

始



電氣機器新書

電氣技術研究會
著

992
184

3.5.1 直流電動機と三相誘導
電動機の比較…………… 24

3.5.2 直流電動機の特徴並用途… 25

3.5.3 分巻電動機の電圧による
特性の変化…………… 25

4. 直流機の運轉

4.1 電機子反作用…………… 26

4.1.1 2極機…………… 26

4.1.2 多極機…………… 27

4.2 整流…………… 27

4.2.1 整流作用…………… 27

4.2.2 無火花整流…………… 29

4.2.3 補極…………… 30

4.2.4 補償巻線…………… 30

4.2.5 補極と補償巻線…………… 31

4.3 試験…………… 32

4.3.1 巻線抵抗…………… 32

4.3.2 特性…………… 32

4.3.3 負荷…………… 32

4.3.4 温度上昇…………… 32

4.3.5 絶縁抵抗…………… 33

4.3.6 絶縁耐力…………… 33

4.3.7 無負荷損…………… 33

4.3.8 返還負荷法…………… 33

4.3.9 容量及能率…………… 34

4.4 運轉…………… 34

4.4.1 運轉方法…………… 34

4.4.2 故障とその対策…………… 35

5. 特殊直流機

5.1 直流昇壓機…………… 36

5.1.1 直列昇壓機…………… 36

5.1.2 並列昇壓機…………… 36

5.1.3 複巻昇壓機…………… 36

5.2 均壓機…………… 37

5.2.1 用途…………… 37

5.2.2 2箇の分巻機を用ふる
方法…………… 37

5.3 3線式直流發電機…………… 37

5.4 發電機…………… 38

5.5 不變電圧, 不變電流
直流發電機…………… 38

5.5.1 ローゼンベルヒダイナモ… 38

5.5.2 三刷子發電機…………… 38

5.6 熔接用發電機…………… 39

5.6.1 特性…………… 39

5.6.2 他勵磁差動複巻發電機… 39

5.6.3 ローゼンベルヒダイナモ… 39

6. 同期發電機

6.1 一般…………… 40

6.1.1 原理…………… 40

6.1.2 周波数…………… 40

6.1.3 誘起起電力…………… 40

6.1.4 起電力の波形…………… 41

6.1.5 勵磁方式…………… 41

6.1.6 勵磁機の定格…………… 42

6.1.7 速應勵磁方式…………… 42

6.2 電機子反作用…………… 42

6.2.1 一般…………… 42

6.2.2 多極機に平衡負荷を
かけた場合…………… 42

6.2.3 平衡負荷の電機子反作用… 44

6.2.4 同期インピーダンス…………… 44

6.3 特性…………… 45

6.3.1 無負荷飽和曲線…………… 45

6.3.2 負荷特性曲線…………… 45

6.3.3 短絡特性曲線…………… 45

6.3.4 同期インピーダンス曲線… 45

6.3.5 外部特性曲線…………… 46

6.3.6 電圧變動率…………… 46

6.3.7 電圧調整…………… 46

6.3.8 自動電圧調整器…………… 47

6.4 補遺…………… 48

6.4.1 自己勵磁現象…………… 48

6.4.2 軸電流…………… 49

6.4.3 保護装置…………… 49

7. 特殊同期發電機

7.1 二巻線タービン發電機…………… 50

7.2 50 サイクル 60 サイクル
兩用發電機…………… 50

7.3 機關發電機…………… 50

7.4 正弦波發電機…………… 50

7.5 水素冷却發電機…………… 50

7.6 高周波發電機…………… 51

8. 同期電動機

8.1 一般…………… 51

8.1.1 原理…………… 51

8.1.2 構造…………… 52

8.1.3 逆起電力…………… 52

8.1.4 電機子反作用,
同期リアクタンス…………… 53

8.2 特性…………… 53

8.2.1 起動トルク…………… 53

8.2.2 引入トルク…………… 54

8.2.3 脱出トルク…………… 54

8.2.4 トルク特性…………… 54

8.2.5 負荷特性曲線…………… 54

8.2.6 V曲線…………… 54

8.2.7 單獨運轉時の乱調と
その防止法…………… 55

8.3 起動…………… 55

8.3.1 自起動法…………… 55

8.3.2 他起動法…………… 56

8.4 同期電動機の特徴と用途… 56

8.4.1 特徴…………… 56

8.4.2 用途…………… 56

9. 特殊同期電動機

9.1 特殊籠形同期電動機…………… 57

9.2 巻線型同期電動機…………… 57

9.3 2速度同期電動機…………… 57

9.4 同期誘導電動機…………… 57

9.5 超同期電動機…………… 58

10. 同期調相機

10.1 一般…………… 58

10.1.1 進電流を取る機器…………… 58

10.1.2 構造…………… 58

10.1.3 原理…………… 59

10.2 運轉..... 59	10.2.2 停止..... 59
10.2.1 起動法..... 59	

11. 交流發電機の並行運轉

11.1 並行運轉の操作..... 60	11.4 分擔負荷の変更..... 63
11.2 並行運轉に必要な條件..... 60	11.5 並行運轉時の亂調..... 63
11.3 原動機の必要條件..... 62	

12. 回轉變流機と周波數變換機

12.1 回轉變流機一般..... 64	12.5 特殊回轉變流機..... 69
12.1.1 原理一般..... 64	12.5.1 逆用回轉變流機..... 69
12.1.2 構造..... 65	12.5.2 複流發電機..... 69
12.1.3 電機子反作用..... 65	12.5.3 3線式回轉變流機..... 69
12.1.4 閃絡の原因..... 66	
12.2 回轉變流機の電壓調整..... 66	12.6 周波數變換機..... 69
12.2.1 電壓調整法の種類..... 66	12.6.1 種類..... 69
12.2.2 リアクタンス線論と 複巻界磁巻線の併用..... 67	12.6.2 原理..... 69
12.3 回轉變流機の起動法..... 67	12.7 同期機一般..... 70
12.3.1 直流側起動法..... 68	12.7.1 用途に依る分類..... 70
12.4 回轉變流機と電動發電機 の比較..... 68	12.7.2 型式に依る分類..... 70
	12.7.3 電動機に依る分類..... 71
	12.7.4 仕様書..... 71
	12.7.5 試験..... 71

13. 變壓器

13.1 一般..... 72	13.2.2 ヒステリシス進角..... 78
13.1.1 原理..... 72	13.2.3 漏洩リアクタンス..... 79
13.1.2 ベクトル關係..... 73	13.2.4 等價回路..... 79
13.1.3 構造..... 76	13.2.5 電壓變動率..... 81
13.1.4 冷却法..... 76	13.2.6 鐵損と銅損..... 81
13.1.5 變壓器油..... 77	13.2.7 能率及最大能率..... 82
13.1.6 油入變壓器の特長..... 78	13.2.8 全日能率..... 82
13.1.7 コンサベータ..... 78	
13.2 特性..... 78	13.3 結線..... 83
13.2.1 勵磁電流..... 78	13.3.1 單相變壓器の三相結線法..... 83
	13.3.2 T結線..... 84

13.3.3 三相一六相變成結線..... 85	
13.4 並行運轉..... 85	
13.4.1 單相變壓器の場合..... 85	
13.4.2 三相變壓器の場合..... 87	
13.5 單巻變壓器..... 88	
13.5.1 一般..... 88	
13.5.2 單巻變壓器の特長..... 88	
13.5.3 單巻變壓器の三相結線法 と得失..... 89	
13.6 特殊變壓器..... 89	
13.6.1 三相變壓器..... 89	
13.6.2 漏洩變壓器..... 90	
13.6.3 負荷時調整變壓器..... 90	
13.6.4 調整單巻變壓器..... 92	
13.6.5 滑動鐵心型變壓器..... 92	
13.6.6 三巻線變壓器..... 93	

13.6.7 非共振變壓器..... 93	
13.7 變壓器のタップ..... 93	
13.8 變壓器の溫度..... 94	
13.8.1 溫度上昇..... 94	
13.8.2 溫度測定法..... 94	
13.8.3 變壓器の許容負荷..... 94	
13.9 變壓器の周波數及 電壓特性..... 95	
13.10 試験..... 95	
13.10.1 豫備試験..... 95	
13.10.2 本試験..... 97	
13.11 保守..... 98	
13.11.1 検査..... 98	
13.11.2 乾燥作業..... 99	
13.11.3 變壓器油の水分抽出法..... 99	

14. 誘導電動機

14.1 一般..... 100	
14.1.1 原理..... 100	
14.1.2 構造..... 100	
14.1.3 滑り..... 100	
14.1.4 回轉子の周波數..... 101	
14.1.5 等價回路..... 101	
14.1.6 特性一般..... 101	
14.1.7 比例推移..... 102	
14.2 起動..... 103	
14.2.1 一般..... 103	
14.2.2 籠形電動機..... 103	
14.2.3 巻線型電動機..... 104	
14.3 速度制御法..... 105	
14.3.1 一般..... 105	
14.3.2 周波數調整法..... 105	
14.3.3 極數變換法..... 107	
14.3.4 滑り調整法..... 106	
14.3.5 特殊制御法..... 107	

14.4 運轉..... 107	
14.4.1 安定運轉..... 107	
14.4.2 起動時の異常現象..... 108	
14.4.3 ゲルゲス現象..... 108	
14.4.4 逆轉..... 108	
14.4.5 制動..... 108	
14.4.6 力率改善..... 109	
14.5 特殊誘導電動機..... 109	
14.5.1 直入電動機一般..... 109	
14.5.2 二重籠形電動機..... 110	
14.5.3 深溝電動機..... 110	
14.5.4 Z規格電動機..... 111	
14.5.5 アルミ籠形電動機..... 111	
14.6 試験..... 112	
14.6.1 絶縁抵抗及絶縁耐力試験..... 112	
14.6.2 無負荷試験..... 112	
14.6.3 拘束試験..... 112	
14.6.4 制動試験..... 112	

14.6.5 滑りの測定	112
14.6.6 温度試験	113
14.7 補遺	113
14.7.1 誘導電動機の損失	113
14.7.2 籠形電動機と巻線型電動機の比較	114

14.7.3 誘導電動機と直流分巻電動機の比較	114
14.7.4 誘導電動機の電圧及周波数特性	114
14.7.5 仕様書	115
14.7.6 故障と其の原因	115

15. 特殊誘導機

15.1 誘導発電機	116
15.2 誘導周波数変換機	116
15.3 単相電動機	116
15.3.1 原理	116
15.3.3 起動法	117

15.3.3 単相直巻電動機	117
反接電動機	118
多相整流子電動機	118
補償誘導電動機	118
15.3.4 ヘルシン電動機	118

16. 誘導電圧調整器

16.1 単相用	118
16.1.1 構造	118
16.1.2 原理	119
16.1.3 短絡巻線	119
16.2 三相用	119

16.2.1 構造	119
16.2.2 原理	120
16.2.3 位相を變位しない電圧調整法	120
16.2.4 単相用と三相用の相違	120

17. 整流機器

17.1 種類	120
17.2 水銀整流器	121
17.2.1 ガラス製水銀整流器	121
17.2.2 鐵製水銀整流器	121
17.2.3 格子電極	123
17.2.4 逆弧	123
17.2.5 化成	123
17.2.6 直流電圧の調整法	123
17.2.7 水銀整流器と回轉變流機の比較	124

17.2.8 イグニトロン	125
17.3 熱陰極ガス入整流管	125
17.3.1 タンガム整流器	125
17.4 乾式整流器	126
17.4.1 酸化銅整流器	126
17.4.2 セレン整流器	126
17.5 電解整流器	126
17.6 機械的整流器	127
17.7 整流器の接続回路	127

演習問題

- | | | | |
|-----------|-------------|-----------|------------------|
| 1. 電氣機器一般 | 2. 直流機 | 3. 直流発電機 | 4. 直流電機 |
| 5. 特殊直流機 | 6. 同期機一般 | 7. 同期発電機 | 8. 特殊同期発電機 |
| 9. 同期電動機 | 10. 特殊同期電動機 | 11. 同期調相機 | 12. 回轉變流機及周波数変換機 |
| 13. 變壓器 | 14. 誘導電動機 | 15. 特殊誘導機 | 16. 誘導電圧調整器 |
| 17. 整流器 | | | |

1. 電氣機器一般

1.1 発電機と電動機

電氣の特長は、申す迄もなく、一握の電線群を以て、石炭何萬疋、石油何萬ガロンに相當するエネルギーを、長距離に、然かも瞬時に傳送し得ることである。

水の有するエネルギーを利用して、電氣を起す水力発電所、石炭の有するエネルギーを利用して電氣を起す火力発電所は此の電氣の發生源であり、此處で機械的エネルギーを電氣的エネルギーに變換するのが発電機である。又、工場、家庭で、傳送されて來た電氣に依つて、種々の機械的な仕事をするのが電動機である。従つて発電機と電動機は、電氣機器界の兩横綱である。

其の何れもが、電磁現象の應用であつて、導体が磁力線を切ると、之れに起電力を生ずる（右手の法則を想起されたい）、又、磁界内に電流を通じた導体を置くと、之れに機械力が發生する（左手の法則を想起されたい）此の現象を利用したものが発電機であり、電動機である。

1.2 變壓器

發送配電、電力利用の各分野に亘つて、今日、交流が全盛である。電力を傳送するには、なるべく高電壓であることが望ましいが、交流発電機でも電動機でも絶縁上から、左様な高電壓とすることが出来ない。其處で、電圧、電流を變成する装置が必要である。之れが變壓器であつて、電磁誘導現象を利用してゐる。

1.3 變流機及整流器

今日の發送配電は前述のやうに交流が全盛であるが、負荷に依つては、直流を適當とするものがある。例へば、電鐵用、電氣化學工業用等が挙げられる。其處で送つて來られた交流を直流に變換する必要がある。之れに用ひられるのが、回轉變流機であり水銀整流器等である。

1.4 變換機

關東地區が 50 サイクルで關西地區が 60 サイクルである。此の兩地區間で電力を融通する爲めには、周波数を變換する装置を必要とする。之れに用ひられるのが、周波数變換機である。又、相數としては三相が一般であるが、他の相數を

