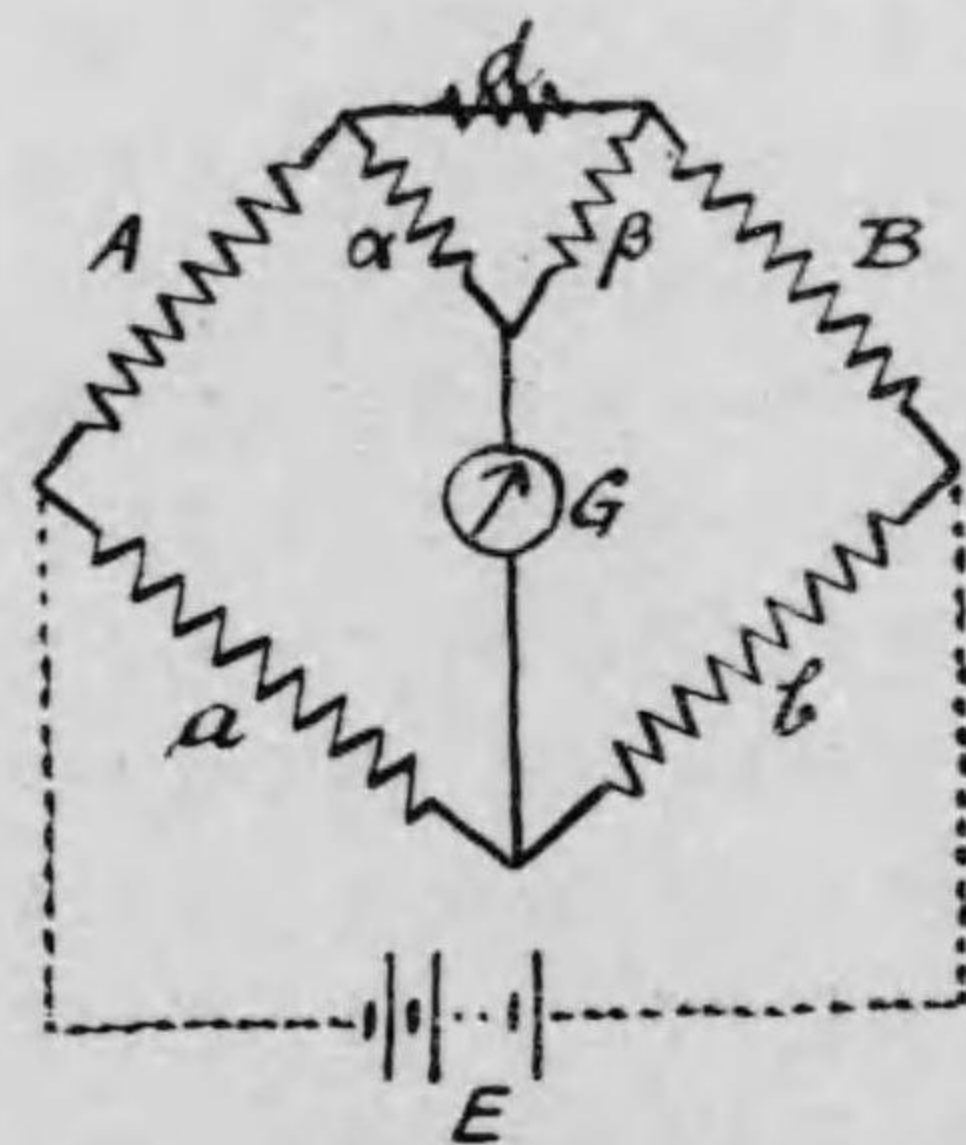
銅の品質を定むるが如き少量の抵抗を測定せんとすれば 測定せんとする數價は 0.1Ω 以下にして 半徑四耗の銅線は長さ一米に付約 0.00035Ω の小抵抗を有するに過ぎざるを以て 之をホキートストーン⁽¹⁾の電橋に依て測定せんとすれば 電橋電路の抵抗は極て少量のものを用ひざるべからず 然る時は接續線の抵抗或は又栓の接觸抵抗の影響は大なる誤差となりて現はれ 到底正確なる測定を行ふべからざるに依り 此かる少抵抗の測定には別途の装置に據らざるべからず 此目的の爲にホキートストーン電橋を改良したるものをタムソンの電橋と爲す 其の起源は古きものなれ共材料製作の進歩に伴ひて今日尙精確なる測器たるものなり タムソンの電橋はホキートストーン⁽¹⁾の電橋を較複雑にしたるものにして 抵抗測定に使用する既知の抵抗は可なり大量のものたり得べきに依り接續線又は栓の接觸の抵抗は此等に加はるとも省略し得べくして誤差とならざるものなり

第一圖はタムソンの電橋の原理を示す略圖にして 第五圖は之を實際の測器として装置するもの略圖なり 何れに於ても A, B, a, b, a, β なる六個抵抗と d なる接續抵抗より成り 其の中 A を以て測定せんとする抵抗とすれば B は A の數價を定むべき標準抵抗にして a と b とは其の比を以て A と B との

(1) W. Thomson, Phil. Mag 1862.

數價關係を定むる二抵抗又 a と β とは其の比を適當に調整して算式を簡單にする爲めの二抵抗なり 調整すべき抵抗は b と β の二抵抗にして調整の結果として測定の目標となるものは電流計 G の無偏斜なり 電池 E は電橋に電流を供する電源とす

第一圖



前述する如く總計七個の抗抵の間に存する關係に依て電流計の偏斜零なる時の條件を求むれば

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b} + \frac{d}{B} \cdot \frac{\beta}{\alpha + \beta + d} \left(\frac{a}{b} - \frac{\alpha}{\beta} \right) \dots\dots\dots(1)$$

なる一般の式を得 故に若し a と α を不變にして b と β を調整し

$$\frac{a}{b} = \frac{\alpha}{\beta} \dots\dots\dots(2)$$

なる條件を満足せしむる時は 測定せんとする A 抵抗は B なる標準抵抗と $\frac{a}{b}$ なる比を爲し

$$A = \frac{a}{b} \cdot B \dots\dots\dots(3)$$

を以て算出せらるゝものとす 故に適當に製作せられたる

ムソンの電橋に在ては (2)なる條件は a 及び α の數價如何に拘らず常に之を一舉動の調整にて満足せしめ 大に測定の勞を省き速に測定を終らしむる用意あり 而して(2)なる條件の満足せらるゝ時は d なる接續用の抵抗は測定上無關係となるものなり 且又 a, b, α, β なる抵抗は過小ならざるを以て接續線又は栓の影響なく 測定の結果は d に無關係なるが故に B の接續も亦誤差を生ずることなし 然れ共凡ての接續線は極めて太く且厚くして短き銅片を用ひ 銅の品質を定むる場合には A は一個の臺上に張られたる銅線にして 一米の間隔を以て之に接觸する二刃あり 此間の抵抗を A として之を測定するものとす 尙又品質測定に於ては抵抗の溫率をも定むべきを以て 前述の銅線を臺と共に油槽内に入れ油槽を熱し且之を攪亂して一定一樣の溫に在らしむることの設備を要す 極めて精密を要する場合に限りて(3)の式に誤差項を設く 此項は(1)の式に基き之に實際の場合より來る條件を入れ

$$d \ll a + \beta$$

として

$$A = B \left(\frac{a}{b} - K \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$K = \frac{d}{B} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\beta}} \left(\frac{\alpha}{\beta} - \frac{a}{b} \right)$$

を以て誤差 K 及び抵抗 A を算出す 然れ共(2)の式は殆んど正確に満足せらるゝを以て修正項 K は極めて少量なり

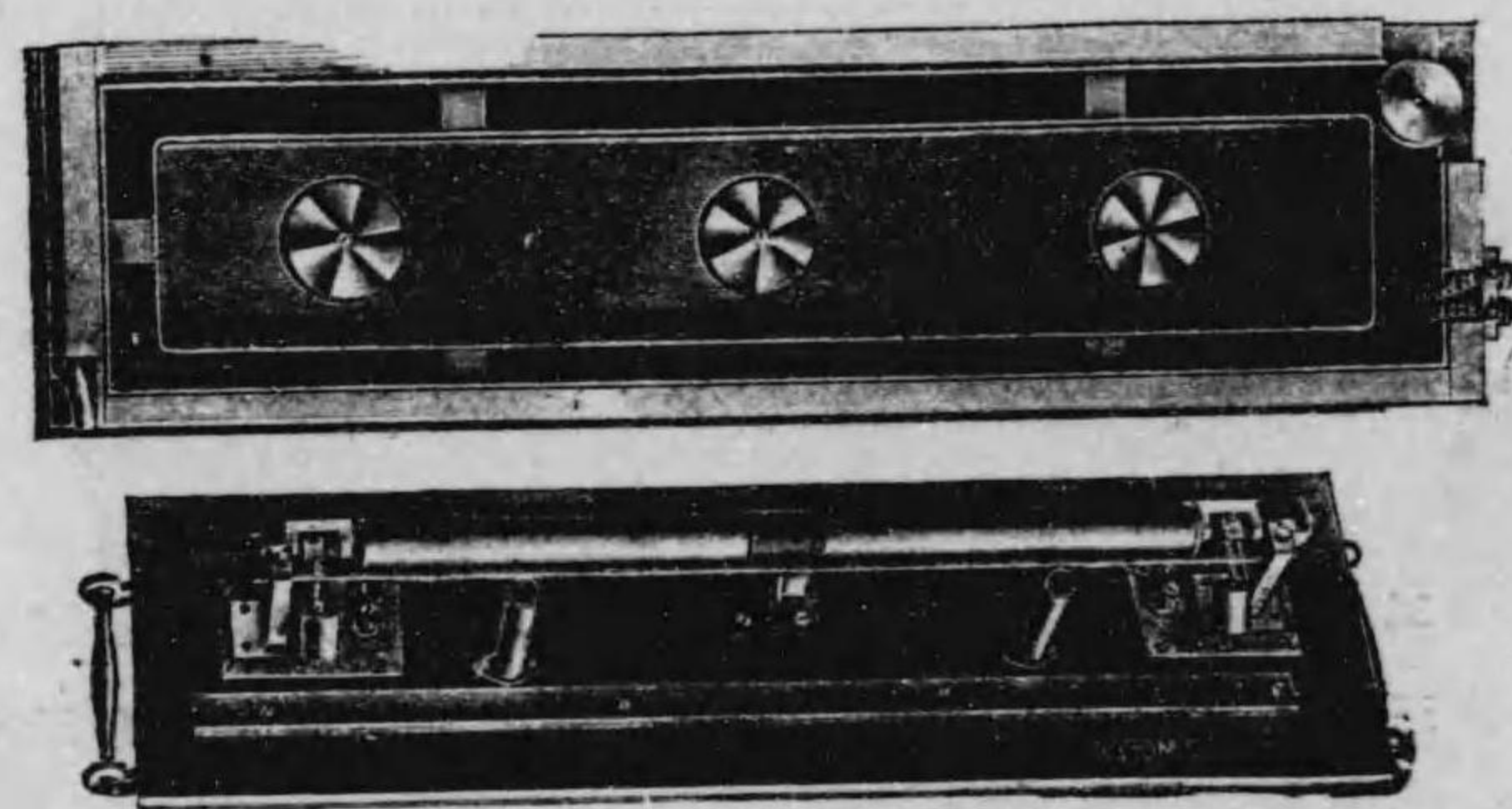
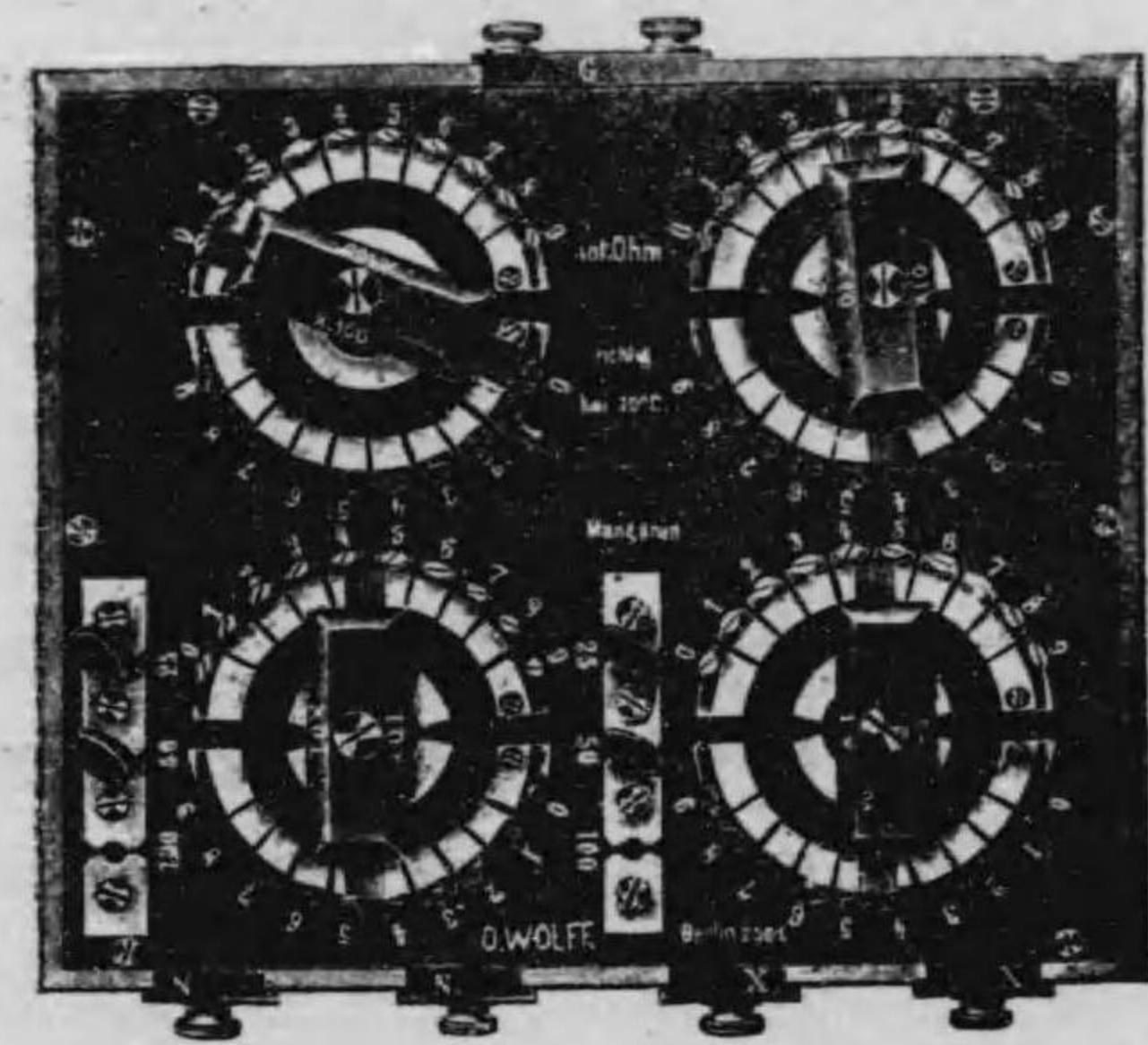
a. 第二圖はウエルフの⁽²⁾のワムソン電橋及び固定臺と油槽を示し 第三圖はシヤメンス、ハルステの⁽³⁾電橋及び固定臺を示す

(2) O. Wolf (1912)

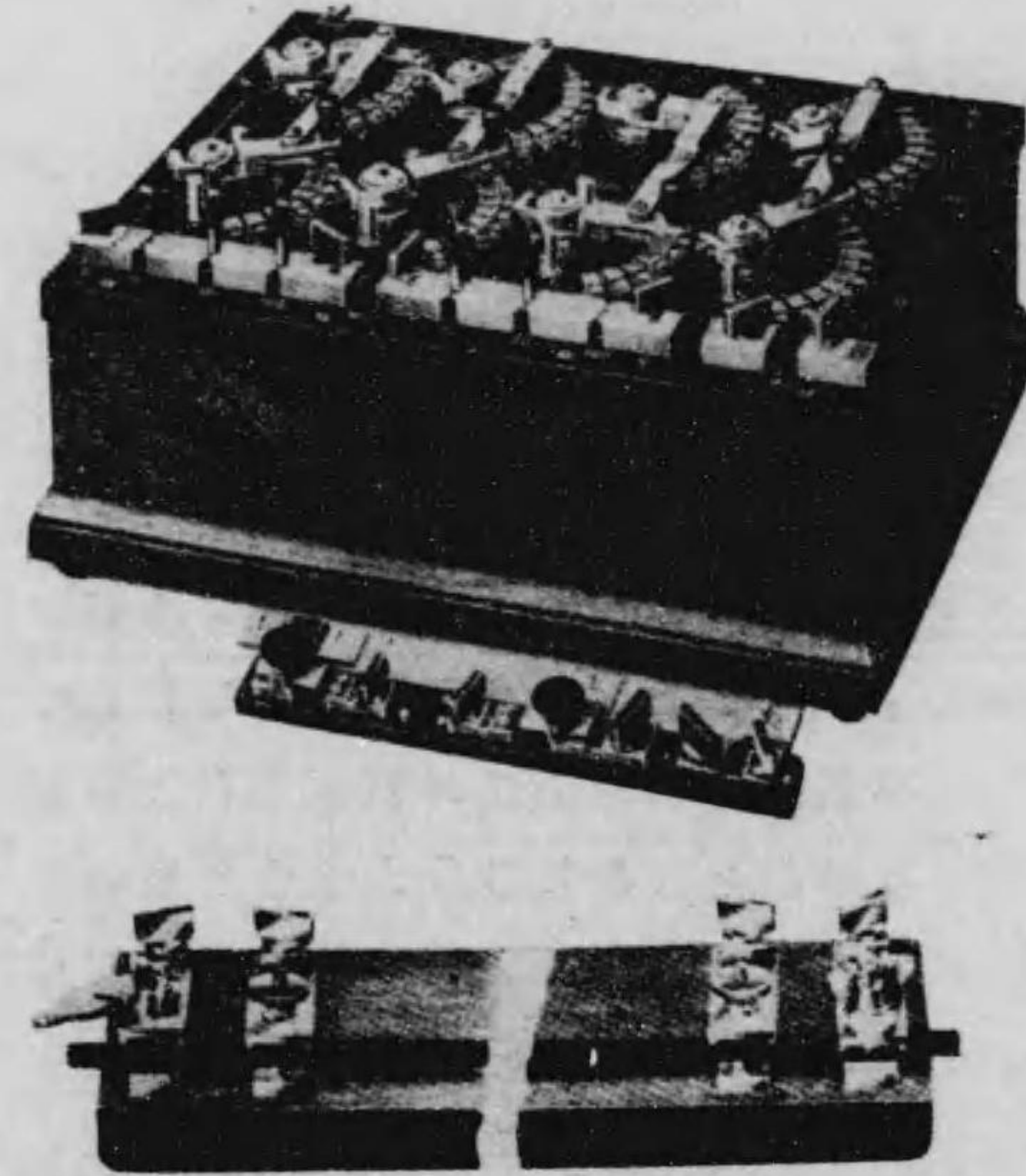
(3) Siemens Halske (1912)

後者は又ホキートストーン電橋ともなるべきが故に之を接続略圖に依て説明すれば 第四圖第五圖はツムソン電橋の接続にして第六圖第七圖はホキートストーン電橋の接続に変更したるものなり ツムソン電橋として實際に本器を使用するに於ては a と a とは何時も同一の數價を有せしめ 測定感度

第二圖



第三圖



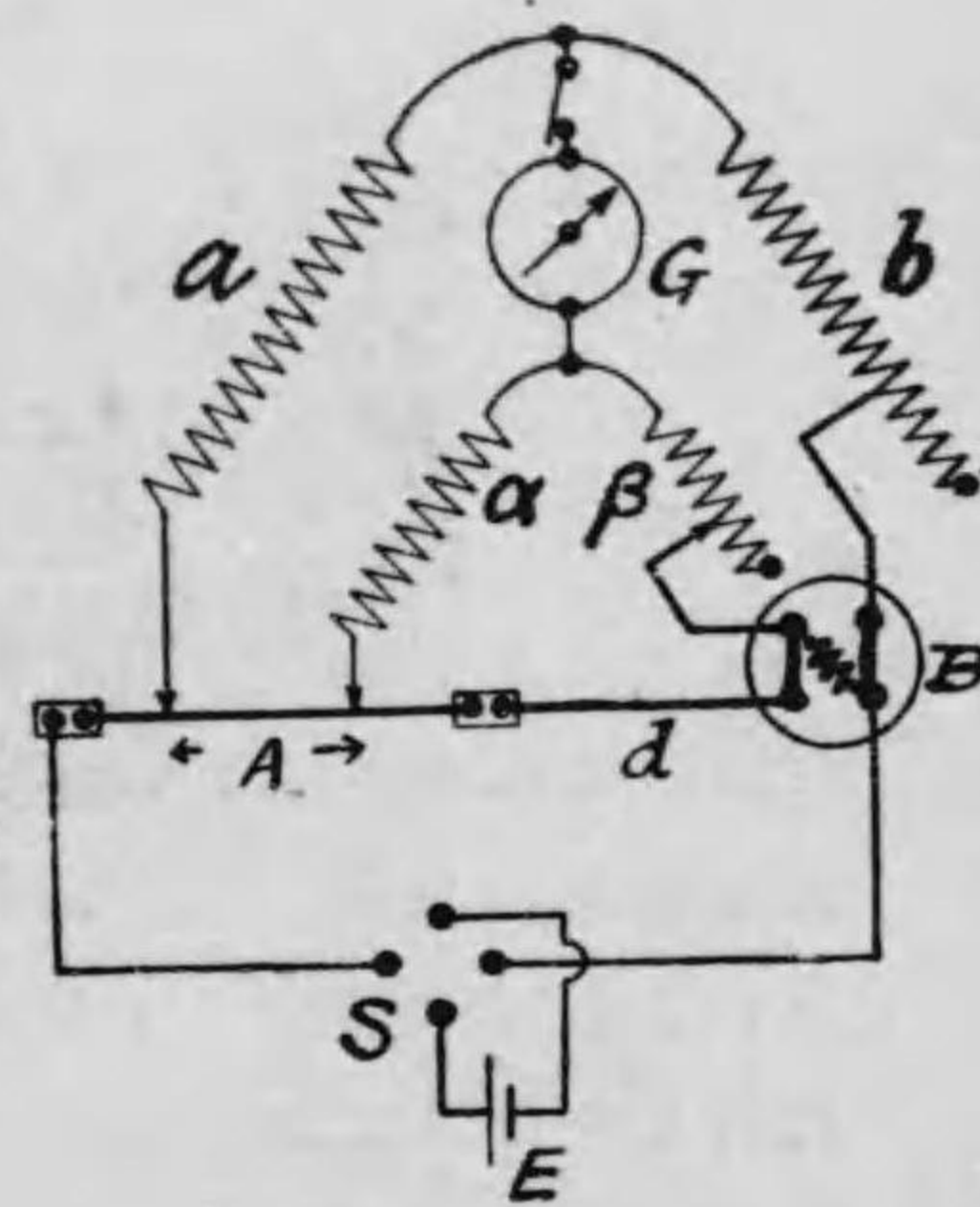
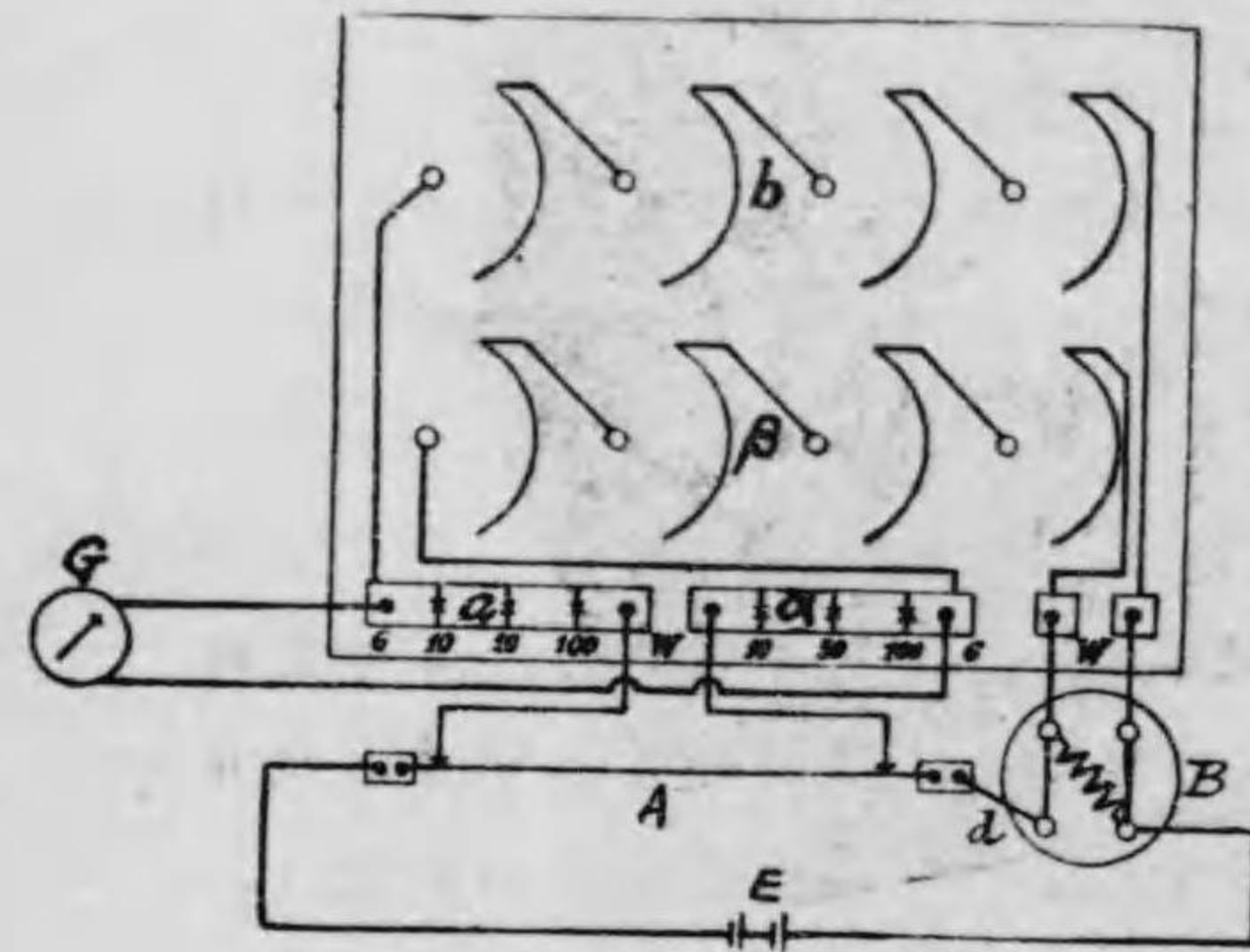
をして大ならしめ測定の精度を0.1%以下に保つ爲に a の數價に於て次の規定を設く 即ち標準抵抗 B が測定せんとする抵抗 A よりも大なる時は $a = a = 10 \ominus$ となし B が A に同じきか又は A よりも小なる時は $a = a = 50 \ominus$ 又は $100 \ominus$ たらしむ 而して調整すべき抵抗 β と b は何れも回轉接觸の抵抗器にして其の把手は連結し β と b は何時も同一の數價を有するものたらしむ 従て $a = a, b = \beta$ の條件を満足するが故に 前述(2)の條件は満足せしめられ $\frac{a}{b}$ の數價に標準抵抗 B を乗じて以て A の數價を得 然れ共 B と A とは大に異なること能はざるに依り 標準抵抗 B の撰定次第にて測定すべき A の測定範圍に適當なる數價あり次の如し

レンジスタンス

第四圖

第五圖

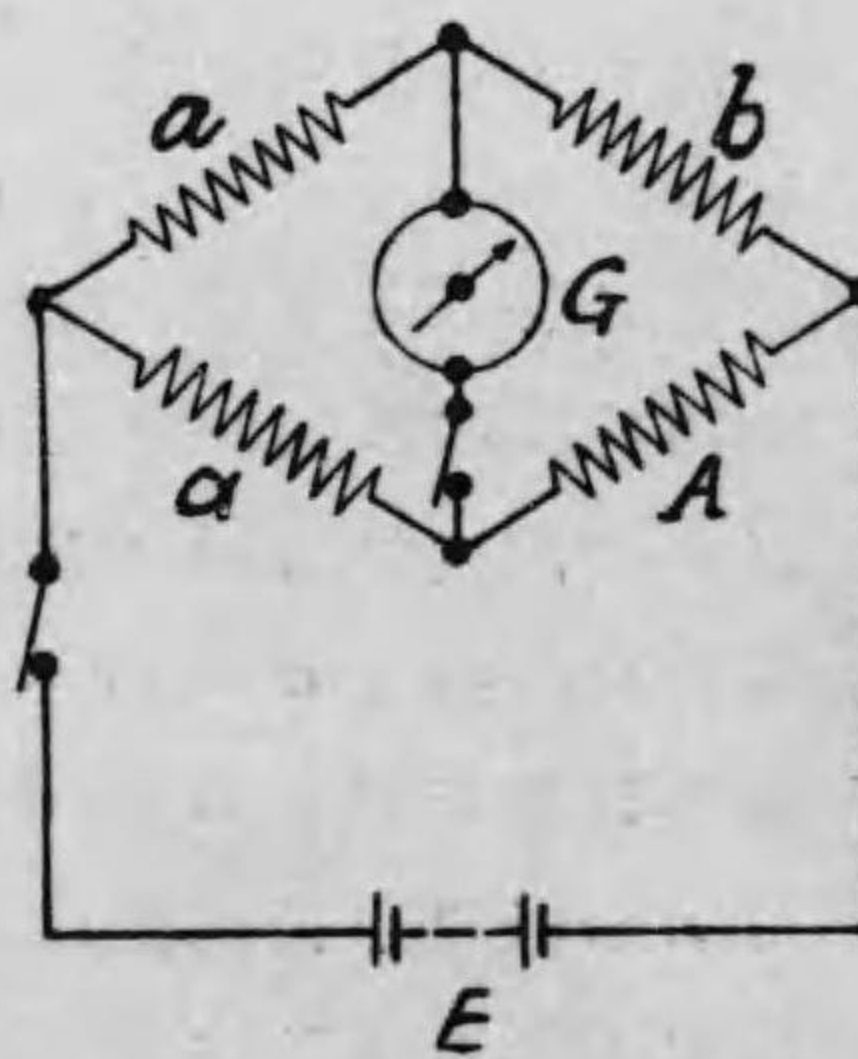
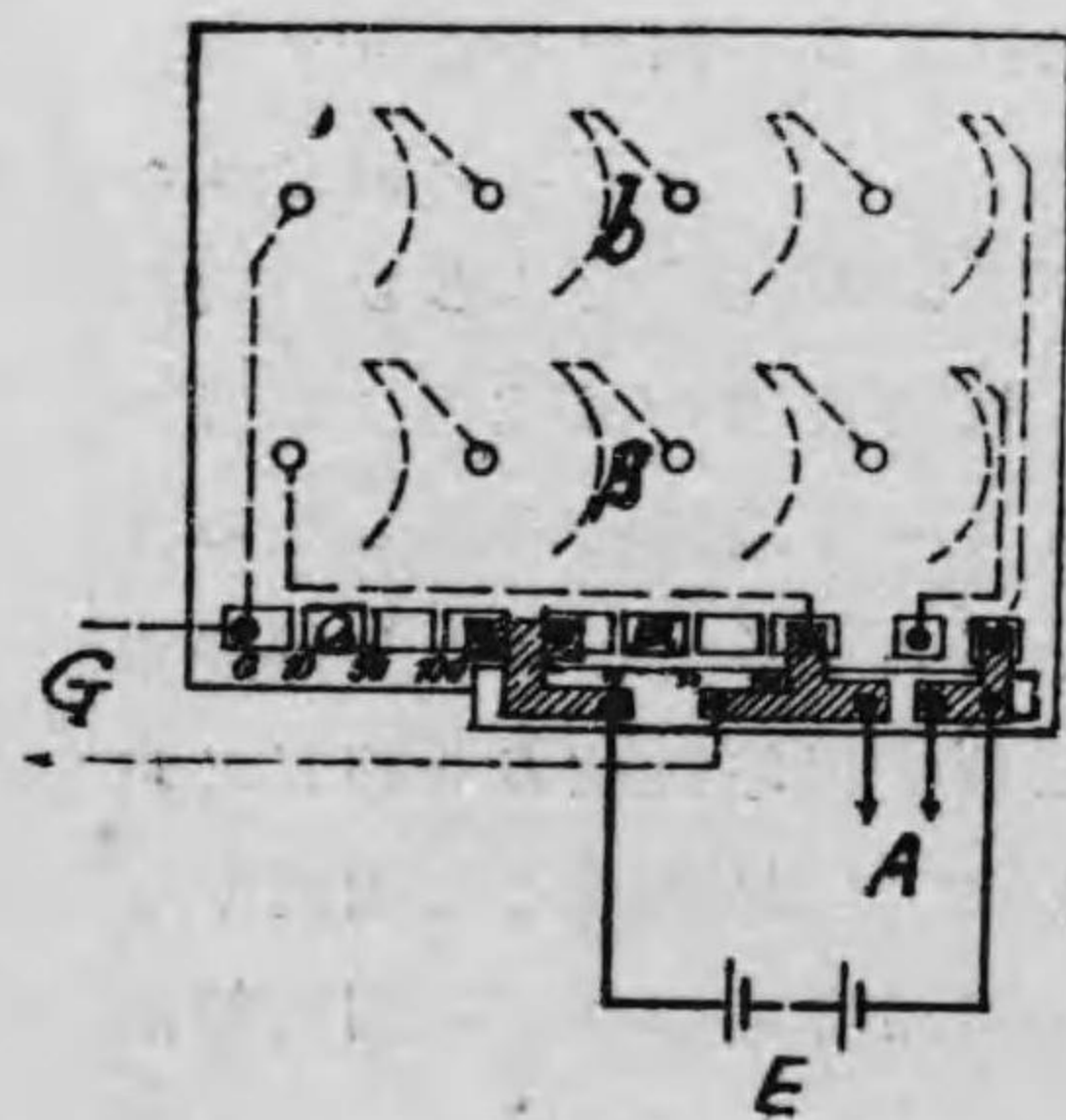
ヲムソン接續 $A = \frac{a}{b} \cdot B$



第六圖

第七圖

ホキーストーン接續 $A = \frac{b}{a} \cdot a$



標準抵抗 B

測定範圍

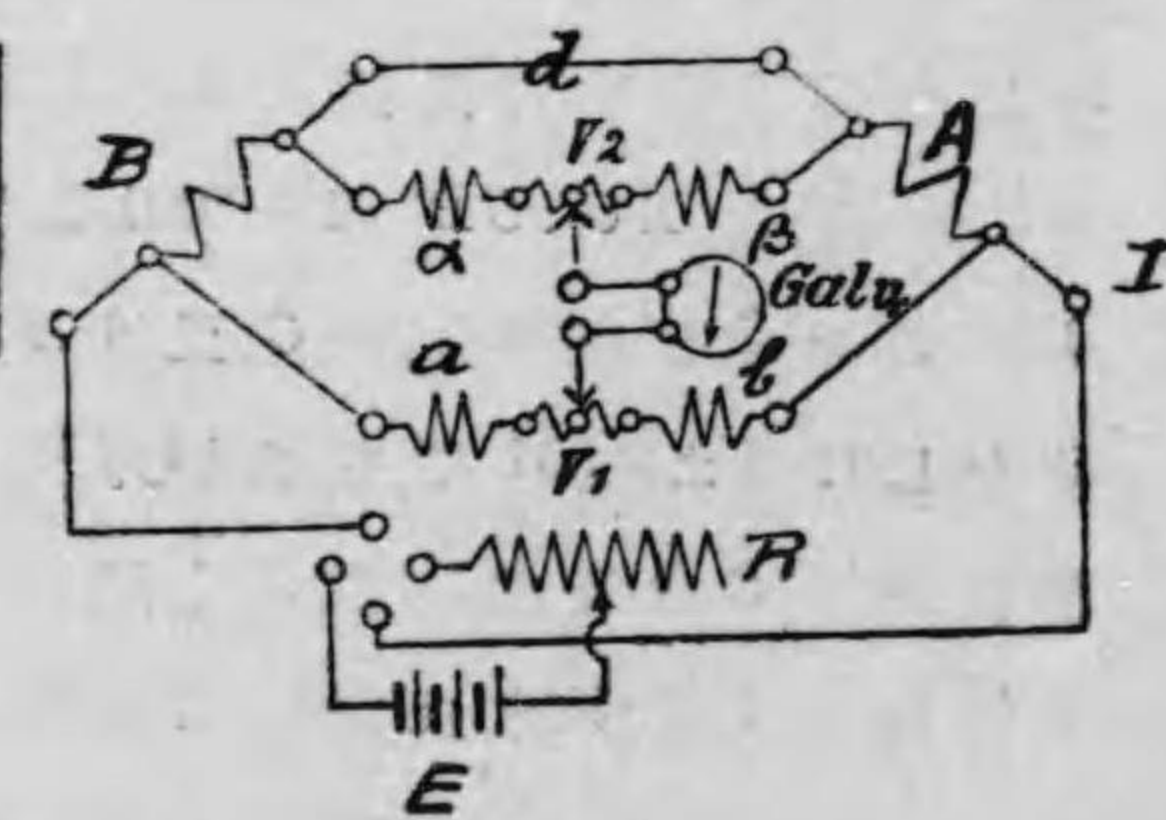
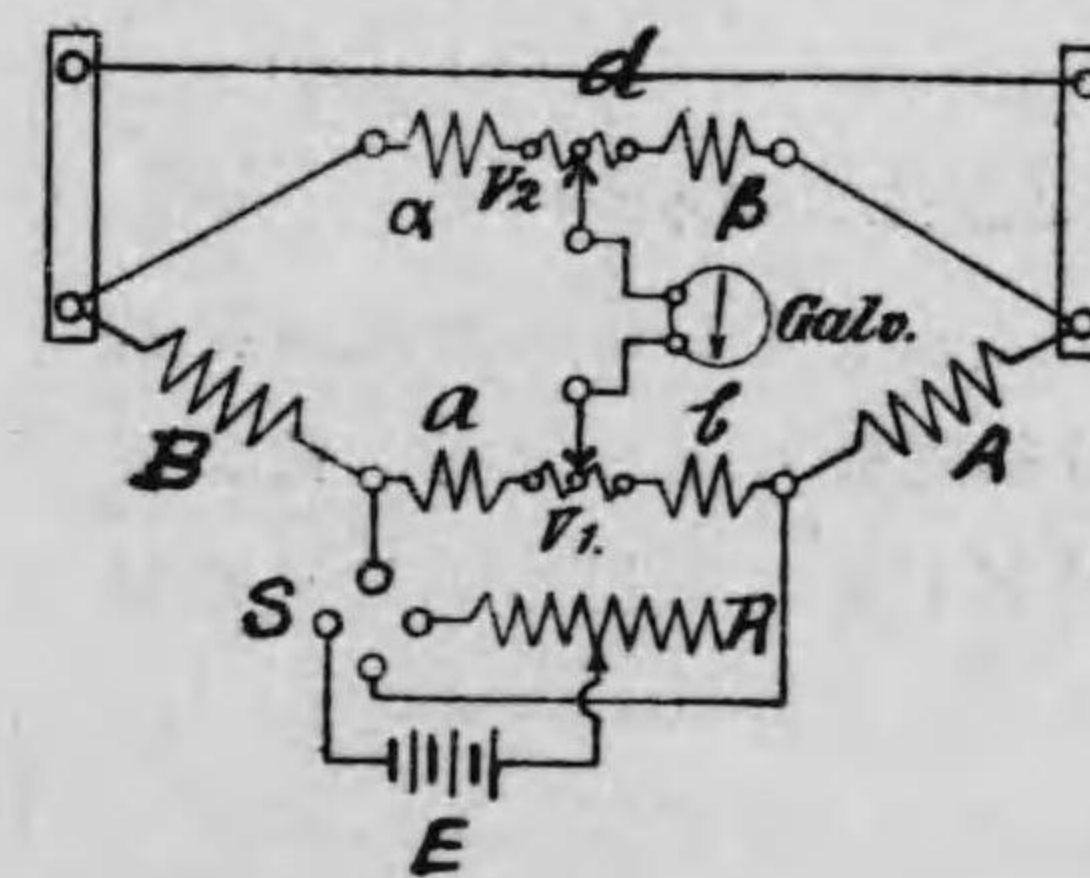
0,1 Ω	0,001 Ω 乃至 0,2 Ω
0,01 Ω	0,0001 Ω " 0,02 Ω
0,001 Ω	0,00001 Ω " 0,002 Ω
0,0001 Ω	0,000001 Ω " 0,0002 Ω

此測器には又電池の電流を逆轉すべき轉換器 S あれば其の位置を變じて二様の測定を行ひ其の成績を平均して以て A の數價となす

b. ヲムソン電橋を以て抵抗の測定を行ふに當り 諸種抵抗の調整に依て電流計の偏斜全然零なる時は測定は容易なれ共電流計極て鋭敏にして抵抗器の調整極て細密ならざる時は偏斜をして全然零ならしむること難く 割合法を以て有偏斜の場合より無偏斜の場合を算出せざるべからず 之が爲には先にホキーストーン電橋(第七章)の場合に掲げたる如く 抵抗比を $\pm 0,1\%$ だけ變更する装置を付するを以て便なりとす 第八圖第九圖は此かる變更装置を付したるヲムソン電橋にし

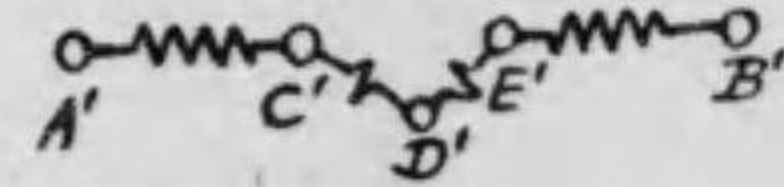
第八圖

第九圖



(4) Verzweigungsbüchse.

第十圖



て最も精密なる測定の爲に使用せられ此の如き電橋は比較すべき抵抗 A と B の差極て少量なる場合即ち導線の抵抗温率の測定の如き或は又二個標準抵抗器の比較の如き場合に於て便利なり凡て此等の場合に於ては測定は極て精密を要すると同時に比較すべき二個抵抗 A, B は殆んど同じき數價を有するものなり然れ共此等が殆んど同一の數價を有せざる時には一方既知の抵抗に并列して同じく既知の抵抗を結び其の合成抵抗をして他方の抵抗と約同一なる數價を有せしむるものとす第八圖第九圖を以て第一圖の装置と比較するに a, b に代ゆるに抵抗比較變更器 V_1 を以てし α, β に代ゆるに同器 V_2 を以てしたるものにして第十圖の變更器に就て之を説明するに

$$A'D' = D'B' = 100 \ominus \text{ 又は } 1000 \ominus$$

$$C'D' = D'E' = 0,05 \ominus \text{ 又は } 0,5 \ominus$$

なるが故に接觸點 D' の左右の抵抗比は 1 にして接觸點 C' 又は E' に在ては左右の抵抗比は

$$A'C' : C'B' = 1 - 0,001 \ominus \quad A'E' : E'B' = 1 + 0,001$$

となる故に接觸點を C' 又は E' に移すことに依て左右抵抗比をして $1 \pm 0,001$ 即ち $\pm 0,1\%$ だけ變更せしむるを得故に電流轉換器 S を正の位置 I と逆の位置 II とに置換へ且又抵抗比變更器 V_1 と V_2 とに於ては何時も

$$a = \alpha \quad b = \beta$$

なる條件を保たしめ電流計の偏斜を一々觀測し

轉換器 S の位置	I	II	II	II
抵抗比變更器 V_1, V_2 の接觸位置	D'	D'	C'	E'
電流計の偏斜	α'	α''	α'''	α''''

とすれば A なる抵抗は

$$A = \frac{a}{b} B \left(1 - \frac{\alpha' - \alpha''}{\alpha''' - \alpha''''} \cdot \frac{1}{1000} \right) \dots \dots \dots (5)$$

なり此測定を終りて後變更器 V_1, V_2 を何れも 180° 回轉して a, b と α, β の位置を交換せしめ再び同一の測定を行ひて其の成績を前の成績と平均すれば變更器内抵抗配置の小誤差を除くことを得べし第八圖の電橋は $10 \ominus$ 又は其の以上の抵抗測定に用ひ第九圖の電橋は小抵抗の測定に用ひ後者に於ては比較すべき二個抵抗間の接續線等に於ける抵抗の影響を除きあり本器は精密なる測定を主とするが故に何れの抵抗も温を一定且一様に保つことを要す故に測定する抵抗 A と標準抵抗 B と抵抗比變更器 V_1, V_2 とは何れも油槽内に入れ油槽内には水銀壺を設けて外部との接續に供し且又其の内に石油を入れ電熱装置を以て之を暖め電動機を以て運轉する唧筒に依りて油を流動せしめて槽内の温を一様ならしめ其の温は寒暖計を以て正確に測定す前述する處の抵抗比變更器を用ひ C' と E' の接觸點に於て電流計の反照光點に 100 度の差を生ずる時は 1 度の偏斜に相當する A, B の抵抗差は夫等の數價の $\frac{1}{10000}$ に當り 1 度の $\frac{1}{10}$ 迄偏斜を讀み得るとすれば測度の精度は $\frac{1}{1000000}$ に達す

C. ライヒスアンスタルトに於ける小抵抗測定法

トムソン電橋を以て小抵抗を測定する方法を大別して二種とすれば一は一個の標準抵抗を以て之と殆んど同一量の小

抵抗を測定するものにして 此場合に在ては前述する如く抵抗比変更器を用ひ 且之を逆にして全装置の左右の異同より生ずる誤差を排除する利便あり 他は比較せんとする標準抵抗の十分の百分の一等に近き小抵抗を測定するものにして電橋は爲に對偶的の性質を失ひ 其の測定は一層の注意を要するものなり 小抵抗の測定に付ては 1900年前後に於てライヒスマンスタルトに於て綿密に研究を行ひたる⁽⁵⁾ 其の要點は測定を精確に行ひて接続線及び温より生ずる誤差を正し 且又前述(4)の修正項 K を計算して測定の数價に加減すること之なり 即ち

$$K = \frac{d}{B} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\beta}} \left(\frac{\alpha}{\beta} - \frac{a}{b} \right)$$

$$A = B \left(\frac{a}{b} - K \right)$$

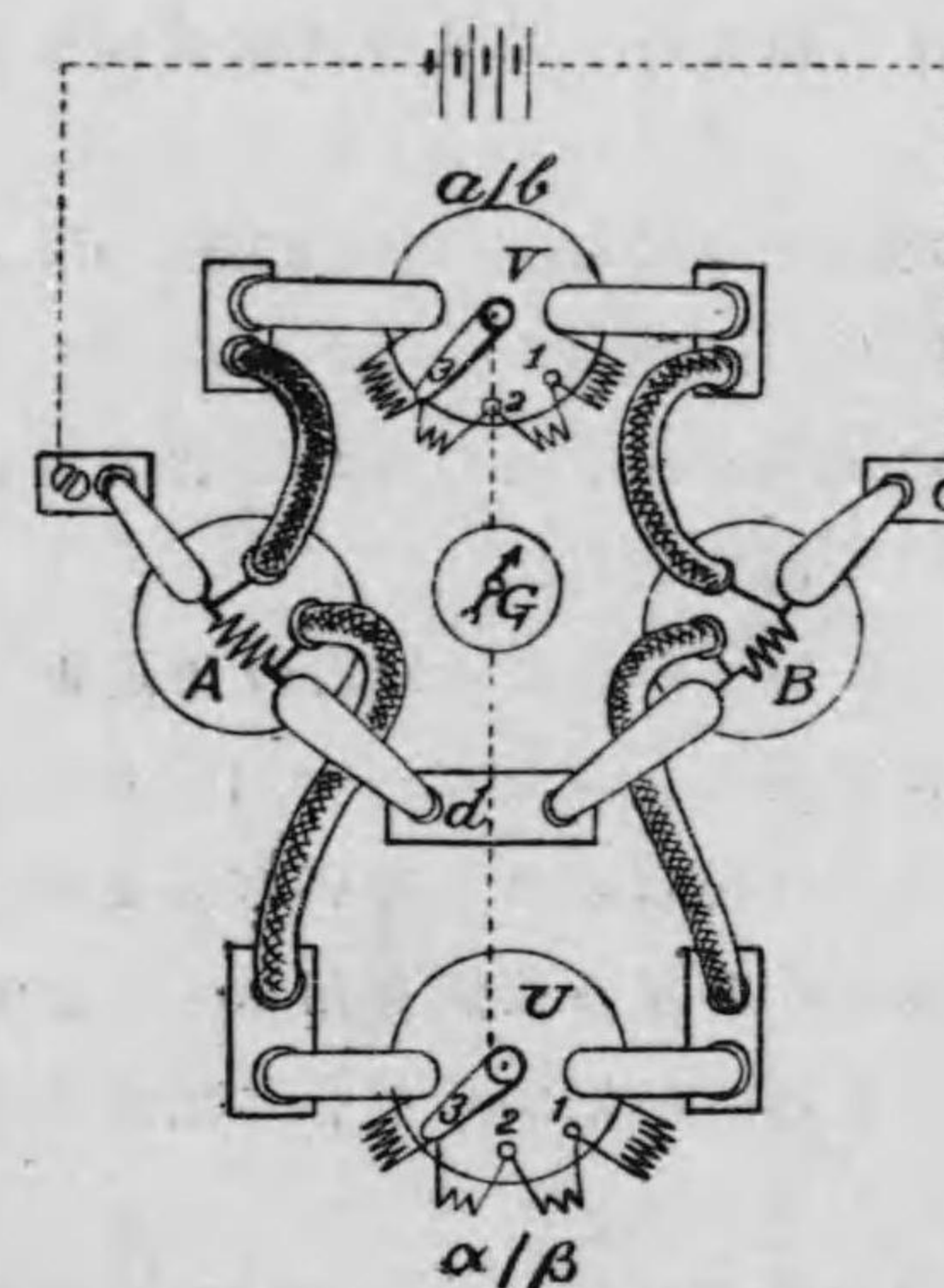
にして 修正項 K は接続抵抗 d を成るべく小にし 且又 $\frac{\alpha}{\beta}$ をして爲し得る限り $\frac{a}{b}$ と接近せしむることに依て小數と爲し得べけれ共 測器製作上の限度に依て制限せられ 加ふるに電流計の偏斜をして全く零ならしむることは實際に於て望み得べからざるが故に 割合法を以て左右の小偏斜より無偏斜の場合を算出す 然れ共此の如き小偏斜あるが爲めの故に K なる修正項に一々變更を來さるべき爲に 一方に於ては a と b 他方に於ては α と β は同時に小分數を以て共に増額又は減額を行ひ 此くして $\frac{a}{b}$ 及び $\frac{\alpha}{\beta}$ なる分數をして變化すると勿らしめたり

1. 第十一圖に示す装置は測定すべき抵抗 A と比較すべき標

(5) W. Jäger, St. Lindeck, H. Diesselhorst, Zt. f. Instrumk. p33, 66; 1903.

準抵抗 B と殆んど相等しき場合の測定装置にして U と V とは前述する處の抵抗比変更器なり A, B, U, V は何れも石油槽内に入れ寒暖計を以て銘々の温を讀むものとする 接続線は銅片又は太き電線にして其兩端は水銀壺に漬す 0,0001 Ω の二個抵抗 A, B を比較したる場合の注意及び準備は次の如し

第十一圖



各油槽の温を讀むに用ひたる銘々の寒暖計は固有誤差 1 $^{\circ}$ の $\frac{1}{100}$ 迄修正す

B なる標準抵抗は毎年 1 Ω 標準抵抗と比較して其の数價を確め且此 1 Ω 標準抵抗は時々水銀基本標準器と比較す U, V は同一にして兩端の抵抗何れも 100 Ω 中間の抵抗何れも 0,001 Ω なり

A, B には四個直列二個并列の蓄電池より 150 アンペアの電

流を通ず

電流計はシーメンス・ハルスタ製作 20 \ominus 動縮電流計を用ひ鏡と照火の距離を七米とす

AよりVに到り BよりVに到り AよりUに到り BよりUに到る夫れ夫れの接觸電鍍及び銅片の抵抗と AよりBに到るdの抵抗とは別に直接偏斜法にて測定し a, b, α , β に増加すべき銘々の修正額を得 且dの抵抗數價を得ること次の如し

aの修正	bの修正	α の修正	β の修正	dの抵抗
177 $\mu\ominus$	254 $\mu\ominus$	248 $\mu\ominus$	321 $\mu\ominus$	64 $\mu\ominus$

左右一半づゝの差異を除き其の平均を得る爲に電池の電流方向を逆轉して一々測定を行ふ

U, Vなる變更器に於て中央より左右の相違あるべきに依り平均を求むる爲に此等を逆轉して一々測定を行ふ

電流計の偏斜正確に零なることを得ざるを以て U, Vは同時に同様に變更し 2, 1, 3なる接觸を用ひて 夫れ等に對する偏斜より 割合法を以て無偏斜の場合に於ける $\frac{a}{b}$ の數價を算出す

比較したる標準抵抗Bは正しく0,0001 \ominus の抵抗あるものとして a, b, α , β の接觸物に付て修正したる夫れ等の抵抗數價とdの數價より Kなる修正項を算出し之を前途の $\frac{a}{b}$ より減してA/Bを得

測定者は二人とし一人全部を測定し終らば他の一人代はりて再び全部の測定を行ひ 此の如き測定を反覆して平均價を求む其の結果は測定温に於けるA/B又はA-Bの數價なり

前述の測定温が一度の分數を含むか 或は又他の温に換算

する時は 標準抵抗Bがマンガニンより作らるゝ其の温率を用ひてBの數價を修正す

以上述る處の注意を以て 0,0001 \ominus を有すと稱せらるゝA抵抗を 正しく0,0001 \ominus を有するB抵抗と比較測定して次の結果を得たり

$$\frac{a}{b} = 0,999\ 864$$

$$K = -0,000\ 002$$

$$\frac{A}{B} = 0,999\ 866 \quad (18^{\circ}, 6C)$$

$$= 0,999\ 867 \quad (18^{\circ}C)$$

$$A-B = -0,000\ 000\ 013\ 3\ \ominus \quad (18^{\circ}C)$$

即ちA, B二個抵抗の差違は0,0133%に過ぎざるものなり

2. 前述する處は一個の標準抵抗を用ひて 之れと殆んど同一の小抵抗を測定するものにして 其の約同一なるが爲に簡便の點ありしと雖も 一般の場合に於ては此の如く約同一數價の標準器あることを期し難く 一個の標準器を以て之よりも數倍數十倍少量なる抵抗を測定することあるべく 此場合に於ては前述する如く a, bと α , β として其の比殆んど1なる處の抵抗比變更器を用ゆること能はず 且又aとb, α と β とを逆轉すること能はざるを以て a, b, α , β には何れも其の抵抗の正確に知られたる標準器を用ひざるべからず 而して此の場合の接觸は第十二圖の如く改め aとb, α と β との釣合の爲め 何れも其の大なる方に并列抵抗を設けて之を調整し 其の合成抵抗に少許の變化を爲さしむ 今一個の實例として B=0,0001 \ominus の標準器を以て A \approx 0,00001 \ominus なる抵抗を測定する場合の注意及び準備として 前述する處と異なる個條を

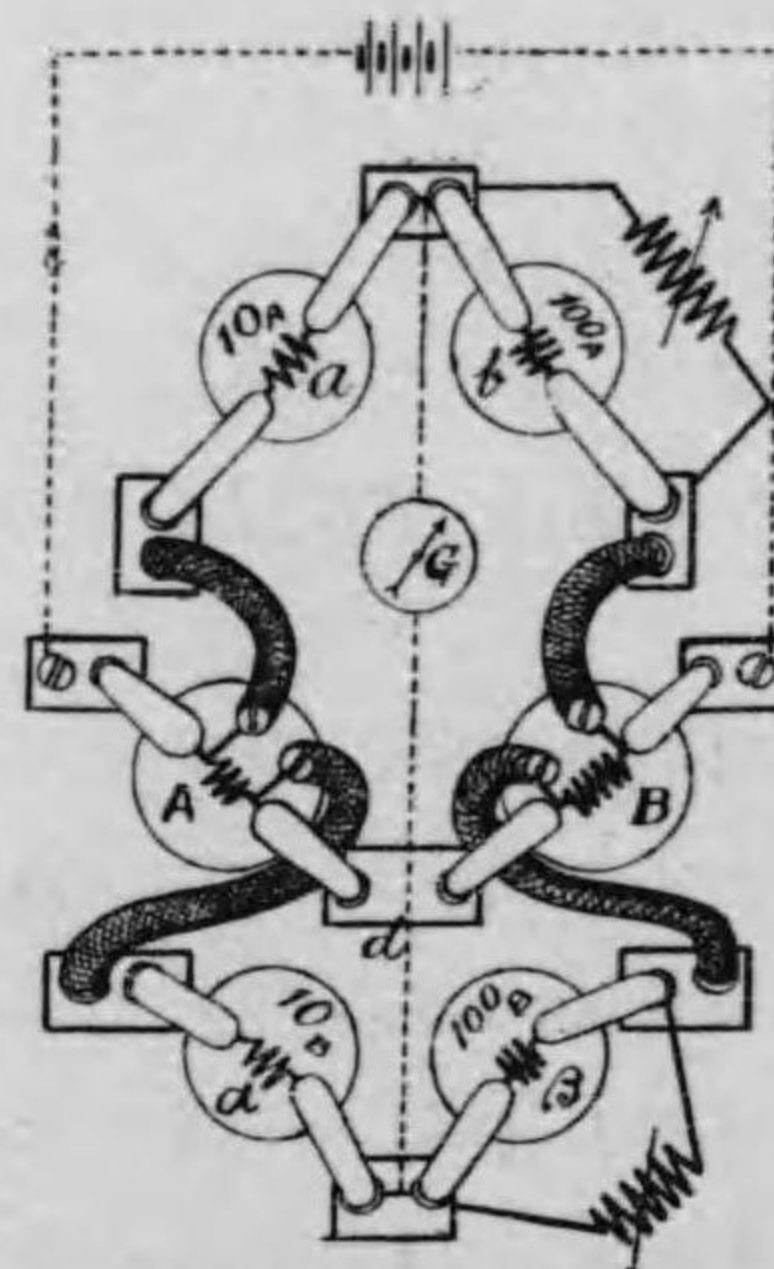
レジスタンス

掲ぐれば

$a=10_A$ $b=100_A$ $a=10_B$ $\beta=100_B$ なる 10Θ と 100Θ の標準抵抗器を用ゆ 小字 A, B は器の記號なり

b と β に 并列抵抗を設く 此抵抗は測定用抵抗器にして用ひたる數價は $10\,000\Theta$ と $20\,000\Theta$ なり

第十二圖



a, b, α, β の銘々に増加修正すべき接續銅片及び電纜の抵抗及び d の抵抗は別に之を測定して 次の數價を得たり

a の修正 b の修正 α の修正 β の修正 d の抵抗
 $532\mu\Theta$ $621\mu\Theta$ $321\mu\Theta$ $403\mu\Theta$ $80\mu\Theta$

故に d なる抵抗のみにてても 測定すべき抵抗 A の約八倍大なるを以て 此等接續物の測定に及ぼすべき影響の大なること明かなり

電流計は動縮電流計の感度最鋭敏なる裝鎧電流計を用ひ

(6) Shielded galvanometer; Panzergalvanometer.

照尺の距離を三米となす 此測定に用ゆる電流計は相踵て速かに全部の測定を行ふべきが爲に無振動⁽⁷⁾にして且つ殘運動⁽⁸⁾なきものたるを要す

此の如き注意を以て測定を行ひたる結果は次の如し 但し電流計の自然に靜止する位置は照尺上の零點に非ず

電流計自然靜止の位置	接續を變更して電流計を讀み	電流の方向	修正したる溫度 ^{°C}
564	$10_A:100_A//10\,000$ $10_A:100_A//20\,000$	正	B A
	$10_B:100_B//10\,000$ $10_B:100_B//20\,000$		20,15 18,75
	539,9 580,6	逆	10_A 100_A
	588,2 547,2		20,0 20,0
	- 48,3 + 33,4		10_B 100_B
	反覆		19,95 19,90
564	$10_A:100_A//10\,000$ $10_A:100_A//20\,000$	正	
	$10_B:100_B//10\,000$ $10_B:100_B//20\,000$		
	539,2 581,4	逆	
	588,0 547,1		
	- 48,8 + 34,3		
	平均 - 48,55 + 33,85		

此の如き成績に抵抗線材料たるマンガニンの抵抗溫率及び接續線の抵抗溫率を加算して

$$\frac{10_A + \text{接續物}}{10_A // 10000 + \text{接續物}} = \frac{10,00091}{99,0049} = 0,1010143 \quad \text{偏斜 } -48,55 \text{ 耗}$$

$$\frac{10_A + \text{接續物}}{100_A // 20000 + \text{接續物}} = \frac{10,00091}{99,4975} = 0,1005142 \quad \text{偏斜 } +33,85 \text{ 耗}$$

$$\text{差 } 0,0005001 \quad \text{偏斜 } 82,4 \text{ 耗}$$

を得 従て電流計の偏斜零に對する $\frac{a}{b}$ なる抵抗比は

$$\frac{a}{b} = 0,1010143 - \frac{48,5}{82,4} \cdot 0,0005001 = 0,1007196$$

にして 修正項 K の數價は

$$K = \frac{0,000\,080}{0,0001} \cdot \frac{1}{0,101+1} (0,1010133 - 0,1010\,143) = -0,000\,000\,7$$

(7) aperiodic; aperiodisch (8) Creeping; Kriechen.

なり 従て A なる抵抗は

$$A = \frac{a}{b} - K = 0,000\ 010\ 0742 \text{ (18,75°C に於て)}$$

となる 尙又 A なる抵抗の温率を定めんが爲め 其の油槽の温を變じて一々其の抵抗を測定したるに

温 度	抵 抗
18,64°C	0,000 010 0742 ⊖
33,54°C	0,000 010 0632 ⊖
24,54°C	0,000 010 07185 ⊖
17,87°C	0,000 010 07435 ⊖

なりしが故に

18°C 乃至 25°C の温率は -0,000 037

15°C 乃至 34°C の温率は -0,000 039

なり

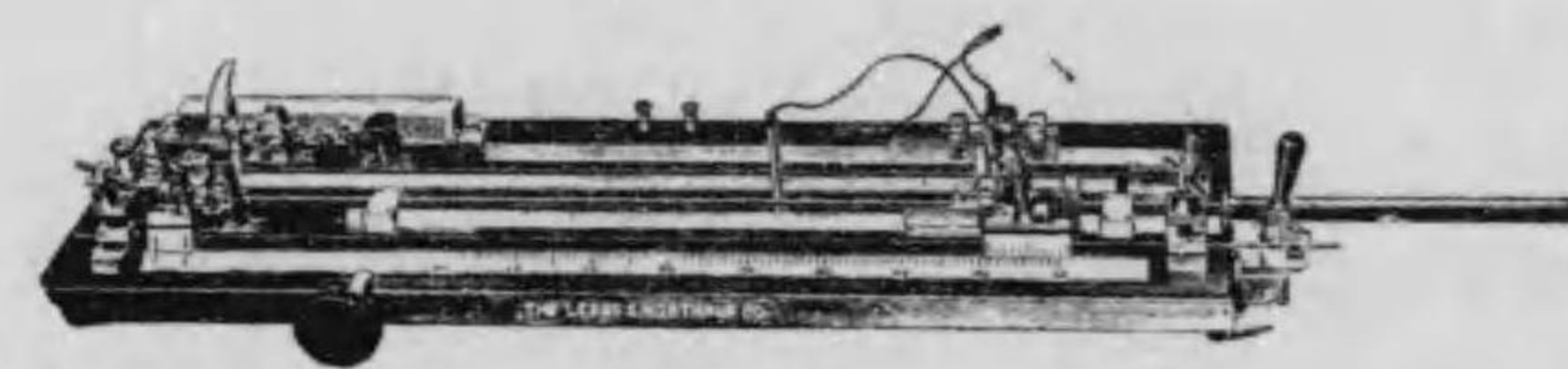
d. フーアの電橋 フーアの電橋は⁽⁹⁾ ヲムソン電橋を改造し 最小0,2%の精度を以て 銅線,アルミニウム線,鐵線の如く工業上多量に製造供給する金屬線の傳導率を 此測器に附着する銅線,アルミニウム線,鐵線の標準物と比較せしめ 測器の目盛に依て直に百分傳導率を定むものにして 之に附屬して測定せんとする線を一定の長さに正しく切斷する切斷器あり 其の重量を正確に測定する化學用衡器あり 電源たるべき二個蓄電池あり 精密なる動縮電流計あり 第十三圖はフーア電橋の主なる部分を示し 之に依れば測定は最も速かに行はれて一時間に十個の見本 一日にして約二百個の見本に就て逐次其の百分傳導率を測定せしむるものなり 此の測器は送電線の精練所に於て及び多數の送電線を受授する處に於て使用

(9) Hoop's Bridge.

すれば極めて便宜なり

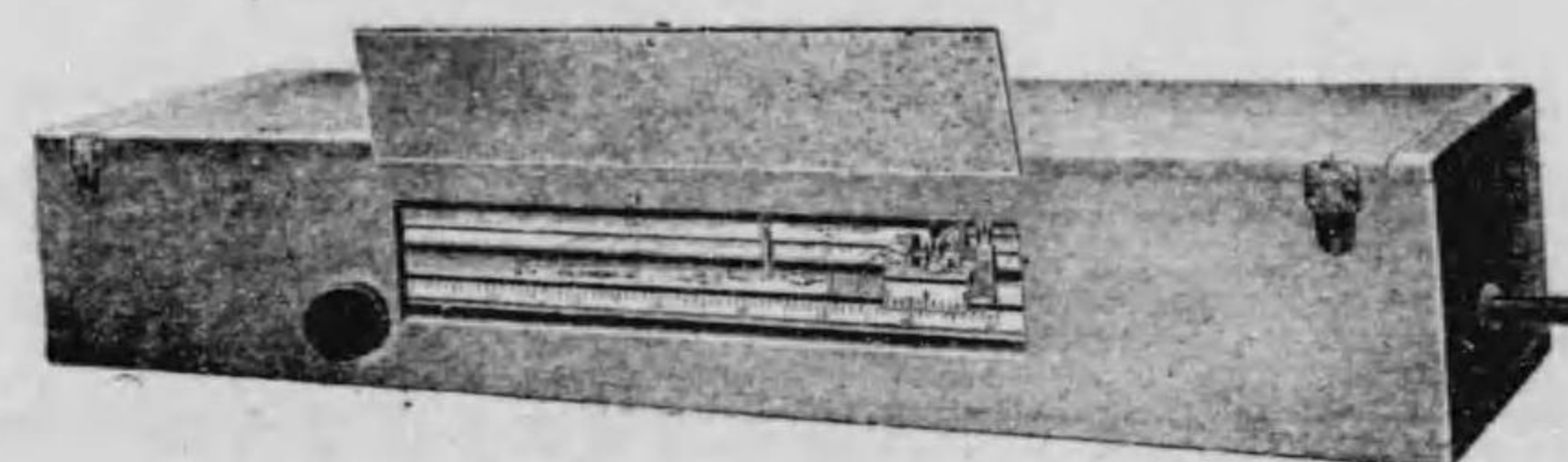
第 十 三 圖

フーア電橋内部



第 十 四 圖

フーア電橋外形



第九章 抵抗の絶対測定

標準抵抗器は世界に有名なる専門製作所より之を購入し其の際に於て其の國の中央物理實驗場の審査檢定表を付せしめて之に信頼するを普通一般の方法となし 此標準抵抗器は注意を以て之を保存し 直接に之を諸種の測定に使用することなく 測定に使用する抵抗器は時々此標準抵抗器と比較測定⁽¹⁾して其の誤差の修正を行ふものとす 然れ共一步を進めて購入したる標準抵抗器を檢定し或は又自作の標準抵抗器の抵抗數價を定めんとすれば 謂ゆる絶対測定を行はざるべからずして 絶対測定法とは抵抗數價を長さ質量及び時間の三個基本單位に於て計算決定するものを云ふ

抵抗の絶対測定に於て今日最も精確なりとせらるゝはローレンツ⁽²⁾の方法なるが 茲に記載するはローレンツの方法と原理に於て同じく 實行に於て一層進歩せしめたるローザ⁽³⁾の方法にして 前者よりも大なる電壓を以て測定を行はしむるものなり 第一圖に於て二個の静止線輪あり 之に電池と調整抵抗を以て直流 I を通じ 其の電路に測定せんとする抵抗 R を置く 故に R の兩端に於ける電壓は RI なり 此等二個の静止線輪は其の平面を平行にして相對し 其の間に二個直角に組立られたる回轉線輪 1, 2 ありて 外部より之を回轉せし

(1) Comparative measurement; vergleichende Messung.

(2) absolute measurement; absolute Messung.