必要とすることもある。之れに用ひられるのが相数變換機である。

1.5 調相機

交流回路の力率を改善する爲めに調相機又は静電蓄電器を用ふる。

1.6 電氣機器の分類

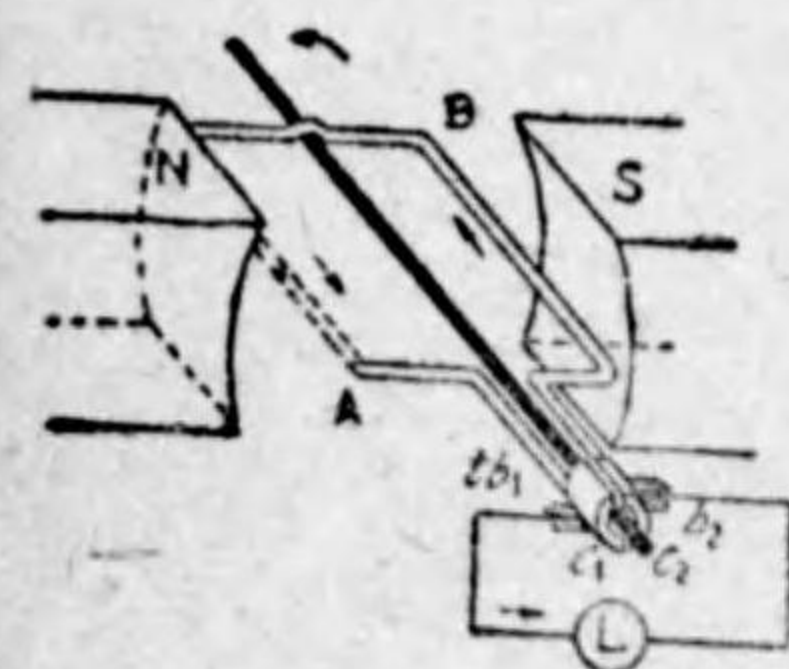
以上の各機器を更らに細かく分類して、次に表示する。

- 發電機
 - 直流發電機(主として、分巻及複巻發電機)
 - 交流發電機(同期發電機、誘導發電機、誘導子型交流發電機、主として同期發電機を用ふる、誘導子型は高周波電源として用ひられる)
- 電動機
 - 直流電動機(直巻は電鐵に用ひられ、其の他、分巻、複巻も用ひられる)
 - 交流電動機(同期電動機、誘導電動機、整流子電動機、主に誘導電動機を用ふるが、其の他も用ひられてゐる)
- 變壓器— 單相及多相電力用、器具用、單巻、電壓調整器
- 變流機— 回轉變流機、水銀整流器、資材の關係から最近は専ら後者を用ふ
- 變換機
 - 周波數變換……定比及可變比周波數變換機
 - 相數變換……同期相數變換機、誘導相數變換機
- 調相機
 - 同期調相機、非同期調相機
 - 静電蓄電器(資材の關係から、最近は専ら之れを用ふ)

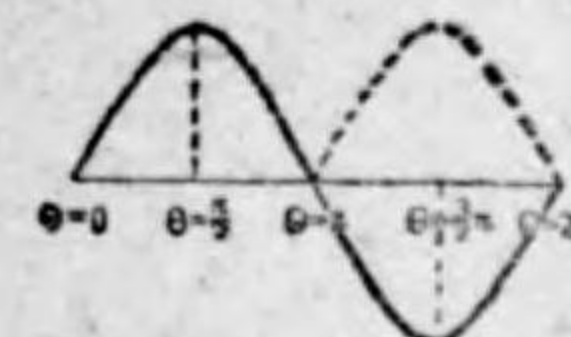
註: 整流器には、水銀整流器の他に、眞空管整流器、乾式整流器、電解整流器等がある。

2. 直流發電機

2.1 原理と誘起起電力



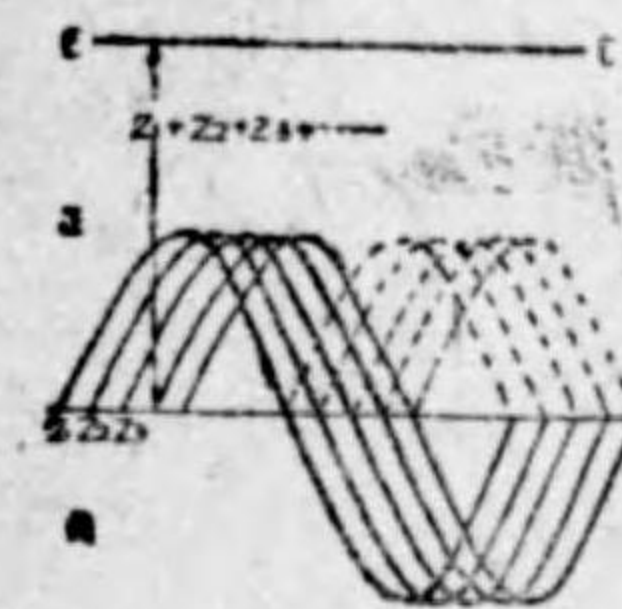
2.1.1 原理 圖のやうな、磁極 NS 内に置いた線輪 AB を回轉すると、線輪に起電力を誘起する。その方向は、右手の法則よりも明かなやうに、N 極下と S 極下にある時では、反對であるが、刷りに接觸する整流子片(互に絶縁された銅片) c_1, c_2 も同時に變るので、電流は常に刷子 b_1 から流出し、 b_2 に流入する。即ち、電機子線



線輪が磁極軸と直角な位置から回轉した角を θ とした

輪の誘起する起電力は、實線のやうな正弦波となるが、之れを整流子で整流するので、外部(刷子間)に現はれる負波は点線のやうに正波に變ずる。斯様に方向は一定であるが、其の大きさが時々刻々と變化するものを脈流と稱する。

2.1.2 直流電壓の發生 上記のやうな、電機子線輪を適當な角度を隔てて、數多く配置すると、各線輪に誘起される起電力の位相が異なる。之れを Z_1, Z_2, Z_3 で表はされるとする。今是等を直列とし、前述の整流子で、夫々の負波を反轉して外部に導くと、各瞬時値は $Z_1 + Z_2 + Z_3$ となり、これは E, E' 直線で示すやうに、略々一定の値となる。斯様に方向も大きさも一定のものを直流と云ふのである。



註: 直流機も交流機も電機子線輪に誘起される起電力は交流正弦波であるが、直流機では整流子に依つて、負波を正波に反轉して、外部に導くので直流となる。即ち、直流機としての生命は整流子にあると云へる。

2.1.3 誘起起電力 1 極の磁束數を ϕ マクスウエル、磁極數を P 、毎秒の回轉數を n とすると、

$$1 \text{ 本の電機子導体が毎秒切る磁束數 } P\phi n \text{ マクスウエル}$$

$$\text{故に、1 本の導体に誘起する起電力 } e = P\phi n \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

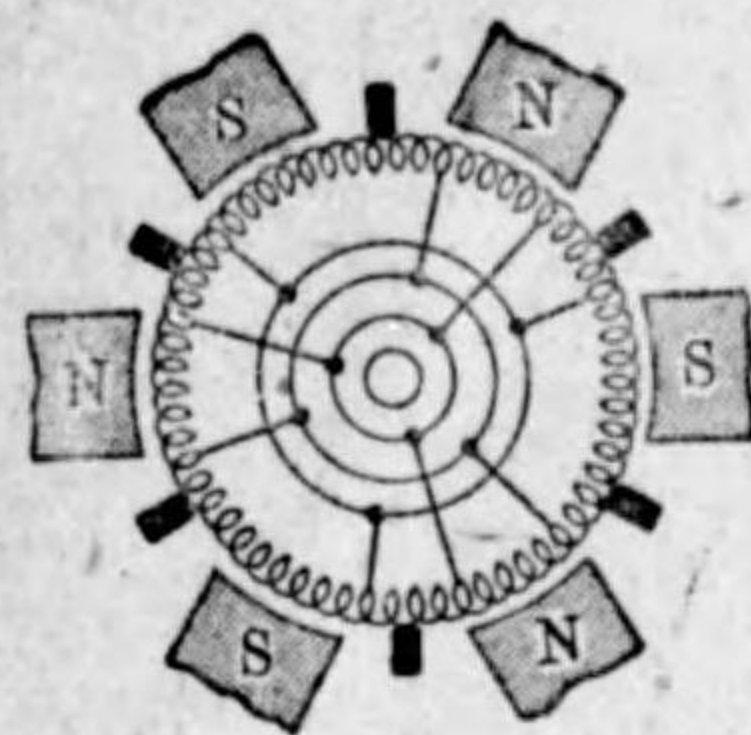
電機子導体の總數を Z 、並列分路の數を a とすると、直列の導体數は Z/a になる。

$$\text{發電機の誘起起電力 } E = P\phi n \frac{Z}{a} \times 10^{-8} = k\phi n \text{ ボルト}$$

既に出來上つた機械では $P \frac{Z}{a} \times 10^{-8}$ は一定數だから之れを k と置いた。

但し、 a の値は、重巻では $a=P$ 、波巻では $a=2$

2.1.4 均壓環 多極機の重巻、及び多重巻では、正負の刷子間に幾つもの並列回路がある。故に、磁氣回路の磁氣抵抗、極間隔、空隙等に不同があると、

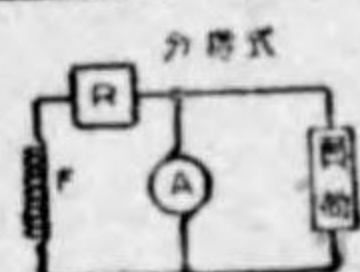
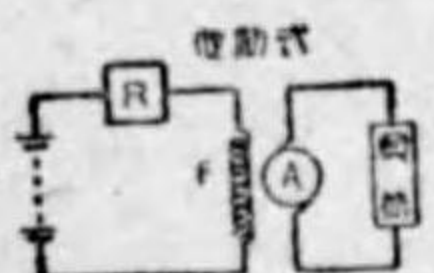


各並列回路の誘起起電力に差が出来て、刷子を通じ並列回路に大きい循環電流が流れる。その結果、刷子に火花を発生してこれを過熱する。故に、圖のやうに巻線素子の等電位の点を接続して、上記の循環電流をこれに分流させ、刷子の火花を防ぐ。之れを均壓環と云ふ。

2.2 特性

2.2.1 勵磁方式

① 他勵磁式；勵磁電流を他の電源より供給する。



圖の A は電機子を F は界磁を R は界磁抵抗器を示す



内分巻 外分巻

② 直巻式；界磁巻線を、電機子巻線と直列にする。

註：この時の電機子電流は、即ち、勵磁電流である。

③ 分巻式；界磁巻線を、電機子と並列にする。

④ 複巻式；直巻と分巻の兩界磁巻線を有する。

これには次の 2 種がある。

(外分巻) 直巻界磁巻線より、外部(負荷側)に分巻界磁巻線を接続する。

(内分巻) 直巻界磁巻線より内側に、分巻界磁巻線をつなぐ。

註：① 和動複巻式は、直巻、及び分巻兩界磁の磁束が相加はる方式である。② 差動複巻式は、分巻界磁束の一部を直巻界磁束が打消す方式である。

2.2.2 特性曲線一般

① 無負荷飽和曲線；一定速度で無負荷運轉し、勵磁電流を變化した時、これに應ずる誘起起電力(無負荷端子電壓)の變化を示した曲線である。

② 内部特性曲線；回轉數、及び勵磁電流を一定値に保ち、負荷電流を變化して、これに對する誘起起電力の變化を示した曲線である。

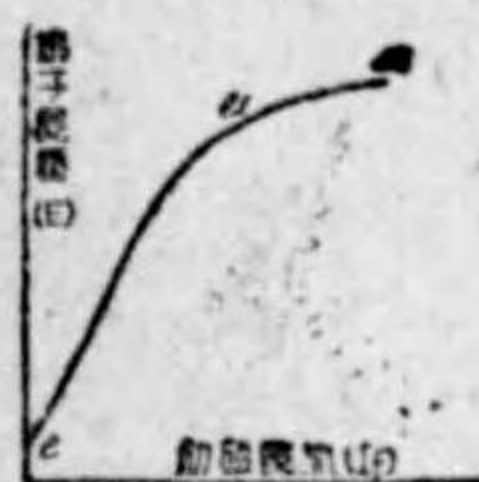
③ 外部特性曲線；内部特性曲線より、更らに、電機子の抵抗電壓降下を差引

いたものである。

④ 負荷飽和曲線；規定速度で運轉し、負荷電流を一定に保つて(負荷抵抗を加減する)、勵磁電流に對する端子電壓の變化を表す。

2.2.3 他勵磁發電機 [無負荷飽和曲線]

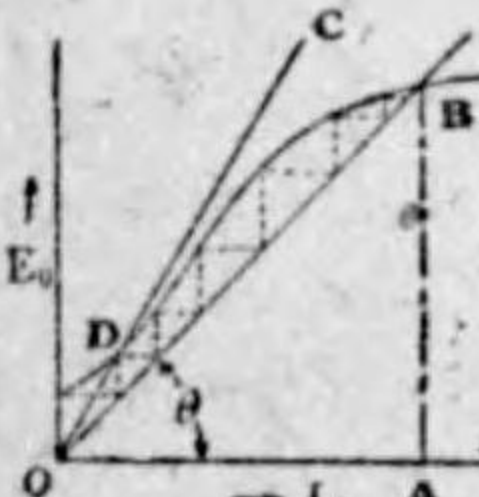
無負荷に於て、横軸に勵磁電流 I_f 、縦軸に端子電壓 E を取つて、無負荷飽和曲線を書くと、圖のやうになる。圖の e_1 点迄、 E は I_f に略々比例するが、界磁が次第に飽和するので、 E は遂に一定値 e_2 に落つく。 I_f が 0 で誘起起電力のあるのは、界磁の残留磁氣に依る。要するに、此の曲線は磁化曲線である。



註：一般に、界磁が磁氣飽和した部分で定格電壓を發生するやう設計して、勵磁電流の變化や電機子反作用による誘起起電力の激變を防いでゐる。

2.2.4 分巻發電機 [自己勵磁及び電壓の確立]

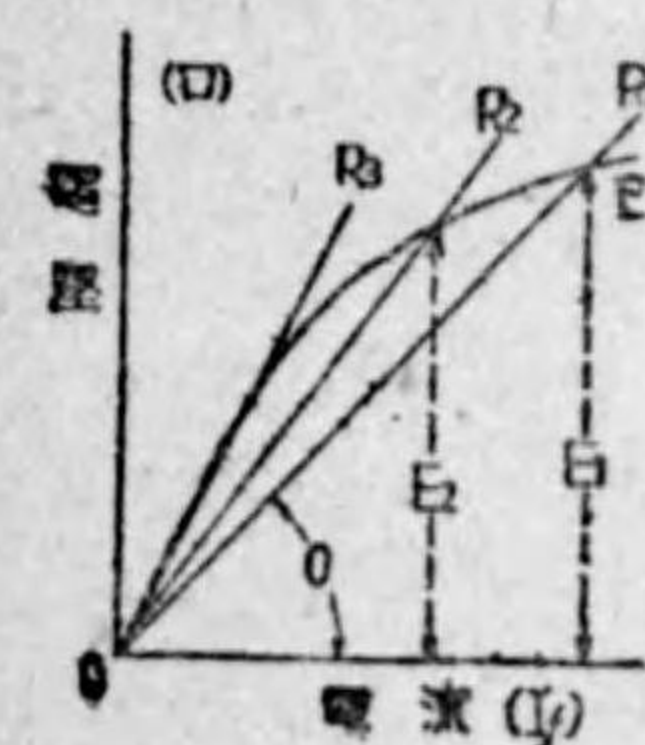
最初、無勵磁で回轉すると、残留磁氣により僅かに電壓を誘起する。この電壓のため勵磁電流が増し、誘起電壓が大きくなつて更らに勵磁電流が増し、誘起電壓を大とする。……斯様にして電壓が次第に高まる。然し、界磁が飽和すると、電壓の増加率が減少し、無負荷飽和曲線と界磁抵抗線の交点 B で電壓が安定になる。



DB...無負荷飽和曲線
OB...界磁抵抗線
電壓は点線を通つて B 点に落付く。界磁抵抗が大きくと、界磁抵抗線が OC となると、電壓は D 点になる。(tanθ = 界磁抵抗) 次記

註：界磁抵抗線は、横軸に I_f 縦軸に $(I_f \times R_f)$ 俱し R_f は分巻界磁の抵抗を取つた曲線である。

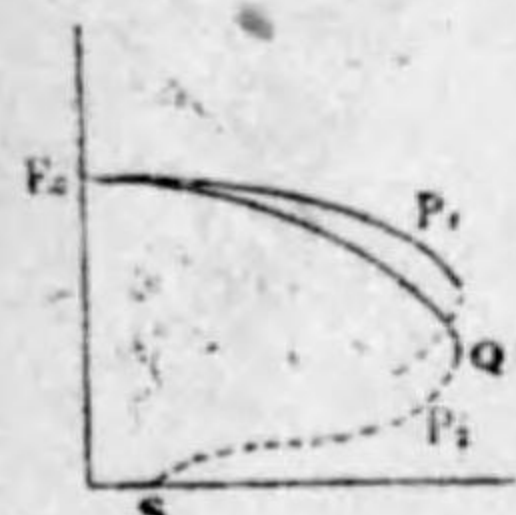
[電壓の不安定] 界磁抵抗線が R_1 の時、電壓は E_1 、 R_2 では E_2 で安定になるが、 R_2 を増して R_3 にすると、 R_3 線は OE 曲線の切線になるので、その交点が明らかでなく、電壓が不安定になる。更らに R_3 を増すと、OE 曲線と交らず、電壓を發生しない。この R_3 に對する界磁抵抗を臨界抵抗と云ふ。



註：圖の $\triangle O E I_f$ に於て、 $\tan \theta = \frac{E_1}{I_f} = \frac{I_f R_1}{I_f} = R_1$

即ち、 $\tan\theta$ と R_1 は正比例するので、 R_1 の増加 $\rightarrow \tan\theta$ の増加 $\rightarrow \theta$ の増加となる。

〔内部及び外部特性曲線〕 ① 内部特性曲線；横軸に電機子電流 I_a を、縦軸に電圧を取り、無負荷誘起起電力より電機子反作用に依る電圧降下を差引くと、内部特性曲線（圖の $E_0 P_1$ 曲線）が得られる。

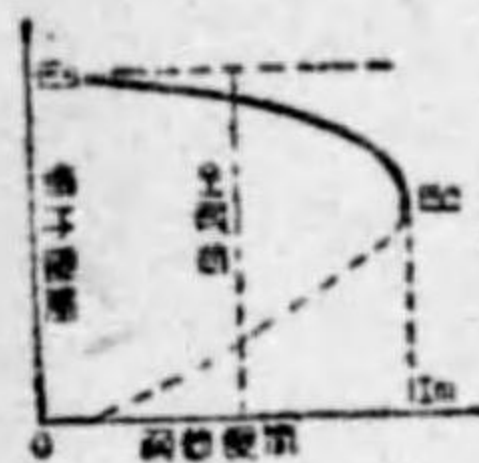


電機子電流 I_a

② 外部特性曲線；内部特性曲線より電機子抵抗降下 $I_a R_a$ を差引いたもので、圖の $E_0 P_2$ 曲線のやうになる。

要するに、負荷電流に對する、端子電壓の變化を示すものだから、電壓變動曲線とも云へる。

註；負荷抵抗を減少すると、負荷電流は増すが、圖の E_c 以上になると、電機子反作用及 $I_a R_a$ に依つて端子電壓が下り、勵磁電流が小さくなつて、端子電壓は更に低下し、負荷電流を減ずる、端子を短絡すると、



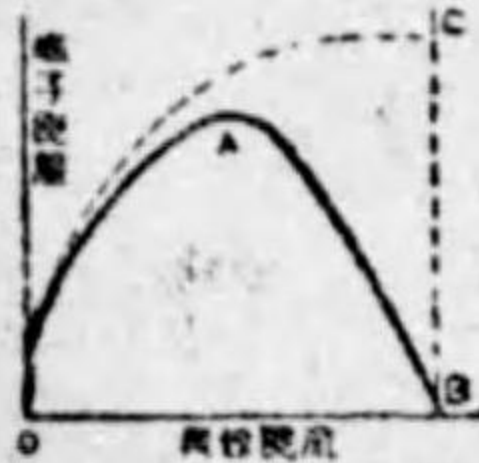
瞬間的には I_m が流れるが、点線の経路を辿つて減少し、残留磁氣に依る僅かな短絡電流（点線と横軸の交点、前の圖の S 点）が流れるのみであるから、巻線を燒損する心配はない。分巻機は、

全負荷附近の電壓が大體一定だから、定電壓電源として、一般に用ふる。

〔無負荷飽和曲線〕 他勵磁發電機（2.2.3）の無負荷飽和曲線と大體同様である

2.2.5 直巻發電機 〔無負荷飽和曲線〕 無負荷の直巻機では、 $I_f = 0$ になるので、直巻界磁巻線を切離して別の電源より勵磁する。従つて、2.2.3 と同一になる。

〔内部及び外部特性曲線〕 無負荷飽和曲線 $O C$ より電機子反作用降下を差引くと内部特性曲線が得られ、これより更に電機子抵抗降下を引くと、圖の $O A B$ のやうな内部特性曲線となる。直巻機は斯様に電壓變動が大きいので一般に用ひられない

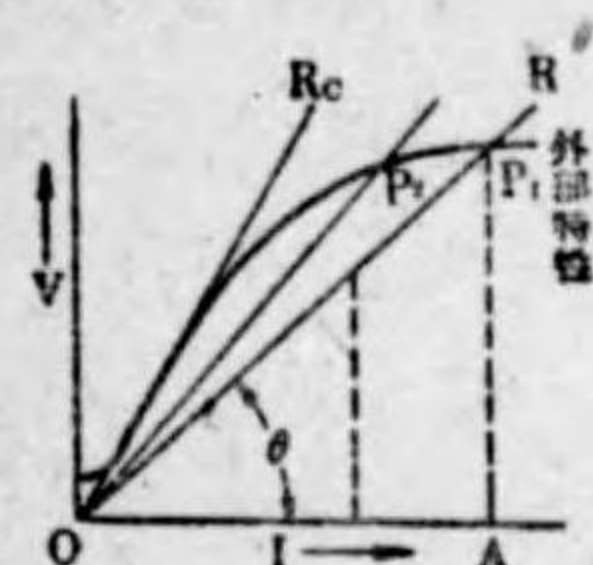


註；負荷電流（即ち勵磁電流）が増大すると、界磁が飽和するので、端子電壓は、 A 点を最高として、次第に減少する。このやうに、負荷電流 I が増すと、端子電壓の低下する特性を垂下特性と云ふ。尚、端子を短絡すると $O B$ なる短絡電流が流れ、分巻機の場合と異り、其の値は大きいので、巻線を燒損する虞がある。又、此の時の誘起起電力 $B C$ の悉くが、電機子反作用及内部抵抗電壓降下で

消費される。

消費される。

〔運轉の安定條件〕 負荷抵抗が R の時、端子電壓 V は P_1 点で安定になる



横軸... I = 負荷電流
縦軸... V = 端子電壓
 $O P_1 P_2$... 外部特性曲線
 $O R$... $V = IR$ 負荷抵抗線

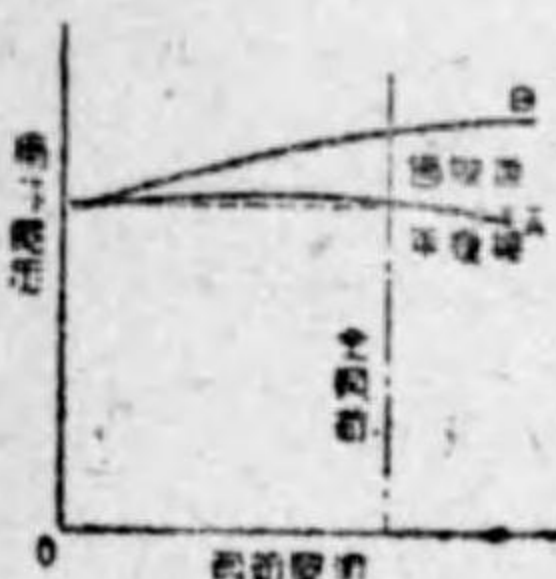
が、 R を増すと θ が大きくなり、 IR が V 曲線の切線 (R_c 線) 以上になると、 V は急激に低下する。この負荷抵抗 R_c の値を臨界抵抗と稱する。

註；分巻發電機では、分巻界磁抵抗 R_f により V が變るが、直巻發電機では、負荷抵抗 R によつて V が變る故に、圖の P_1 点以上では、 $IR > V$ となり I が減少する

2.2.6 複巻發電機 圖は、その外部特性曲線を

示したもので、 B 曲線は過複巻を示し、負荷電流の増大と共に端子電壓が上昇する。 A 曲線は平複巻を表し、負荷にかゝら

ず、端子電壓は略々一定である。又、不足複巻では負荷が増すと、端子電壓が相當に低下する。要するに、複巻機では直巻界磁の作用に依つて、端子電壓を自動的に調整する。



註；過複巻は、負荷電流が増した時の電壓降下を直巻界磁により補つたものである。又、不足複巻と云ふのは並

動複巻の場合であつて、蓄電池 充電用に適する。要するに、複巻機では直巻界磁の作用に依つて、端子電壓を自動的に調整する。従つて、出来上つた複巻機で、其の特性曲線を變化するには、直巻界磁巻線に分路抵抗を設け、其の抵抗値を調整すると、理論的には、複巻機固有の特性曲線から、分巻機としての特性曲線迄、變化する。

2.2.7 電壓變動率 發電機の回轉數を規定値に保ち、定格負荷電流で定格端子電壓 E を發生するやうに、勵磁電流を調整し、之れを無負荷とした時の端子電壓が E_0 になつたとすると、

$$\text{電壓變動率 } \% \text{Reg} = \frac{E_0 - E}{E} \times 100$$

但し、平複巻特性では、上式の分子を（最大電壓 - 平均電壓）とする。

電壓變動率の値としては、一般に電壓調整器を除いた時を取る。但し、原動機 の速度變動の影響は、之れを含めた値にすることがある。

註: 電壓変動率の値は一般に直巻式, 分巻式, 他勵式, 平複巻式の順に小さくなる. 分巻機の電壓変動率は, 約 1% 位である.

2.28 電壓調整 發電機に負荷すると, 負荷電流に依つて, 電機子内に IR 降下と後述する電機子反作用が生じ, 其の端子電壓が降下する. 従つて, 端子電壓を一定とする爲めには, 誘起起電力の値を調整せねばならない. 扱, 2.1.6 に述べたやうに.

直流發電機の誘起起電力 $E = kn\phi$ ボルト

故に, E を變へるには, n か ϕ を加減する. n は原動機の方より定まるので普通 ϕ を調整する. これには, 分巻界磁に可變抵抗 r_f (界磁抵抗器, 又は界磁調整器と云ふ) を直列にして, 勵磁電流を加減して行ふ.

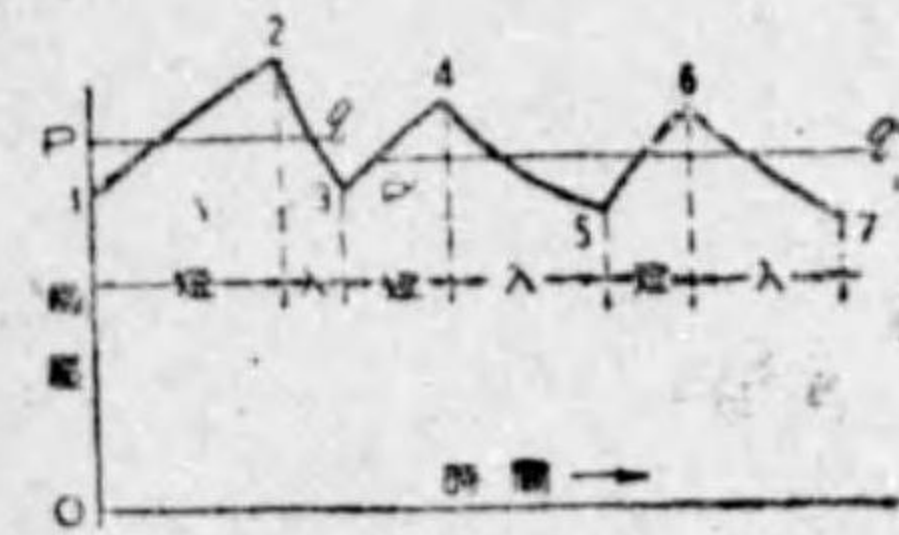
註: r_f が過大になると電壓が不安定になり, 負荷がかゝると電壓が急激に降下する. 且つ電機子反作用のため整流が困難になる. 故に, この方法で下げ得る電壓は, 定格電壓の 50~40% 位である. 定格電壓で大体, 界磁が飽和の状態にあるから, 上げ得る電壓も最大 40% 位である. 尙, 電機子回路に直列抵抗を入れても, E を調整できるが, 大型となり, 電力損失が大きい.