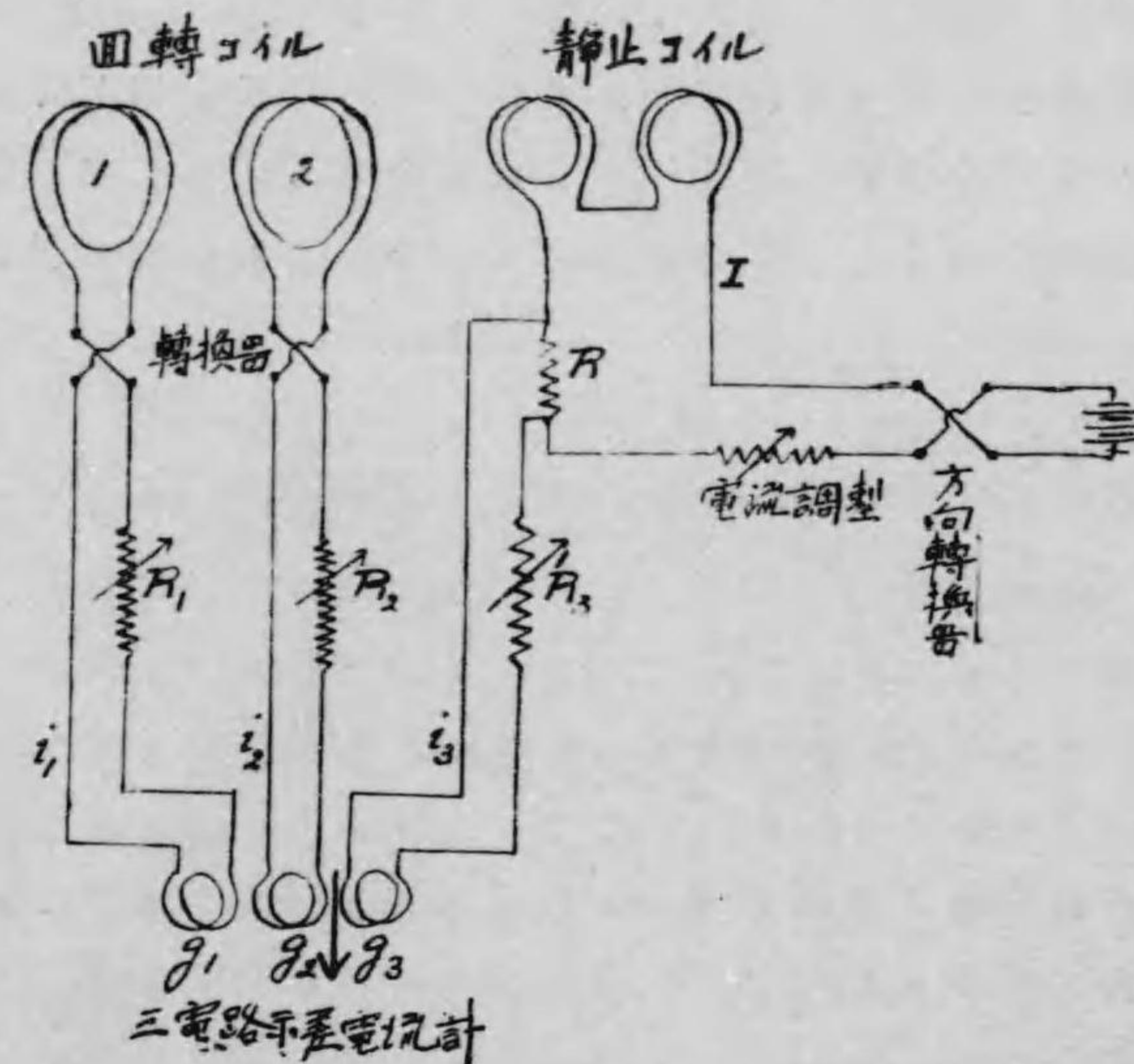
(3) Lorenz, 1873, 1885.

(4) E. Rosa, Bill. Bur. St. 5, 499, 1909.

め 其の回轉數は精確に之を測定し 抵抗の絶対測定に於ける一因子となす g_1, g_2, g_3 は何れも不動の線輪にして三個線輪式示差電流計⁽⁵⁾をなし 一方に於ては g_3 に於ける電流と 他方に於ては g_1, g_2 に於ける二電流とをして磁針の上に釣合ひを

第一圖

ローザ 抵抗の絶対測定

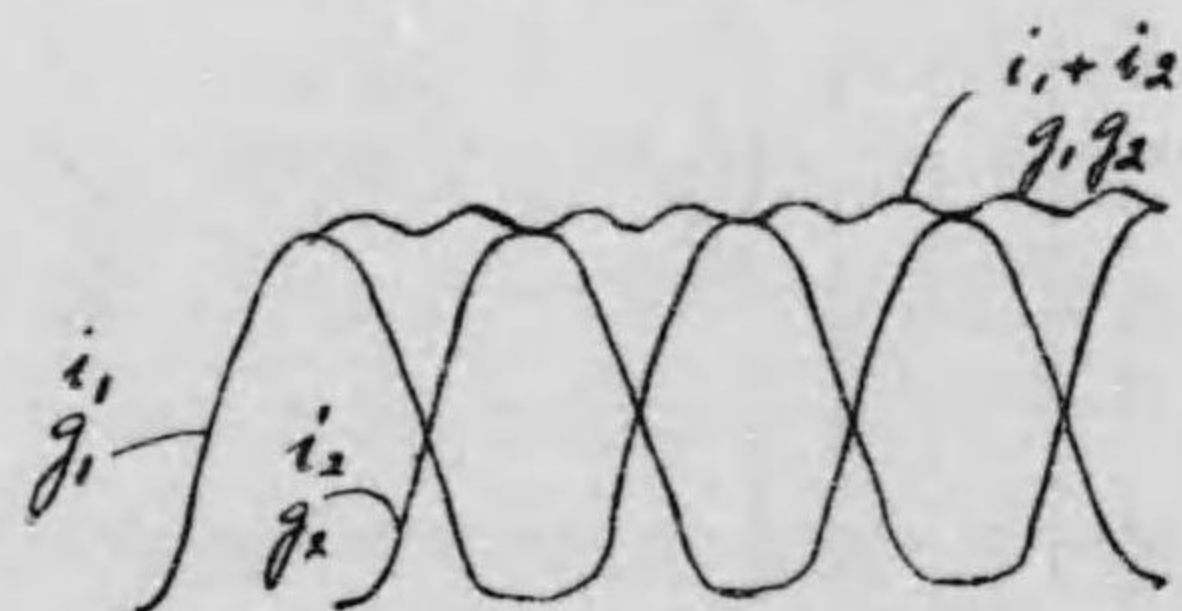


爲さしむ 示差電流計の三個線輪の中 g_3 には R の兩端に於ける電壓 RI を働かしめ 途中 R_3 なる抵抗を置き i_3 なる電流は g_3 に流るゝものとす g_1 には回轉線輪 1 に生ずる電流通じ 途中 R_1 なる抵抗を置き其の電流を i_1 とし g_2 には回轉線輪 2 に生ずる電流通じて途中 R_2 なる抵抗を置き 其の電流を

(5) Differential galvanometer, Differentialgalvanometer.

i_2 となす R_3 は g_3 線輪の抵抗をも含むものとし R_1, R_2 には銘銘回轉線輪1又は2と g_1 線輪又は g_2 線輪の抵抗をも兼て含む居るものとす 而して此等 R_1, R_2, R_3 なる抵抗は調整し得べきものなるを要すれ共 其の數價は之を知る必要なきものなり 回轉線輪1,2は直角に組立られて直流を通ずる二個靜止線輪の間に回轉するが故に 此等には銘々に一個の交流を生じて其の位相は直角なり 而して此等の交流が g_1, g_2 に通じ g_1, g_2 は互に固く結合するを以て g_1, g_2 は一個の線輪と同じく之に流るゝ電流は前述二個交流の合成したるものにして 第二圖に示す如く殆んど一個の直流となすを恰も發電機の整電子

第二圖



を以て直流を得ると同様なり 而して測定の日安は g_1, g_2 に於ける此合成電流をして g_3 に於ける一定の直流と釣合を得さしむるものとす

測定を行ふに當り示差電流計は未だ調整を得るに至らざるものと假定し 先づ g_1, g_2 の二個線輪次に g_2, g_3 の二個線輪間の調整を行ふものとす 之が爲には此等の各線輪の電路に同一の直流電壓 E を加へ 夫れ等の電路に存する抵抗 R_1, R_2 を調整して電流計の釣合を得さしめ 其の時に於て此等線輪の銘

(6) Phase.

(7) Resultant, Resultierende.

(8) Dynamo; Dynamomaschine.

(9) Commutator; Kollekt. r.

銘に流るゝ電流を以て i_1', i_2', i_3' となす 但し此等電流の數價は知るに及ばざるものとす 此くして i_1', i_2' の銘々をして i_1' と釣合をなさしめ 示差電流計の偏斜零なる時は 各線輪の抵抗は同じからず回捲數も同じからず 示針よりの距離も亦同じからずとして 釣合の條件を

$$i_1' = f_1 i_1' \quad i_2' = f_2 i_2' \dots \dots \dots (1)$$

となすに f_1, f_2 は何れも1に近き定數なり 然るに又各線輪の電路に加へたるは同一數價の電壓 E なるが故に

$$i_1' = \frac{E}{R_1} \quad i_2' = \frac{E}{R_2} \quad i_3' = \frac{E}{R_3}$$

なるを以て

$$f_1 i_1' = i_3' = \frac{E}{R_3} \quad \text{故に} \quad i_1' = \frac{E}{R_1} = \frac{E}{f_1 R_3}$$

$$f_2 i_2' = i_3' = \frac{E}{R_3} \quad \text{故に} \quad i_2' = \frac{E}{R_2} = \frac{E}{f_2 R_3}$$

なり 従て示差電流計の線輪 g_1, g_2 と g_2, g_3 が銘々に釣合ふ場合には

$$R_1 = f_1 R_3 \quad R_2 = f_2 R_3 \dots \dots \dots (2)$$

なり 此の如き關係なるを以て三個線輪の示差電流計の調整は次の如くして之を行ふ 即ち其の各個の電路に同一數價の直流電壓を加へ 線輪 g_1 と g_3 を調整するには R_3 は一定して變することなく R_1 を調整して示針をして無偏斜ならしめ 次に線輪 g_2 と g_3 を調整するには同じく R_3 を一定不變に保ち R_2 を調整して同じく無偏斜ならしむ

二個直角に組立られて共に回轉する1,2線輪の電路に於ける電流を計算する爲に 其の各個が最大の誘導を受る位置に於て 二個固定線輪に對する相互誘導率を以て M_1, M_2 となし n を以て1,2の一秒間の回轉數とするに 此等の二電路に於ける電流の平均價は

レジスタンス

$$i_1 = \frac{4nM_1 I}{R_1} \quad i_2 = \frac{4nM_2 I}{R_2}$$

にして i_1 は抵抗 R の兩端に於ける電壓 RI より生ずる一定不変の直流なれば

$$i_3 = \frac{RI}{L_3}$$

なり 従て示差電流計の g_1, g_2 線輪 g_3, g_3 線輪の銘々に釣合ふ條件は (2) に依て

$$i_1 = \frac{4nM_1 I}{f_1 L_3} \quad i_2 = \frac{4nM_2 I}{f_2 L_3}$$

なり 故に二個直角に組立られたる線輪 1, 2 をして引續き一様に回轉せしむれば 示差電流計の線輪 g_1, g_2 に於ける合成電流と g_3 に流るゝ i_3 とは釣合をなして偏斜は零となり 其の關係は (1) に依て

$$i_3 = f_1 i_1 + f_2 i_2 \dots \dots \dots (3)$$

即ち
$$\frac{RI}{L_3} = (4nM_1 + 4nM_2) \frac{I}{L_3}$$

即ち
$$R = 4n(M_1 + M_2) = 4nM \dots \dots \dots (4)$$

にして R は測定せんとする抵抗の絶對單位數價 M は回轉する二個線輪が一對の固定線輪に對して有する銘々の最大相互誘導率の和なり 而して回轉數 n は直讀クロノグラフを以てすれば精度 $1/1000$ 迄測定すべく $M = M_1 + M_2$ は四個線輪の形狀大小と相互幾何的位置よりして計算すべし 此の計算に於て長岡教授の公式⁽¹⁰⁾は極めて簡單にして精度 $1/100,000$ に達し斯學大家の感謝する處のものなり 實例に於て

$$M_1 = M_2 = 25 \cdot 10^6 \text{ C. G. S.} = 25 \text{ (mH)}$$

$$M = 50 \cdot 10^6 \text{ C. G. S.} = 50 \text{ (mH)} = 0.050 \text{ (H)}$$

$$n = 25/\text{秒}$$

故に
$$R = 4 \times 25 \times 50 \cdot 10^6 \text{ C. G. S.} = 5 \cdot 10^8 \text{ C. G. S.} = 5 \Omega$$

(10) H. Nagata, Proc. Phys. Soc. Lond. 25, 1912.

第十章

示差電流計を以て抵抗の測定

示差電流計⁽¹⁾とは二個の線輪を有する電流計にして 此等の線輪に同一の電流を通ずる時は 夫れ等の生ずる磁野は互に反對して且同量なるが爲め 其の間に吊す磁針は零位即ち中央に止まりて動くことなく 而して二個線輪は何れも地磁氣の偉度線上に在りて互に平行するものとす

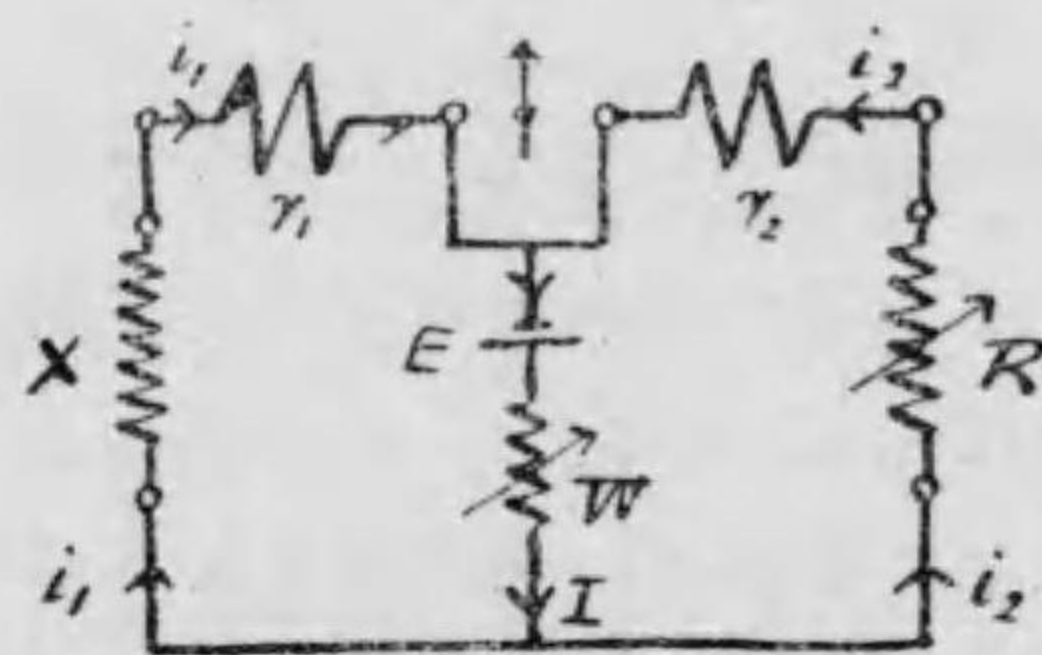
示差電流計の一層鋭敏なるものに在ては動縮電流計⁽²⁾の形をなし 此動縮は二個別々の線輪を平行に合せたるものにして 此等の線輪に同一量の電流を通ずる時は 磁針は反對同量の力を受けて中央零位を保つものなり 凡て示差電流計の二個線輪は同一の大きさを有し 同一の電流を以て同量反對の磁力又は磁野を生ずる様製作せられ 且又二個線輪の抵抗は全然同一なるか 否ならば其の各個の抵抗又は其の比は既知のものとしてせられ 示差電流計を以てする抵抗の測定は 磁針又は又は動縮の零位不動を目安とするものなれば 測定に用ゆる電源の電壓變化には何等の關係なきものなり 此測定法には直列接續と併例接續の二種ありて 測定すべき抵抗の大小と測定に要する精度に應して之を撰用するものとす

a. 直列接續 此方法は大なる抵抗を測定するに適し 第一

(1) Differential galvanometer; Differentialgalvanometer.
 (2) Moving coil galvanometer; Drehspulgalvanometer.
 (3) Becquerel, 1826.

圖 X を以て測定する抵抗とし R を以て之と比較すべき既知

第一圖



の抵抗となし W を以て電流調整用の抵抗となし 示差電流計の二個線輪は 同一の電流を以て同量の磁力を生ずるも 其の抵抗は銘々に異なるものとなし之を r_1, r_2 とす 而して 測定の方法は R の調整に依て 磁針を中央零位に來らしめ $i_1 = i_2$ なる条件の行はるゝことを確むるものとす 第一圖に於てキルヒホッフの法則を應用すれば

$$E - WI = i_1(X + r_1) = i_2(R + r_2) \dots \dots \dots (1)$$

なる關係ありて 示差電流計が零位を指す時の R の數價を R_1 とすれば i_1 と i_2 とは同一なるが故に (1) の式は

$$X = R_1 + (r_2 - r_1)$$

となり 次に R と X の位置を交換して同じ條件を求むる時は

$$X = R_2 + (r_1 - r_2)$$

となるが故に 此等の平均を求むる時は

$$X = \frac{1}{2}(R_1 + R_2) \dots \dots \dots (2)$$

となり 測定したる數價 X は二個線輪の抵抗差及び又左右接續線の抵抗差には何等關係なきものとなる 而して測定之精

(4) Kirchhoff.

度は r_1, r_2 が X よりも小なる程高く 電流計の各線輪に於ける電流は X 及び R に轉比例するが故に 大なる抵抗を測定するに適す

若し又此測定に於て R を調整すとも示差電流計の指針をして全然零位に來らしむること能はずして R が少しく不足して R_1' なる時に a_1' なる偏斜を示し 少しく過大にして R_1'' なる時に反對方向に a_1'' なる偏斜を示す時は 指針の零位に相當する R_1 の數價は

$$R_1 = R_1' + a_1' \frac{R_1'' + R_1'}{a_1'' + a_1'} \dots \dots \dots (3)$$

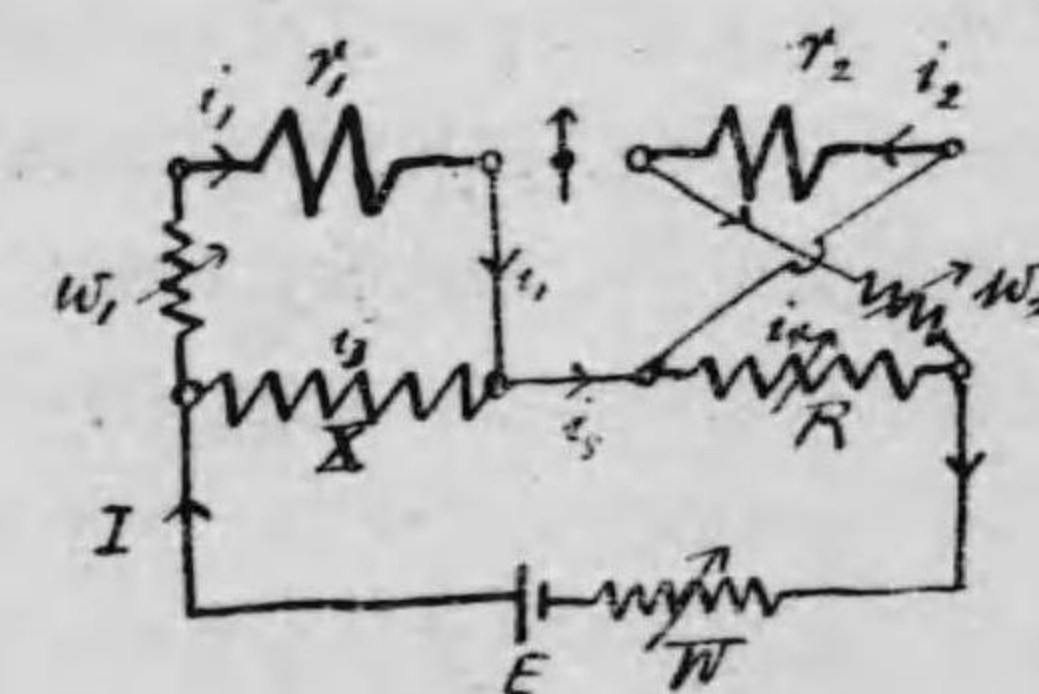
にして X と R の位置を交換して同様の測定を行ふ時は

$$R_2 = R_2' + a_2' \frac{R_2'' + R_2'}{a_2'' + a_2'} \dots \dots \dots (4)$$

なり 故に此等 R_1, R_2 を (2) の式に入れて X を算出するものとす

b. 并列接續の一 此方法の接續は第二圖に之を示し 少量の抵抗を測定するに適す 第二圖に於て X を以て測定すべき抵抗とし R を以て比較すべき既知の抵抗とす 其の他は第一圖と同様の記號を付したる外に W, w_1, w_2 なる調整抵抗あり

第二圖



(5) Poisside 1873; Kirchhoff 1876; Hansemann 1883.

圖に示す電流の配置を以てキルヒホッフの法則を應用すれば

$$I = i_1 + i_2 = i_2 + i_1$$

$$i_2 X = i_1 (w_1 + r_1)$$

$$i_1 R = i_2 (w_2 + r_2)$$

なるが故に R と w_1, w_2 の調整に依り 示差電流計の指針をして中央零位に來らしめ $i_1 = i_2$ なる條件を充たす時は 同時に $i_2 = i_1$ にして 此時の w_1, w_2 の數價を w_1', w_2' とすれば

$$X = R \cdot \frac{w_1' + r_1}{w_2' + r_2}$$

となる 故に R を元の儘に据置き w_1 と w_2 とを再び調整して指針をして中央零位に來らしめ 此時の數價を w_1'', w_2'' とすれば

$$X = R \cdot \frac{w_1'' + r_1}{w_2'' + r_2}$$

なり 従て此等の式を廣げて

$$r_2 X + w_2' X = w_1' R + r_1 R$$

$$r_2 X + w_2'' X = w_1'' R + r_1 R$$

なる二式を得べく 之を互に減する時は

$$X = R \cdot \frac{w_1' - w_1''}{w_2' - w_2''} \dots \dots \dots (5)$$

なる公式を得 X の測定數價は示差電流計の二個線輪の抵抗差より及び左右接續線の抵抗差より全然無關係のものとなる

此方法を以て小抵抗を測定する時は 接續線は凡て極小抵抗を有するものを用ひ 接觸個所の抵抗は測定の精度を害すべきに依り 示差電流計の二個線輪は抵抗の大なるものを選び 接觸個所の抵抗は之に比して省略し得るものたらしむ

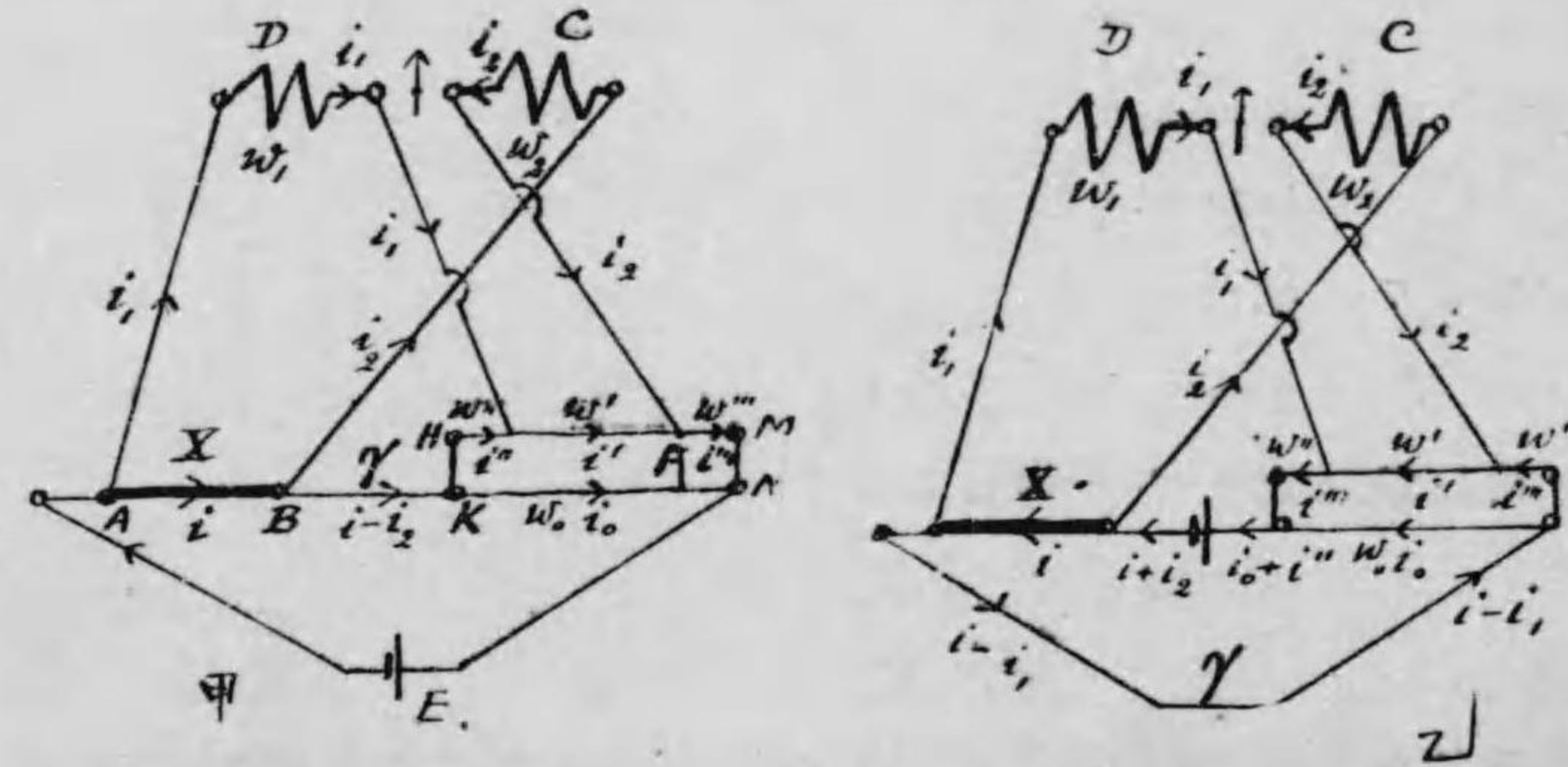
C. 并列接續の二 此方法(6)は小抵抗を測定するに適し 抵抗の

(6) Kohlrausch 1883; Jäger 1904; Hausnath, Ann. Phys. 16, 135, 1905.

比較測定に於て極て精確なるものにして ヱーゲルは同價抵抗の比較の爲めに此方法を發達せしめ ハウスラートは不同價抵抗の比較の爲めに一層之を擴張し 測定の精度に於てはツムソン電橋と伯仲するものなり 獨逸國ライヒスアンスタットに於ては 此方法を以て標準抵抗器の比較を爲し 又水銀標準抵抗の測定に用ひ 接續線に可なりの抵抗あるものを使用し得る便利あり

第三圖甲に於ては X を以て測定すべき抵抗とし $HKNM$ なる并列抵抗を以て比較する標準抵抗とし 此并列抵抗は一

第三圖



方に於て w_1 と他方に於て $w = w' + w'' + w'''$ より成る 又 D, C を以て示差電流計の二個線輪となし其の抵抗を w_1, w_2 とす 第三圖乙に於ては電池 E と接續線 r の位置を轉換し 従て電流の方向を變じたる部分あれ共 其の他に於ては甲と同一なり 前述測器の製作又は組立に於て初めより守るべき條件を以て

$$w'' = w''' = \frac{1}{2} (w - w') \dots \dots \dots (6)$$

となし 示差電流計に關する條件としては 二個線輪の抵抗を以て同一量とし 又中央零位の偏斜に於て電流は同一なりとす 即ち

$$w_1 = w_2 \quad i_1 = i_2 \dots \dots \dots (7)$$

となす 然る時は電路 $ABC F E D A$ と電路 $H M N K A$ にキルヒホッフの法則を應用し 又 E, F, K の三點にも同法則を適用する時は

$$iX - i'w' = i_1 w_1 - i_2 w_2 \dots \dots \dots (8)$$

$$i'w' + \frac{(i'' + i''')w - w'}{2} = i_0 w_0 \dots \dots \dots (9)$$

$$\left. \begin{aligned} i'' &= i' - i_1 & i''' &= i' + i_2 \\ i_0 &= i - i_2 - i'' = i - i_2 - i' + i_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (10)$$

を得 故に(9)に依て

$$i'w' + (2i' - i_1 + i_2) \frac{w - w'}{2} = (i_1 + i - i' - i_2) w_0$$

を得 (7)に依て

$$i'w = (i - i')w_0 \quad \text{即ち} \quad \frac{i'}{i} = \frac{w_0}{w + w_0} \dots \dots \dots (11)$$

を得 故に之を(8)と共にして

$$X = \frac{i'}{i} w' = \frac{1}{\frac{w}{w_0} + 1} w' = c \cdot w' \dots \dots \dots (12)$$

なる結果を導く 従て測定する抵抗 X は w' に正比例し 其の比率は一個の定數にして 并列したる抵抗 w と w_0 に依て定まる者なり 例へば X を測定するに $w = 1 \ominus$ とし $w_0 = \frac{1}{9} \ominus$ 又は $\frac{1}{99} \ominus$ 又は $\frac{1}{999} \ominus$ とする時は c は $\frac{1}{10}$ 又は $\frac{1}{100}$ 又は $\frac{1}{1000}$ となりて

$$X = \frac{1}{10} w' \quad \text{又} \quad \frac{1}{100} w' \quad \text{又} \quad \frac{1}{1000} w'$$

となるが如し

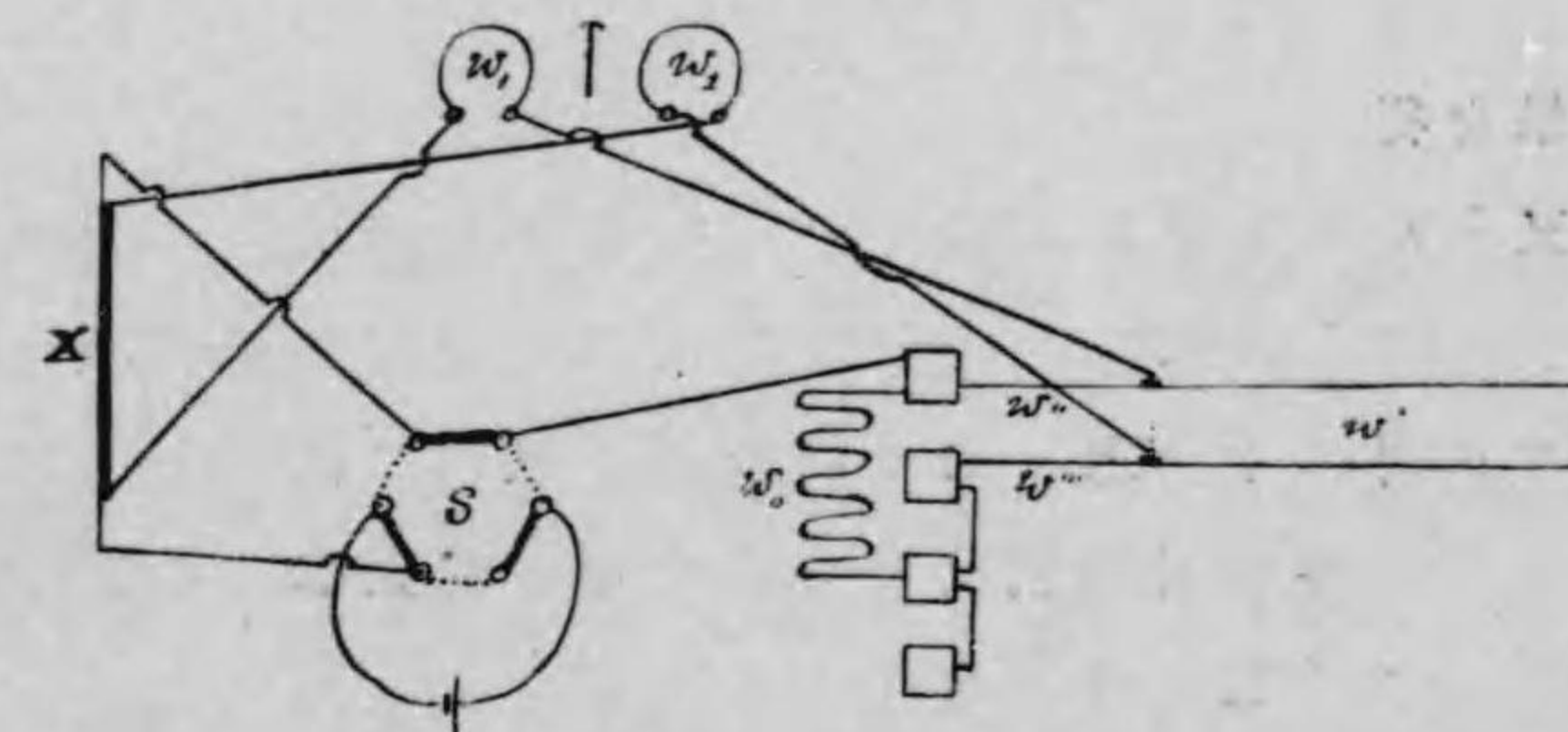
第三圖乙の如く電池 E と接續線 r の位置を交換する時は E, F, N の三點に於ける電流關係は

$$\begin{aligned} i'' &= i + i_1 & i''' &= i - i_2 \\ i_0 &= i - i_1 - i''' = i - i_1 - i' + i_2 \end{aligned}$$

となる 故に之を甲圖の場合と比較する時は i_1 と i_2 は反對となし 他は皆前同一の方向を有するものゝ如く取扱ひて可なり

d. 實用裝置 以上述る處の製作上の條件(4)及び E, r 轉換の事は第四圖の實用裝置に於て容易に之を實行せしむ 即ち w', w'', w''' 間の條件を充たす爲には 接續抵抗を折返へして二重接觸抵抗線となし r と E の位置交換の爲には六穴轉換器又

第四圖



は三極轉換器を用ふ 此の如き裝置を用ゆる時は w', w'', w''' 間の條件(6)に於て 又示差電流計の $i_1 = i_2$ なる條件(7)に於て少許の遺漏あり共 測定する抵抗の數價中に此等の遺漏を含ましめざるを得べし 今 ϵ 及び σ を以て少量なる遺漏となし (6)(7)に代ゆるに

$$w''' = w''(1 + \epsilon) \quad i_2 = i_1(1 + \sigma) \dots \dots \dots (13)$$

とすれば

(8) Slide wire resistance; Schleifdrahtwiderstand.