直巻發電機では直巻界磁に分路抵抗を設けて, 其の抵抗を加減し, 勵磁電流, 従つて ϕ を調整して, 電壓調整を行ひ得るが, 電機子反作用磁界の影響から, 分巻の場合と同様に自から限度がある. 或は; 直巻界磁巻線にタップを附して行ふことも出来るが, 前と同様に限度がある.

複巻機の場合も, 分巻界磁の界磁抵抗器で電壓調整を行ふのが, 普通である.

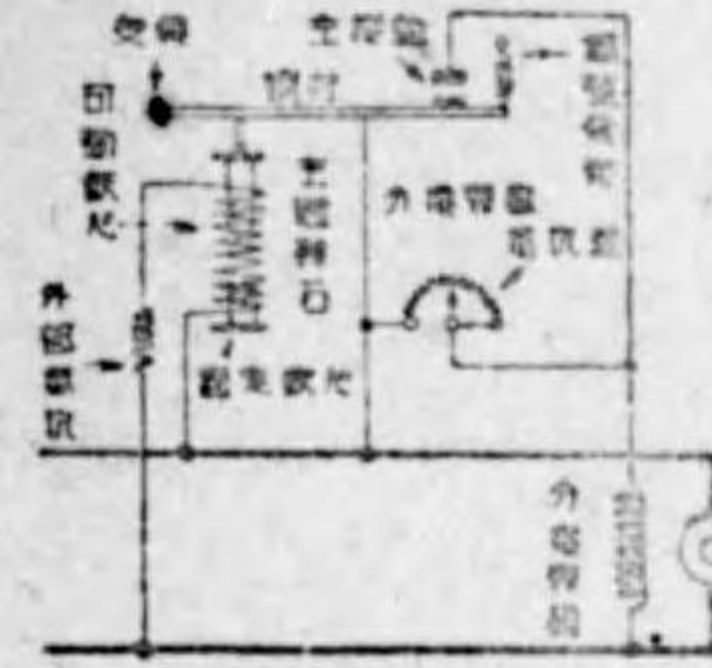
2.2.9 自動電壓調整器 分巻界磁に一定抵抗 R を直列にし, これを短絡すると, 電壓は圖の 1,2 のやうに上昇する. 次に, 抵抗を挿入すると, 電壓は 2,3 のやうに降下する. 之れを繰り返した場合の平均電壓は Pq である. 次に, 短絡する時間を短く, 挿入する時間を長くすると, 發電機電壓は 3,4 のやうに變化する. 其の結果, 平均電壓

は $P'q'$ のやうに Pq より低くなる. 斯様にすると, 短絡と挿入の時間の割合を適宜に撰定することに依つて, 電壓は非常に精密に調整される.



註: 普通の界磁抵抗器では, 例へ, 0.01Ω 宛の調整が出来るとしても, 0.005Ω の抵抗に相當する電壓の調整は出来ない. 又, 此の程度の抵抗變化は温度と接觸抵抗の不同でも生ずるから, 到底, 安定な調整は望まれぬ.

次圖は上記の界磁抵抗の短絡, 挿入を行ふ自動電壓調整方式の一例で, 此の種ものを振動型と云ふ. 其の主要部は主電磁石と主接觸子から成る. 主電磁石は直列抵抗を経て, 發電機端子間に接続され, 可動と固定の上下 2 鐵心に分れる. 之れを吊り下げてゐる横杆は, 左端を支点とし右端には調整ばねと主接觸があつて, 釣合ひの状態を保つ. 又, 主接觸は分巻界磁線輪の抵抗と並列に結ばれてゐる.



今, 發電機の電壓が一定値以上になると, 主電磁石の引力が増加して, 横杆を下に引き下げて主接觸を開放する. 其の結果, 界磁巻線に抵抗が挿入され, 發電機電壓が低下する. 電壓が低下すると, 主電磁石の引力が減じて, 横杆はばねの力で引上げられて, 主接觸を閉する. 従つて, 界磁巻線の抵抗は短絡せられて電壓が上る. 電壓が上昇すると, 前と同一経路で電壓を下げ, 又, 電壓を上げる. 斯様に常に主接觸が振動して, 抵抗を短絡したり, 挿入する. 其の各々の時間の割合を調整するには調整ばねに依る. 斯くて, 前述のやうに發電機電壓が調整せられる.

註: 調整ばねの力を強くすると, 短絡時間が長くなる. 尙, 主接觸には靜電蓄電器を並列として, 開閉時の火花を少くし, 其の損傷を防止してゐる.

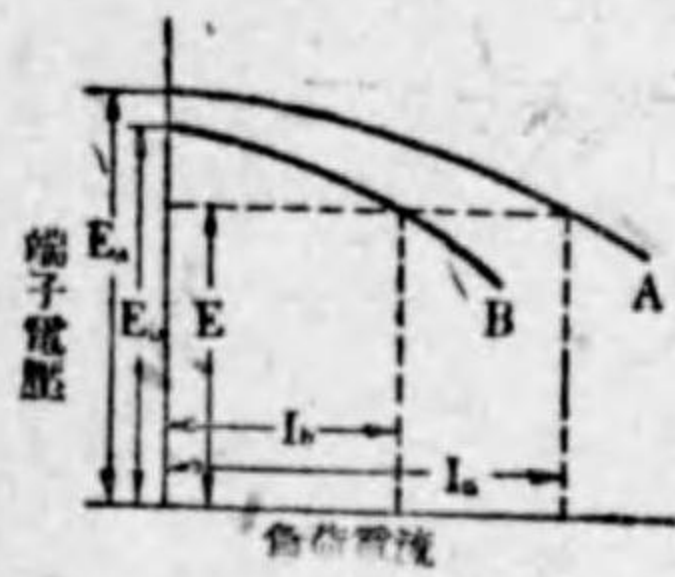
2.3 並行運轉

2.3.1 並行運轉の得失

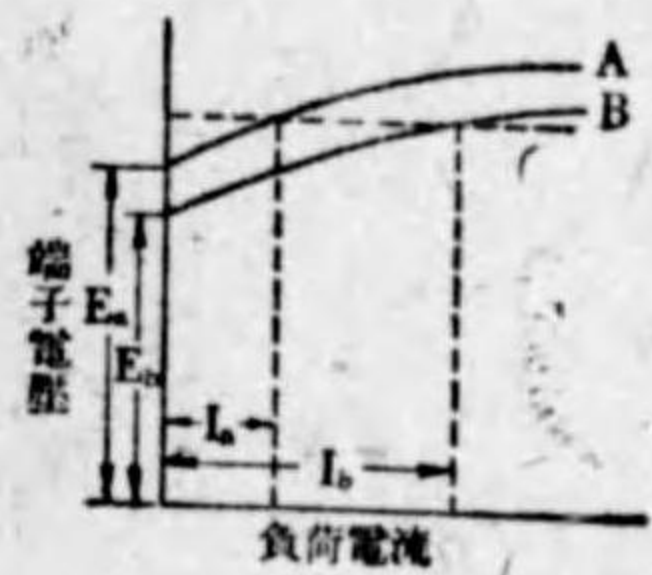
特長	欠点
① 負荷の増減に応じて運轉合數を變へ常に全負荷附近で運轉出来るので高能率である	① 機械の價格, 維持費が増す.
② 1 台が故障しても, 残りで給電できる	② 据付の場所が廣くなる.
③ 豫備機の容量が小さくなる.	③ 並行運轉の取扱が面倒である.
	④ 發電機が垂下特性のこと.

註: 前表は或る容量の負荷に電力を供給するのに、1台の発電機とするか、何台かにして並行運転をするか、夫々の得失である。

2.3.2 並行運転の安定と不安定 [分巻発電機]

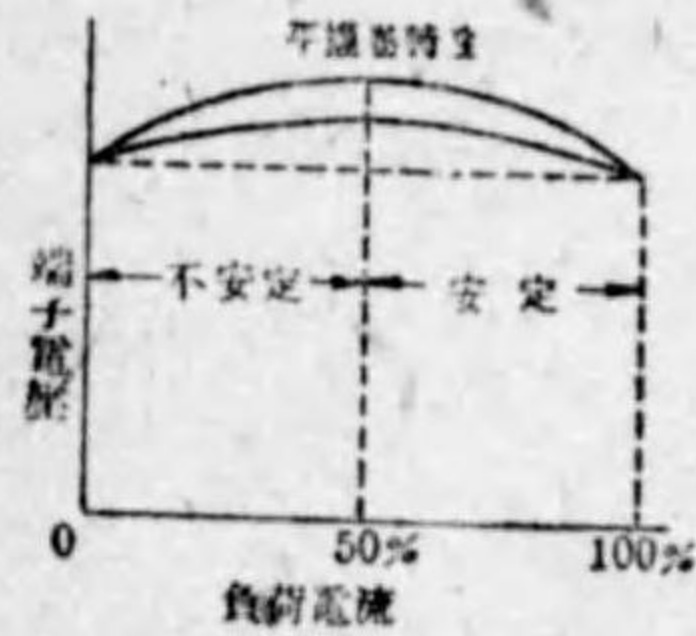


外部特性曲線が垂下特性の場合、端子電圧が E の時、各機に分擔電流は I_a, I_b となる。今、A 機に分擔電流 I_a が減少したとすると、その端子電圧が上昇し、 I_a の減少を防ぐ他方、 I_b は増加しようとするが、端子電圧が低下して其の増加が阻止される。反対に、 I_a が増すと、その増加を阻止し、 I_b の減少を阻止する。既に、この場合、各機分擔電流の變動は少く、並行運転が安定である。



外部特性曲線が上昇特性の場合、 I_a が何かの理由で増すと、端子電圧が上昇し、益々 I_a が増加する。他方 I_b は減少し、その端子電圧が低下して遂には、A 機が $(I_a + I_b)$ 以上を供給し、B 機に $(I_a + I_b)$ 以上の電流が流入して、電動機として運転される。故にこの場合、並行運転は不安定である。

[複巻発電機] 上述から明かなやうに、過複巻は勿論、平複巻でも最高電圧(約 1/2 負荷以下)では、安定な並行運転が出来ない。



註: 直巻発電機の並行運転は、垂下特性分巻発電機が最も安定である。

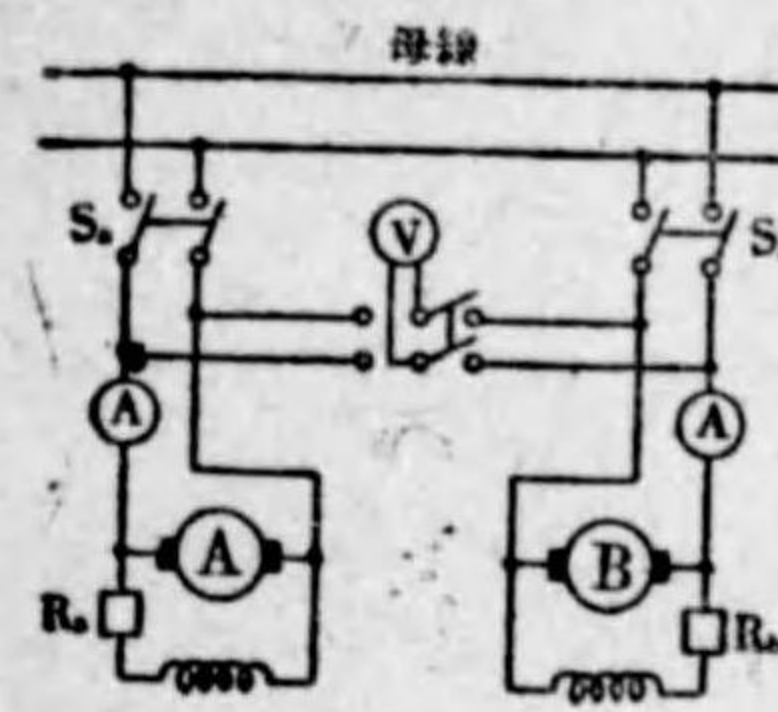
2.3.3 並行運転に必要な条件

- ① 並列に結ぶ各端子の極性が同一のこと。
- ② 各端子電圧が相等しいこと。
- ③ 各機の外部特性曲線が垂下特性のこと。

註: 外部特性曲線が水平に近いと、端子電圧の僅かの變化で、分擔電流が著しく變る。反対に傾斜が大きいと、電流の變化による端子電圧の變動が大きい。

2.3.4 並行運転の實際 [分巻発電機] 2台の並行運転に就て説明する。數台の場合に於ても同様である。今 A 発電機が運転中負荷が増加して、A が全

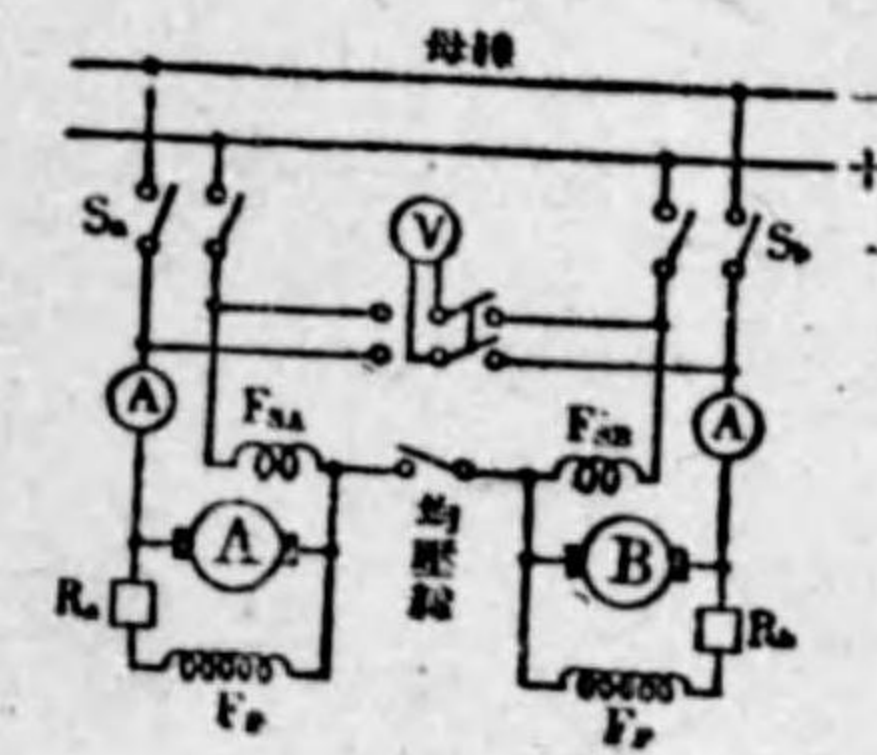
負荷近くになつたので、新に B を並行運転しようとする。B の原動機を規定速度で運転して、其の界磁抵抗器 R_b を調整し、其の端子電圧を(電圧計 V を B 側に入れて讀む)母線の電圧より 1~2% 高くする。併而、 S_b を閉ち、更に R_b を調整し、適當な負荷電流を(電流計 A で讀む)取る様にする。次に負荷が減少したので、A 機を停止しようとする時は、 R_a を増して其の勵磁電流を減じ、A の讀みが零になる様にして後 S_a を開く。