レジスタンス

$$w = w' + w'' + w''' = w' + 2w'' + \varepsilon w''$$

となり (11)の代りに

$$i'(w + w_0) - iw_0 = -\varepsilon i_1 w'' - \sigma i_1 (w'' + w_0)$$

を得るが故に 之を i にて除する時は

$$\frac{i'}{i}(w + w_0) - w_0 = \frac{i_1}{i} \varepsilon w'' - \sigma \frac{i_1}{i} (w'' + w_0) \dots (14)$$

を得 又 (8)の代りとして

$$iX - i'w' = i_1(w_1 - w_2) - i_1 \sigma w_2 = -i_1 \sigma w_2 \dots (15)$$

を得 此等 (14)(15)の二式に於て ε, σ は既に少量なるが故に i_1 か i に比して極て小なるものなれば 右測の項は何れも消滅して 以前の如く

$$X = \frac{i'}{i} w' = \frac{1}{\frac{w}{w_0} + 1} \cdot w' = c w' \dots (16)$$

なる結果を得べし

若し又 i_1 か i に比して極て少なからざる時は σ と ε を別に測定することに依て (14)(15)二式の右側なる誤差項は之を計算するを得べく 之に依て前の X の數價に修正を行ふことを得べし 此等の誤差項は w'' の大なる程大なるべきを以て w'' は成るべく小なるものを用ふるを可とす 此の如き一般の場合に於て (14)(15)の二式を書直し

$$\frac{i'}{i} \frac{w_0}{w + w_0} = \frac{i_1}{i} \frac{1}{w + w_0} \left\{ (\varepsilon - \sigma) w'' - \sigma w_0 \right\} \dots (17)$$

$$X - \frac{i'}{i} w' = \frac{i_1}{i} \left\{ (w_1 - w_2) - \sigma w_2 \right\} \dots (17)$$

を得るが故に 三極轉換器を以て E と r の位置を交換して再び測定を行ひ 此等を交換せざる前の測定の結果と平均する時は 交換の爲に i_1 と i_2 は反對の記號を有し 他の電流は然らざるが故に 此平均數價に於ては i_1 と i_2 を含める (17)(18)の右側項は自然に消滅し σ, ε なる遺漏のみならず 尙ほ又 X

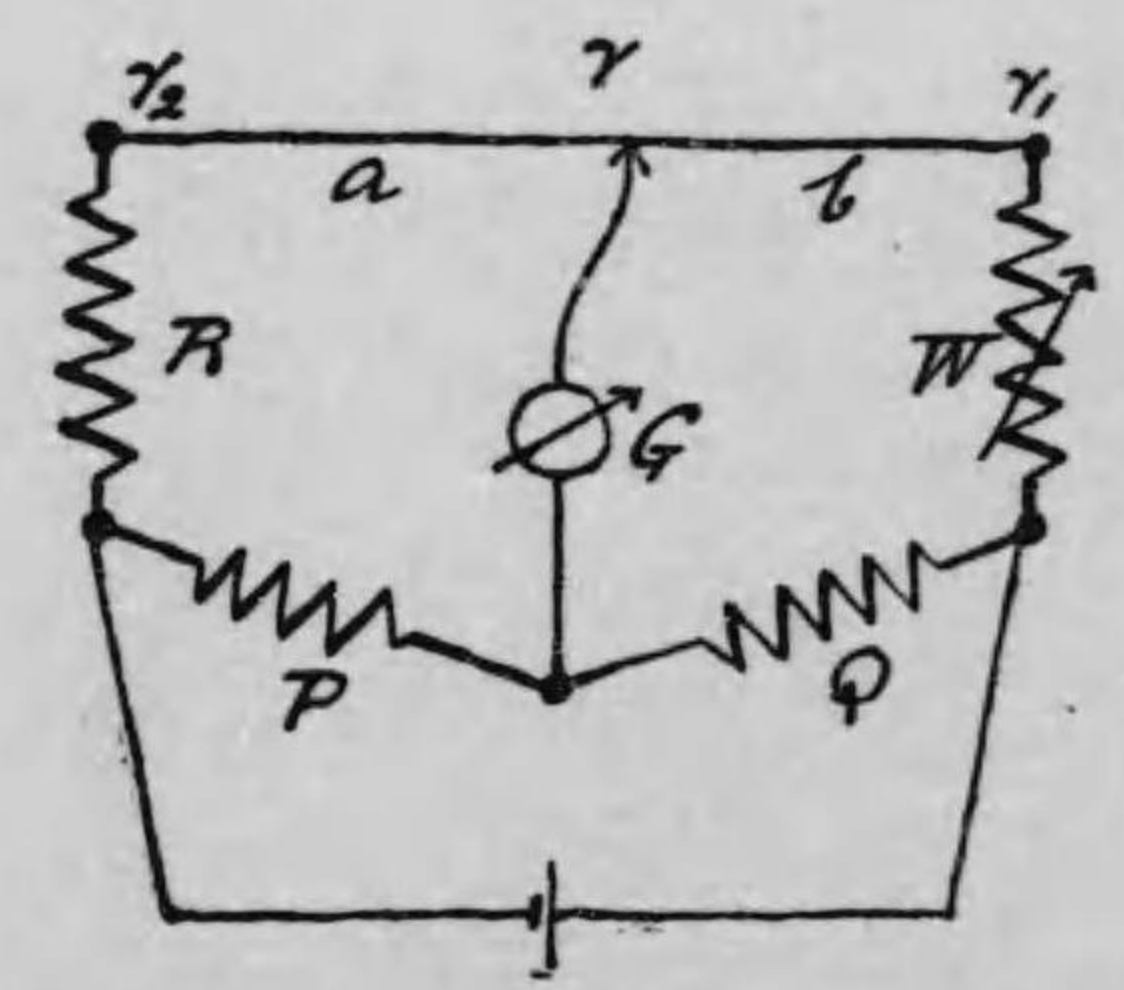
と二重接觸抵抗線とを結ぶ電流計接續線の抵抗より來る誤差即ち w_1, w_2 を以て此等接續線の抵抗をも含ませしめたる電流計の二個線輪の抵抗差に基く誤差をも自然同時に排除するものなり 而して此測定法に於ては 本電流は X なる小抵抗と w_0 なる并列抵抗を経て流れ 電流計の線輪は并列に結ばれて此等より遙に大なる抵抗を有するを以て 電流計に有害なる電流を通ずる懸念なく 強電流を用ひて小抵抗の測定を行はしむるものなり

第十一章

カレー、フォスターの電橋

カレー、フォスターの電橋⁽¹⁾は 殆んど其の數價を同じくする二個抵抗の比較測定を精密に行ふに適し 電橋に附屬する接續線及び接觸點に基く誤差は自ら排除せらるゝを以て 抵抗器の檢定にも亦適するものなり 此の如く比較すべき抵抗器は之を石油槽に沈めて溫度の齊一を保つ時は 測定は一層精密なり

第一圖



第一圖の如く測定すべき抵抗 R と 比較する標準抵抗 W と 殆んど相等しき抵抗 P, Q を接續し 接觸線を用ひて電橋の平均を行ひ 電流計の偏斜をして零ならしむる時は 接觸線の單位の長さの抵抗を r とし 左右に於ける接續線接觸點の抵

(1) Carey Foster's Bridge.

抗を r_2, r_1 として ホキートソン電橋の如く

$$Q(R+ar+r_2)=P(W+br+r_1)$$

即ち

$$\frac{P}{Q} = \frac{R+ar+r_2}{W+br+r_1}$$

なる關係式を得 次に R と W の位置を交換して再び電橋の平均を得れば 此時の接觸線の調整は變じて a', b' となり

$$\frac{P}{Q} = \frac{W+a'r+r_2}{R+b'r+r_1}$$

なる式を得 此等の二式に何れも 1 を加ふる時は

$$\begin{aligned} \frac{P+Q}{Q} &= \frac{R+W+(a+b)r+(r_1+r_2)}{W+br+r_1} \\ &= \frac{R+W+(a'+b')r+(r_1+r_2)}{R+b'r+r_1} \end{aligned}$$

となる 然るに $(a+b)r, (a'+b')r$ は接觸線全部の抵抗にして同一量なるが故に 此等二式に於て分子は何れも同一量なるを以て 分母も亦同一量なるべく 従て

$$R+b'r=W+br$$

或は又

$$R=W+(b-b')r=W+(a'-a)r$$

なり 故に R は此式より標準抵抗 W に基きて計算すべく 接觸線の調整の外凡ての誤差は排除せられたるものなり

第十二章

電流計の抵抗とシャント

電流計の抵抗測定は夫れ自ら研究の目的には非ざれ共 他
の精密なる測定を行ふに當り 之を知るべき必要往々之れあ
るを以て 之を測定する方法二種を掲ぐ

抵抗の測定其の他の目的の爲に電流計を使用するに當り
之を通過する電流過大にして 指針又は光點が照尺以外に逸
出せんとする模様あるか 或は又照尺内に在ても光點の偏斜
過大にして 偏斜と電流の關係に變化を生ぜんとする時は
電流計に並列して抵抗を結び 電流計の減度を減じて偏斜を
適度にし 此偏斜より計算したる電流に 並列抵抗の爲に生
じたる分割數を乗じて以て 本電路に流るゝ電流を算出す

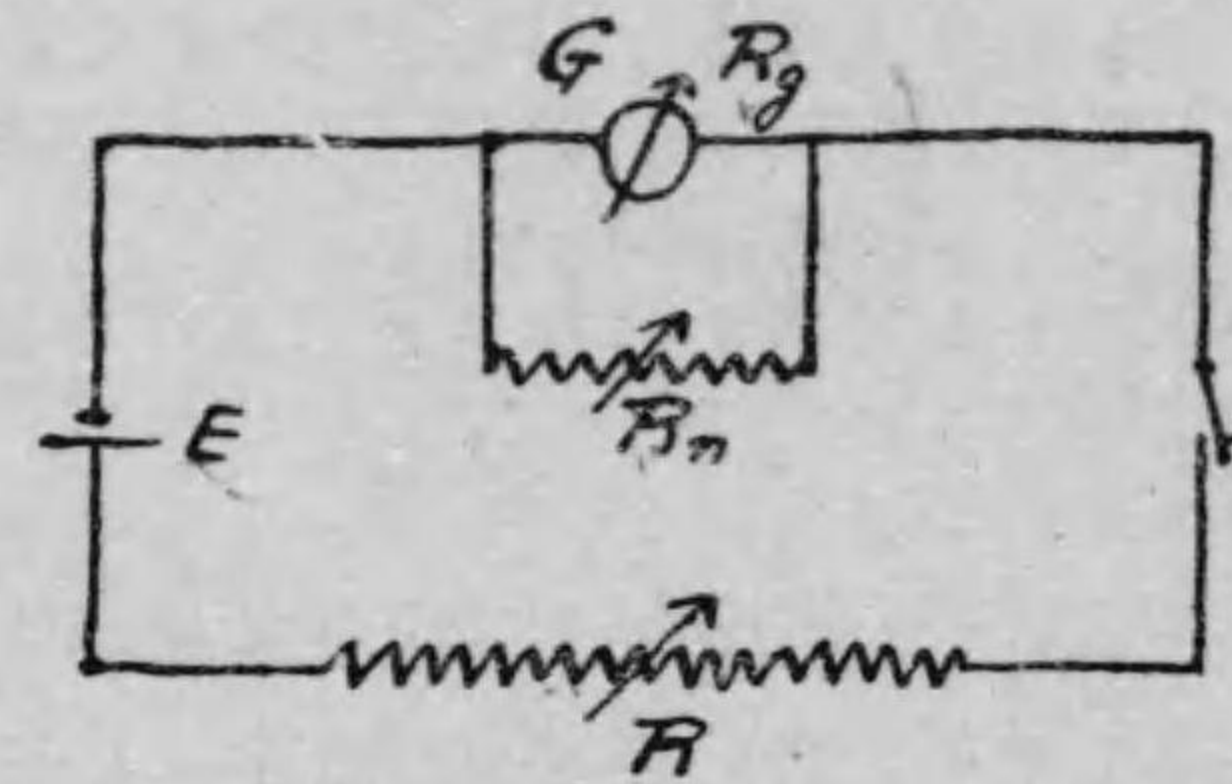
電流計にシャントを附するとは 管に上述する如く偏斜制
限の爲めのみならず 故に圓形の照尺を有する電流計にも亦
シャントを附するものとす 電流計にシャントを施すことは
電流計の衰滅⁽¹⁾を一定に保つべき爲めにして 電流計の本電路
に存せしむる抵抗は常に之を同一量を保ちて 電流計の衰滅
には何等の變更なからしめ 並列抵抗に依て感度のみを自由
に調整せんとするものなり

a. 電流計の抵抗測定 電流計 G の抵抗を R_g となし 之に一
個のシャント R_n を附し 本電路の大なる抵抗 R と共に 之を

(1) damping; Dämpfung.

電壓の成るべく不變なる電池 E に結ぶと第一圖の如くす 然
る時は電流計に通ずる電流は

第一圖



$$i_g = \frac{ER_n}{R_g R_n + R(R_g + R_n)} = c \cdot a \dots \dots \dots (1)$$

にして a は偏斜 c は電流計の定數なり 次に R と R_n を變じ
て R' と R_n' となし 再び電路を閉ちて偏斜 a' を得れば

$$i_g' = \frac{ER_n'}{R_g R_n' + R'(R_g + R_n')} = c \cdot a' \dots \dots \dots (2)$$

なり 此等の式を互に除し 且二度の測定の間にて電池の
電壓 E に變化なかりしものとすれば

$$R_g = \frac{R_n R_n' (R' a' - R a)}{R_n R_n' (a - a') + R R_n' a - R' R_n a'} \dots \dots \dots (3)$$

なる結果を得て 電流計の抵抗 R_g は之より計算するを得べし
測定中 E の變化なかるべき爲めには R を大にして 電路には極
て少量の電流を通ずるものとす

若し又 R' と R_n' の撰定に於て 電流計の偏斜 a' が a と同一
なる場合を撰む時は (3) の式に於て $a = a'$ となり 従て

$$R_g = \frac{R_n R_n' (R' - R)}{R R_n' - R R_n} = \frac{R' - R}{\frac{R}{R_n} - \frac{R'}{R_n'}} \dots \dots \dots (4)$$

に依て R_g を計算するを得べし

電流計の感度鈍き時は二度目の測定に於て R_n' なるシャン

トを除き 其の時の偏斜を a'' とし電流計に流るゝ電流を i_g'' とすれば

$$i_g'' = \frac{E}{R' + R_g} = c \cdot a'' \dots\dots\dots(5)$$

となる 故に之を(1)の式と合する時は

$$R_g = \frac{R_a(R'a'' - R_a a)}{(R + R_a)a - R_a a''} \dots\dots\dots(6)$$

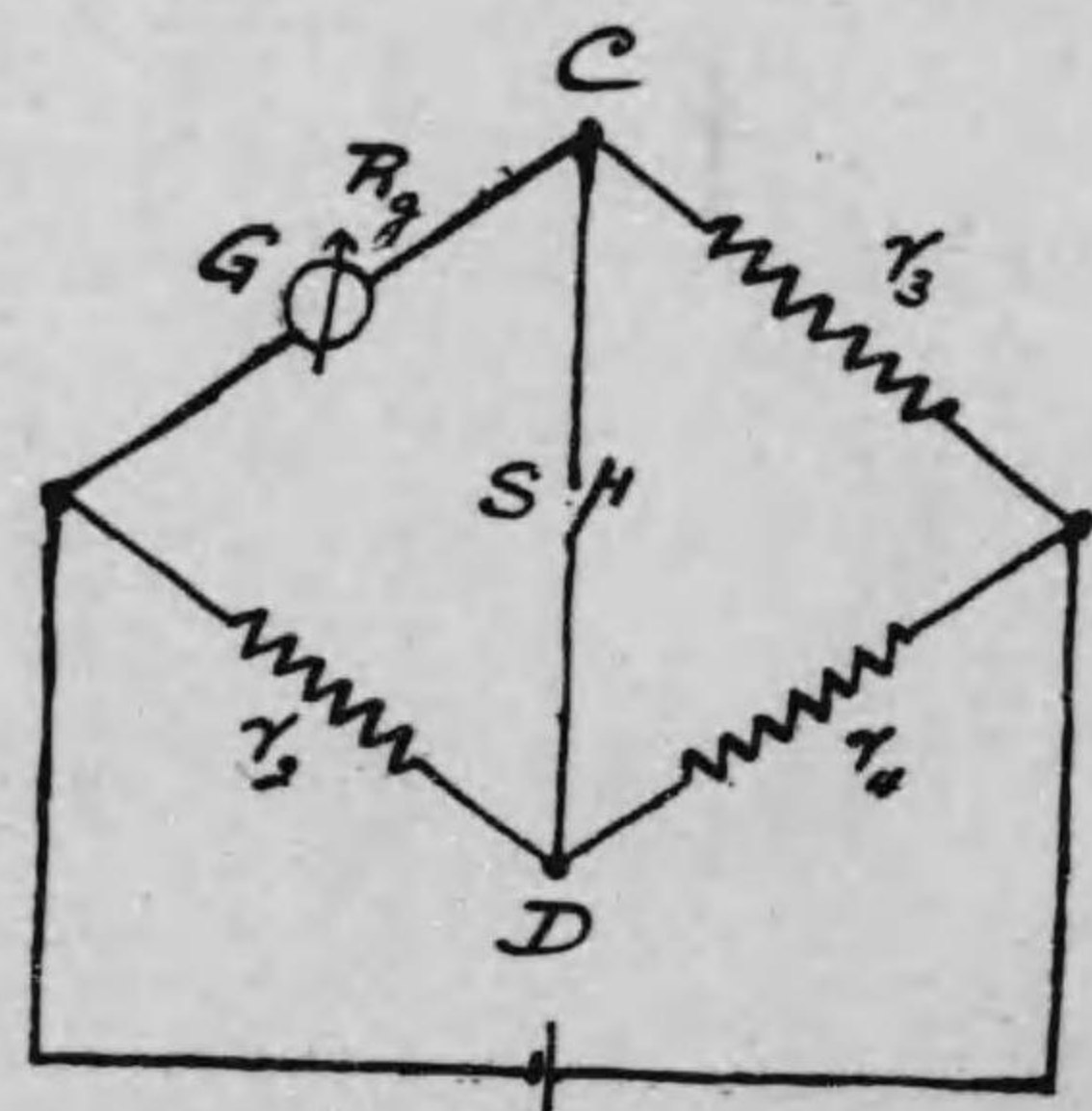
となりて R_g は之より計算すべし 若し又 R' の撰み力に依て a'' を a と同一ならしめば (6)の式は變じて

$$R_g = \frac{R_a(R' - R_a)}{R} \dots\dots\dots(7)$$

となる

b. 電流計の抵抗測定 ホキートストンの電橋に於て 測定せんとする抵抗の位置に電流計を置き 電流計の位置に開閉器 S を置く 然る時は四個の抵抗が

第二圖



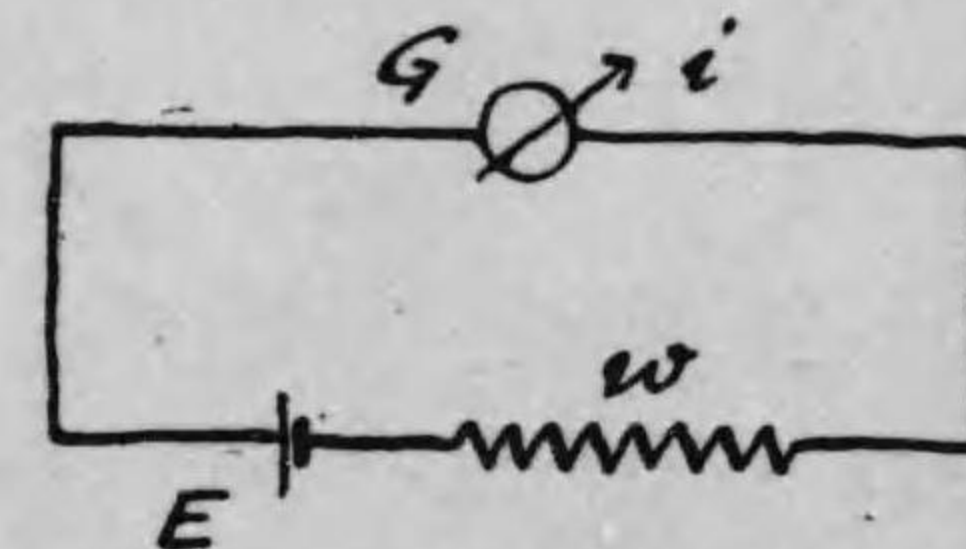
$$R_g = \frac{r_2}{r_1} r_3 \dots\dots\dots(8)$$

なる關係を爲す時に於て CD なる橋には S を通じて何等の

電流なく 従て S を開くも閉づるも他の臂に於ける電流には何等の變化を生ぜざるものなり 従て又 S を開閉するも電流計の偏斜に何等の變更なき様に 電橋の抵抗を調整する時は R_g と此等抵抗とは(8)の式に示す關係を有し R_g は之れに依て計算するを得べし 此測定法に於ては電流計に通ずる電流の不變なるを確め 此電流に何等の變化を生ぜざるが故に 電流計のコイルに自己誘導ありとも其の影響は現はるゝことなし 但し前述四個の抵抗が(8)の關係を有せざる間は自己誘導の影響は著しく現はれて S を開閉するに依て 電流計の指針は激しく偏斜をなすことあるべし

c. 電流計を以て測定する電流 一個電路に通ずる電流を測定するには 此電路に測定用の電流計を入れ 其の偏斜に依て電流の數價を定むるものなれ共 電流計には必ず或る抵抗を有するを以て 電流計次第にて一々異なる電流を示すべし 従て若干オームの抵抗を有する電流計に依て 幾何のアンペアを示したりと云はざるべからず 第三圖に於て本電路の電

第三圖



壓と抵抗を E と W となし G なる抵抗を有する電流計を入れて電流 i を示す時は

$$i = \frac{E}{W + G}$$

レジスタンス

なり 従て E と W は同一に保つとも G の大小に従て i は小とも大ともなるべし 若し此電流計なくして本電路固有の電流を I とすれば

$$I = \frac{E}{W}$$

なるが故に

$$I = \frac{W+G}{W} \cdot i = (1 + \frac{G}{W})i$$

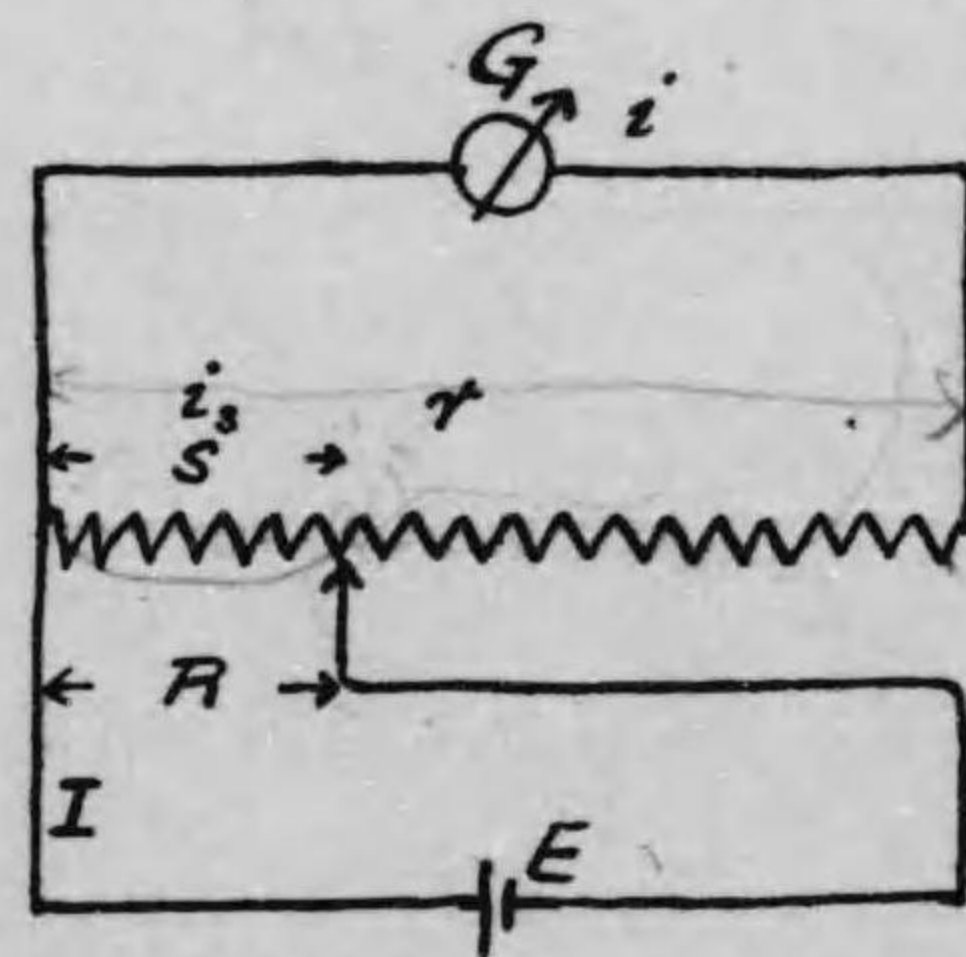
なり 従て電流計にて測定したる電流 i が 電流計の爲に何等の影響を受けざる時の電流 I と同一ならんが爲には

$$\frac{G}{W} \ll 1$$

即ち電流計の抵抗 G は本電路の抵抗に比して極て小ならざるべからず 然らざれば一々 G なる抵抗を知りて i なる測定數價に $\frac{1}{1 + \frac{G}{W}}$ を乗ぜざるべからず

d. シャント⁽²⁾ 第四圖に於て E を定壓電源とし r を以て電流計に并列する全部の抵抗とし S を以て使用する部分のシャント抵抗とし S に流るゝ電流を i として抵抗 G なる

第 四 圖



(2) Shunt box, Nebenschlusskasten.

電流計に流るゝ電流を i とす³⁾ 而して本電路の兩端に於ける總抵抗を R とすれば 此 R は S と $(r-s+G)$ の并列より成る抵抗なり 此本電路に流るゝ電流を I とす 然る時は

$$I = i + i_s$$

$$E = (G+r-s)i = si_s$$

$$R = \frac{s(G+r-s)}{G+r} = s - \frac{s^2}{G+r} \dots \dots \dots (9)$$

なる根本の三式あり 初めの二つより本電路の電流 I と電流計に示す電流 i との關係を求むる時は

$$I = \frac{E}{R} = \left(\frac{r+G}{s} \right) i \dots \dots \dots (10)$$

を得べし 従て本電流 I と測定電流 i の比は獨り r と s との調整比 $\frac{r}{s}$ のみならず 電流計の抵抗 G とシャント s との比に依て變ずるものなり 故に $\frac{r}{s}$ の種々の比を以て作りたる電流計のシャント⁽³⁾ なるものは 如何なる電流計に應用しても正しき數價を表はすものとは云ふべからず

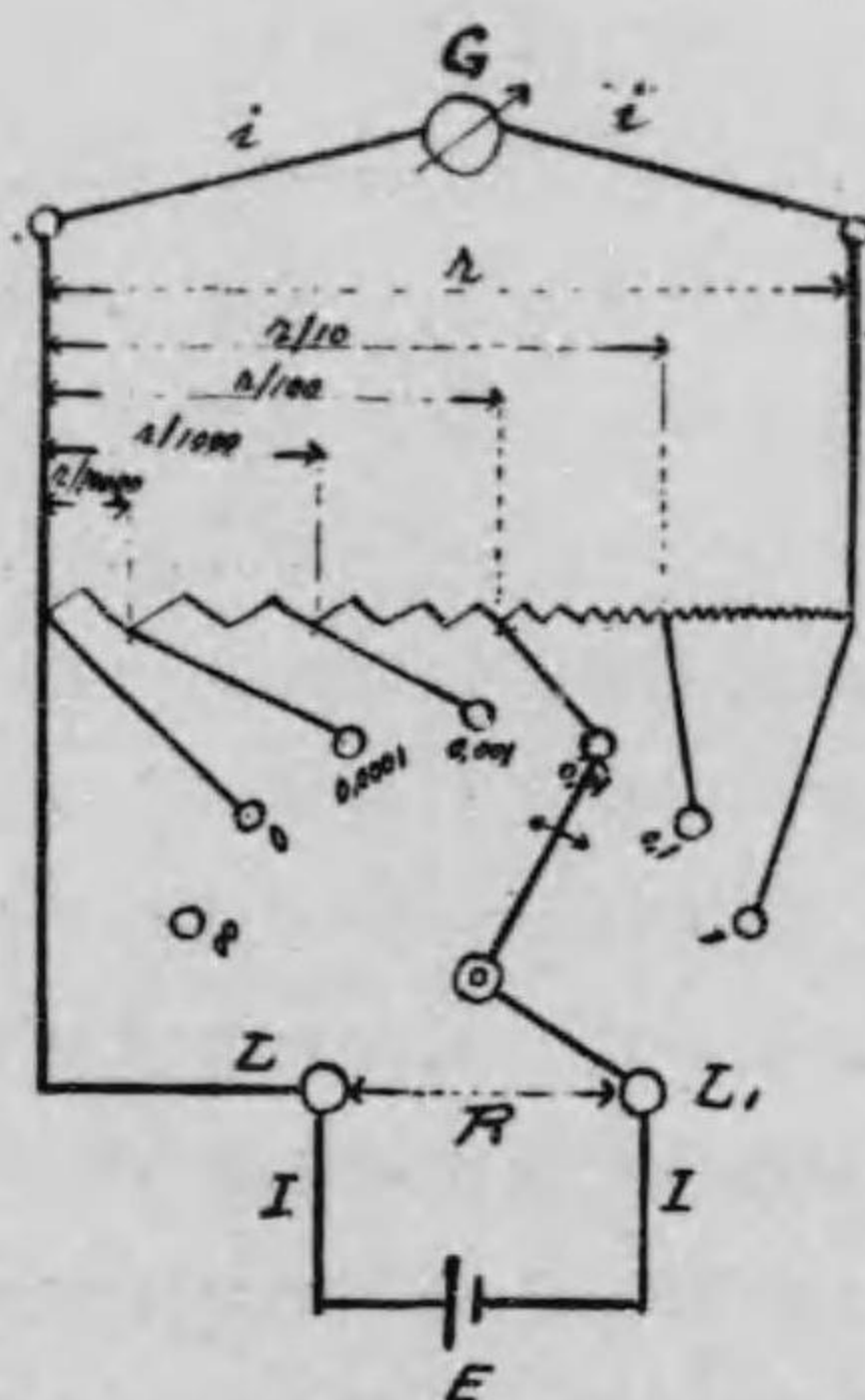
アヤトンの創意に成れる萬能シャント⁽³⁾ なるものは 第五圖に示す處の接續を有し s なるシャントは全并列抵抗 r の $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ 等の比をなさしめて豫め固定的に分割せられ 本電路の一端は其の何れの一にも自由に接續せらるべき製作となす 其の一個所 0 に於ては電流計は全然除外せられ 他の一個所 0.1 に於ては電路は切斷せらる 其の他の一個所例へば 0.1 の位置に於ては $i=0.1 I$ 0.01 の位置に於ては $i=0.01 I$ なる關係を示すものとなす 今先の (9) (10) の式に依て各位置に對する I と i の關係を尋ね 又本電路の合成全抵抗 R と E との關係を求むるに c なる略字を用ひて

$$\frac{G+r}{r} = c$$

(3) Ayrton's universal shunt box.

とするに 電流計の抵抗 G と 并列全抵抗 r が 一々一定する時は c は 一個の定數なれ共 G と r の 何れかを變ずる時は c は 他の定數となる

第五圖



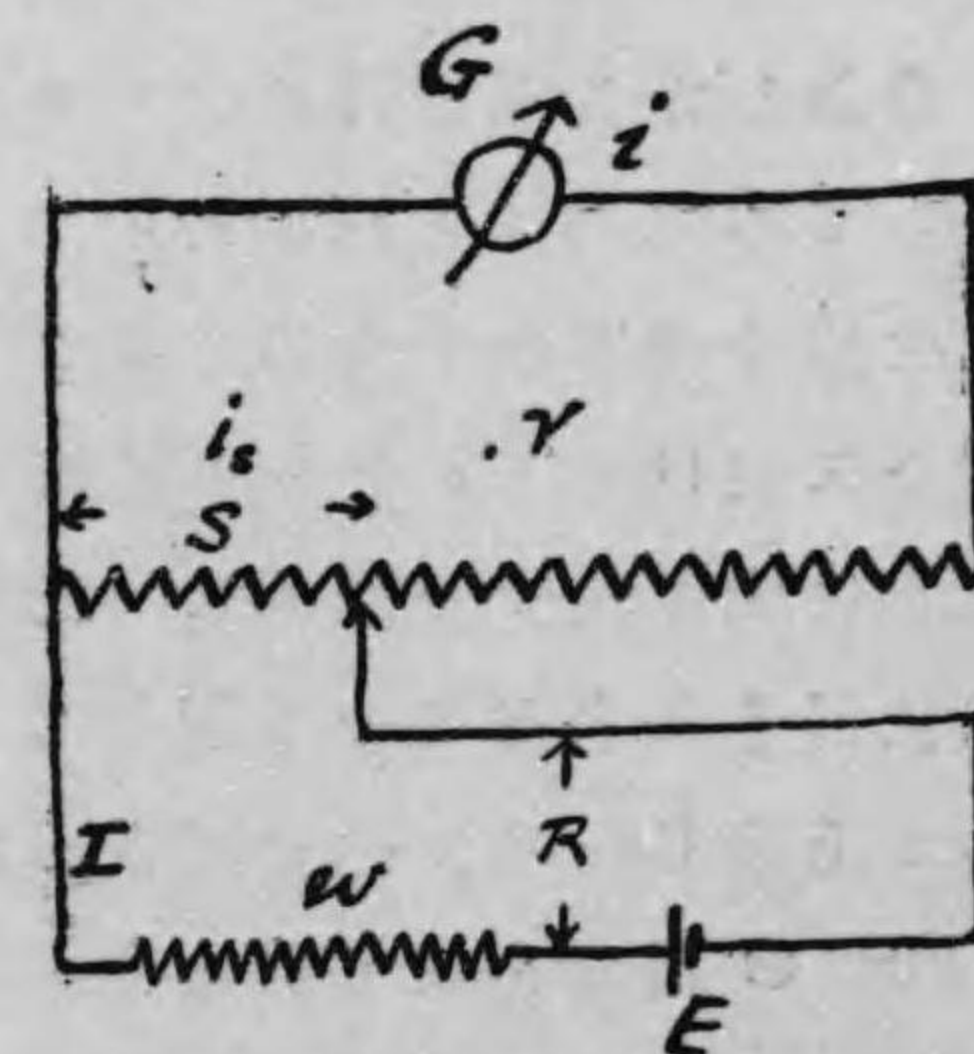
位置 1	$s=r$	$I_1 = \frac{G+r}{r} \cdot i_1 = c \cdot i_1$	$R_1 = \frac{rG}{G+r}$
位置 0,1	$s=0,1r$	$I_{0,1} = 10 \cdot \frac{G+r}{r} \cdot i_{0,1} = 10c \cdot i_{0,1}$	$R_{0,1} = \frac{0,09r^2 + 0,1rG}{G+r}$
位置 0,01	$s=0,01r$	$I_{0,01} = 100 \cdot \frac{G+r}{r} \cdot i_{0,01} = 100c \cdot i_{0,01}$	$R_{0,01} = \frac{0,0099r^2 + 0,01rG}{G+r}$
位置 0,001	$s=0,001r$	$I_{0,001} = 1000 \cdot \frac{G+r}{r} \cdot i_{0,001} = 1000c \cdot i_{0,001}$	$R_{0,001} = \frac{0,000999r^2 + 0,001rG}{G+r}$
位置 0,0001	$s=0,0001r$	$I_{0,0001} = 10000 \cdot \frac{G+r}{r} \cdot i_{0,0001} = 10000c \cdot i_{0,0001}$	$R_{0,0001} = \frac{0,00009999r^2 + 0,0001rG}{G+r}$

此等の數字に於て認るが如く シヤントの位置 1 に於て

電流計の示す電流 i と 本電流 I とは 一定の比をなし 此比は 電流計を更ゆるに依て同じく變じ 他の位置に於ては此比は 1 の時の十倍百倍千倍等となり シヤント管に記す數字と相對するものなれ共 本電路の電流は一々シヤント調整の影響を受けたるものにして シヤントも電流計もなき時の本電路固有の電流には非ず 皆測定其の事の爲に變化せられたるものなり 故に此の如きシヤント管を用ひて測定したる本電流には 別々に G と r と c の數價を附記すべきものなり 然らざれば各個の電流計に對して一々固有のシヤント管を製作する必要あるものとす

e. シヤント管二 第六圖に示すシヤント接続は 第四圖の場合と異なること單に本電路に一個の抵抗 w を有するのみなり而して此抵抗は本電路に存する器械の抵抗 及び本電流調

第六圖



整の爲に附加したたる抵抗を合計したるものとす

此接続の場合に於ては根本の二式は

$$I = i + i_s$$

$$E = wI + si_s = wI + (G+r-s)i$$

なるが故に之よりして

$$I = \frac{G+r}{s} \cdot i \dots\dots\dots(11)$$

$$R = w + \left(s - \frac{s^2}{G+r} \right) \dots\dots\dots(12)$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{G+r}{(w+s)(G+r)-s^2} \cdot E \dots\dots\dots(13)$$

を得べし 故に若し本電路の抵抗 w をシャント s に比して甚大なるものとなし

$$w \gg s \quad \text{従て又} \quad w \gg \frac{s^2}{G+r} \dots\dots\dots(14)$$

とすれば 前述の式は變じて

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{G+r}{s} \cdot i \dots\dots\dots \\ R &= w \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} (15)$$

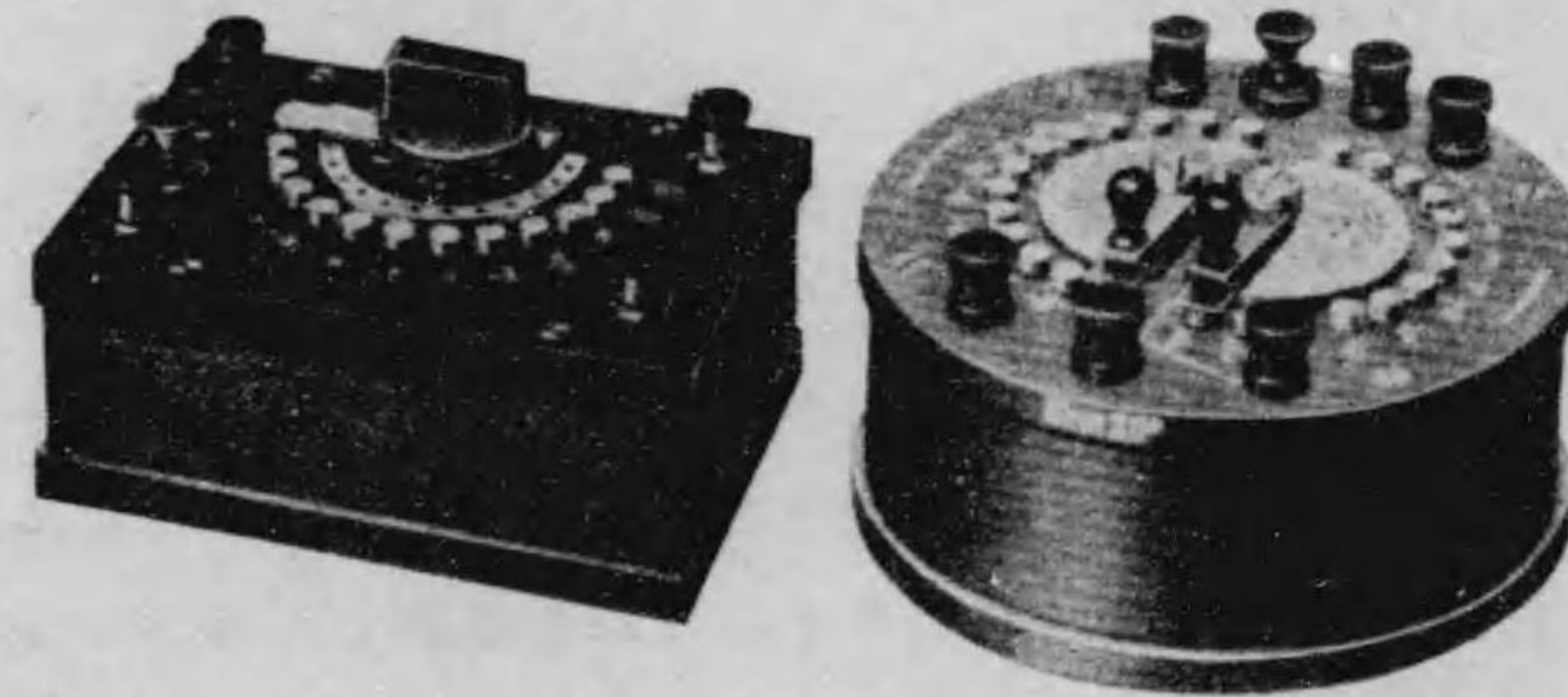
$$I = \frac{E}{w} = I_0 \dots\dots\dots(16)$$

となる 即ち此の如く w と s の間の條件を容るゝ時は 本電流はシャント筐調製の如何に拘らず同一の強さを有し 其の強さは測定の爲に附加したる電流計及びシャント筐のなき場合と同一なり 而して本電流 I と電流計の示す電流 i の比はシャント筐の調製次第十倍百倍千倍等となるも 第一調整の場合即ち $s=r$ の場合に於ける I と i の關係定數は同じく G の數價と r の數價とに依て變ずるが故に 此場合に於てもシャント筐は各個電流計と組合せて一々製作したるものたらざるべからず 而して上述 (14) の條件を充さんが爲には 本電路の抵抗 w は 1000 000 Ω 附近を以て相當とするものなり 之を一層精確にすれば電流計の抵抗 G と本電路に於ける抵抗 w の大凡の數價に應じて 特に一々シャント筐を製作すべきも

のとす 例へば 10 000 Ω の電流計と 15000 Ω の本電路抵抗に適するシャント筐と云ふが如く 或は又 500 Ω の電流計と 500 Ω の本電路抵抗に適するシャント筐と云ふが如し 次に掲る第七圖は前者に屬するシャント筐にして 第八圖は後者に屬するものなり 何れも感度 8×10^{-10} アンペアを有する動縮反照電流計と共に使用せらるべきものにして シーメンスハルステの製作に係るものなり

第七圖

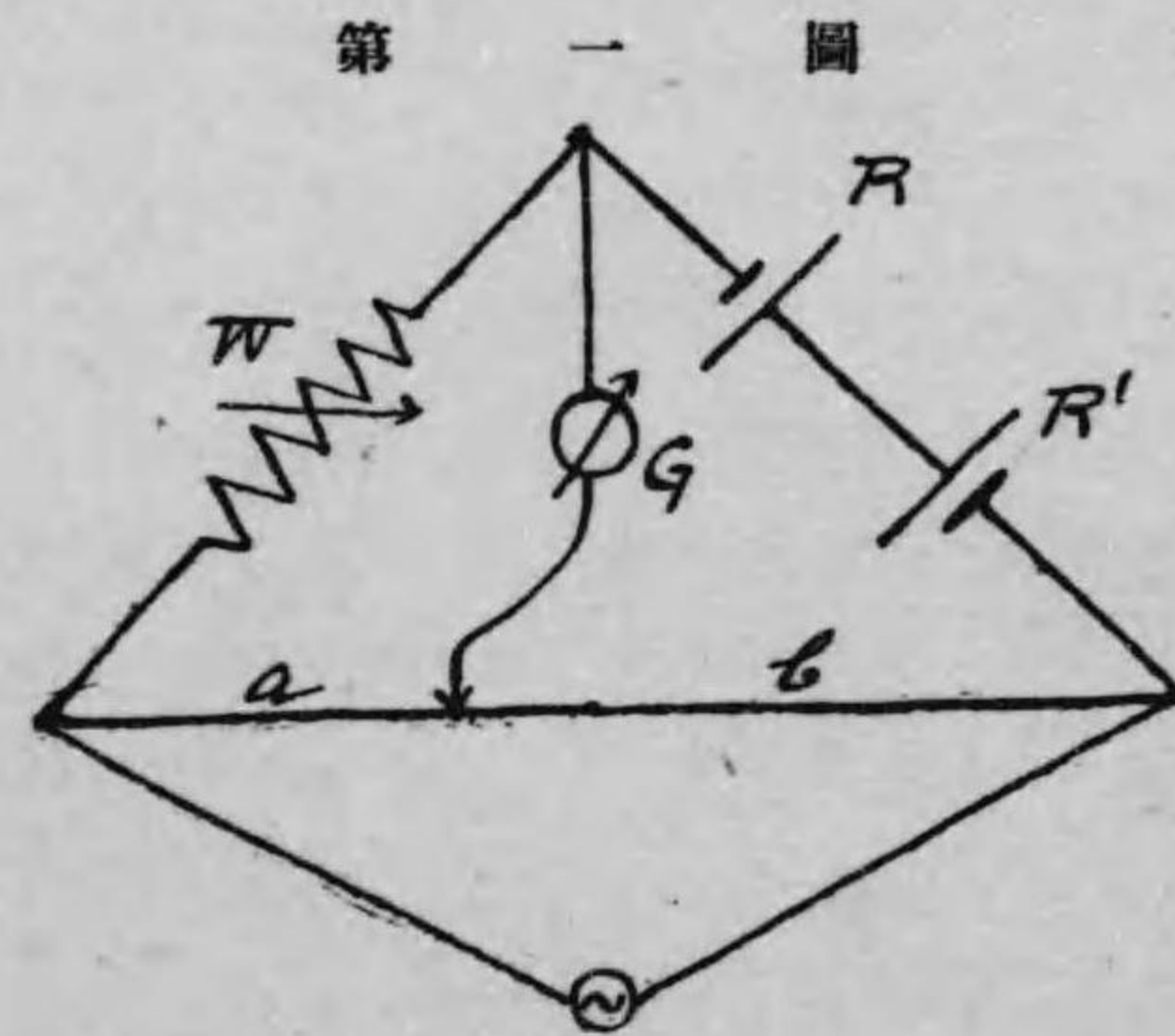
第八圖



第十三章

電池と電解液の抵抗

a. コーラウシュの電橋 電池の抵抗を測定するには 之れに電流を通するか 或は又之れより電流を出さざるべからず 然る時は電解液の抵抗を測定すると同じく 電池内に分極作用⁽¹⁾を起して電圧は漸次弱くなり 従て時間の経るに従ひ 又電流の大なるに従て 抵抗は漸次大なる數價を呈すべし 之を避んが爲に交流電橋を用ゆる時は 電橋の一臂に電池の電圧加はり 受聴器を以て電橋の平均を確めんとすれば 受聴器は不變の直流通ずる場合にも無音なり 故に凡て此等の疑を除くが爲に 測定すべき同一電圧の同種電池二個を取りて 之を反對に結び 電池より生ずる電圧と直流とを零ならしめ 交流電橋に依て二個直列電池の抵抗を測定し 其の一半を以



(1) Kohlrausch's Bridge; Brücke. (2) Polarisation; Polarisation.

て一個電池の抵抗となす

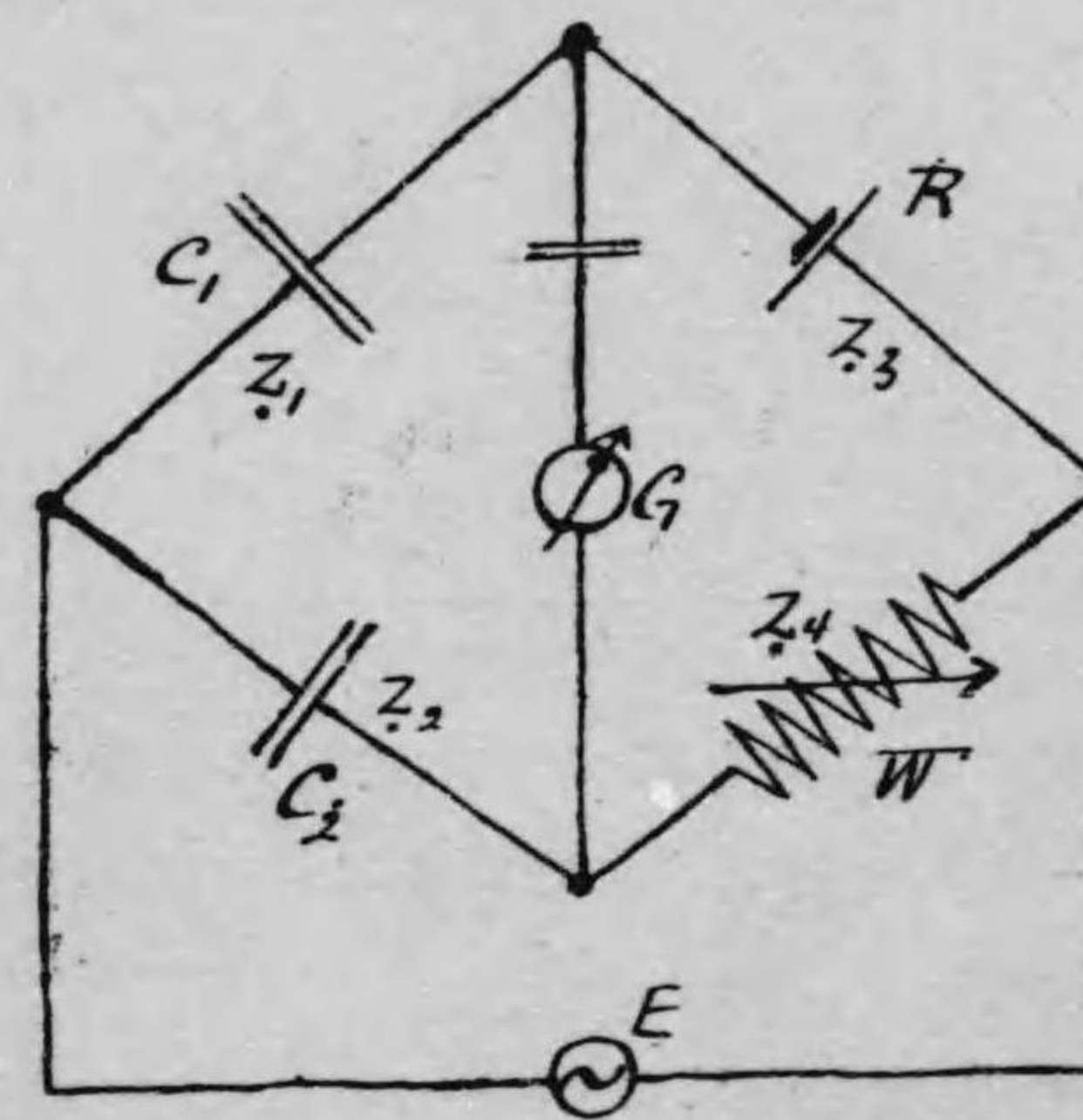
第一圖はコーラウシュ電橋の接続を示し 受聴器又は振動電流計⁽³⁾Gの無音又は無偏斜を確むる時は 凡てのインピーダンスは純抵抗なるを以て 二個直列電池の抵抗は

$$R+R'=\frac{b}{a}W$$

にして 此の一半は則ち一個電池の抵抗なり

b. ネルンストの電橋 ネルンストの電橋⁽⁴⁾に於ては其の臂に蓄電器を用いて 電池より流出する直流を防止し 交流を以て其の抵抗を測定するものにして 蓄電器の二個は計算中に加ふるを以て其の容量の知られたるものを用ゆ 而して電橋の平均を確むるには第二圖第三圖の接続に示す位置に於て Gなる受聴器又は振動電流計の無音又は無偏斜を以てす 使

第二圖



(3) Vibration galvanometer; Vibrationsgalvanometer. (4) Nernst's bridge; Nernst Brücke. レジスタンス

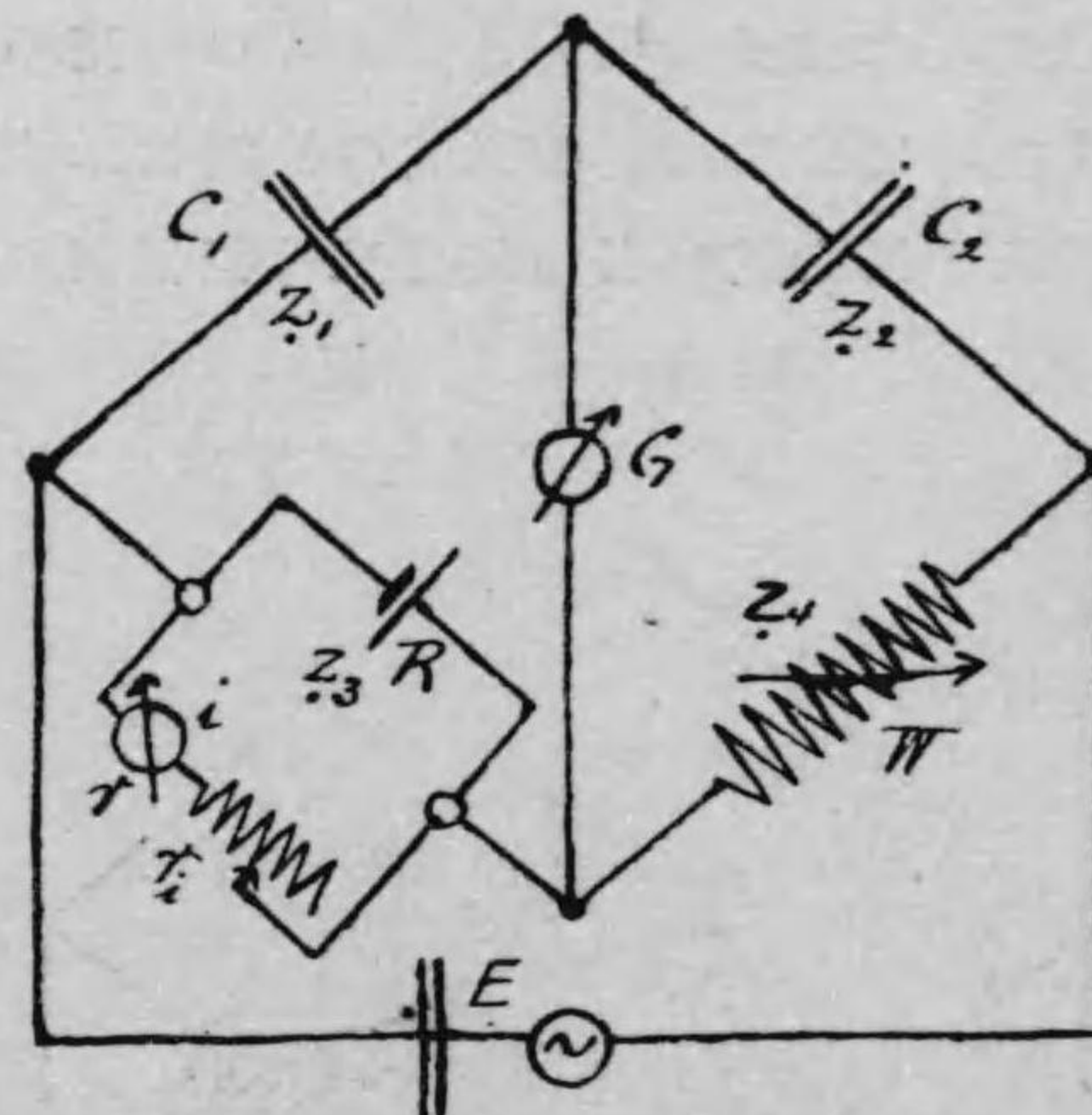
用交流にして正絛曲線を爲さざる時は G の最少音又は最小偏斜を以て電橋の平均したる場合となす

第二圖は電池の抵抗 R を無負荷の場合に測定するものなり然るに電池の抵抗は之より流出する電流の大小に從て變ずるが故に 此電流と抵抗との關係をも知らんが爲には第三圖の装置を作り 電池をして電流計と調整抵抗 r より成れる電路に於て適宜の電流を出さしむ 故に此臂の全抵抗は

$$\frac{R(r+r_i)}{R+r+r_i}$$

にして r とは電流計の抵抗 R とは電池の抵抗なり

第三圖



第三圖に記載する記號を以て 此電橋の各臂に於けるヴェクトルインピーダンスを表はす時は(第二冊インピーダンス参照)

$$Z_1 = \frac{j}{pC_1} \quad Z_2 = \frac{j}{pC_2} \quad Z_3 = W$$

$$Z_3 = R \text{ (第二圖 無負荷)} \quad \text{又は} \quad Z_3 = \frac{R(r+r_i)}{R+r+r_i} \text{ (第三圖 有負荷)}$$

にして $j = \sqrt{-1}$ p は交流の周波數の 2π 倍なり 從て交流電

橋の平均する條件

$$Z_1 Z_4 - Z_2 Z_3 = 0$$

の中に前述の式を入れ 實數と虚數を分つ時は

$$\frac{W}{pC_1} = \frac{R}{pC_2} \quad \text{(無負荷の場合)}$$

$$\text{又は} \quad = \frac{R(r+r_i)}{pC_2(R+r+r_i)} \quad \text{(有負荷の場合)}$$

を得べし 從て電池の抵抗は

$$R = \frac{C_2}{C_1} W \quad \text{(無負荷の場合)}$$

$$\text{又は} \quad = \frac{r+r_i}{\frac{C_1}{C_2}(r+r_i) - W} W \quad \text{(有負荷の場合)}$$

より算出するを得べし 而して交流電源 E と振動電流計 G の位置は交換するも差支なきを以て 一々 R を測定し其の平均を取るものとする

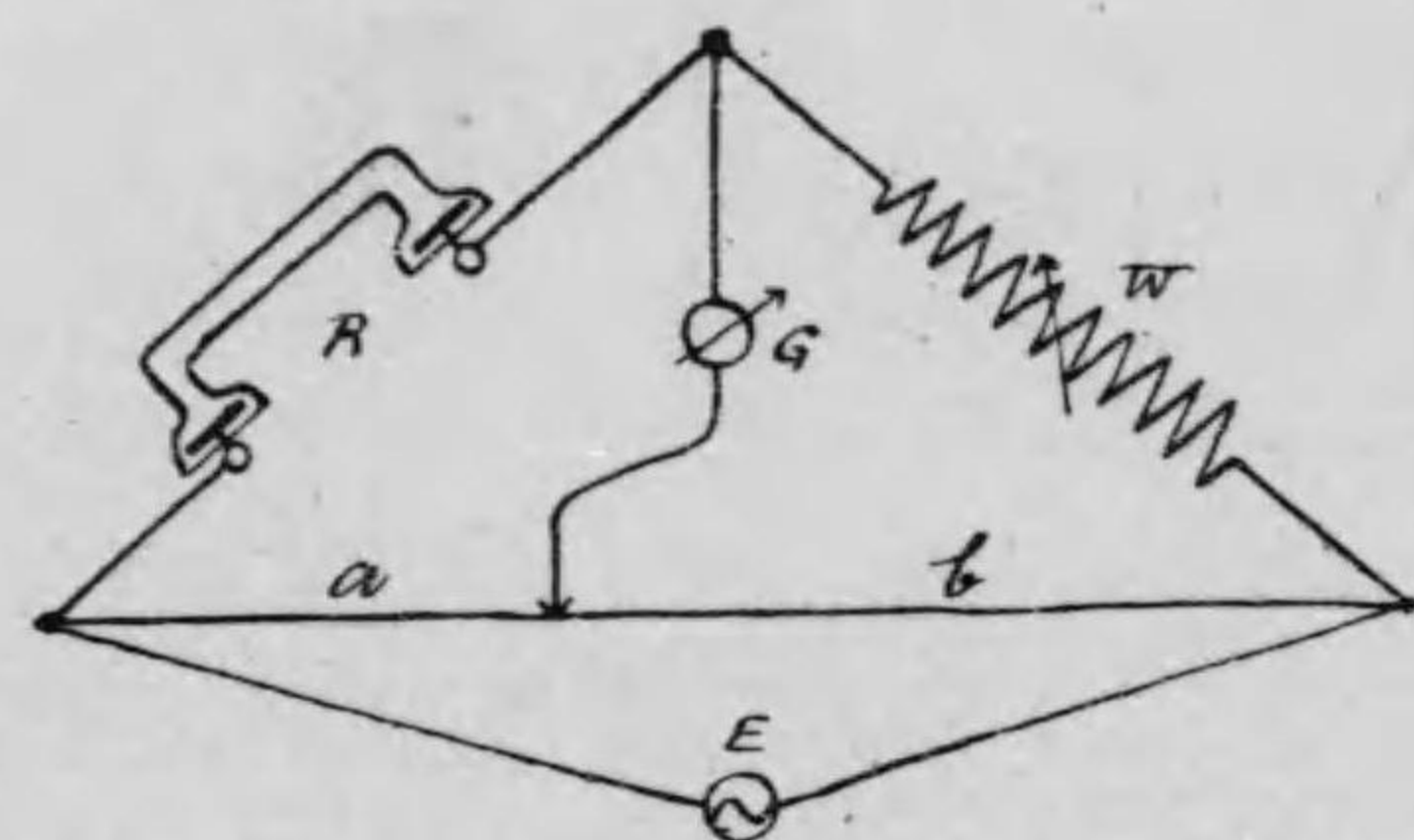
上述する處の測定法は 電池の抵抗のみならず 電解液の抵抗或は又電流の通過するに依て著しく抵抗の變化する物の抵抗 例へば白熱燈の抵抗を測定するに用ゆべし 然れ共充分精密なる方法とは云ふべからず

C. 電解液の抵抗 電解液の抵抗は 分極作用を除く爲に交流を用ゆれば 容易に之を測定し得べしと雖も 容器の容積を正確に測定するは困難なるを以て 此困難を避る爲に別の方法を用ゆ 而して容器の形狀大小等に依て 電解液の總抵抗は自由に變化すべきが故に 電解液の抵抗は其の比抵抗又は之が逆數たる比傳導に依て表はすを適當となす

第四圖の如くホキートストーン又はキルヒホッフの電橋に 電解液の一臂を作り 交流電源 E を以て之を發動し G なる受聽器又は振動電流計の無音無偏斜を目安として 電橋の平

均するを確め 電解液を充たす容器には電極を固定し、白金
(5) 黒粉を塗りたる白金板を以て之を作る

第 四 圖



電解液を充たせる管の切斷面を q (mm^2) とし 其の長さを l
(m) とすれば 其の總抵抗は

$$R(\Theta) = \rho(\Theta, m, m^2) \frac{l(m)}{q(m^2)}$$

$$= \frac{1}{K} \frac{l(m)}{q(m^2)}$$

にして ρ は比抵抗 K は其の逆數たる比傳導なり 故に若し
同一の容器に比傳導の完全に研究測定せられたる電解液を充
たす時は 其の總抵抗は

$$R'(\Theta) = \rho'(\Theta, m, m^2) \frac{l(m)}{q(m^2)}$$

$$= \frac{1}{K'} \frac{l(m)}{q(m^2)}$$

なるが故に 此かる標準液に對照して總抵抗の比較測定を行
ふ時は

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{K'}{K} = \frac{R}{R'}$$

なる關係あるに依り 總抵抗の測定より直ちに比傳導を算出
するを得べし

(5) platinum-black; Platinmohr.

次に記載する標準電解液の比傳導は $0^\circ C$ の時長さ 1,063 米切
斷面 1 耗³の水銀の夫れに對して測定せられたるものにして
長さ 1 米切斷面 1 耗³の液に就て抵抗單位の Θ なる時の比傳導
なり

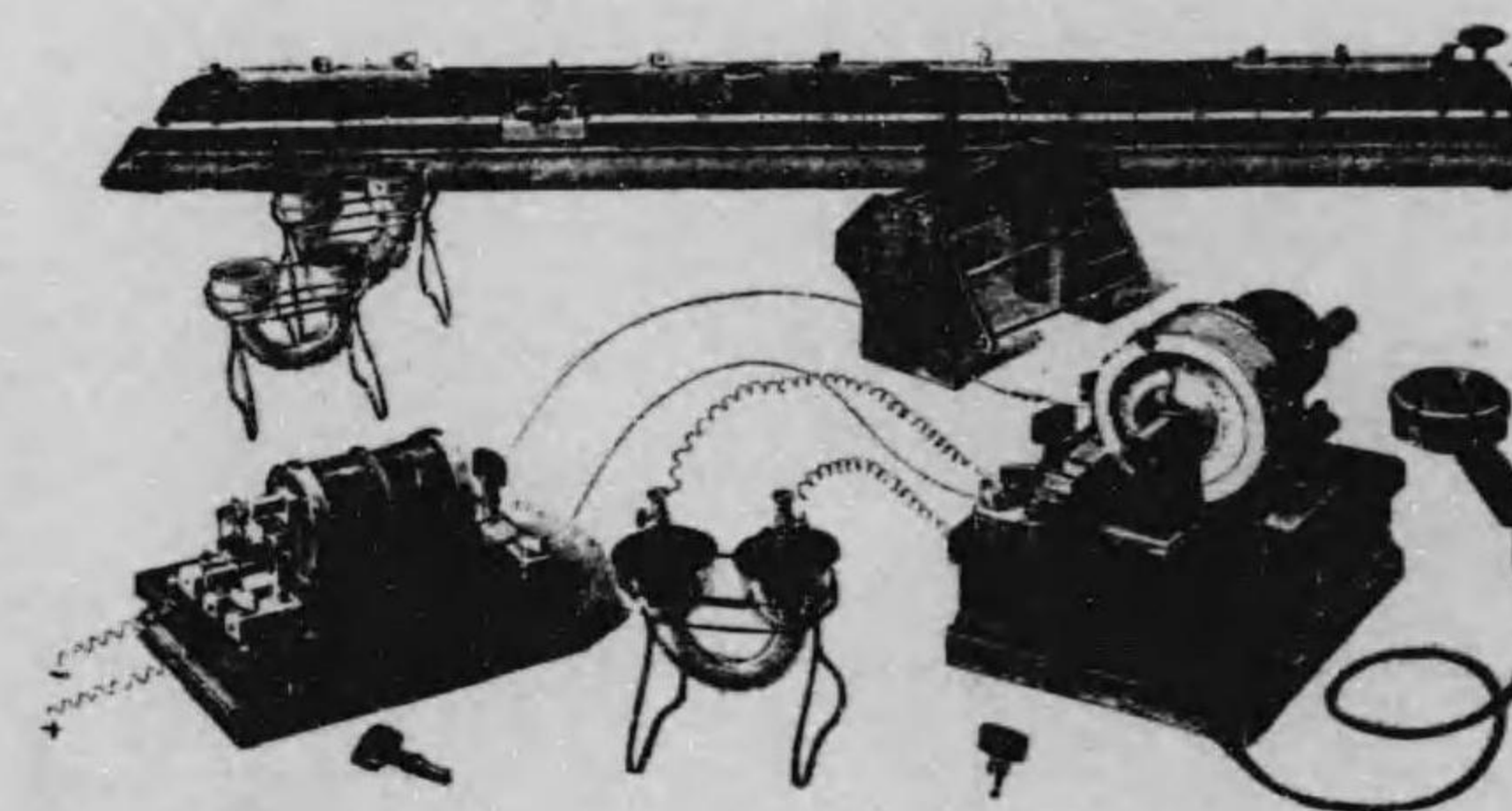
1. 飽和食鹽水 26,4% N_2Cl $\delta(18^\circ C) = 1,201$
 $K'_t = \{215 + 4,8(t - 18^\circ)\} 10^{-7}$
2. 錯酸液 16,6% $C_2H_3O_2$ $\delta(18^\circ C) = 1,022$
 $K'_t = \{1,62 + 0,029(t - 18^\circ)\} 10^{-7}$
3. 滷利鹽水 17,3% $MgSO_4$ (無水) $\delta(18^\circ C) = 1,187$
 $K'_t = \{48,8 + 1,28(t - 18^\circ)\} 10^{-7}$

故に電橋の平均を確め 始めに測定すべき電解液に容器に
充たし 第四圖の電橋裝置に依て其の抵抗 R を定め 次に同
一容器に標準液を充たして其の抵抗 R' を定むる時は 何れも
同一の温 $^\circ C$ に於て

$$R = \frac{a}{b} \cdot W \quad R' = \frac{a'}{b'} \cdot W'$$

なるに依り

第 五 圖



(6) Concentrated common salt solution; Konzentrierte Kochsalzloesung.
(7) Solution of acetate; Essigsäureloesung. (8) Epsom salt solution; Bittersaltzloesung.

$$K_i = K' \frac{R'}{R} = K' \frac{a'}{b'} \cdot \frac{b}{a} \cdot \frac{W'}{W}$$

より比傳導を算出するを得べし

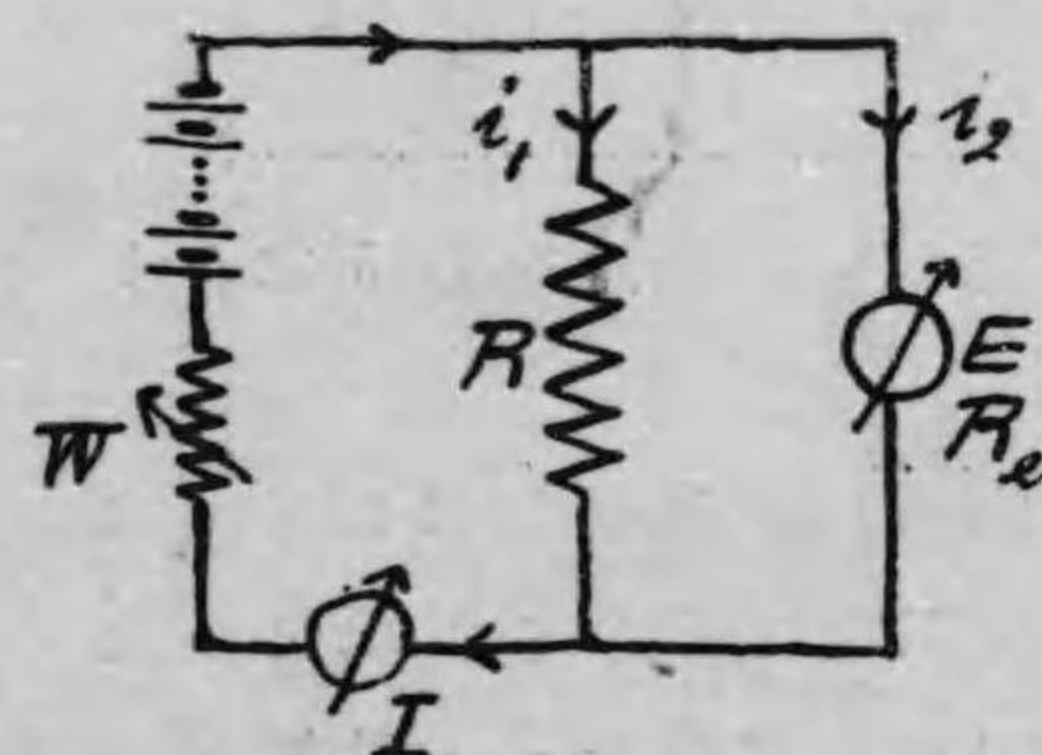
第五圖はハルトマン、ブラウンの製作に係るコーラウシユ電橋の二種にして 交流電源として誘導線輪を用ひ 電橋の釣合を確るには受聴器を用ひ 別に容積の確定したる容器あり

第十四章

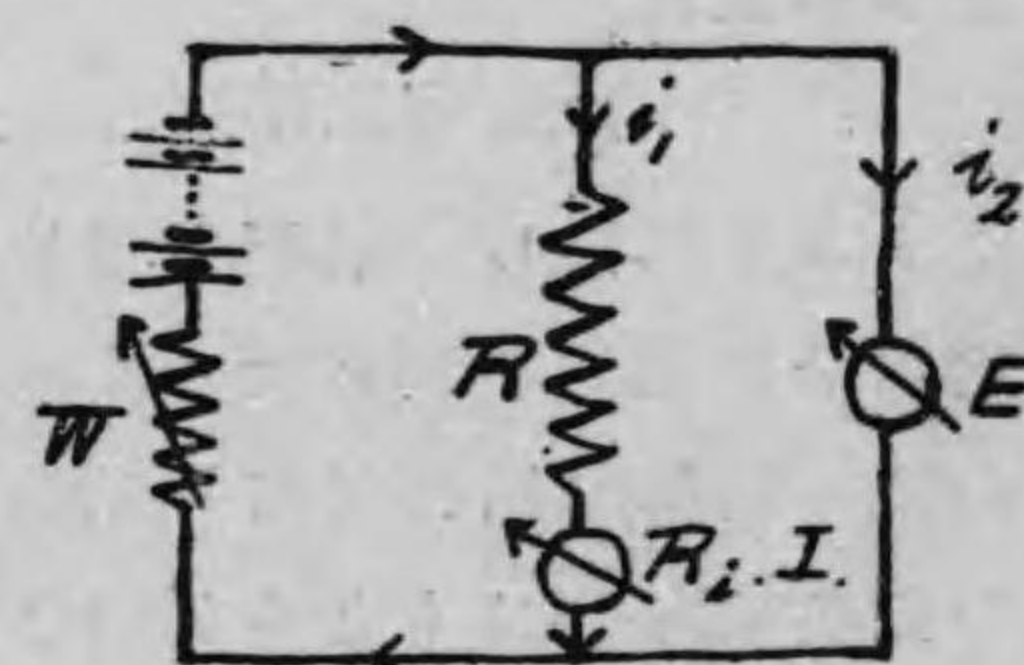
電流計と電壓計を以て抵抗の測定

電流計と電壓計を以て抵抗を測定することは 普通の抵抗は勿論 此抵抗に電流を通ずるが爲に熱を生じて温を昇らしめ 従て其の抵抗を變ずる場合にも適用すべし 例へば白熱燈⁽¹⁾發電子界磁線輪⁽²⁾變壓器線輪⁽³⁾の抵抗を測定するが如し 而して測定の爲に通ずる電流は兼て此抵抗を熱する爲めの電流たらしむるを得べく 抵抗數價の大小に均らず急速簡便に測定を行ふことを得るものなり

第一圖



第二圖



第一圖第二圖に於て $R\Theta$ を以て測定する抵抗とし I を電流計、 E を電壓計とし 且又 IE を以て夫れ々々此等測器の示す電流(A)及び電壓(V)となし此等測器の抵抗を R_i, R_e とす何れもオームの數價なり 而して電池より出る電流は R を通ずる i_1 と電壓計を通ずる i_2 の二つに別る

(1) Incandescent lamp; Glühlampe. (2) Armature; Anker.
 (3) Field coil; Feldspule. (4) Transformer coil; Transformerspulen.