斯様に、A 機の負荷を減じ、B 機に餘計に負荷を分擔させるには A 機の勵磁電流を減じ、B 機の勵磁電流を増せば良い。即ち、直巻發電機の並行運転では勵磁電流を加減して、負荷の分擔が變へられる。

註: 各機の負荷分擔は、 R_a 及 R_b を調整して任意に變へられる。

[複巻發電機] A 機が運転中、新に B 機を並行運転させるには、B 機を前項



の様運転し、 S_b の左側の均壓線(後述)の開閉器を入れ、B が母線電圧よりも稍高くなる様に R_b を調整して、 S_b の右側を入れ R_b を再び調整し A の讀みを見て適當なる負荷電流を取らす。

A 機を停止するには、前項の如く R_a を増加して、負荷電流を零とし、上述と反対順序に各開閉器を開く。

茲に均壓線とは、圖の如く、直巻界磁卷線の發電機側を連絡する導線である。之が無いと、例へば、A 機の原動機が何かの原因で一時的に速度を上昇すると、A 機の端子電圧は増加し、負荷電流を増し、直巻卷線に依る磁界を強め、端子電圧を高め、更に負荷電流を増して、愈々増々その端子電圧を高める。

然るに、B 機の負荷電流は減少するから(A 機が餘分の負荷を取る爲め)、A 機と丁度反対に、端子電圧は低められ、遂には電動機として運転されるに至る。

然るに均壓線があると、兩直巻卷線に流れる電流は、兩卷線が並列にあるのだ

から、AB 2 機の負荷電流の如何に不拘ず、各抵抗の逆比に流れる。故に、例へ A 機の負荷電流が増加する事があつても、電機子内抵抗降下と反作用に依り其の端子電圧を降下し、B 機は之と反對に上昇するから、B 機は A 機が奪つた負荷電流を取り返そうとして安定に運轉出来る。

注：上記で F_{SA} 及 F_{SB} の電流は、各機に分擔電流にならないから、電流計 A は必ず均壓線のない側に入れる。

2.4 一般

2.4.1 型式とその用途

型式	適	用途	
自 動 式	他勵磁式	① 勵磁電圧が、發電機電圧では都合の悪い場合(發電機電圧が低電圧、又は、高電圧) ② 電壓を廣範圍に變へる時	電氣めつき用(低電圧)、 直流耐壓試験電源用(高電圧)レオナード方式用
	分巻式	負荷電流が増すと端子電圧が降下すべき場合	蓄電池充電用
	直巻式	負荷電流が増すと端子電圧が上昇すべき場合	直流昇壓機
	和動複巻式	① 電壓の變動を少くすべき場合(平複巻) ② 電流が増すと、電壓の僅かに上昇すべき場合(過複巻)	饋電線送電用、電鐵用、 工業用動力
	差動複巻式	電流が増すと、電圧が急に降下すべき場合(不足複巻)	電氣熔接用

2.4.2 用途に應ずる型式

用途	型式	備考
化學工業用	他勵式(普通 100V 以下) (金屬刷子等を用ふる)	大容量機で 100V 以上時には、主として回轉變流機、水銀整流器等が用ひられる。
電氣めつき用	" (複巻式も用ふる)	電圧は 3~12V 位で、大電流である。
耐壓試験電源用	"	一般に、ケノトロンで交流高電圧を整流する。廣範圍の電壓調整には分巻式がよい。
勵磁機	分巻式又は平複巻式	

直流昇壓用	直巻式(直流昇壓機)	負荷電流が増すと、端子電圧が昇る。
電鐵用	平複巻又は過複巻式	" "
電氣熔接用	差動複巻式(平複巻機に直列抵抗を用ふる事もある)	負荷電流が増すと急に電圧が下り、短絡電流が小さい。
特殊用	單極直流發電機	低電圧、大電流(數 V、數千 A)に用ふる。
	發電機	直流電壓の變成(直流變壓機)に用ふる
	ローゼンベルヒ・ダイナモ	定電圧用は、列車や自動車の蓄電池充電用、定電流用は、電氣熔接用に用ふる
	三刷子發電機	定電圧用と定電流用があり用途は上記に同じ。

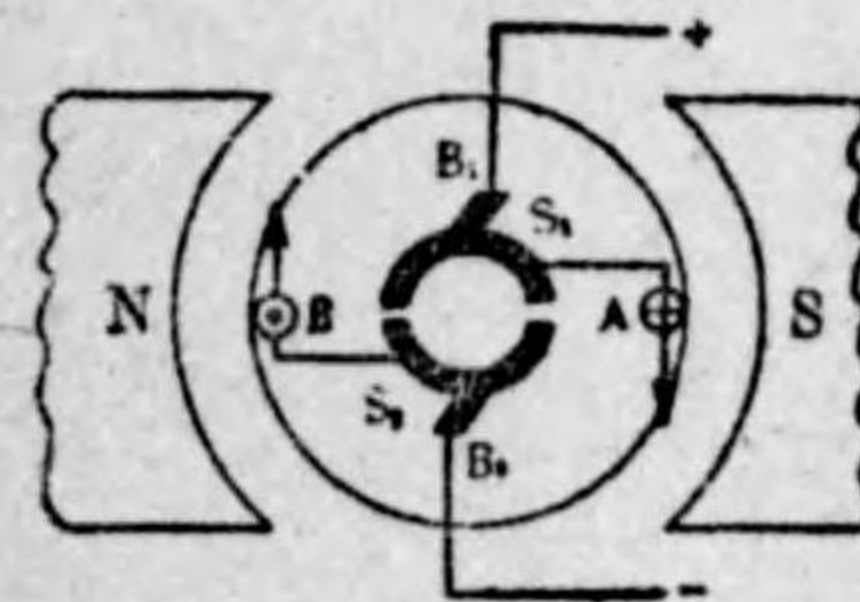
2.4.3 蓄電池充電用 電壓變動率の悪い分巻發電機が最も適當である。複巻式は、直巻昇磁巻線を切離して用ふる。

注：和動複巻發電機を用ふると、電流が蓄電池より逆流した場合、發電機は差動複巻電動機となつて過速する一方、蓄電池は過放電してしまふ。

3. 直流電動機

3.1 一般

3.1.1 原理 停止してゐる發電機の端子に電池を結ぶと、電機子導体には



電流が流れ、左手の法則から、矢印の方向にトルク(回轉力)を發生する。導体が 180° 回轉すると、その電流も整流子に依つて反對方向になり、トルクの方は常に一定である

注：磁極並回轉方向に對する電機子電流の方向は發電機の場合と反對方向にある。

次圖の様に、圓形の電機子鐵心上に、導体 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 を配置して、之れに圖示の方向に電流を流した時、各導体に働く、トルクを考察して見る。

今 Z_1 に就て考へると、 \overline{pq} なる方向にトルクを受ける。之は鐵心の中心線 op と平行の \overline{pr} と、直角の \overline{rq} に分解出来る。 \overline{pr} は單に Z_1 を外に引張り出さう

とする遠心力であるが、 \overline{rq} は \overline{op} と直角で、此の鐵心を時計式方向に回轉させやうとする。他の Z_2, Z_3, Z_4 に就て考へても同様で、此の鐵心を時計式方向に回轉させやうとするトルクがある。故に鐵心は時計式に(矢の方向)に回轉する。然して、外部よりの電流が、常に NN' の左右の導体に、圖示の方向に流れる様にする、鐵心は時計式方向に回轉を續ける。



(此の NN' 左右の電流に定方向を取らずには、發電機の項に述べた整流子を持つて來れば良い) 此の場合も磁界内を導体が廻るのであるから、誘起起電力を生ずる。其の方向は右手の法則に依つて定まり、圖の電流の方向と反對である。故に之を逆起電力と云ふ。

次に、原動機で之を同方向に回轉させ、速度を漸次上げると、遂には此の逆起電力が端子電壓より高くなり、圖示と反對方向に電流を外部に供給する。

今 E = 端子電壓 E_s = 誘起起電力(逆起電力) とすると
 發電機の場合…… $E_s > E$ 電動機の場合…… $E > E_s$

即ち、電動機は發電機となり、發電機は電動機となる。例へば、定電壓回路に結ばれ原動機に聯結された分巻發電機では、勵磁電流を加減する事に依つて、發電機とも電動機ともなる。分巻發電機を電動機として廻した場合、之を分巻電動機と云ふ。直巻、複巻も同様に云ふ。

3.1.2 速度 電動機が回轉すると、

$$\text{電機子の逆起電力 } E_c = \frac{Z}{a} P \phi n \times 10^{-8} = V - I_a R_a \text{ ボルト}$$

但し、 Z …電機子導体の總數 a … Z の分路數 P …磁極數 ϕ …1 極の磁束數 n …毎秒の回轉數 V …供給電壓 $I_a R_a$ …電機子抵抗降下(複巻の場合は、直巻界磁巻線の電壓降下も差引く。)

$$\text{故に、電動機速度 } n = \frac{E_c}{\frac{Z}{a} P \phi \times 10^{-8}} = \frac{V - I_a R_a}{k \phi} = \frac{V}{k \phi}$$

即ち、 n は E_c (V) に正比例し、 ϕ に反比例する。

註; 電動機回轉方向を反對にするには、左手の法則から明かなやうに、界磁か、電機子か、何れか一方の極性を反對にする。但し、界磁を屢々切換へると、高電壓を誘起して端

損する虞れがあるので、普通電機子の接線を反對にする。(電源の極性を反對にしたのでは何れもが反對方向となり、回轉方向は變らない。) 但し、補巻線は電機子と一体として取扱ふ。

3.1.3 トルク 直流電動機のトルク T は、

$$\text{トルク } T = \frac{PZ}{2\pi a} \times \frac{1}{9.8 \times 10^8} \times \phi I_a \text{ kg-m (呎米)}$$

$$= K \phi I_a$$

但し、 $K = PZ / (2\pi a \times 9.8 \times 10^8)$ ……定數

即ち、トルク T は ϕ と I_a の積に比例する。

3.1.4 出力と能率 直流電動機に流入する電力は

端子電壓 \times 流入電流 $= VI$ であつて、此の中、電機子抵抗損 $I_a^2 R$ (R には電機子巻線の抵抗は勿論、刷子の接觸抵抗等も含む) と、分巻界磁巻線の損失 $I_f^2 R_f = VI_f$ を差引くと、大体、電機子の機械的出力となる。

$$\text{出力} = VI - I_a^2 R - VI_f = V(I_a + I_f) - I_a^2 R - VI_f = (V - L_a R) I_a = E_c I_a$$

即ち、電動機の機械的出力は逆起電力と電機子電流の積になる。

註; $E_c I_a$ を 746 で除ると、出力が馬力數で表はされる。1 馬力 = 746 ワット

1 馬力 = 75 呎米/秒

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100 = \frac{E_c I_a}{VI} \times 100$$

3.2 特性

3.2.1 分巻電動機 [速度特性曲線] 電動機に定格電壓を加へ、負荷を増減した時の、 I_a に対する回轉數 n の變化を示した曲線である。即ち、

$$\text{回轉數 } n = \frac{V - I_a R_a}{k \phi} = \frac{E_c}{k \phi}$$

故に、 I_a が増すと $I_a R_a$ が増大し、 n が減少する。然し、電機子反作用により ϕ が減少するので、 n の變化は打消されて少くなる。

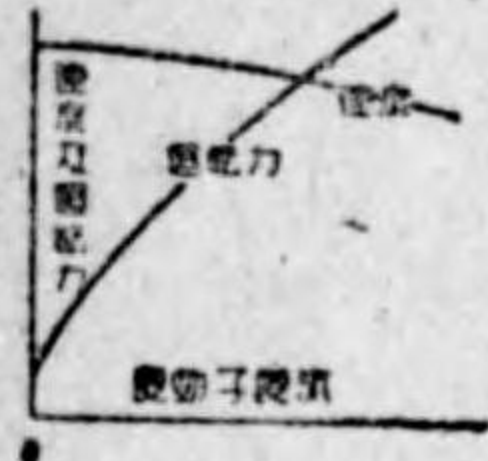
速度の變化は數%を出ない。

註; $I_a R_a$ が反作用の影響より大きいと、 n は低下し、反對に、反作用の影響が大きいと



n は却つて上昇する。但し、前者が一般である

〔トルク特性曲線〕 横軸に I_a 、縦軸にトルク T を取つて、 I_a に対する T の変化を表した曲線である。即ち、トルク $T=k\phi I_a$ であるから、 T は I_a に比例して増すが、 I_a が大きくなると、電機子反作用のため ϕ が減少し、正比例より幾分低くなる



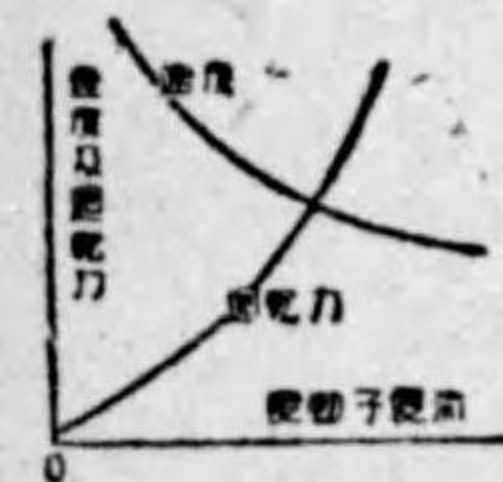
上…トルク速度曲線
下…トルク特性曲線

註：一定速度で回轉してゐるさき、負荷が増えて所要トルクが大になると、回轉数が低下し、逆起電力 E_c が減少するので、 $I_a = (V - E_c) / r_a$ から一定供給電圧 V に対して、電機子電流 I_a が増加し、トルク $T=k\phi I_a$ を大として、増加した負荷トルクを供給する。即ち、分巻電動機は負荷に應ずるトルクを自動的に調整する。