第一圖の装置に於てはオームの法則に従ひ

$$R = \frac{E}{i_1} \quad i_2 = \frac{E}{R} \quad I = i_1 + i_2$$

なるが故に

$$R = \frac{E}{I - i_2} = \frac{E}{I - \frac{E}{R_0}}$$

なり 然るに電圧計の抵抗 R_0 は普通極めて大量にして 従て電流 i_2 は零、 i_1 は I 其のものにして 電圧計 E は抵抗 R の兩端に於ける電壓落差 RI を示し 電流計 I は全部電流 I を示し 其比は則ち

$$\frac{E}{I} = \frac{RI}{I} = R \dots \dots \dots (1)$$

にして 即ち測定せんとする抵抗なり 即ち前の式に於て R_0 を無限大にしたると同様なり

第二圖の装置に於ては

$$I = i_1 = \frac{E}{R + R_0}$$

なるが故に

$$R = \frac{E}{I} - R_0 \dots \dots \dots (2)$$

より R を算出し 電圧計電流計の読みを以て比を作り之より電流計の抵抗を減じたるものなり

第一圖第二圖に於て W は何れも調整用前置抵抗⁽⁵⁾にして 之を調整する時は i_1 と i_2 を變じ従て又 E をも變するが故に 抵抗 R を通過する電流 i_1 の各數價に對する R のオーム數價を知るを得べし

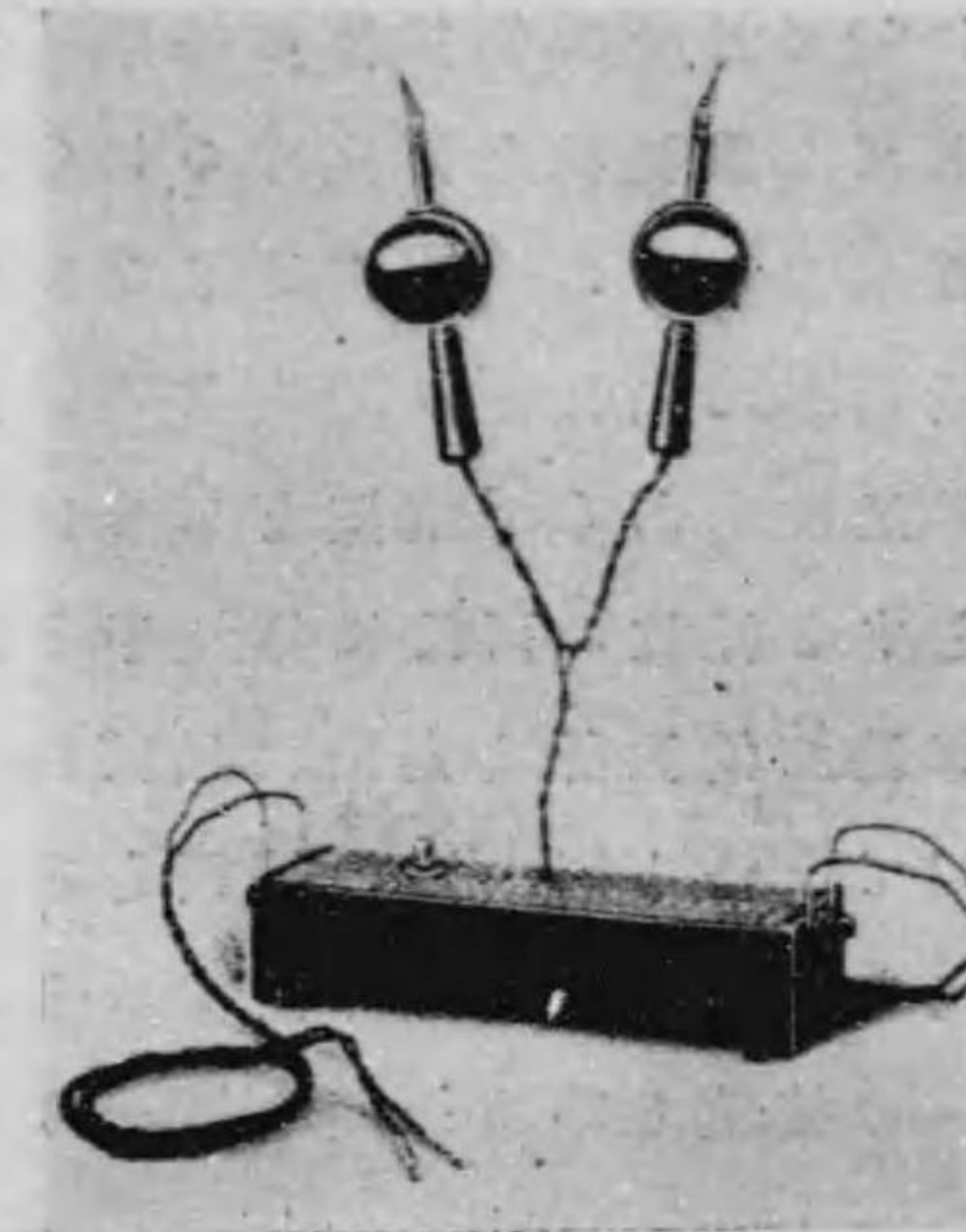
a. 上述する處の原理に従ひ 輕便に製作せられたる携帯用抵抗測定器あり 發電機の整流子片間各線輪の抵抗を測定し

或は又金属材料の抵抗検査 配電盤上の各個接觸銅片間又は

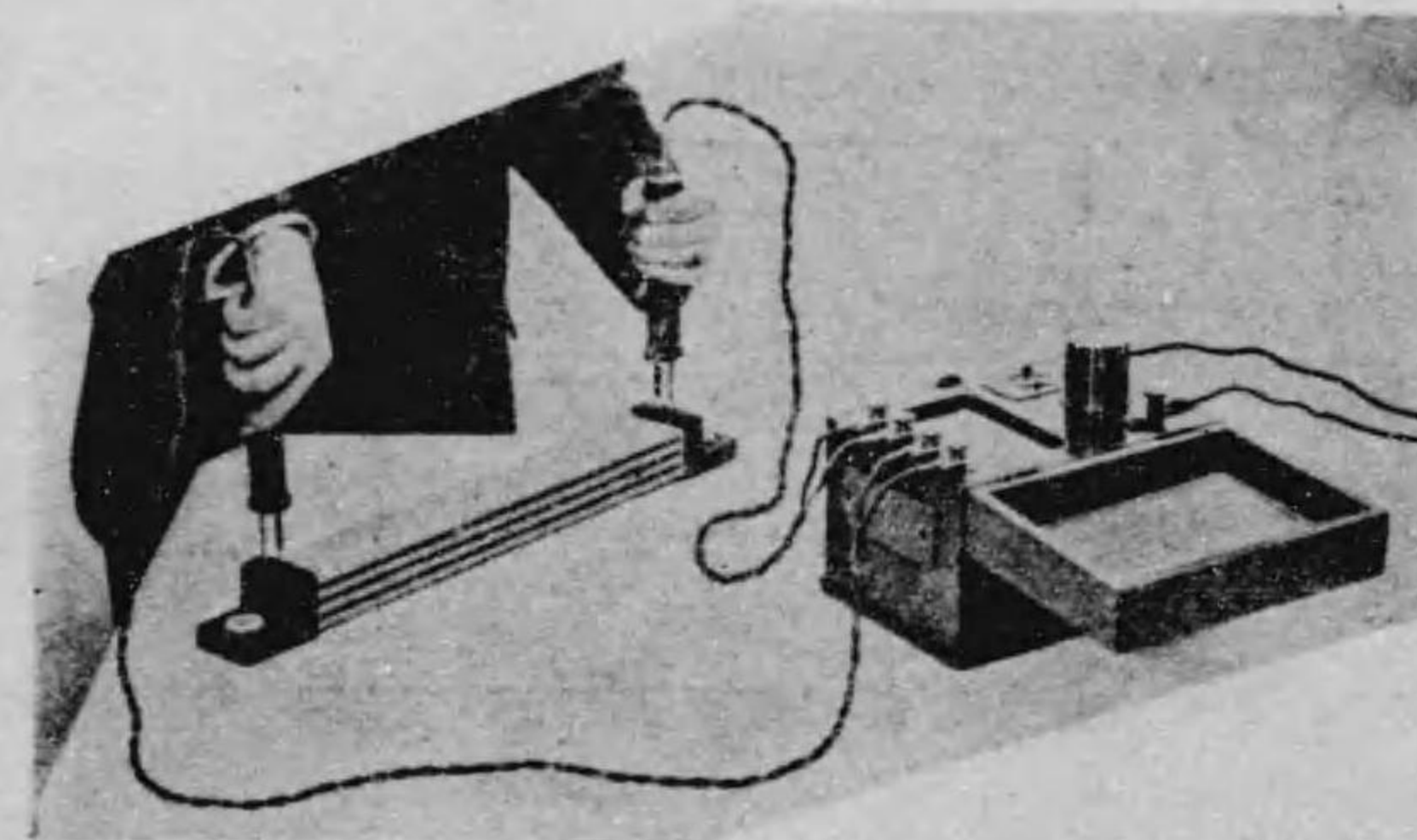
(5) Series resistance; Vorschaltwiderstand. (6) Commutator segment; Kollektorzahn.
(7) Switch board; Schalttafel.

接續端極間の抵抗検査 電線の接續個所⁽⁸⁾の検査 密閉したる可熔線⁽⁹⁾の状態 軌條ボンド⁽¹⁰⁾の抵抗 界磁線輪⁽¹¹⁾ 界磁調整器⁽¹²⁾ 起動器⁽¹³⁾ 制動機⁽¹⁴⁾等の抵抗検査 従て又此等に於ける不良個所の

第三圖



第四圖



(8) Soldered joint; Lotstelle. (9) Fuses; Sicherungen. (10) Rail bond; Schienstoss.
(11) Field coil; Feldspule. (12) Field regulator; Feldregler. (13) Starter; Anlasser.
(14) Controller; Kontrolller.

レジスタンス

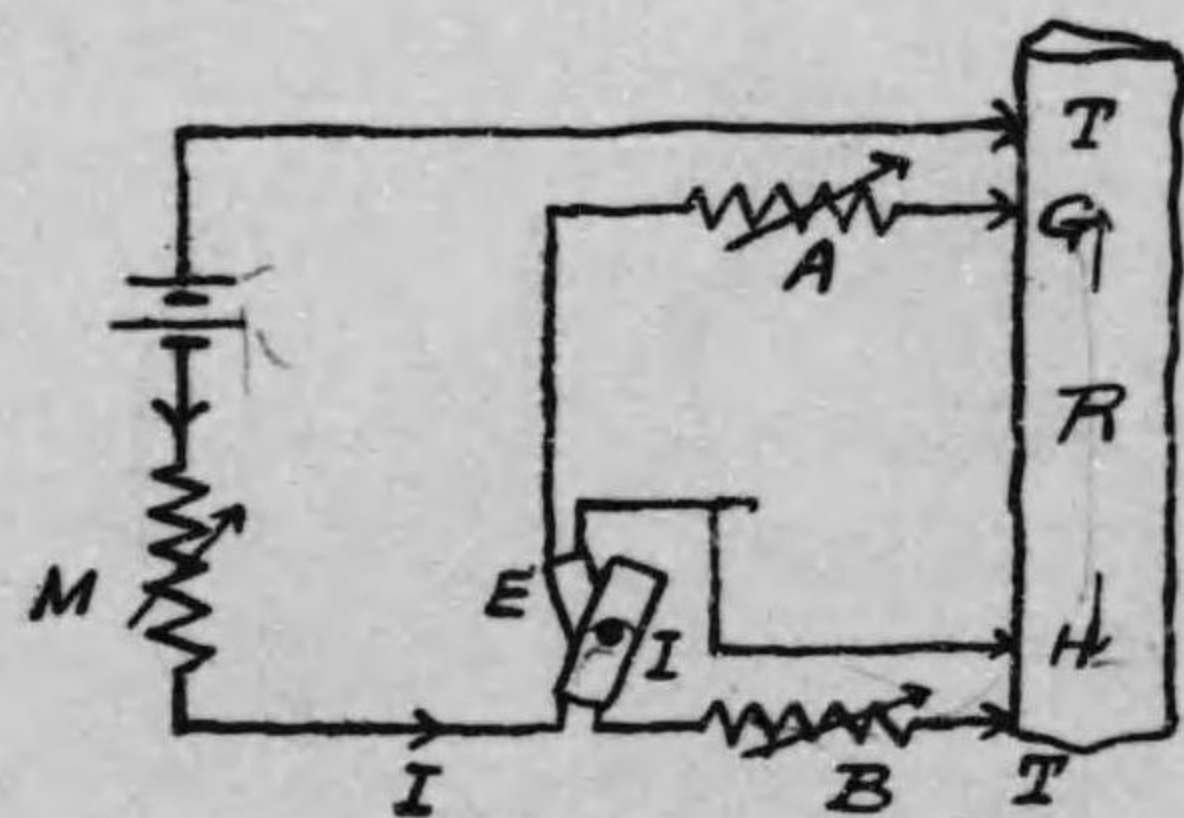
発見⁽¹⁵⁾及び發電子界磁線輪等の上昇温等を簡易輕便に測定せしむるものにして 第三圖はシーメンス・ハルスケの携帶用發電子抵抗測定器⁽¹⁶⁾と名付るもの 第四圖はエバーシエツドのメクチャー⁽¹⁷⁾と名付るものなり

第三圖の測器に於ては 二個尖狀の接觸手⁽¹⁸⁾は何れも二重接觸を爲すものにして 諸抵抗を測定するに當り 夫れ等の接觸抵抗即ち通過抵抗⁽¹⁹⁾なるものは測定結果を亂すことなく 此外に各接觸手に附屬して夫れ々々精密なる電流計と電壓あり 外部には連續調整抵抗器⁽²⁰⁾あり 電源としては三個の蓄電池を用ひ 測定せんとする抵抗の兩端に接觸手を當る時は 此抵抗と蓄電池抵抗器及び電流計は直列に結ばれ 電壓計は此抵抗と並列するを以て 恰も第一圖の接續となり 電流計と電壓計の讀みより直ちに抵抗數價を算出するものとす

第四圖メクチャーの接續も亦第一圖と同一なれ共調整すべき

第五圖

メクチャー



(15) Rise of temperature; Temperaturerhöhung.
 (16) Siemens Halske, Transportable Einrichtung zum Messen von Ankerwiderständen.
 (17) Evershed's Ducter (18) Hand Spike; Kontaktfinger.
 (19) Contact resistance, Intermediata resistance; Übergangswiderstand.
 (20) Sliding resistance; Schiebewiderstand.

抵抗を備へて特種の製作を有するを以て 別に之を第五圖に掲ぐれば 導體の一部分 G, H 二點間の抵抗を以て R となし之を測定せんとするに G, H 二點に接觸針を付し A なる抵抗を経て電壓計コイル E に結び 同時に G, H 二點の近傍に於て T, T 二點に同じく接觸針を付し 抵抗 M, B 電源及び電流計 I の線輪とを以て閉電路を作る 然る時は電流計は T, T 間從て又 G, H 間に流るゝ電流 I を測り 電壓計は G, H 二點間の電壓落差 $R I$ を測り 此等の比は $R I / I = R$ を測らしむるものなり 測器の製作に於て種々の特別なる點あれば其の主要なるものを掲ぐるに 電壓計の線輪と電流計の線輪とは一定の角度を以て同一の軸に共に固定せられて磁極の間に存し 此等の線輪に於て銘々に電流 I に比例し電壓落差 $R I$ に比例する電流通ずる時は 磁極より反對の力を受けて反對に回轉せんとし 而して此等が合體として止まる所の示針の位置は 此等の線輪に通ずる二電流の比即ち抵抗 R に比例するものたらしむ 示針の目盛は $\mu\Theta$ にて直讀するものにして 測器は此の如き小抵抗を測定するものなれ共 其の電路に存せしむる三抵抗 A, B, M を以て倍數の抵抗をも測定せしめ 其の範圍は $10\mu\Theta$ より 5Θ に達し 測定精度は 5% なり 三個抵抗の中 A は電壓計に通ずる電流を加減せしめ B は電流計と直列し A の變化に對して適當なる分電路をなし A, B, M の三個抵抗は機械的連結を以て同時に變更調整せられ A, B の調整に依て電流計に流るゝ電流と電壓計に流るゝ電流とをして同一の強さたらしむるを主眼となし M は又此同一電流の抵抗數價を自由に變更する役をなし 以て測器の感度を調整し 測定の範圍を擴めて目盛の示す處に乗すべき倍數を定むるも

のとす 此倍數に應じて電源たる蓄電池の數を變ずべく $10 \mu\Theta$ より 0.5Θ 迄の測定には電池一個を用ひ 0.1Θ より 5Θ 迄の測定には其の四個を用ひ 故にメーターを使用する順序は次の如し 二重の接觸針を有する把子⁽²¹⁾を以て導體の二個所に當て A, B, M なる三抵抗を同時に調整して 測定範圍の倍數 $1, 10, 100, 1000$ を定め 示針の示す $\mu\Theta$ の數價に此倍數を乗じて以て抵抗のオーム數價と爲す

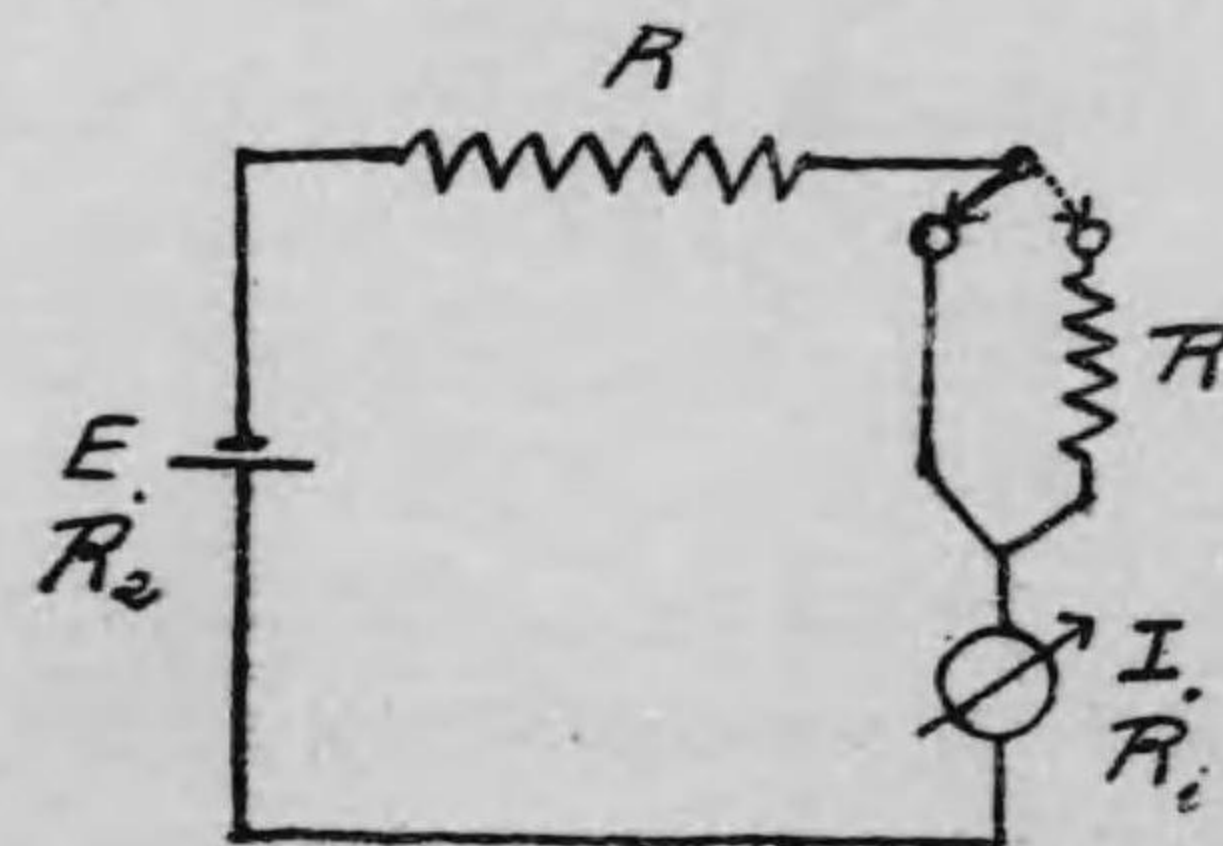
(21) Duplex hand spikes.

第十五章 直示オーム計

電氣業造修工場等に於て特別の教育を受けざる職工をして多數の抵抗測定を快速に行はしめ 然も相當の精度を以てオーム數價を測定せしむるには 直示オーム計⁽¹⁾を以て極めて適切なる測器となす 例へば白熱電燈線の抵抗検査の如き マイクロフォン・テレフォンの線輪抵抗の如き 多數の測定を行ふに當り甚だ便利にして 直示オーム計は此の如き場合の爲に有ゆる價宜を備へて製作せられ 然も測定の精度は1%に達して示針の目盛より直にオーム數價を読み得るものなり

第一圖

直示オーム計



第一圖は直示オーム計の原理を説明する爲の略圖にして R を以て測定する抵抗となし E を電源たる蓄電池の電壓と

(1) Direct reading Ohmmeter; direktzeigenden Ohmmeter.

し R_0 を其の内部抵抗とす I は鋭敏なる動縮電流計⁽²⁾にして I なる電流之に流れ其の抵抗を R_i とす R' はオーム計の測定範囲を二倍にする抵抗にして同一の目盛を以て之を行ふものとす 故に R' の數價は I なる電流計の示す小なる目盛の最大價を有するものなり 例へば同一の目盛を以て 0 より 500 \ominus 迄と 500 \ominus より 1000 \ominus 迄を測定するものとすれば $R'=500 \ominus$ となし R' を直列に入れて測定すれば R の測定範囲は 0 より 500 \ominus にして R' を除きて測定すれば R の測定範囲は 500 より 1000 \ominus 迄となるが如し

第一圖に示す電路に於て電流計に通ずる電流を I とし 電流計の定數を C とし其の偏斜を α とすれば

$$I = C\alpha$$

にして

$$\frac{E}{I} = \frac{E}{C\alpha} = R + R' + R_0 + R_i$$

即ち

$$R + R' = \frac{E}{C\alpha} - (R_0 + R_i) \dots \dots \dots (1)$$

なり

此式に於て $R_0 + R_i$ を除く爲には R と R' とを短絡して同一電源に依て電流計の偏斜を読み之を α_0 とすれば

$$0 = \frac{E}{C\alpha_0} - (R_0 + R_i) \dots \dots \dots (2)$$

なるが故に

$$R + R' = \frac{E}{C} \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\alpha_0} \right) \dots \dots \dots (3)$$

にして 此式に於て R' , α_0 及び $\frac{E}{C}$ は何れも定數なるを以て R は α と一定の關係を爲し 電流計の偏斜より直ちに R のオーム數價を知るを得べく 従て又電流計の目盛はオーム數を以て之を爲すことを得るものなり。

上述する處の(3)の關係に於て E を以て電源たる蓄電池の電

(2) moving coil galvanometer; Drehspulgalvanometer

壓とすれば 其の放電の程度に依て E は 2.1(V) より 1.8(V) の間に存し其の間 15% の差異なるべきを以て E/C なる分數をして電壓の變化に拘らず之を一個の定數たらしめんが爲に 電流計の磁極間に一個の并列磁石即ち磁氣分路⁽³⁾を設け 之を調整して C なる電流計の定數即ち感度を變じ E 大なれば C を同様に大にし E 小なれば C を同様に小にし 以て E/C なる分數をして常に同一の數價たらしむ 而して此分數が規定の定數となりしや否やを認むるには (2) の式を用ひて α_0 なる偏斜の位置を目盛の零點となし R と R' とを短絡せしめ磁氣分路を調整する時は示針は必ず目盛の零點に来るものたらしむ 然る時は(2)の式に於て α_0 も R, R_i も定數なるが故に E/C も規定の定數となりしものなり

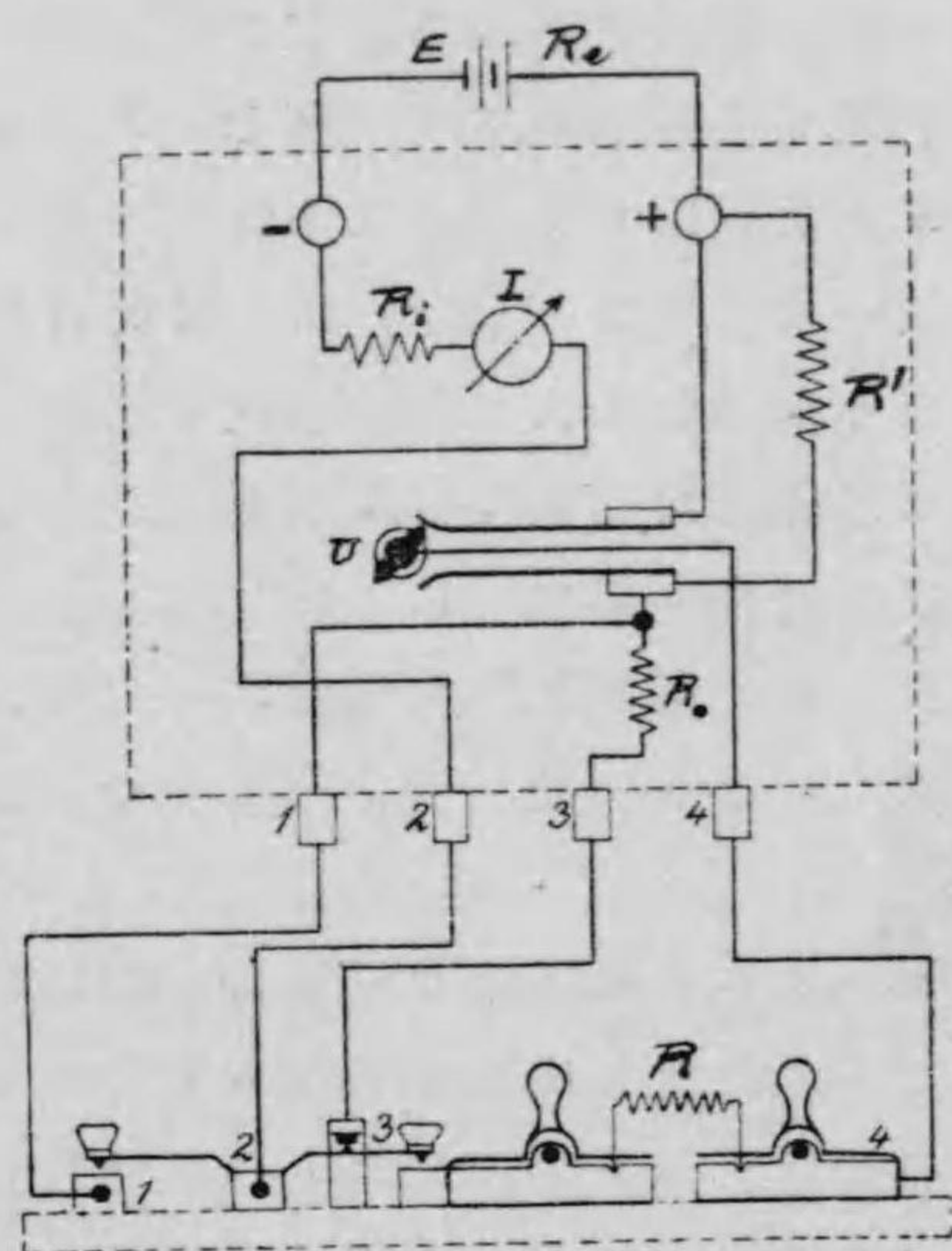
a. シーメンス・ハルスタの直示オーム計 第二圖第三圖はシーメンス・ハルスタ⁽⁴⁾の二重目盛の直示オーム計を示し測定精度 1% を以て各個測器に付き 0-250, 250-500 或は又 0-500, 500-1000 等の測定範囲を以て 10000 \ominus 迄の測定を行ひ得るものなり 第二圖の文字は第一圖に問ひたると同一なれば 接続も亦第一圖と同一なり 唯少しく異なる處は U なる轉換器を以て R' をして R と直列せしめ又は之を除くことを得せしめ 又 R_0 なる抵抗を設け 3 なる鈕を放ちて R を電路外に出す時は R_0 は直ちに其の位置を取りて電流計の電路に入り 電流計の針をして飛躍するを勿らしむる用意となす

測定を行ふ順序次の如し 電源たる蓄電池と電流計と端極

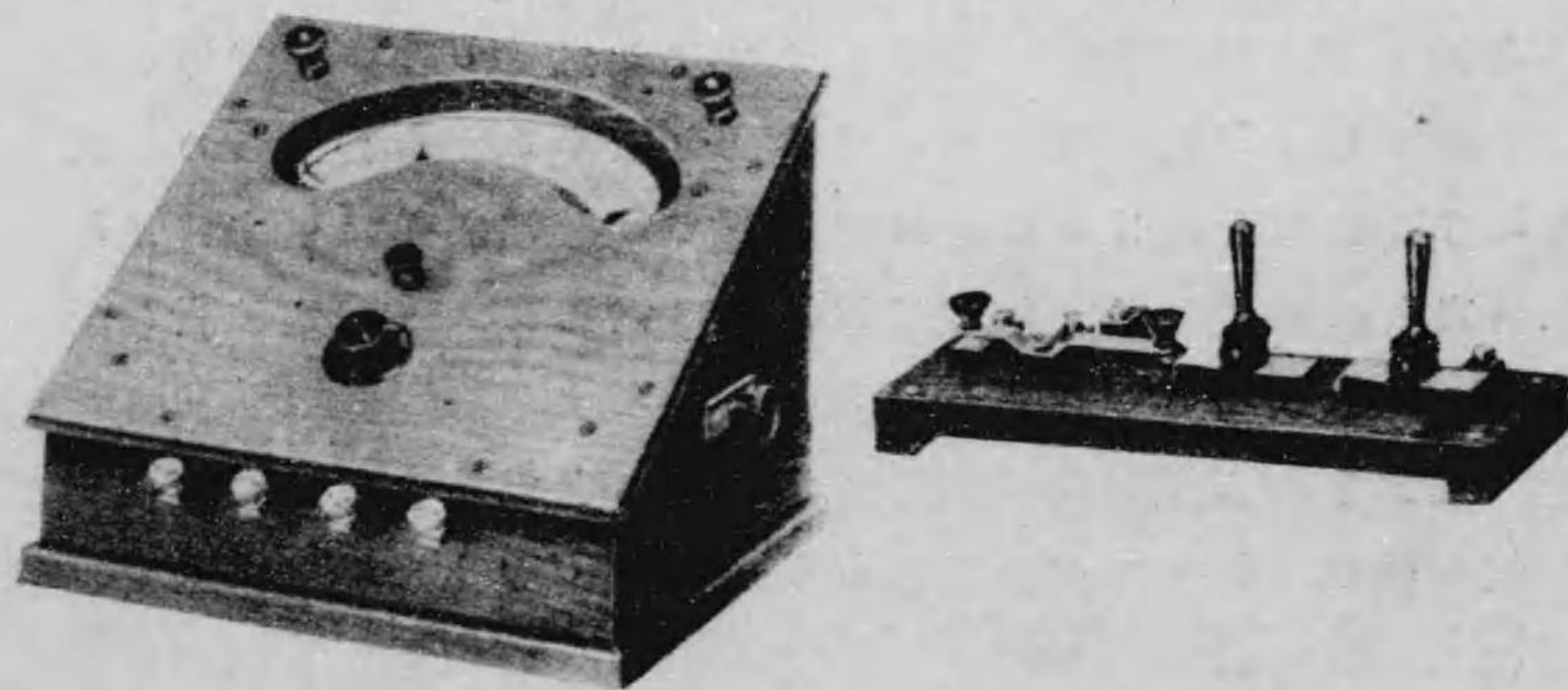
(3) magnetic shunt; magnetischer Nebenschluss. (4) Siemens Halske, 1911.
(5) Terminal board; Klemmbrett.