〔トルク速度曲線〕 横軸に T 、縦軸に回轉數 n を取つて、 I_a を一定に保ち、 T と n の関係を示した曲線である。

註：電動機の入力は、 $VI = V(I_a + I_f)$ で、 V 及び I_f は大体一定であるから、入力は I_a 即ち、トルクに略々比例する。

3.2.2 直巻電動機〔速度特性曲線〕 R_a を直巻界磁巻線を含んだ電機子回路の抵抗とすると、



$$\text{速度 } n = \frac{V - I_a R_a}{k\phi} \approx \frac{V}{kI_a}$$

普通 $I_a R_a$ は V の 2~5% 位であるから、 n は I_a に逆比例し、速度特性曲線は左圖のやうになる。

註：直巻電動機を $I_a = 0$ 即ち、無負荷で起動すると、 $\phi = 0$ で $n = \infty$ となり、分巻機の界磁を開いたのと同様に、速度が過昇して（これを逸走と云ふ）危険であるから、必ず負荷と堅固に連結する（ベルト運轉等は避ける）又、 I_a が大きく界磁が飽和すると、 ϕ が一定値になり、 n は $I_a R_a$ の増加により直線的に低下する。

〔トルク特性曲線〕 トルクは、 $T=k\phi I_a = k_1 I_a^2$ 即ち、電機子電流の 2 乗に比例し、トルク特性曲線は、圖のやうに I_a の増加に従つて、急に大となる。

註：實際には、電機子反作用のため ϕ が減少するので、 I_a^2 に比例しない。又、 I_a が大きく界磁が飽和すると、 T は I_a に略々比例する。

〔トルク速度曲線〕 横軸に T 、縦軸に n 及入力を取つて、その関係を表すと次圖のやうになる。

$$n = \frac{V}{k_1 I_a} \quad T = k_2 I_a^2 \quad \therefore n = \frac{V}{k_3 \sqrt{T}}$$

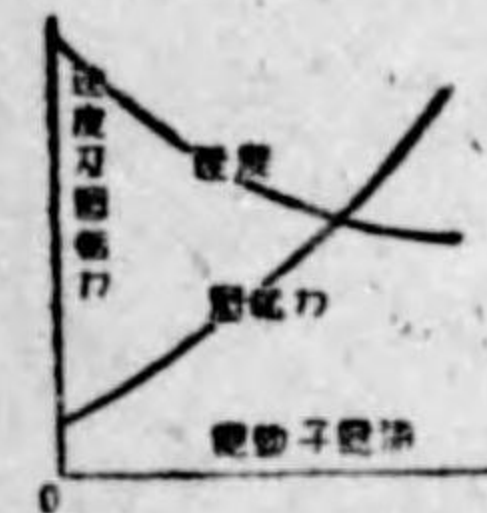
即ち、 n は、ほぼ T の平方根に逆比例する。

註：直巻電動機は、 n が小さい時 T が大きく、 n が大きい時 T が小さいので、電車用、起重機用等の運轉用に適する。

3.2.3 複巻電動機〔速度及トルク特性曲線〕 複巻

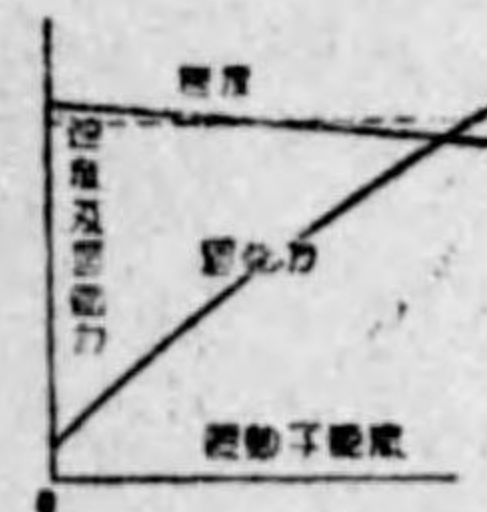
發電機に過複巻と平複巻があつた様に、複巻電動機にも和動複巻と差動複巻がある。和動複巻とは分巻界磁巻線に依る磁界と、直巻界磁巻線に依る磁界とが相加はる様にせられて居る。差動複巻は分巻界磁巻線と、直巻界磁巻線の磁界が相反する様にせられて居る。

和動複巻：無負荷では直巻界磁巻線に電流が流れず、分巻界磁巻線に依つて一定の回轉速度を有する。負荷が増加すると、直巻界磁巻線に依つて磁束数を増し、電機子回路の抵抗電壓降下が増加して、速度を減少する。



トルクは、負荷の増加と共に直巻界磁巻線の働きと、電機子電流の増加に依り増加する。本電動機は、結局、分巻電動機と直巻電動機の中間の性質を有する。

差動複巻：分巻電動機は略々不變速度であると述べたが、負荷の増加に依り



$I_a R_a$ なる抵抗電壓降下が大となり、速度は多少降下する。

今、直巻界磁巻線の磁界の方向を分巻界磁巻線の磁界の方向と反対にすると、負荷の増加に依り磁束数 ϕ を減じ、之が n の式の分子の減少と略々等しくなるから、速度は一定に保ち得る。トルクは、負荷の増加と共に電機子電流は増すが、

磁束が小となるので餘り増加せぬ。此の電動機は起動に當つて、直巻巻線を短絡せぬと、起動の時の電機子電流は大きいから、主磁界を著しく弱め、起動トルクが小となる。主磁界を打ち消して餘りがあると電動機は逆方向に起動し初める。

註：内分巻も外分巻も特性は同様である。直巻界磁等は一様に分巻界磁束の 20~30% 位とせられる。

3.3 起 動

3.3.1 起動の條件 電動機を起動するのに必要な條件は、起動電流の小さいこと、起動トルクの大なることである。起動電流が大きいと、電動機巻線を焼損する虞のある一方、電源容量が小さいと、電圧降下が著しく大きいので、電動機の端子電圧が低くなり、十分な起動トルクが得られないので、起動が困難になる。然も、之れと同一線路に結ばれた電燈、電熱負荷の光力或は温度の低下を來す。起動トルクは負荷に依つて、必ずしも大なるを要しないが、例へば、電車用電動機或は昇降機用のもものでは、著しく大きな起動トルクを必要とする。

註：直流電動機の起動電流は、全負荷電流に對し、1馬力で20倍、100馬力で60倍も流れる。

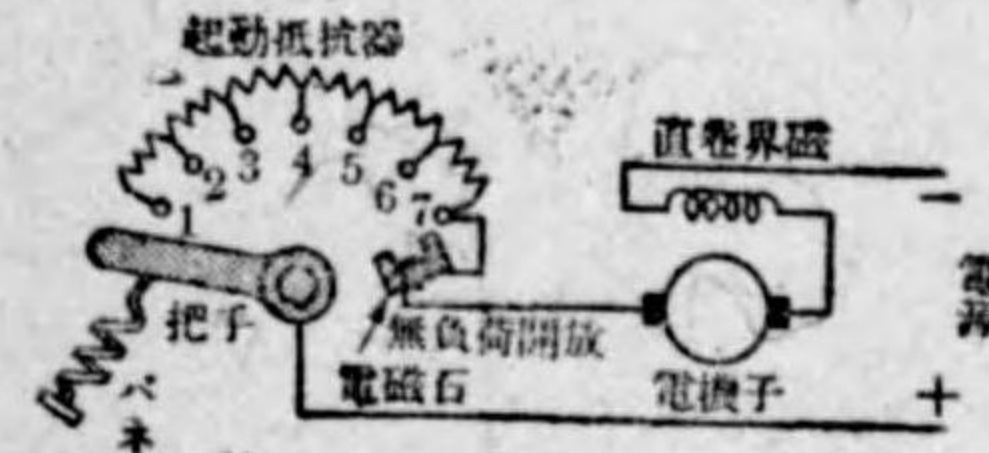
前述したやうに $I_a = \frac{V - E_c}{R_a}$ $T = K\phi I_a$ であるから $n=0$ である起動の際には、 $E_c=0$ であつて、起動電流は極く僅かな抵抗 R_a に制限せられるのみで莫大な値となる。次に ϕ であるが、之は直巻電動機、或は和動複巻電動機では I_a に比例して、直ちに大きな値に達して、 E_c を大とし、 I_a を制限する。然るに分巻電動機では、 V に比例して略々一定であるから、 I_a は速度 n の上昇につれて制限されるのみとなる。差動複巻電動機では、 I_a が大に失すると、界磁の極性が逆となつて、逆轉する場合すら考へられる。

以上、何れにしても、起動の當初は起動電流を電機子回路に挿入した抵抗で制限し、速度の上昇、 E_c の成長に應じて、漸次に之れを抜き去るやうにする。斯様な目的に用ひられたのが起動器である。結局、起動器は起動の際に、一時的に R_a を大とする装置だと云へる。

制限せられる起動電流の値は、電動機を焼損せず、ヒューズを熔斷せず、電源に悪影響を與へないで、然かも、必要な起動トルクが得られるやうなものであつて、全負荷電流に對して、

- (イ) 起動回数の頻繁でないもの 2~2.5 倍
- (ロ) 起動回数の頻繁なもの 1.2~1.3 倍
- (イ) は工作機運轉等、(ロ) は電車用又は起重機用等で、一般的な標準値としては 1.5 倍になる。

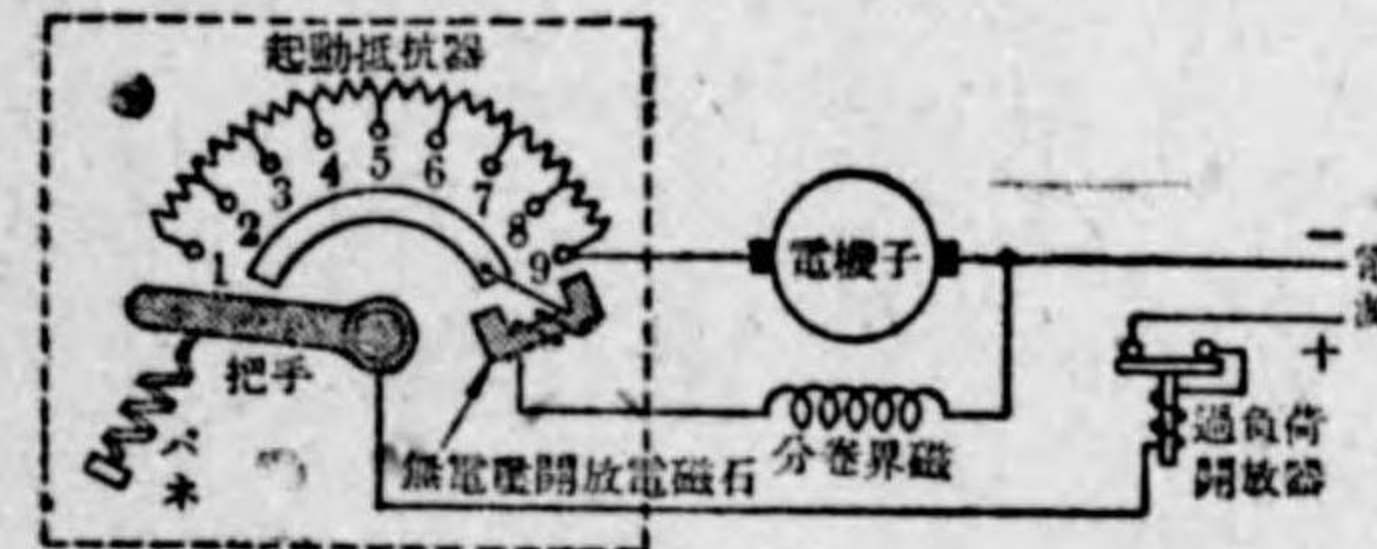
3.3.2 手動起動器 [直巻電動機] 初め把手を1に入れ、起動電流が減少するに従つて、把手を2,3,...7と順次に移す。無負荷開放器は、電源が停電した



時、電磁石の吸引力がなくなつて自動的に回路を開き、次に起動するとき、全電壓起動を行はぬやうにする役目を持つ。

註：無負荷開放器（又は無電壓開放器とも云ふ）は負荷が著しく減少した時にも働き、速度の過昇を防ぐ。

[分巻電動機] 分巻界磁には常に全電壓を加へ、電機子にのみ起動抵抗を挿入

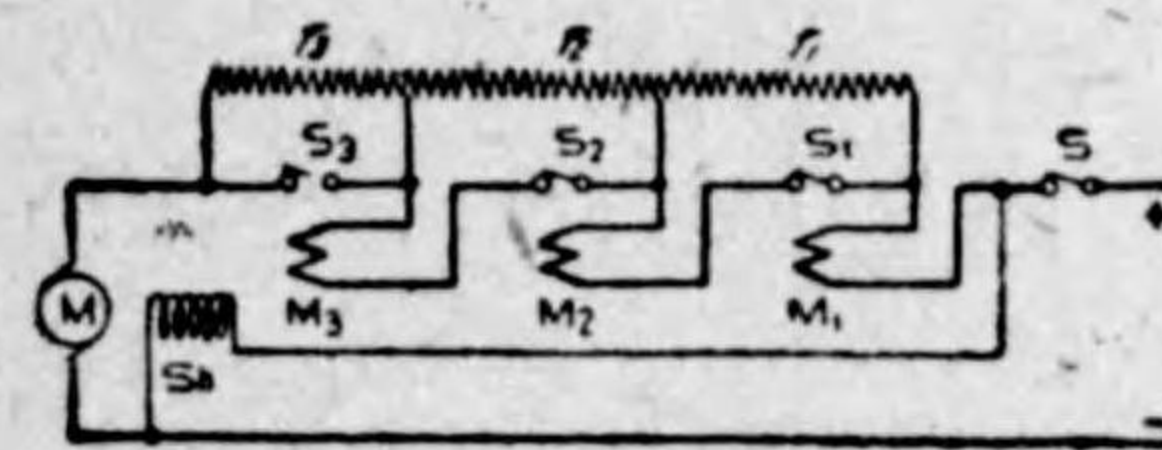


する。無電壓開放器の他に、過負荷開放器を設けて、電動機の過負荷に依る巻線の焼損を防ぐ

註：無電壓開放器の電磁石は、界磁回路に直列であるから、界磁回路が開放されると、電動機を電源から

切り離して、速度の過昇を防ぐ。尚、起動器は短時間定格に設計されてゐるから、速度制御に兼用して連続使用をすると、温度が過昇して破損する。

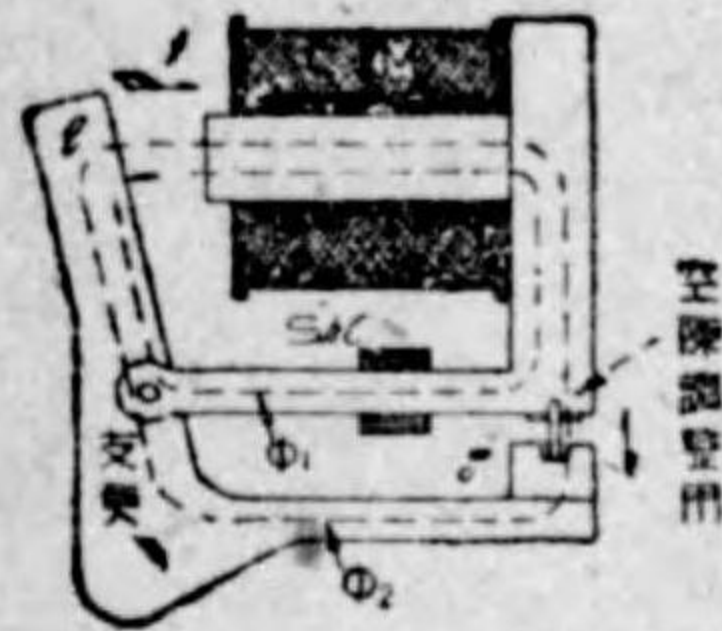
3.3.3 自動起動器 Sを入ると、分巻界磁には直接に、電機子には M_1



$r_1 r_2 r_3$ を通じて、夫々電源電圧が加はる。電動機が加速して起動電流が一定値に減ると、 M_1 により S_1 が閉ちて、電流が再び増す。更らに電流が前の値に下ると、 S_2 が閉ちる。このやう

にして順々に S を閉ち、起動電流を一定の範囲内に保つ 起動後は、各線輪によつて $S_1 S_2$ 及 S_3 を閉ち、 $r_1 r_2 r_3$ には電流が流れない。尚、回路を開くと各 S が開いて起動の状態に戻る。

註：上記の開閉器 $S_1 S_2 S_3$ は、次圖のやうな構造である。 ϕ_1 の通路は断面積が小さく飽和の状態にあるから、線輪 M に電機子電流を流すと、電流が大きい間は、磁束の大部分



は ϕ_2 の通路を通つて、 g の空隙に大きい吸引力を発生し g の空隙を吸引し、 f の接點を外してある。然し、 M の電流が減少すると、 ϕ_2 は速かに減じ、 g の吸引力が弱まり f の空隙の吸引力が勝つて、腕 q を吸引する。 q の頭部には、接觸子があつて、起動抵抗を短絡する。

圖中の S_1C は、電流の急増に依る ϕ_1 の増加、即ち、 q の吸引を防止する制御巻線である。

3.4 速度制御

3.4.1 速度に対する負荷の要求 電動機の世界に対する要求は、負荷の種類に依つて、相違するが、之を分つと、大体、次の3種となる。

① 定速度；負荷の如何に拘らず、一定速度を要求するもので、例へば、工場の主軸運轉用等である。

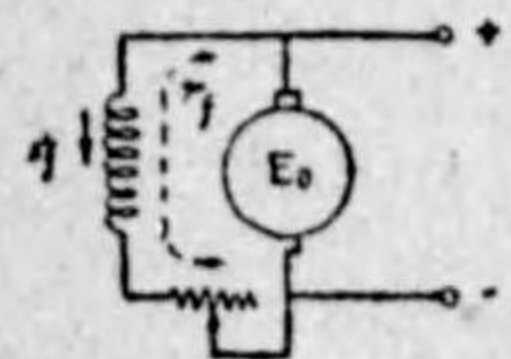
② 調整速度；種々な速度が得られ、然も、一度び速度を或る値に調整すると、負荷の大小に拘らず、此の速度を持続し得るもの、例へば、工場の工作機各箇運轉用等である。

註；之れを更らに分つと、多段速度と加減速度になる。前者は階段的に速度の調整されるものである。

③ 變速度；負荷と共に速度が變じてよく、廣い範圍の速度が得られるもので、例へば、電鐵用、起重機用、昇降機用等である。

元來、電動機は夫々先天的の速度特性を有し、夫々に適應する用途がある。此の先天的の速度特性を更らに人工的に制御して、一層に、負荷の要求する處に合致させるのが、速度制御の目的である。

3.4.2 分巻電動機 [一般] 直流電動機の世界は、 $n = (V - I_a R_a) / k\phi$ であるから、 n を變へるには、 ϕ か V 、又は R_a を調整する



[界磁制御] 分巻界磁に界磁抵抗 R を直列にし、その値を調整して、勵磁電流従つて界磁束 ϕ を變へ、速度 n を制御する。

註；重ねて注意するが、運轉中に分巻電動機の界磁回路を開くと殘留磁束のみとなり、速度が著しく昂進して、遠心力のために、電機子線輪が火花が破裂し

たやうに、飛出すことがある。特に輕負荷の時に注意する。起電盤を掃除して居つて、誤つて界磁回路を開くことがある。

界磁制御の得失

特 長	缺 点
① 界磁電流が小さく、その銅損が少い。	① ϕ が小さいと、電機子反作用磁界の影響が大きく、整流が不良になる。
② 電流が小さいので、抵抗器が小容量小型となる。	② n が大になると、整流の時間が短く、整流子に火花を發生する。
③ 細かい速度制御が容易に行へる。	
④ 負荷の變動による速度變動が少い。	

註；界磁制御による速度の上昇範圍は、普通電動機で定格速度の 30~50% 位、補挿付で 100% 補償巻線付で 300~400% である。

[電機子抵抗制御] 電機子回路に抵抗 R を直列にして $V - I_a(R_a + R)$ を變へ n を制御する。電力損失が大きく、抵抗器が大型になる等の欠点があり、一般的でない。

註；界磁制御法では、一度 ϕ の値を調整すると、 $I_a R_a$ は端子電壓 V に比して小であるから、速度は負荷の變化(従つて I_a の變化)に依つて、餘り相違しない。然し、電機子に抵抗を挿入する方法では、 ϕ は一定であるが、 $I_a(R_a + R)$ が I_a の値に應じて變化するので、負荷に依つて著しく速度が變化する。この速度變動の割合を速度變動率で表はす。

$$\% \text{速度變動率} = \frac{N_0 - N}{N} \times 100$$

N_0 …無負荷時の速度 N …全負荷時の速度

今、 $V = 200V$ $R_a = 0.1\Omega$ $I_a = 20A$ なる電動機で、速度を 20% 降下するには、

(イ) 界磁制御に依つた時の速度變動率

$$\% \text{Reg} = \frac{1}{1.2\phi K} \frac{\{200 - (200 - 20 \times 0.1)\} \times 100}{200 - 20 \times 0.1} = 1.01\%$$

(ロ) 電機子抵抗制御に依つた時の速度變動率

$$(200 - 0.1 \times 20) \times 0.8 = 200 - (0.1 + R) \times 20 \quad R = 1.98\Omega$$

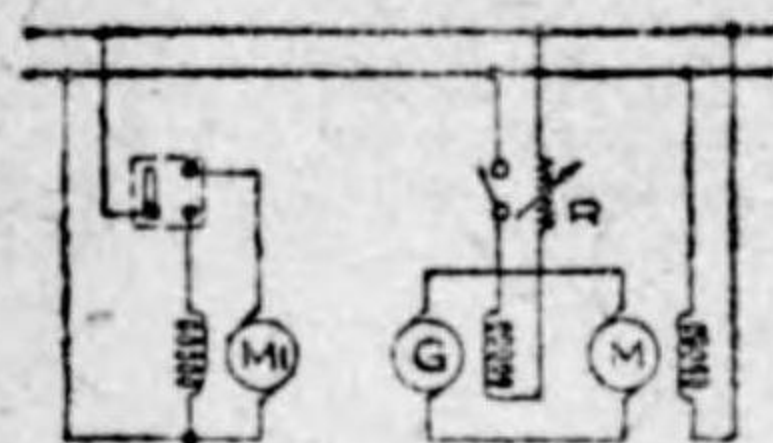
$$\% \text{Reg} = \frac{200 - \{200 - (1.98 + 0.1) \times 20\}}{200 - (1.98 + 0.1) \times 20} \times 100 = 26.4\%$$

以上より明かなやうに、(イ)の %Reg は 1.01% であるのに (ロ) は 26.4% にもなる

から、(ロ)は既述した調整速度の負荷には適さない。

元來、分巻電動機は速度變動率の少いことが長所であるから、新陳な速度變動率を大きくする方法は分巻機の天性を歪め、使用範圍を自から限定する。

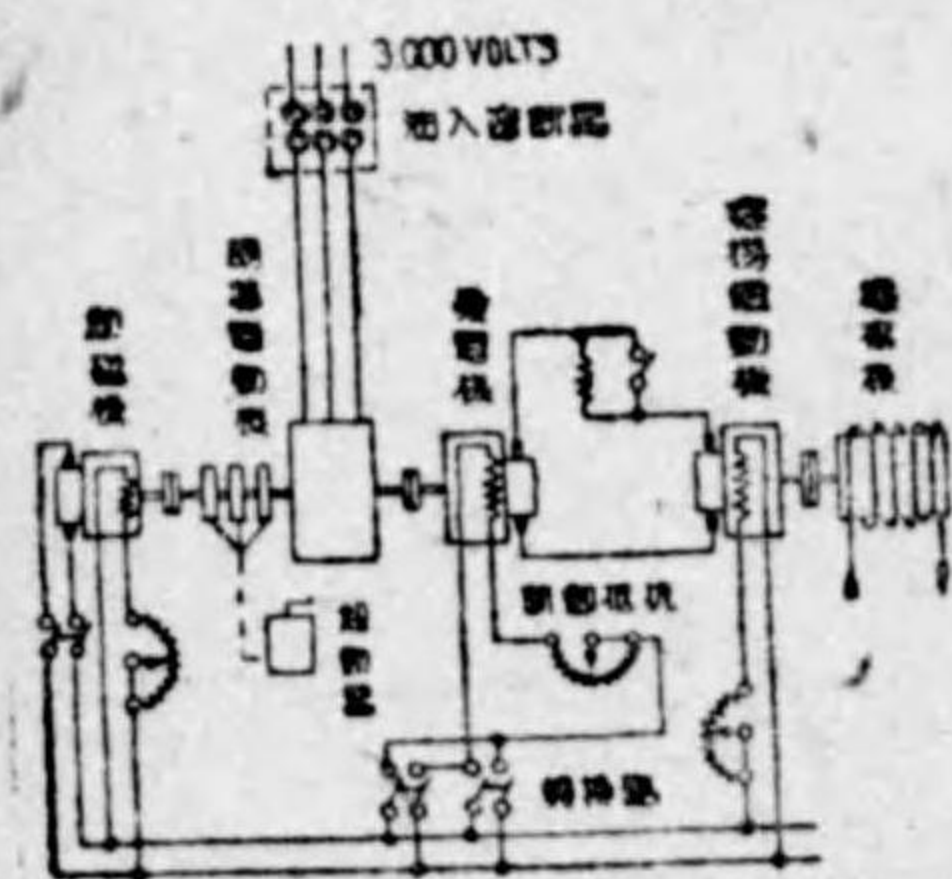
〔電壓制御〕供給電壓 V を變化して速度を制御する。供給電壓を變更すると一概に云ふが、直流の場合は變壓器のやうな便利なものがないから、速度を制御すべき電動機 1 台に對して別に電動發電機を設備せねばならない。故に設備が複雑となり高價になる。従つて、よくよく廣範圍に速度を制御せねばならない場合の他



は用ひない。一般に實用されてゐる方法は左圖の如くレオナード法である。圖に於て M は速度を制御すべき主電動機、M₁ と G は直結された電動發電機で G より M に電壓を供給する。發電機 G の加減抵抗器 R を調整して G の電壓を

零から最大迄、或は逆方向に、(界磁極轉換開閉器あり)極めて廣い範圍に調整せられる。従つて M の速度も零から最大迄或は逆回轉さす事も出来る。此の電動發電機 (M₁ G) の回轉軸に大なるはずみ車を附する時は、M にかゝる負荷の變動が劇しい場合にも、電源から M₁ に供給される電力の變動が緩和される。

註: はずみ車 (蓄勢輪) は重量のある回轉輪で、速度が一時的に降下或は上昇しやうとしても、此の大なる慣性で阻止され、負荷を均一化する。此の作用をはずみ車効果と云ふ。



註: 誘導電動機の軸にははずみ車が附せられる。尙本方法は、電源が得易いが、更らに補助機が増し、費用が高む。大型機に採用される。尙、圖は高壓三相誘導電動機に直流發電機と勵磁機を運轉してゐる。

3.43 直巻電動機 分巻機と異つて、界磁と電機子回路が直列にあるから

速度制御の方法も分巻機と事情が相違する。

〔界磁制御〕直巻界磁巻線に流れる電流(即ち負荷電流)を調整する。之れが爲めには先に發電機の電壓調整法で述べたやうに、界磁巻線と並列に抵抗を挿入し、此の値を調整して勵磁電流を、従つて ϕ を變化して速度を制御する。此の場合、餘り ϕ を少くすると、整流が困難になるから、分流加減抵抗に流れる電流は全電流の約 60% を限度としてゐる。