き 1の鈕を押す時は R_1 と R_2 は電流計の電路に入り 電流計は偏斜す 此時の示針の位置にして目盛の零點に來らざる時

第二圖



第三圖

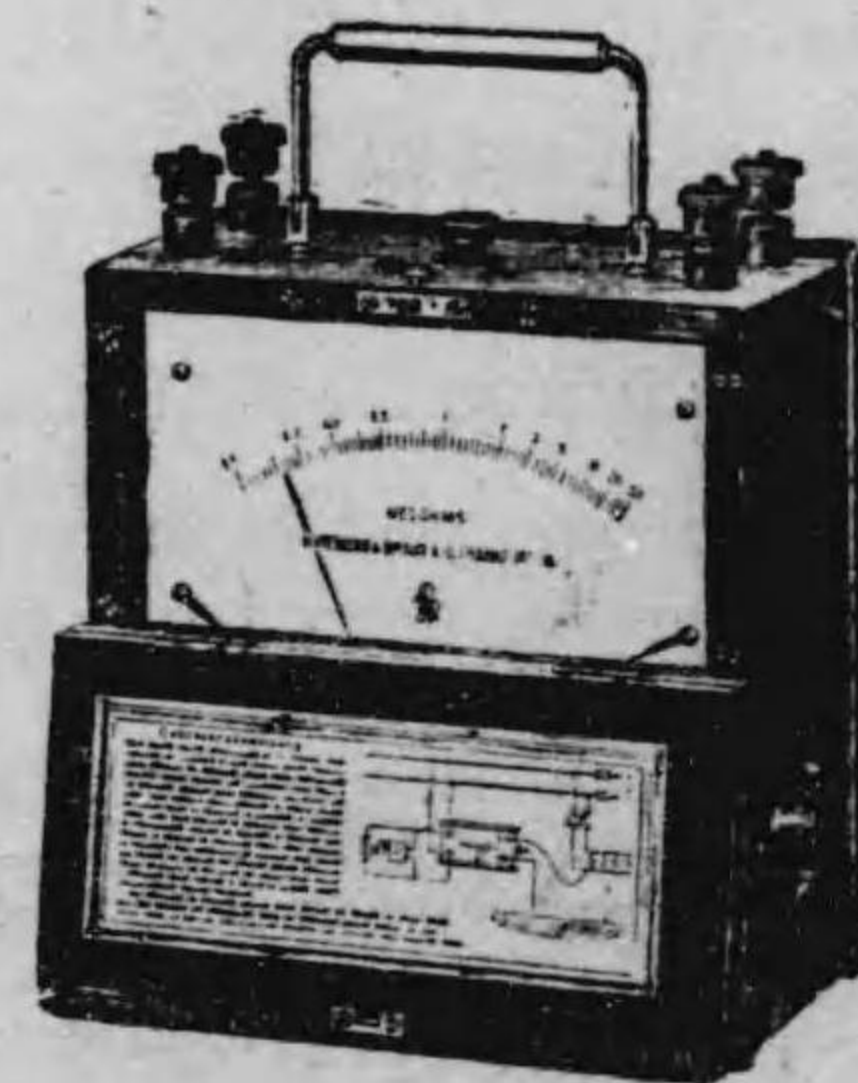
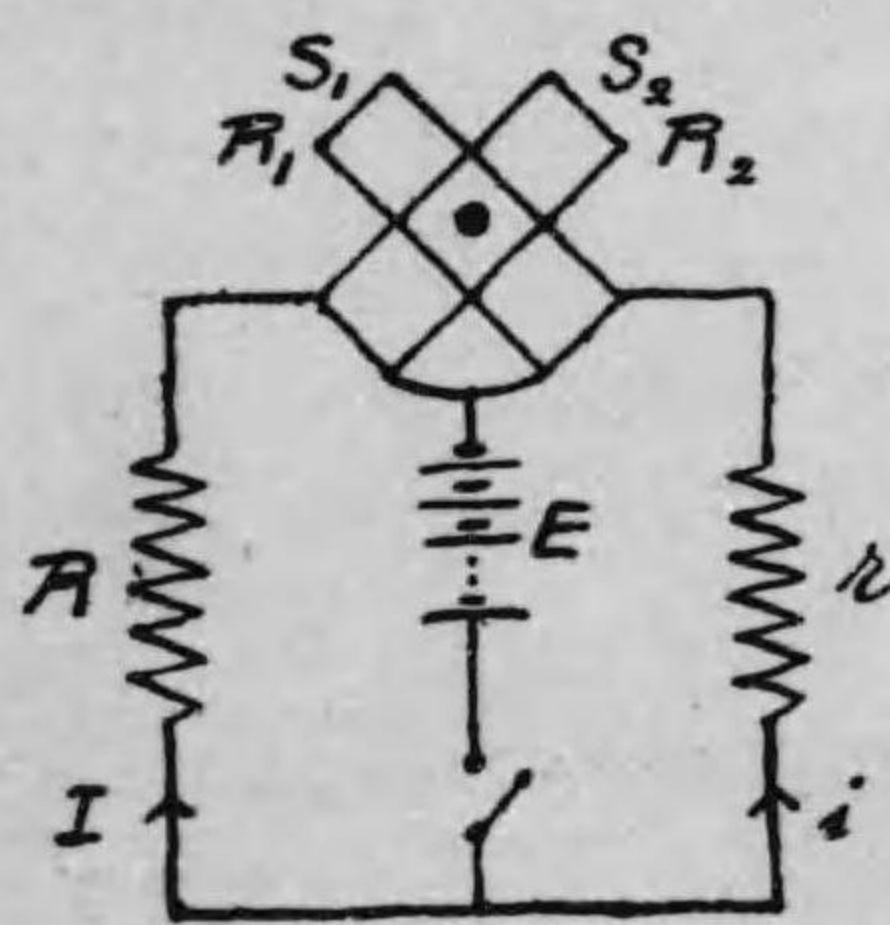


は 測器の右方に在る調整柄を以て磁氣分路を調整して示針を零點に來らしむ 次に3の鈕を押す時は電流計の示針の位置は直ちに R のオーム數價を知らしむ 此時に當り R の抵抗の如何に依りて U を上又は下に移し 夫れ次第にて目盛の上又は下の數字を読む 然れ共 R の數價全然不明なる時は U を先づ下に轉じて測定を試み 電流計の示針をして激しく偏斜せざらしむるものとす 此測定に於て電源より流出する電流は最大にして0,07(A)乃至0,014(A)なるが故に 二個の蓄電池を直列に用ひ多數のオーム計を之に附して 多人數同時に測定を行ふことを得べし

b. ハルトマン・ブラウンの直示オーム計 第四圖第五圖はハルトマン・ブラウン⁽⁶⁾の直示オーム計を示し 其の測定範圍は各器に於て異なれ共 同一の目盛を以て0-100 Ω 迄と0-1/1000 Ω 迄を測定するを得べく 直流専門の測器にして交流に對して

第四圖

第五圖



(6) Hartmann and Braun, 1912.

は不感なるを以て 交流弱電路に在ては電路に交流を通じ居る際に於ても 別に直流を通して其の電路内の抵抗測定を行ふことを得べく 高壓の場合には配電盤に取付たる直示オーム計を用ゆ 第四圖は此測器の原理を示し 二個の動縮は交叉して連結し 同一の軸を以て何等の反對力を受ることなく磁極の間に存し 此等二個線輪 S_1, S_2 は并列に結ばれて各 R_1, R_2 なる抵抗を有し 測定すべき抵抗 R と比較用の固定抵抗 r と電源 E とは圖の如く二個の線輪に接続す 従て二個の線輪に通ずる電流は

$$I = \frac{E}{R + R_2} \quad i = \frac{E}{r + R_1} \dots \dots \dots (1)$$

なり 而して此等二個の線輪が磁野より受る回轉能率は互に反對して 各線輪に於ける電流と磁野の強さに依りて定まり 二個線輪の共に静止するは回轉能率の互に等しき場合なり 故に其の位置は I と i の比に依りて一定し 従て電源の電圧には關係なく r, R_1, R_2 は何れも定數なるを以て 示針の位置は直ちに R のオーム數を表はすものなり 此測器に於て二個線輪の内部には軟鐵心⁽⁸⁾あり 又磁極の形狀に基きて磁力線の分配一樣なるを以て 目盛の數字は殆んど等距離を以て記入せられ 測定範圍は目盛の數字の一倍より 100 倍に達し 線輪 S_2 に并列抵抗を付して $1/10$ 倍乃至 $1/1000$ 倍の小抵抗をも測定し得るものとす

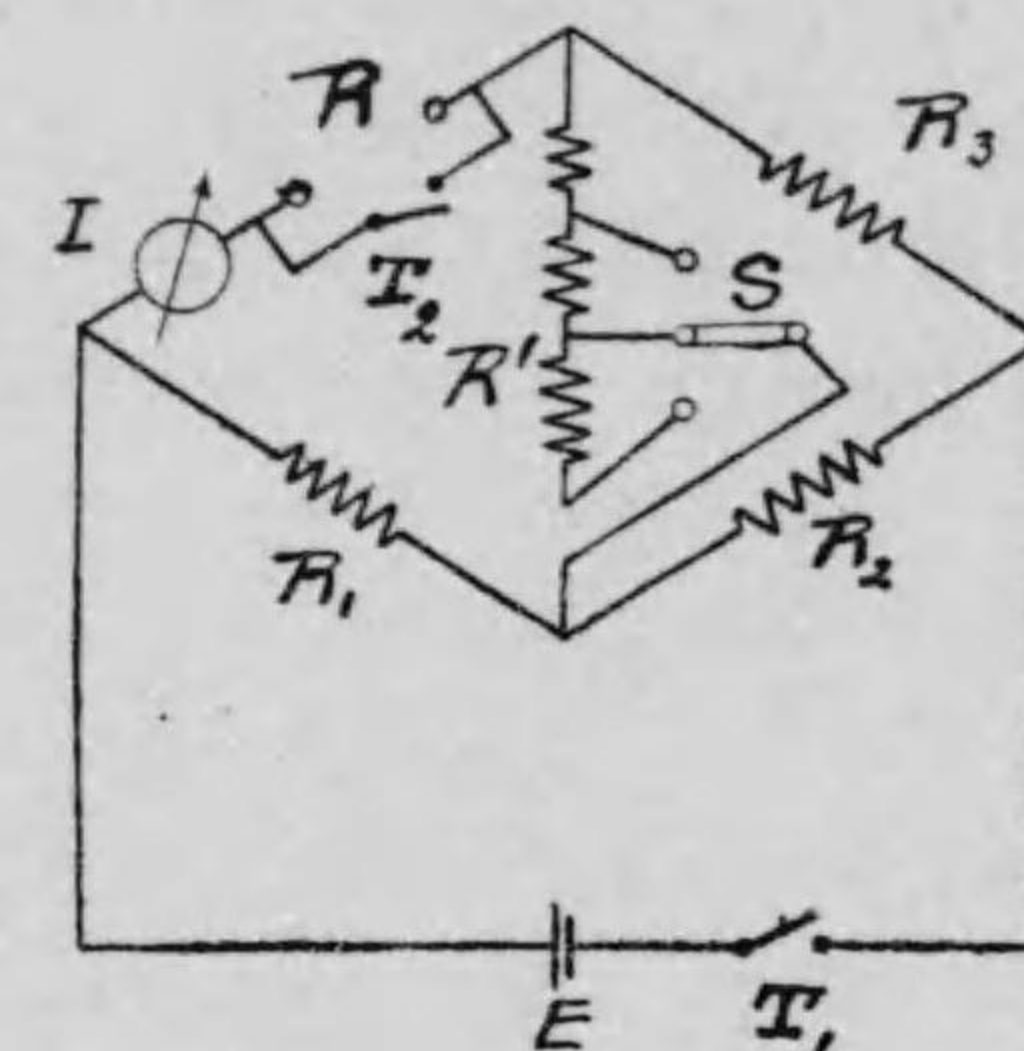
C. シーメンス・ハルスケの數重直示オーム計

シーメンス・ハルスケの數重直示オーム計⁽⁹⁾は 釣合はざるホイートストーン電橋の原理に基きて製作せられ 其の電路は

(7) Torsional moment; Drehmoment. (8) soft iron core; Weicheisenkern.
 (9) Siemens Halske Vielfachohmmeter, 1912.

第六圖に示す如く 測定すべき抵抗は R の位置に之を結び R_1, R_2, R_3 なる三個固定の抵抗と 轉換器 S に依て其の數價を

第 六 圖



三様に變すべき抵抗 R に依り 電源 E より電流 I を電流計に通じ 其の偏斜を以て直ちに R の數價を読み S の位置次第にて其の目盛の數に 1 又は 10 又は 100 を乗じて以て R のオーム數となす 而して測定の精度は $1/2\%$ に達し 測定範圍は $0-10\Omega, 0-100\Omega, 1-1000\Omega$ の三様に於て 各様の目盛に於て 一目の抵抗數價は銘々に $0.2\Omega, 2\Omega$ 及び 20Ω なり

測定の順序は次の如し R を其の位置に結び 電源として六個の乾電池を用ひ 先づ T_1, T_2 の電鍵を押し電流計の示針をして零位に來らしむ 若し又零位に來らざれば電流計に附屬する磁氣分路を調整して零位に來らしめ 次に T_1 のみを押し示針の位置を読み S の位置次第にて之に 1 又は 10 又は 100 を乗じて R のオーム數價となす 六個の乾電池を以てすれば各測定に 30 秒を費すものとして約 10000 度の抵抗測定を

行ふべく 磁氣分路を調整するも示針が零位に來らざる時は
乾電池の不良となりたるを證するものなり 但し乾電池の電
壓落下は緩漫なるを以て 示針をして零位に來らしむる調整
は毎回測定の初に於て之を行ふのみにて可なり

第十六章 大抵抗の測定

大抵抗の測定に於ては 測定装置の一部分に絶縁の弱き處
あれば 電流は大抵抗を避けて弱き絶縁の處を通過せんとす
るが故に 其の装置の全體に於て又特別に地物に對する絶縁
に注意するを要す 故に轉換器電鍵其の他の器具物品は凡て
其の濕氣を去り 臘板又はエポナイト板又は雲母板の上に載
せて 漏電より生ずる誤差なかるべきを要す

a. 直接法 大抵抗を直接に測定するとは 電流と電壓とを
精密なる電流計と電壓計又はポテンシオメートル⁽¹⁾にて測定し
オームの法則を直接に應用して夫れ等の比を以て抵抗となす
ものなり 而して測定せんとするもの既に大量なれば 接觸
抵抗及び接續線の抵抗は敢て問わざるも可なり 第一圖に於
て R を以て測定すべき大抵抗とし其の兩端を電壓計又はポテ
ンシオメートルに結びて其の間の電壓落差 $V=IR$ を測定し
 R と直列に精密なる電流計 G を置き其の抵抗を G とす 而
して電流計は精密なるが故に大電流を通ずるを得ざるに依り
之に并列分抵抗を付し其の全抵抗を以て r となし 電流の分
る處の一部分の抵抗を s となし 電源としては 100(V) 乃至
200(V) の蓄電池を使用す 従て電流計の測定する電流を i と
すれば全部電流 I は

(1) Potentiometer ; Kompensationsapparat.

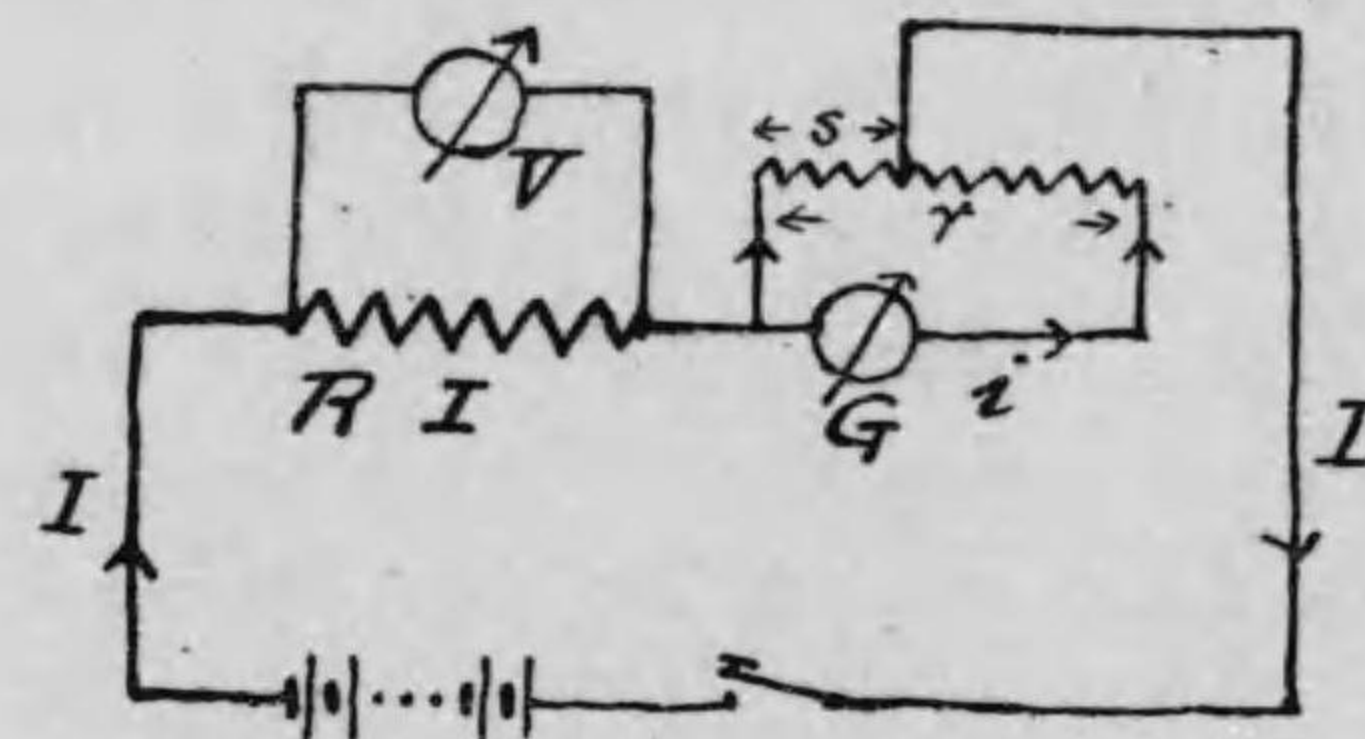
$$I = \frac{G+r}{s} \cdot i$$

にして 電圧計の示す處の電圧 V 即ち電壓落差 RI との比は

$$R = \frac{V}{I} = \frac{V}{i} \cdot \frac{s}{G+r} \dots \dots \dots (1)$$

なるを以て 此式に依て抵抗 R を算出するを得べし

第一圖



若し又 R に置換ゆるに約同一數價の標準抵抗 R' を以てして 同一の測定を行ふ時は

$$R' = \frac{V'}{I'} = \frac{V'}{i'} \cdot \frac{s'}{G+r'}$$

なるが故に 此等二式を用ひ R' なる既知の抵抗に比較して R を定むることを得べし 即ち

$$\left. \begin{aligned} R &= R' \cdot \frac{V}{V'} \cdot \frac{s}{s'} \cdot \frac{i'}{i} \dots \dots \dots \\ &= R' \cdot \frac{\beta}{\beta'} \cdot \frac{s/r}{s'/r'} \cdot \frac{\alpha'}{\alpha} \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} (2)$$

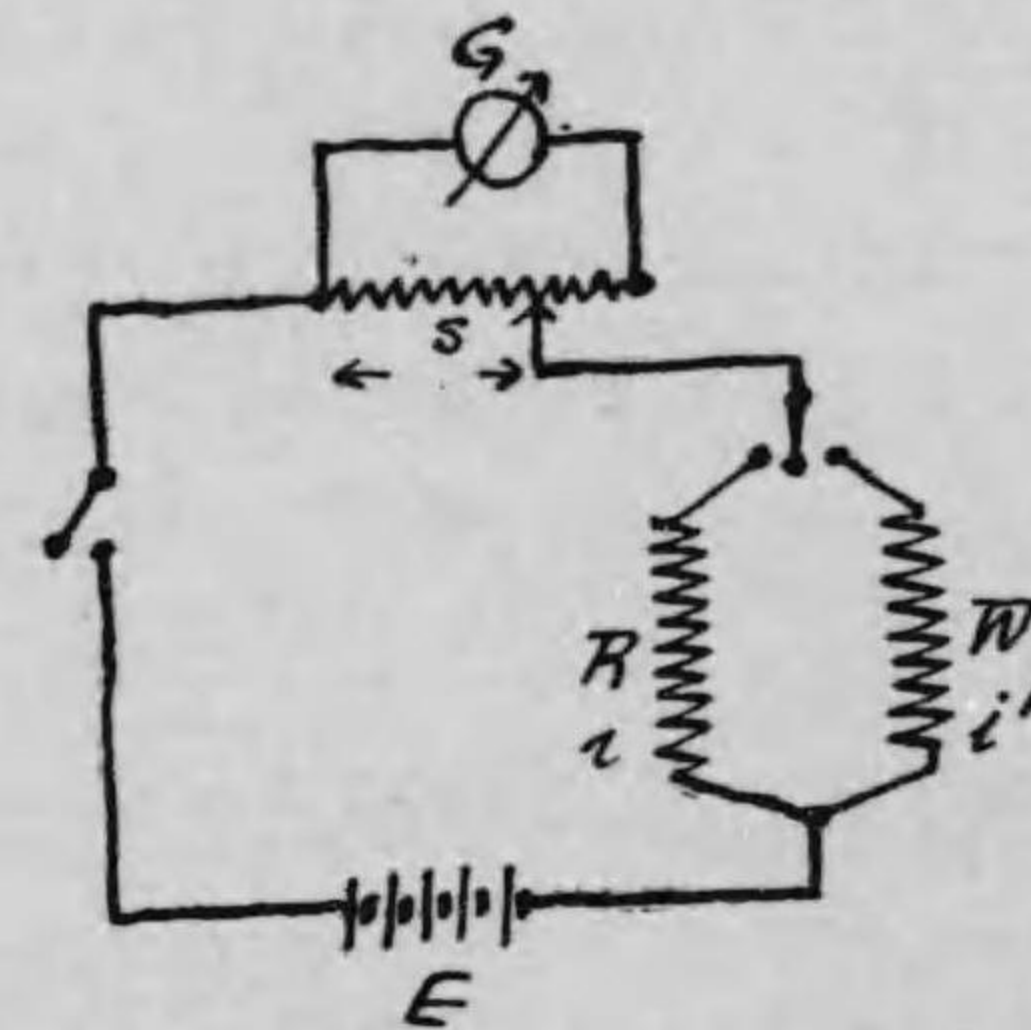
にして β, β' は毎次の電圧計の偏斜 s/r と s'/r' は毎次の分抵抗比 α, α' は毎次の電流計偏斜なり

上述の式に於ては電圧計電流計の偏斜を以て何れも電壓及び電流に正比例するものと假定するが故に 偏斜は此關係を有する程度に止むべきものとす

(2) Shunt ratio; Nebenschlussverhältnis.

b. 置換法 置換法⁽³⁾とは測定すべき抵抗と既知の抵抗とを入れ換へて一々電流計の偏斜を觀測し 偏斜の比と既知の抵抗より測定數價を定むるものを云ふ 但し此置換の間電源の電壓は變らざるものと假定するを以て 電池には成るべく其の電壓の變らざる蓄電池を用ひ 電路に通ずる電流は成るべく弱くして電壓の落下を防ぎ 測定は手早く之を行ふものとす 第二圖に於て R を以て測定せんとする大抵抗とし W を以

第二圖



て其の數價約同一なる標準抵抗とし G を以て電流計とし之に分抵抗 s を付し 電流計の偏斜は電流と正比例する程度に在らしむ 測定電路に R を入れたる時の電流を i とし 分抵抗を s とし偏斜を α とし W を入れたる時の夫れ等を i', s', α' とすれば

$$\begin{aligned} E &= iR = i'W \\ i \propto s\alpha & \quad i' \propto s'\alpha' \end{aligned}$$

(3) Method of Substitution; Vertauschungsmethod.

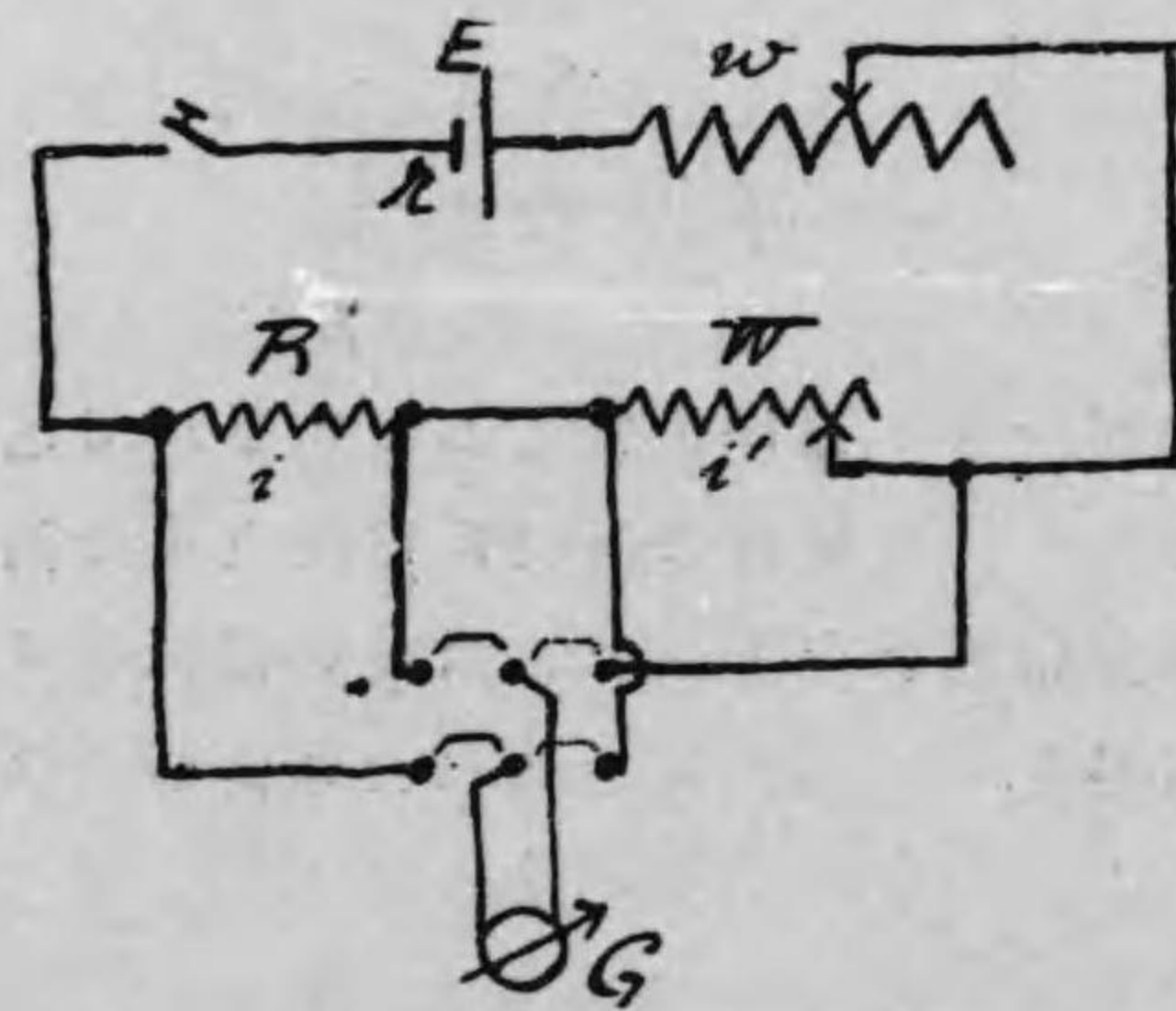
なるが故に

$$\frac{R}{W} = \frac{i'}{i} = \frac{r'x'}{rx} = \frac{r'r'x'}{r'r'x}$$

より R を算出するを得べし。若し又電流計に轉換器を付して反對に電流を通じて偏斜を右及び左にし、電池に轉換器⁽⁴⁾を付して同じく偏斜を右又は左にし、此等の測定を平均すれば測定の結果は一層精密なるべし。

C. 并列装置 第三圖の如く測定すべき抵抗 R と既知の調整抵抗 W とを直列に結び、之を電流調整用の抵抗器 w と共に電池と直列に結び、 R と W とは二極轉換器を以て且電流が同一の方向を以て電壓計に入るべき様、一々此等を電壓計と并列に接合せしむ。然る時は電壓計の偏斜は iR 又は $i'W$ なる電壓落差を測定するものにして、電流 i, i' の等しき時は、偏斜

第三圖



の比は R と W の比に同じきものなり、 R と W とか一々 G と并

(4) Pole changer; Polwechslor.

列する場合に於て全電路の電流を計算するに

$$R, G \text{ 并列 } E = i(r+w+W + \frac{RG}{R+G})$$

$$W, G \text{ 并列 } E = i'(r+w+W + \frac{WG}{W+G})$$

なるがに故、 W を調整して R と同一ならしめば $i=i'$ にして電流計の偏斜は同じきものなり。故に轉換器を左右に倒し、電流計の偏斜をして何れも同一なるべき様 W を調整する時は、其の時の W は R の數價なり。但し W を調整する毎に全電路の電流及び電流計に通ずる電流は變ずるを以て、 R の兩端間の電壓落差も亦變ずるが故に、 W を調整する毎に R, G 并列の場合の偏斜を觀測し、 W, G 并列の場合の偏斜と同一なるを確めざるべからず。

第十七章 接觸抵抗線の檢定

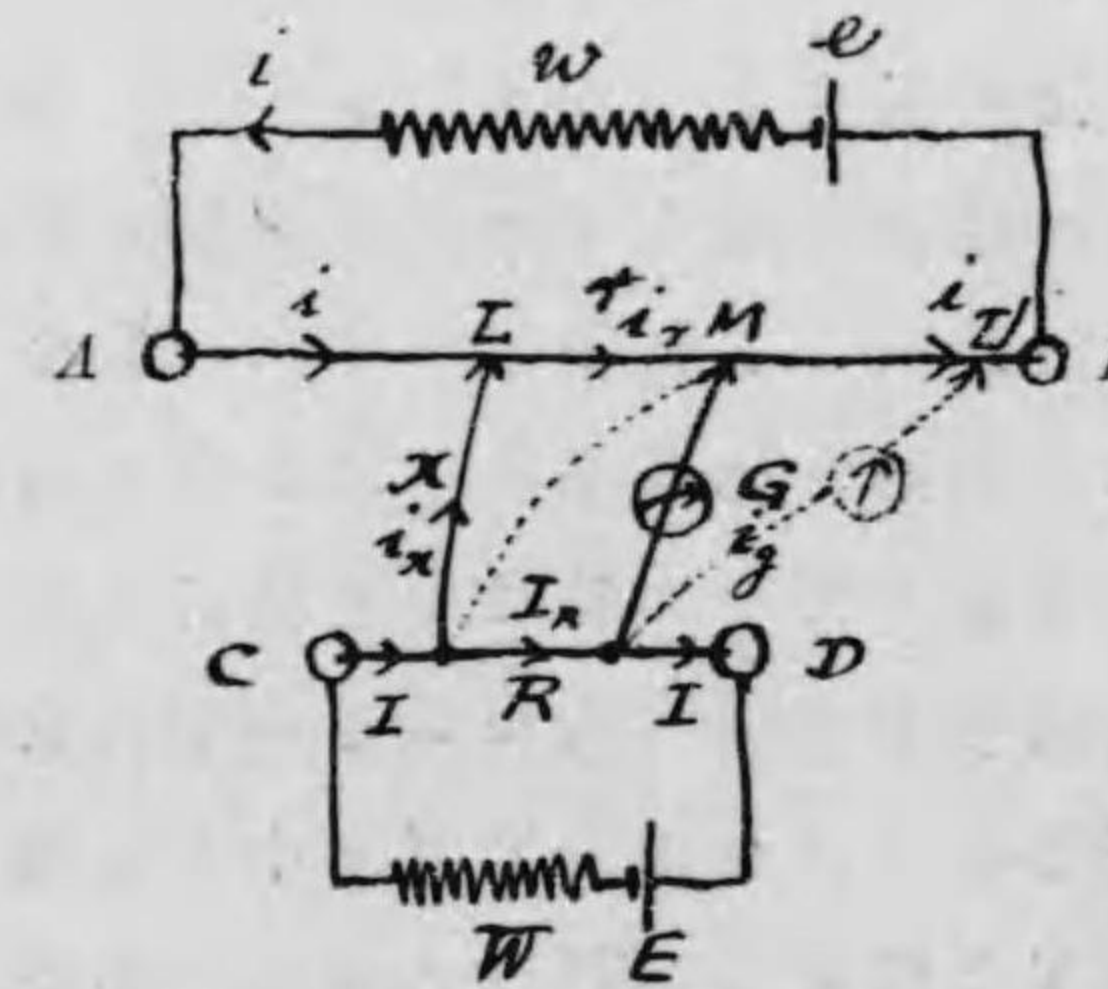
緊張したる抵抗線に接觸點を移動せしめ 線の長さを以て抵抗を表はさしむる爲には 本來に於て接觸抵抗線は何處に於ても同一の切斷面積と同一の比抵抗を有し 同一の長さは必ず同一の抵抗を有すべきものなれ共 如此きは實際に於て正確に求むべからざるを以て 多數の候補線に於て檢定を行ひ 前述の條件に最も近きものを撰みて之を接觸抵抗線と爲す 而して檢定の結果は同一の抵抗を有する長さを次ぎ次ぎに測定し 線に平行する尺度上に之を寫し 之を再三細分して他の抵抗測定の用に供するものとす

接觸抵抗線の檢定には數種の方法あれ共 之に使用する電池は檢定中其の電壓に於て變化なきを要す 此條件に合せんが爲にはダニエル電池の如く電壓の成るべく不變なるを撰み電池の電路には大抵抗を入れ成るべく弱き電流を用ひて電池の負荷を軽くするものとす 而して此檢定に使用する電流計は 電流其のものを測定するに非ずして iR なる小量電壓落差を測定するものなれば 大抵抗を有する電流計を使用するを可とす 檢定したる接觸抵抗線を臺上に組立て、他の抵抗測定の用に供せんとする時は 兩端及び移動接觸個所の抵抗は之を測定して 接觸抵抗線の長さ若干に等しきものとして之を此測器の固有定數と爲し置くを便利とす

(1) Slide wire; Schleifdraht.

a. ヘルムホルツの方法 第一圖 AB を以て檢定すべき接觸抵抗線となし 電池 e と抵抗 w を以て電路を作り CD を以て補助抵抗線となし 電池 E と抵抗 R を以て電路を作る CD 内に任意一定の小抵抗 R を取り 其の兩端より臘付したる二線を出し 其の一には電流計 G を置き 二線その他端を以て檢定すべき線の二點 LM に接觸せしめ 其の間の抵抗を r とす 測定の方法は AB に沿ふて此等二個の接觸點を移動せしめ 何れも同一の抵抗 r を有すべく AB 線を抵抗に依て等分に分割せんとするものなり 即ち LM, ML' 等に分割するものにして M は LL' 間の抵抗を正確に二等分する處の點なり 而して LM と ML' の抵抗同一なる時は 電流計は前後に於て其の偏斜を變ぜざるべきものなり 従て測定は偏斜の不變なることを以て目安となす

第一圖



第一圖に示す電流と抵抗の分配に付てキルヒホッフの法則を應用すれば

(2) v. Helmholtz.

$$I = I_a + i_x - I_c - i_y \quad i = i_r - i_s = i_r + i_y$$

$$i_x + i_r - i_y - I_c R = 0$$

$$iw + i_r r = 0$$

$$IW + I_c R = E$$

を得るが故に 此等の式より i_x, x, i, I_c なる未知量を排除すれば r の数値として

$$r = \frac{(I + i_y)R + (IW + iw) - (E + e)}{i_y - i} \dots\dots\dots(1)$$

を得 故に電池の電圧不変なれば i_y を以て表すべき電流計の偏斜一定する時は r は R に對して一定の關係を爲すものなり 而して電池の電圧を不変に保つ爲に w, W なる抵抗は大量ならしめたるが故に

$$IW = E \quad iw = e$$

は殆んど正しくして 従て

$$r = \frac{i_y + I}{i_y - i} R \dots\dots\dots(2)$$

となり i_y 一定すれば i, I も亦既に不変なるを以て r は R に對して一定の比を爲すものなり

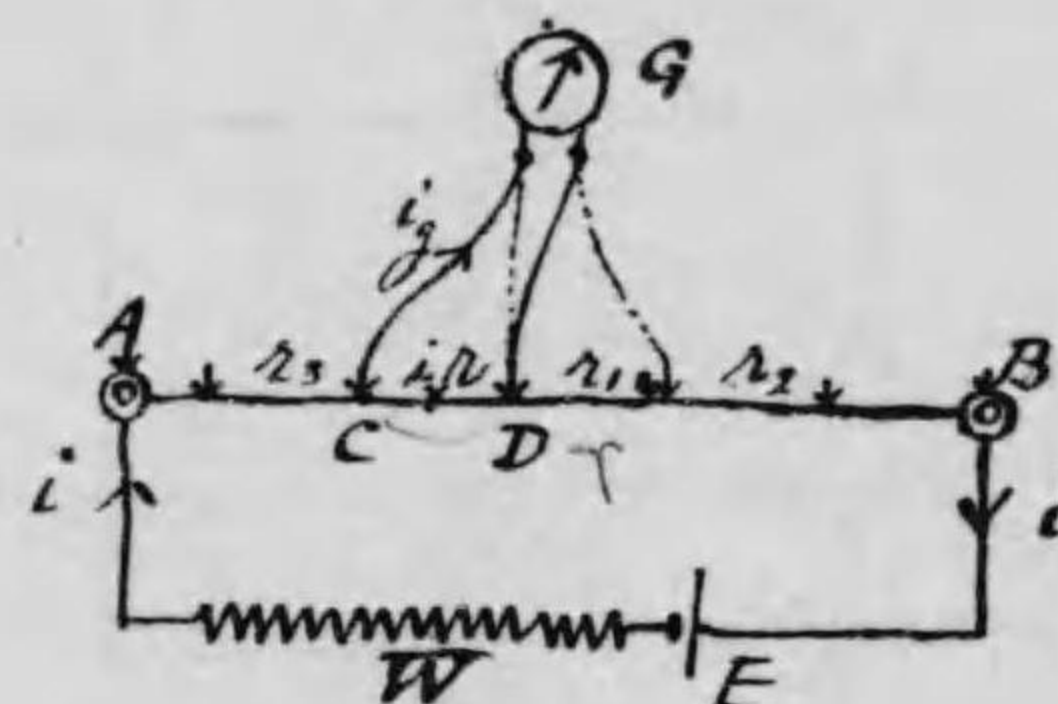
此方法を實地に行ふに當りては AB と CD の間の接續線中に電路轉換器を具へ 之に依て R は L, M なる二點間の抵抗と比較せられ 電路を轉換すれば M, D 二點間の抵抗とも比較せらるゝものとす 何れに於ても電流計の偏斜は何時も同一なるを期して測定を行ひ 次に R を一半又は $\frac{1}{10}, \frac{1}{5}$ 等となして同一の測定を行へば 任意點 M を中央を點として 左右に同一抵抗を有する様目盛されたる尺度を作ることを得べし

b. ブラウンの方法⁽³⁾ 固定したる距離 CD を有する二個の接

(3) Braun.

觸装置を作りて其途中に高抵抗の電流計を入れ 檢定すべき線 AB の上に其の接觸點を移動せしむること第二圖の如くすれば 電流計の偏斜は CD 二點間の電壓落差 i_r を表はし 電池の電路に大抵抗 W を入るゝ時は 電流 i は小にして電池の電圧は一層不変となり、電流計の抵抗も亦大なるを以て CD 間の電壓落差に於いて i は一定不変なるべく 従て電流計の偏斜は r に比例すべし、故に AB 線上に接觸装置を移動

第二圖



して一々電流計の偏斜を讀めば 同一距離の抵抗 r, r_1, r_2 等を定むるを得べし 又接觸抵抗線の兩端々極に接して餘分あらば 接觸装置を之に當がひて電流計の偏斜を讀み一端極と線との接觸抵抗をも合せて測定するを得べし AB なる接觸抵抗線の全部抵抗を R とすれば キルヒホッフの法則に従て

$$i = i_y + i_r \quad i(W + R) = E \quad i_r r - i_y G = 0$$

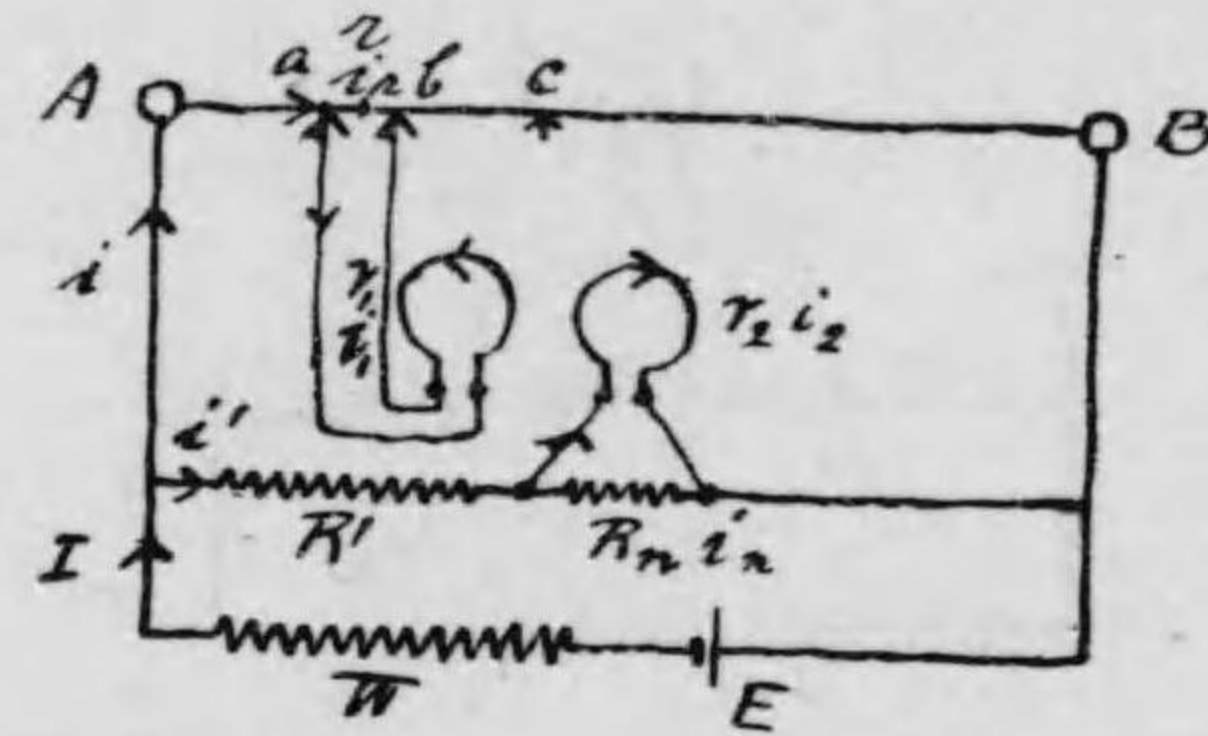
なるを以て

$$i_y r = \frac{Er}{(W + R)(G + r)} = \frac{E}{WG} r \dots\dots\dots(3)$$

即ち R は W に比して甚少なく r は G に比して甚小なるを以て 電流計の示す電流 i_y は接觸二點間の抵抗 r に比例するものなり

C. 示差電流計の方法 第三圖 AB を以て檢定する接觸抵抗線となし 之と并列して抵抗 R' と少量なる標準抵抗 R_n を結び 其の全體を電池 E と抵抗 W に結ぶ 而して R_n に并列して示差電流計の一個線輪を結び 接觸線上の二點 a, b と并列に他の一個線輪を結び 示差電流計の偏斜なきを以て測定の日安となす 即ち $i_1 = i_2$ なる條件を完たさしむるものとす 今 AB の全部抵抗を以て R となし ab 間の抵抗を r となし

第三圖



ab 間の電流を i_r とすれば

$$i_{r1} = i_r = i' r \quad i_{r2} = i_n R_n = i' R_n$$

なるを以て 偏斜零なる時は

$$\frac{i_1}{i_2} = 1 = \frac{i'}{i'} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{r}{R_n}$$

にして 従て

$$r = \frac{i'}{i} \cdot \frac{r_1}{r_2} R_n \dots \dots \dots (4)$$

なり 此式に於て i'/i は電流計以外の電路に於ける分電流の比 r_1/r_2 は示差電流計の二個線輪の抵抗比にして不變なれば 檢定する抵抗 r は標準抵抗 R_n と一定の比を保つものなり 故に W, R' 及び R_n は一度此等を定めたる以上は之を變ずることなく a, b なる接觸點を移して一々電流計の偏斜を零

ならしむべく 其の一個接觸點の位置を調整する時は AB をして R_n と一定の比を有する小抵抗の列に等分せしむるを得べし

第十八章

高周波に於ける抵抗の測定

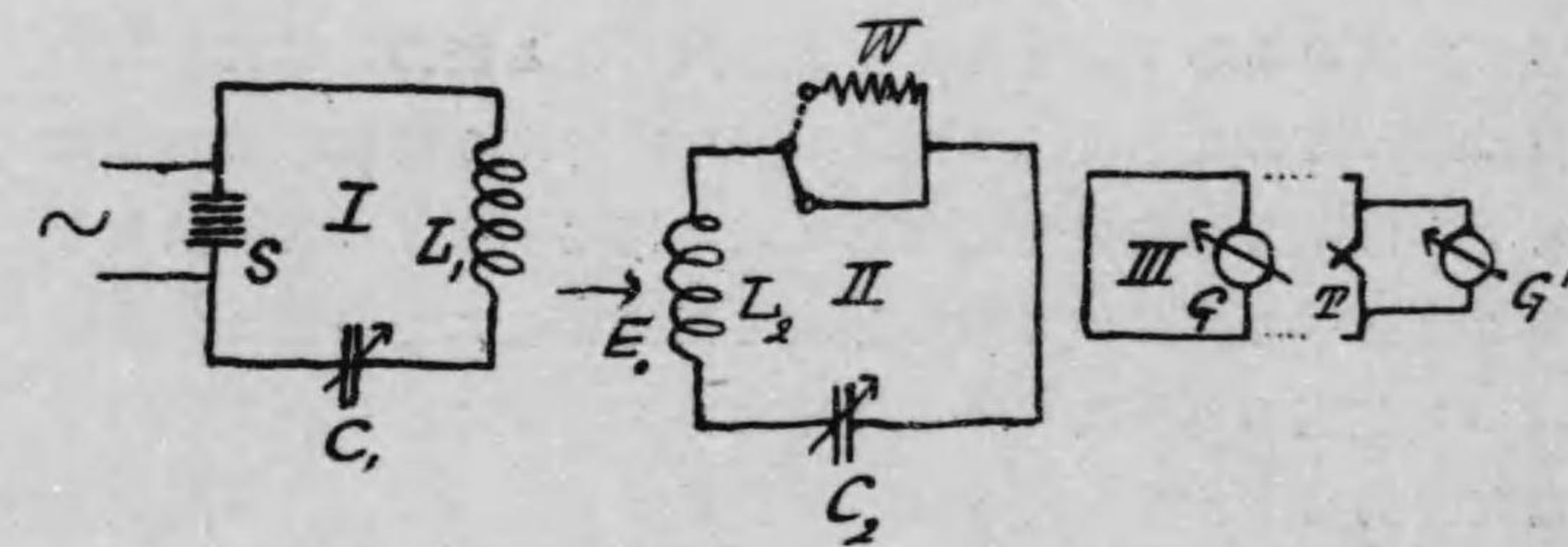
高周波に於ける抵抗は主として表皮作用に基き 電流は導線の表面のみに流れて内部には殆んど侵入せざるを以て 導線の有効切断面は大に減じ 周波高きに從て電流の通ずる表面層は益薄きものなり 故に高周波に對して導線の全部切断面を有効に使用せんとすれば 極て細くして一々絶縁せられたるものを多数に集め 然も其の各線が萬遍なく内部外部に存すべきか爲め 此等の細線を複式に燃り合すべきものとす 例へば直徑 0.12 耗の絶縁銅線を集め 又直徑 0.07 耗の同様の銅線を集め 何れも銅のみの切断面積を同一にして 高周波の電流を通ずる時は 直徑 0.12 耗の線は温まる時に於て 直徑 0.07 耗の線は全く冷なるを認むべし。

高周波に於て導線の抵抗を測定する爲には 第一圖に示す如く I なる發勵電路⁽¹⁾に高周波の電氣振動⁽²⁾を起し 其の周波數⁽³⁾は測波器にて之を測定し置き 之と相對して測定電路 II を置き 此電路には電力の吸收をなさざる空氣蓄電器⁽⁴⁾を備へ 其の外測定せんとする抵抗線⁽⁵⁾を以て測定中は絶對に一定不變の形狀を爲さしめて 之を蓄電器の兩端に結びて閉電路を作る 次に此測定電路と相對して電流計閉電路⁽⁶⁾を置き之にシャントなき熱線電流計⁽⁷⁾の精密なるものを備ふ 此熱線電流計が

(1) Exciting circuit; Erregerkreis. (2) Electric oscillations; elektrische Schwingungen.
 (3) Frequency; Frequenz. (4) Wave-meter; Wellenmesser.
 (5) Measuring circuit; Messkreis. (6) Air condenser; Luftkondensator.
 (7) Hot wire galvanometer; Hitzdrahtinstrument.

單に度數にて目盛せらるゝ時は 其の偏斜は之に生ずる電流の熱量即ち III の電路に生ずる電流の二乗に比例するものなり 或は又熱線電流計の代はりに 熱電素⁽⁸⁾を以てし之と并列に直流電流計を置くことあり 然る時は電流計の偏斜は熱電素の温を表はし 從て III の電路に生ずる電流の二乗に比例するものなり

第一圖



發勵電路 I は蓄電器容量 C_1 と自己誘導 L_1 と火花道 S より成り S と并列して誘導線輪⁽⁹⁾の二次線或は又交流電源⁽¹⁰⁾を結び S に火花を生ぜしむれば電路 I に電氣振動を起し 其の周波數は

$$P_1 = \frac{0.5003 \cdot 10^7}{\sqrt{L_1(\text{cm})C_1(\mu\text{F})}} \dots \dots \dots (1)$$

なり 尙ほ一層精密にせんとすれば S をして普通の長さ火花たらしめずして ヲキーン⁽¹¹⁾の速滅火花を用ゆべく 尙ほ精密にすれば周波數と強さに於て不同なきパウルセン⁽¹²⁾の電弧發勵器⁽¹³⁾を用ふべく 電路 I の周波數は C_1 又は L_1 を調整して適宜に之を定むべく 電路 II と I の同調は C_2 を調整して之を行ひ

(8) Thermoelectric couple; Thermoelement. (9) Capacity; Kapazität.
 (10) Self inductance; Selbstinduktivität. (11) spark gap; Funkenstrecke.
 (12) Induction coil; Induktorium.
 (13) M. Wien's quenched spark gap; Löschfunkenstrecke. (14) W. Poulsen's arc generator.

其の場合に於て

$$P_2 = \frac{0,5003 \cdot 10^7}{\sqrt{L_2(\text{cm})C_2(\mu\text{F})}} = P_1 \dots \dots \dots (2)$$

なり

a. 測定装置に反作用なき場合 三個の電路 I II III に於て I の電氣振動は II に傳はり II の電氣振動は III に傳はりて其結果を電流計に表はさしむるに依り II の電路に於て測定すべき抵抗のみ存する時と 特に附加したる既知の抵抗を其の中に入れたる時とに於て 一々 III に於ける電流の結果を測定すれば 其の結果を比較して以て測定すべき抵抗の數價を知るを得べし 此かる順序を以て測定を行ふものなるが故に I の電氣振動は直接に III に傳はることなく II に生じたる電氣振動は I に反作用を及ぼすことなく III に生じたる電氣振動も亦 II に對して反作用を及ぼすことなきものとす 此條件を充たすが爲には I II III の電路をして充分遠く互に離れしめば可なりと雖も 別に此かる反作用なきを確むるを可とす 即ち先づ II の電路を除きて I を發勵するに III は其の位置に於て何等の偏斜をも電流計に示さざるを要す 次に II の I に對する反作用の有無を検するには II の蓄電器に并列して受話器⁽¹⁵⁾と電氣振動の檢波器⁽¹⁶⁾を直列にして之を結び 受話器と并列に調整抵抗を結びて音の強さを適度にし 然る後發勵する I の電路に對して II の蓄電器 C₂ を回轉調整するに C₂ の唯一個所の調整に於て最大音を聴き 其の左右に於て音は急速に減ずれば反作用なき證にして 左右に於て音は急速に減することなくして緩慢に減し 或は又 C₂ の二個所に於て

(15) Telephon; Telephon.

(16) Detector.; Wellenanzeiger.

著しき最大音あるを認むる時は反作用あるの證とすべし

此の如く III に對する直接外用なく 又 II の反作用なきを確る時は 尙一層 II を I より遠ざけ III を II より遠ざけ I が II に對して及ぼす電壓振幅を E₀ となし 測定せんとする導線を以て作りたる II の電路の高周波抵抗を R となし II の同調電路に生じたる電流振幅を i₀ となし III の電路に現はれたる偏斜を α₀ とすれば

$$i_0 = \frac{E_0}{R} \propto \sqrt{\alpha_0}$$

なり 故に高周波に於ても直流に於ても其の量に變りなき抵抗短線 例へば細き炭棒の如き或は又極て細き金屬線の如き抵抗線を II の電路中に附加し 其の直流抵抗を W となし II の同調電路に生ずる電流振幅を i₁ とし III に現はるゝ偏斜を α₁ とすれば

$$i_1 = \frac{E_0}{R+W} \propto \sqrt{\alpha_1}$$

なるが故に 此等二式より

$$\frac{i_0}{i_1} = \sqrt{\frac{\alpha_0}{\alpha_1}} = \frac{R+W}{R} = 1 + \frac{W}{R}$$

即ち

$$R = W \cdot \frac{1}{\sqrt{\frac{\alpha_0}{\alpha_1}} - 1} \dots \dots \dots (3)$$

を得 此式より測定せんとしたる抵抗の數價を算出するものとす 而して此式に於て W は隨意に撰みたる附加抵抗にして之を種々に變ずる時は α₁ は種々異なりて 夫れ等の結果を平均して R の數價を得べし

(17) Amplitude; Scheitelwert.

b. 測定装置に反作用ある場合 上述する處は一通りの測定なりと雖も 尙ほ之を精密にすれば II 電路に對する III 電路の反作用あるものとして測定を行ふものとす c を以て III 電路の電流計定數となし v を以て III 電路の電流となし I' を其の抵抗となし M を II III 電路間の相互誘導⁽¹⁸⁾とし p を以て II 電路の同調周波數に定數 2π を乘したるものとし 且又

$$K = \frac{M^2 p^2}{K'} \dots \dots \dots (4)$$

とすれば 附加抵抗 W を II に入れざる前に於て II に生じたる電流振幅を i として 理論の結果

$$a_0 = c i^2 I' = c \cdot \frac{M^2 p^2}{K'} = c E_0^2 \frac{K}{(R+K)^2}$$

なる式を得べく 附加抵抗 W を入れたる後に於ては

$$a = c E_0^2 \frac{K}{(R+W+K)^2}$$

なる式を得べし 故に此等二式より

$$R = \frac{W}{\sqrt{\frac{a_0}{a}} - 1} - K = a - K \text{ (と記す)} \dots \dots \dots (5)$$

なる結果を得 R は即ち測定せんとする抵抗にして II の電路を爲せるものなり 而して K なる量は II III 電路間の反作用に基く修正項なり

上述の修正項 K を算出する爲には I II の電路は元の位置に止め置き III のみを少しく II に接近せしめ III の II に對する反作用を一層強からしめて 其の修正項を以て前の m 倍即ち mK となりたりとし

$$K' = mK \dots \dots \dots (6)$$

と記す 而して此場合に於て前の a_0, a に對する電流計の偏斜を β_0, β とすれば (5) と同じく

(18) Mutual inductance; gegenseitige Induktivität.

$$R = \frac{W}{\sqrt{\frac{\beta_0}{\beta}} - 1} - K' = b - K' \text{ (と記す)} \dots \dots \dots (7)$$

なり 此式と (5) よりして

$$K' - K = (m-1)K = b - a \dots \dots \dots (8)$$

を得 又 a_0 と β_0 の比に依て

$$\frac{a_0}{\beta_0} = \frac{K}{(R+K)^2} \cdot \frac{(R+K')^2}{K'} = \frac{K}{K'} \left(\frac{b}{a}\right)^2 = \frac{1}{m} \left(\frac{b}{a}\right)^2$$

なるが故に m なる數は

$$m = \left(\frac{b}{a}\right)^2 \frac{\beta_0}{\beta} \dots \dots \dots (9)$$

より之を得べく 從て又 (8) (9) に依て

$$K = \frac{b-a}{m-1} = \frac{b-a}{\left(\frac{b}{a}\right)^2 \frac{\beta_0}{\beta} - 1} \dots \dots \dots (10)$$

なる修正項を算出するを得べし 而して此修正を施したる R の數價は

$$R = a - \frac{b-a}{\left(\frac{b}{a}\right)^2 \frac{\beta_0}{\beta} - 1} = W \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{a_0}{a}} - 1} - \frac{1}{\left(\frac{\sqrt{\frac{a_0}{a}} - 1}{\sqrt{\frac{\beta_0}{\beta}} - 1}\right)^2 \frac{\beta_0}{\beta} - 1} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

にして 電流計の偏斜と附加抵抗より之を算出するを得べし

上述する處の方法はリンデマン⁽¹⁹⁾のライヒスアンスタルトに於て研究したるものにして 測定の實例を掲る時は

$$p = 411\,000 \quad W = 1,602 \Omega$$

(1) I II 遠く離れ反作用なく II III も亦遠く離れて反作用なし

(19) R. Lindemann, Jahrb. d. d. T. T. 4, 561, 1911.

$$a_0 = 523,6 \quad a = 28,0$$

$$R = \frac{1,692}{4,328-1} = 0,482 \ominus$$

(2) I II 尚遠く離れ II III は接近す

$$a_0 = 482,8 \quad a = 26,2 \quad a = 0,487$$

II III を尙近付け K を m 倍となす

$$\beta_0 = 828,2 \times 3,60 \quad \beta = 47,8 \times 3,60 \quad b = 0,5065$$

$$m = 6,7 \quad \frac{b-a}{m-1} = 0,0034$$

$$R = 0,487 - 0,003 = 0,484 \ominus$$

第十九章

銅

銅は今日の電氣工業に於て最も多量に使用せられ 最良導體の一にして柔軟なる性質を有し 其の張力に堪ゆることも亦良好にして 兼て價格に於て廉に 産出に於て豊富なるものなり 電氣工業に使用する銅には軟硬の二種ありて 軟銅は抵抗の最も少なきを主とし甚しく張力を加へざる處に之を用ゆ 例へば發電機變壓器測器配電盤等の材料の如く 硬銅は多少抵抗の多きことに於て軟銅に劣ると雖も張力に堪ゆることを以て其の要素の一となし 従て少量の混和物を入るゝ場合もあり

電氣工業に使用する銅は多くは電解精練法⁽¹⁾に依るものにして 其の品質の區別は比抵抗を以てせずして比傳導を以てし 然も之を標準銅の比傳導に對照せしめて其の百分率を取り 之を百分傳導率と云ふ 然るに此標準傳導率⁽⁶⁾なるものは約五十年前に於て其の當時最純なりと認めたる銅に對する數價にして マシーセンの標準⁽⁷⁾と名付けらるゝものなるが 其の後各國に於ては當時市場供給の銅に付て測定を行ひたる結果 マシーセンの元來の數價を捨てゝ時々此標準數價の數字を改正し 今日に於ては各國區々の數價を取りて何れも之をマシ

(1) 軟銅線とは引延ばしたる後に生みられたるもの 硬銅線とは生みたる後に數度引延ばしたる僅のものなり (2) Soft copper; Weichkupfer. (3) hard copper; Hartkupfer.

(4) electrolytic refining; elektrolytische Raffination.

(5) percentage conductivity; prozentuale Leitfähigkeit.

(6) standard conductivity; Normalleitfähigkeit.

(7) Matthiessen, 1862.

ーセンの標準と稱す 然るに此等の標準も亦其の當時の銅の平均品質なるが故に 之を以て 100% の傳導率を有するものとすれば 各個の銅に付ては 100% 以上の傳導率を有するものあるは勿論なり

銅質の比較測定に於ては一米以上の銅線に就き ヲムソン電橋⁽⁸⁾を以て長さ一米の抵抗を測定す 然れ共測定する銅線の見本は全長に涉りて太さ即ち切斷面積一樣なること能はず又曲りたる個所なきこと能はず 従て一米の長さの抵抗を測定して之より直ちに比抵抗 $\rho(\Theta, m, mm^2)$ を算出するは 如何なる場合にも必ず實行を期すべき手段に非ず 加ふるに銅の賣買は此の如く容積に依るものに非ずして質量を以てするものなるが故に 前述銅線一米の長さに付て其の切斷面の不一樣なるに拘らず其の抵抗を測定する時は 其のヲームの數に此一米の質量グラム數を乗じてメートルグラムヲームの比抵抗 $\sigma_{m,(\Theta, m, g)}$ ⁽⁹⁾ となし 其の反數を以て比傳導⁽¹⁰⁾となすを適當とす(第二章參照)換言すれば σ なる質量比抵抗とは一樣なる切口にして長さ一米、質量一瓦なる線の抵抗をヲームの數にて表はしたるものなり 故に一線の長さを l (米)とし 其の質量を m (瓦)とし 其の切口の面積を q (平方耗)とし δ を其の密度とし R を此一線の抵抗 (Θ)とし $\rho(\Theta, m, mm^2)$ を以て容積比抵抗(第二章)とすれば

$$\sigma(\Theta, m, g) = \frac{R}{l} \cdot \frac{m}{l}$$

$$\rho(\Theta, m, mm^2) = \frac{lq}{l} = \frac{1}{\delta} \left(\frac{R}{l} \cdot \frac{m}{l} \right) = \frac{\sigma}{\delta}$$

(8) Thomson Bridge; Thomsonsche Brücke.
 (9) Resistivity per metergram; spezifischer elektrischer Leitungswiderstand.
 (10) Conductivity per metergram; spezifische elektrische Leitfähigkeit, pro meter-gram
 (a) mass resistivity. (b) Volume resistivity.

なる關係あるものなり

a. 次に規載するは今日各國に於て使用する標準數價にして比傳導比抵抗に於ても 或は又抵抗の溫率に於ても互に少しく異なるものなり 従て銅の品質を測定する爲に測器を購入する時は 之に附屬する標準銅線の規格は一々異なるべきが故に 米國の測器を以てすると他國の測器を以てするとに依て 同一の銅も異なる品質數價を表はすべきものなり

第一表

軟銅の品質標準

	溫度 °C	英 國 E. S. C. 1904, 1910	獨逸國 Normal Kupfer. V. D. E. 1907	米 國 A. I. E. E. 1907-1910	米國標準器局 A. I. E. E. 例國 1911	供提萬國標準 軟 銅 1912
比抵抗 $\sigma_{m,(\Theta, m, g)}$	0°	0,141362	0,139590	0,141729	0,141068	0,141332
	15°	0,150437	0,148500	0,150658	0,150034	0,150290
	20°	0,153463	0,151470	0,153634	0,153022	0,153230
	25°	0,156489	0,154440	0,156610	0,156010	0,156262
溫 率 $\alpha_{v,}$	0°	0,004280	0,004255	0,004200	0,004277	0,004265
	15°	0,004022	0,004000	0,003951	0,004019	0,004009
	20°	0,003943	0,003922	0,003875	0,003940	0,003930
比 重 δ	25°	0,003866	0,003846	0,003801	0,003864	0,003854
		8,89 ^(15.6°C) (60°F)	8,91(15°C)	8,89(20°C)	8,89(20°C)	8,89(20°C)

第一表に示すが如く銅の品質を檢定して百分傳導率を以て之を示さんとすれば 銅の見本に付き假へば攝氏 20° に於て其のメートルグラムの比抵抗ヲーム數を測定し 20°C に於ける前表標準比抵抗の數にて之を除するものとす 従て英國にては 0,153463 にて除し 獨逸國にては 0,151470 にて除し 米國にては 0,153634 又は 0,153022 にて除す 故に百分傳導率の

僅少の差を重視するに拘らず同一の銅に付ても何れも異なる數價を呈し 加ふるに各一國の計算に於ても 0°Cに於て計算する百分傳導率は 20°Cに於て計算する百分傳導率と異なる故に温度の公定も亦重要なり 之を日本國の場合に考ふる時は銅の産出は主要なる位置を占むるに拘らず未だ標準數價の規定なく 明治四十四年逓信省電氣試験所第三部の研究報告に於ては古河住友二ヶ所の銅を測定し 其の比重比抵抗及び百分傳導率平均に於て

$$\begin{aligned} \text{軟銅線 } \rho_{20} &= 3,9128 & \sigma_{20}(\ominus, m, g) &= 0,151170 & \frac{1}{\sigma_{20}} / \frac{1}{\sigma_{20}} &= 101,48\% \\ \text{硬銅線 } \rho_{20} &= 8,88161 & \sigma_{20}(\ominus, m, g) &= 0,152693 & \frac{1}{\sigma_{20}} / \frac{1}{\sigma_{20}} &= 100,24\% \end{aligned}$$

なる成績を發表したるか 此等百分傳導率を計算するに用ひたる標準數價 σ_{20} は マシーセン元來の數價 σ_{20} (軟)=0,153405 と σ_{20} (硬)=0,156496 にして英國獨國又は米國の今日の數價を用ゆる時は尙一層大なる百分傳導率を呈すべく 又一層小なる數價を導くべし 假りに之を米國標準器局の標準軟銅の場合に換算する時は $\sigma_{20} = 0,153022$ なるが故に前記本邦銅の百分傳導率は

$$\sigma_{20}/\sigma_{20} \text{ (軟)} = 101,22\% \quad \sigma_{20}/\sigma_{20} \text{ (硬)} = 100,02\%$$

となる

米國に於ては今日世界に産出する銅の大部分を精練するを以て 同國標準器局は特に重要な事項として現在市場に在る精練銅を集めて其の品質を測定し 合せて又想像し得べき最良の方法を以て 精練法の達し得らるべき高度傳導銅を調査し 又同じく市場供給のアルミニウム線に就ても測定を行

(11) F. A. Wolf and J. H. Dellinger. Bull. Bur. St., Vol. 7, No. 1, p 103, 1911; J. H. Dellinger Bull. Bur St. Vol 7, No. 1, p71, 1911.

(12) high conductivity copper; Kupfer hoher Leitungsfähigkeit.

ひたり 之が爲に同國十數ヶ所の精練所より製造見本を集め又歐洲の銅を代表すべき見本をも之に加へて 測定の結果及び之より電氣工業に重大なる關係を有する結果を導きたるが獨逸國ライヒスアンスタットに於ても 故リンデック教授は數年間連續して銅の調査を行ひ 米國の調査と結果に於て一致したるものを得たり 次に記載する第二表は米國にて得たる數價にして 此表に於てアルミニウムの比抵抗少なく且其の百分傳導率のみに高きを示せるは アルミニウムの比重小なるより起る結果にして 比抵抗を表はす單位 (\ominus, m, g) の爲に生ずるものなり

第 二 表

	比抵抗 20°C $\sigma_{20}(\ominus, m, g)$	百分傳導率 20°C $\sigma_{20}/\sigma_{20} = 0,153022/\sigma_{20}$
1. 市場軟銅の平均	0,15292	109,07 %
2. 市場硬銅の平均	0,15556	98,37 %
3. 市場軟銅の最高	0,15045	101,71 %
4. 市場硬銅の最高	0,15386	99,46 %
5. 溶解せずして消極板より直に線に延ばしたる電解銅	0,15076	101,50 %
6. 消極板と共に真空内に溶解したる電解銅	0,15046	101,70 %
7. 天然湖水銅の塊より直に線に延ばしたる自然銅	0,15045	101,71 %
8. アルミニウム (硬)	0,07633	200,46 %

米國標準器局は同國が現在に於て最多量の銅を産出し 世界の銅の大部分を精練するが爲め 銅の品質に對し萬國的標準を定むることに就ては 同國を以て率先之に盡力すべき義務あるものと認め 先づ米國電氣工師會の同意を経 豫め英獨佛三ヶ國の中央物理工業試験所の内意を探り 目下一般に向て提出しある軟銅の萬國標準なるもの、原案は次の如し

(13) Prof. Lindeck.

(e) Circular of the Bureau of Standards, 1912.

1. 標準温を以て攝氏二十度となす
2. 攝氏二十度に於ける標準比抵抗を以て $\sigma_{20} = 0,15328$ (Θ, m, g) となす 此數價は次の數價と同一なり

$$0,15328 \quad (\Theta, m, g) \quad 20^\circ C$$

$$875,20 \quad (\Theta, mile, pound) \quad 20^\circ C$$

$$875,20 \quad (pounds \text{ per } mile\text{-}Ohm) \quad 20^\circ C$$

$$1,7241 \quad (\mu\Theta, cm) \quad 20^\circ C$$

$$0,67879 \quad (\mu\Theta, in) \quad 20^\circ C$$

$$10,371 \quad (\Theta, mil, foot) \quad 20^\circ C$$

3. 攝氏二十度に於ける標準比重を $\delta_{20} = 8,89$ とす即ち一立方厘の質量 8,89 瓦なり 此比重は攝氏零度に於て 8,90 なる比重に相當す

4. 攝氏一度の温差に依て比抵抗の變化する數價は 標準温の何たるに拘らず 銅の見本の如何なるに拘らず同一定數にして $0,000597$ (Θ, m, g) なり 即ち $\sigma_t = \sigma_{20} + 0,000597(t-20)$ なり 種種の單位に於て此定數は次の數價を有す

$$0,000 \ 597 \quad (\Theta, m, g)$$

$$0,006 \ 81 \quad (\mu\Theta, cm)$$

$$3,41 \quad (\Theta, mile, pound)$$

$$0,002 \ 68 \quad (\mu\Theta, in)$$

$$0,0409 \quad (\Theta, mil, foot)$$

5. 一般電氣銅の攝氏 20° に於ける温率は 其の百分傳導率に 0,00393 を乘したる數に同じ

6. 一般電氣銅の抵抗温率を假定する場合には

$$\begin{array}{llll} \text{軟線} & a_0 = 0,00427 & a_{15} = 0,00401 & a_{20} = 0,00393 & a_{25} = 0,00385 \\ \text{硬線} & a_0 = 0,00414 & a_{15} = 0,00390 & a_{20} = 0,00382 & a_{25} = 0,00375 \end{array}$$

となす $R_t = R_0(1 + a_t)$; $R_t = R_{20}(1 + a_{20}(t-20))$ 等なり

7. 一般電氣銅の百分傳導率は 攝氏二十度に於ける此銅の比抵抗を以て 同温度の標準比抵抗を除したるものとなす 比抵抗には何れの單位のものを使用するを得れ共 温度異なる時は百分傳導率は變化す 他の温 t に於て銅の比抵抗を知る時は 次の換算に依る 即ち 20°C を以て百分傳導率の標準温となし n_{100} を以て百分傳導とすれば

$$n_{20}, 100\% = \frac{\sigma_{20}(\Theta, m, g)}{\sigma_t(\Theta, m, g)}; \quad n_{20}, 100\% = \frac{\sigma_{20}(\Theta, m, g)}{\sigma_t(\Theta, m, g) + 0,000597(t-20)} \dots (1)$$

8. 硬銅線は軟銅線よりも傳導率に於て 2,7% 低きものとなす 或は又標準軟銅線の比傳導を 100 とすれば 標準硬銅線の比傳導を以て 97,3 とす

b. 銅の抵抗温率は電氣工業の實用範圍内に於て一個の定數をなし 攝氏十度と攝氏百度の間に於ては 0,2% の精度を以て抵抗と温とは一個直線の關係をなし 其の温率 a_t は傳導率 n_t と正比例するものなり 此温率なるものは銅の二個所に電壓極を固定したる場合のもの即ち定質量の温率なるが故に 熱に對する膨脹率 γ も之に加わるものなり 故に前述する處の記號を用ひ (第三章参照)

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{mR}{l^2} & \sigma_t &= \frac{mR_0(1 + a_{20}(t-20))}{l_0^2(1 + \gamma(t-20))^2} \\ & & &= \sigma_{20}(1 + (a_{20} - 2\gamma)(t-20)) \\ & & &= 0,15328(1 + (0,003930 - 0,000034)(t-20)) \\ & & &= 0,15328 + (0,15328)(0,003896)(t-20) \\ & & &= 0,15328 + 0,000 \ 597(t-20) \\ & & &= \sigma_{20} + 0,000 \ 597(t-20) \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$