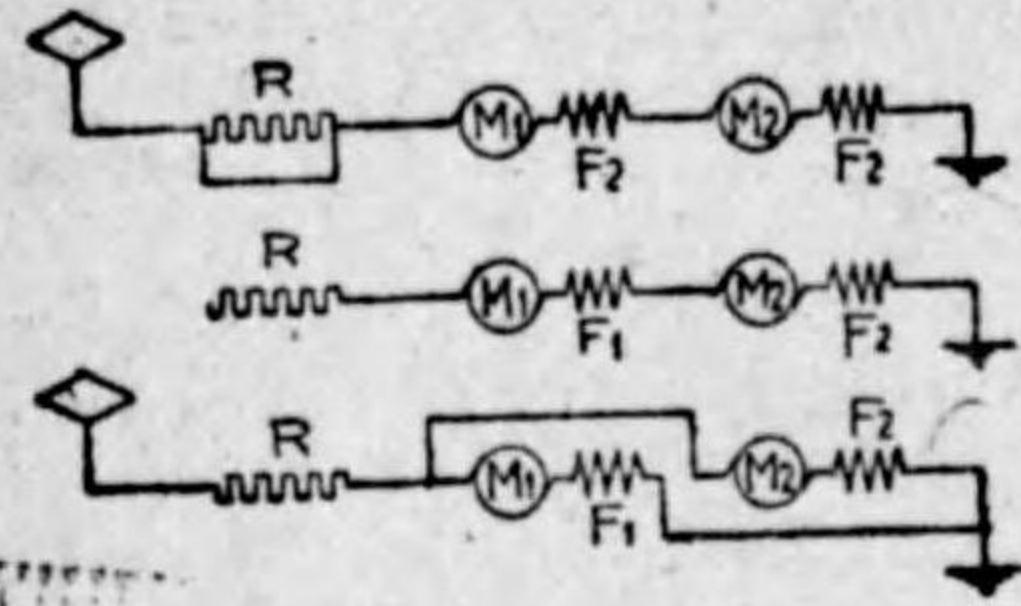
茲に注意して置きたいのは、分流加減器は純抵抗 R を用ひないで、なるべくインダクタンス L の大きいものを用ふる(界磁の L/R と此の L/R を等しくするのが理想的)でない、界磁巻線のインダクタンスは相當の値であるから、負荷電流の變化した其の瞬間は、インダクタンスの少い加減抵抗器に大部分の電流が流れ、 ϕ を過少として一時的に速度を昂進する心配がある。

註: 直流の場合でも、電流が急變した瞬間は、矢張りインダクタンスが働いて、電流の變化を阻止しやうとする。

ϕ を變化する他の一つの方法は界磁巻線の回数を變化する。即ち直巻界磁巻線より若干のタップを出して、その一部を短絡又は切り離すのであつて、界磁のアンペア回数の回数の方を變化して速度を制御するのである。之れとても、整流の關係から全回数の 60% 以上は切り離すことは出来ぬ。此の特殊な場合として、界磁巻線を 2 つに分つて、之を直列に或は並列に接續變更を行ひ、速度を制御することもある。

〔電機子抵抗制御〕電機子回路(従つて界磁回路)に抵抗を挿入する。之は分巻機の場合で述べたやうに、電力損失が大きいし電流容量も大とせねばならない。然し分巻機の場合と異つて、直巻機では ϕ を調整する方法は適當でない。又 R_a の調整法の欠点とした速度變動率の大きい事も、使用目的が變速度(負荷に依つて速度の變化しても良いもの)にあるから構はない。従つて、此の方法が用ひられるのであつて、本方法は、電機子に加る電壓 $V - I_a(R_a + R)$ の R を調整するのであるから、理論的には V を變更する方法に入れても良い。従つて (ϕ) の方法よりも速度の調整範圍が大きいので、一時的に速度を制御する場合に(例へば、電車、昇降機等で漸次速度を上昇する、或は降下する過程で)用ひられる。長く其の速度でゐると、電力損失が大きく、此の熱容量を有するには、抵抗器は著し

く電大なものに設計しなければならない。



〔電壓制御〕 直並列制御とも云はれ、

同一の電動機が数台ある時、それを直並列につないで、電動機1台の加電圧を變へ速度を制御する。

註：圖はその1例を示したもので、初め2臺を直列にして起動電流を少くする。次に、2

台を直列にすると共に抵抗を直列にして、これを次第に減少し、速度を高める。速度を低下させるには、並列を再び直列とする。

直巻電動機は電車用等のやうに、起動時のトルクが大きく、速度は小でよい、又、速度が大きいと、トルクの小となる負荷に全く性能が一致する。

註：電鐵がほとんど直流専用であるのは、全く直巻電動機を用ひたい爲めである。

直流電動機速度制御法を一括して表示すると、

	界磁制御	電機子抵抗制御	電壓制御
分巻機	界磁調整器(主)	加減抵抗器	レオナード法 イルグナ法
直巻機	分流加減器 タップ調整	加減抵抗器(主)	直並列法(主)

(主) とあるのは、實用的方法として廣く用ひられるものである。

3.4.4 電氣制動 電動機を電源より切離し、惰性で回轉させて發電機として電力を發生させる。この時、電機子には前と反對方向のトルクが表はれるから制動作用を行ひ、速かに電動機が停止する。これを電氣制動と云ふ。

註：電氣制動には、發生電力を抵抗に消費させる發電制動、發生電力を電源に送り返す回生制動等がある。主に電鐵で用ふる。

3.5 運 轉

3.5.1 直流電動機と三相誘導電動機の比較

直流電動機の特長	三相誘導電動機の特長
① 極數に關係がなく、速度が任意に變へられる。	① 整流子がなく、取扱簡單で然かも丈夫である。

② 速度の調整が圓滑で、能率がよい

③ 故障が甚だしい。

③ 直巻機は、負荷の所要トルクにより自動的に回轉數を變へて、そのトルクに應ずる。

③ 高電壓、高速度、大容量のものが出来る又、電源が容易に得られる。

註：缺點は、他側の長所の反對である。

3.5.2 直流電動機の特徴並に用途

	特 徴	用 途
直巻電動機	① 起動トルクが大きく、起動の頻繁な場合に適する。 ② トルクが増すと速度が下り、入力が略一定で、電源に悪影響を與へない。	電車用電動機、起重機及び巻上機、船舶用通風機、プロペラ通風機等の運轉用
分巻電動機	① 速度の變動が少く、一定負荷の連続運轉に適する。 ② 速度の調整が容易で、能率がよい。	工作機(旋盤、齒切機、成形機等)ポンプ、送風機、船舶のポンプ等の運轉用
複巻電動機	① 和動複巻(直巻特性)のものは直巻電動機に、差動複巻(分巻特性)のものは分巻電動機に夫々近い。 ② 無負荷でも逸走しない。	起重機、電動巻上機、往復ポンプ、工作機、揚船機、操舵機等の運轉用。

3.5.3 分巻電動機の電壓による特性の變化

特 性	電壓が上昇した時の特性の變化
界 磁 束	界磁鐵心が飽和してゐない時は、略々電壓に正比例するが、飽和してゐると極く僅かしか増加せぬ。
勵磁電流、界磁銅損	勵磁電流は、電壓に略比例して増し、従つて界磁銅損も増加する。
速 度	一般に定格電壓で界磁鐵心が飽和してゐるので、逆起電力の増大により増加する。
負 荷 電 流	出力が一定の時、電壓に反比例して減少する。
能 率	界磁銅損と鐵損は増すが、電機子銅損が減少するので略々一定である。

註：電壓が低下した時は上記の反對である。

4. 直流機の運轉

4.1 電機子反作用

4.1.1 2極機 ① 刷子を幾何學的中性軸 (N S 磁極の中間) に置いた時;

發電機の場合



- ⊕...紙面上より紙面下に向つて電流が流れる
- ⊙...紙面下より紙面上に向つて電流が流れる

電動機の場合



電機子導体の電流によつて圖の X Y 方向に反作用磁界 On を生ずる。之れは電機子上の各導体に右ネジの法則を適用して考へると、自から明かである。故に、これと主磁界 ON の合成磁界は、OS の方向に移動

する。このやうに、主磁界と直角方向の反作用磁界を交叉磁化、又は、偏磁と云ふ。

註: 整流状態をよくする (火花を少くする) には、刷子は起電力を誘起しない線輪上 (合成磁界と直角の方向) に置かねばならぬ。何故なら、刷子で起電力を有する線輪を短絡すると、大きな短絡電流が刷子を通じて流れ、火花発生の原因となる (4.2.2 参照) 合成磁界と直角な線輪上では、線輪が磁界と平行 動くから起電力は零である。尙、偏磁作用のため、磁極端の一方の側を強め、他方を弱めるが、磁極の磁気飽和により全磁束が幾分減少する。故に、發電機では電圧が下り、電動機では速度が増す。

② 刷子が幾何學的中性軸 (X Y 軸) がない時; 刷子を X Y 軸より α 角



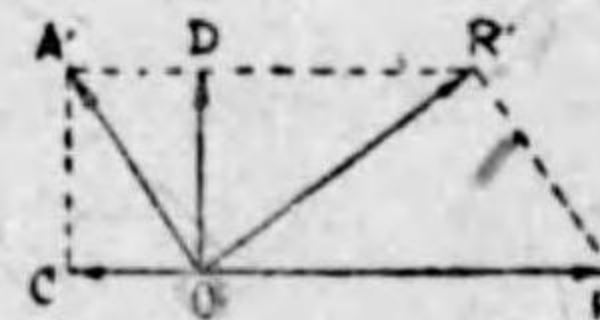
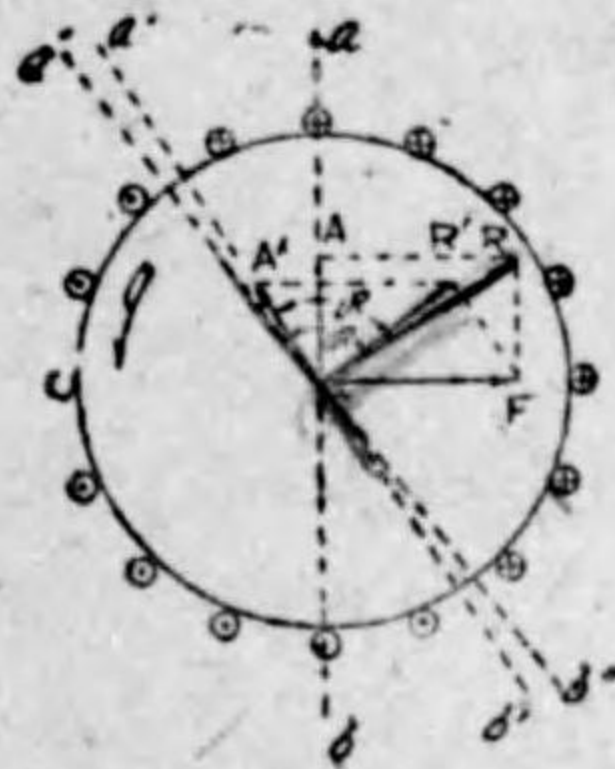
移動して X' Y' 軸上とすると、反作用磁界 On は X' Y' 軸の方向になる。この On を X Y 軸上と、これと直角な軸上の各分力に分けると、前者 mn は交叉磁化作用を行ひ、後者 Om は減磁作用をする

註: Om を作る電機子導体は、 4α 角内で、この部分のアンペア回数 (巻回数 \times アンペア) を減磁アンペア回数と云ふ。

又 $(2\pi - 4\alpha)$ 角内のアンペア回数を、交叉アンペア回数と云ふ。

③ 刷子を電氣的中性軸に置く時; 電氣的中性軸とは、良好な整流を行ふため

に、刷子を合成磁界 OR と直角な位置に進めた時、この軸上を云ふ。



前圖と同轉方向が反對である

註: 最初、刷子を幾何學的中性軸 ab より合成磁界 OR に直角な軸上 a' b' に移すと、そのため合成磁界は更に偏か進み OR' となる。故に、刷子を再び a' b' 軸上に進める。然しこの合成磁界の移動は、刷子の移動につれて急激に小さくなり

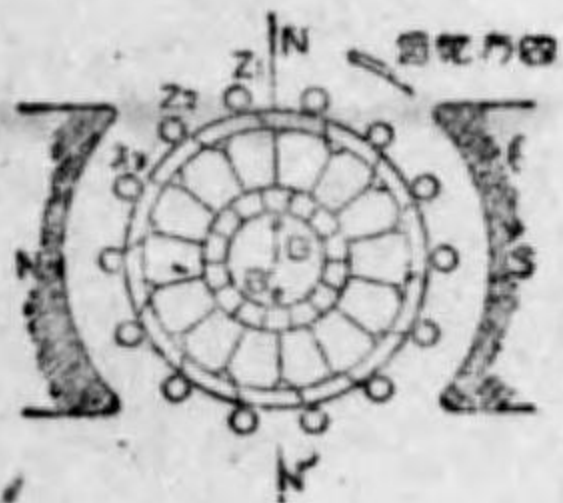
結局、右圖のやうに、OA が OR と直角になる。この OA を電氣的中性軸 (或は整流軸) と云ふ。但し、OF が主磁界、OA が反作用磁界、OD は其の偏磁分、OC は減磁分である。

4.1.2 多極機 多極機でも主磁界及び、電機子反作用磁界の各分布を空際に沿ふて畫くと、2極の場合と全く同様な作用をすることが分かる。

4.2 整流

4.2.1 整流作用 既述したやうに、直流機の電機子各導体に誘起する起電力

は、交流機の場合と同様に交流であるから、これを直流として外部に導くために、整流を行つた。

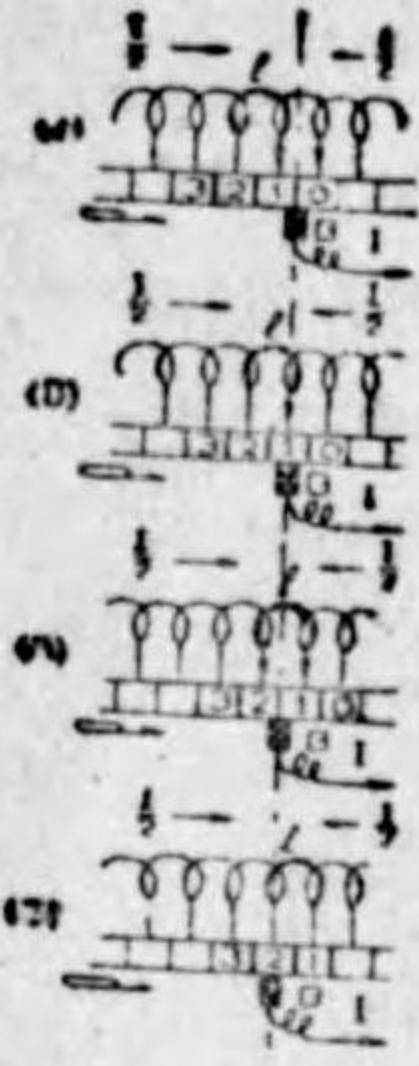


註: 整流子は、多數の銅片を圓形に集め、夫々を雲母で絶縁して、各銅片を圖のやうに導体 Z_1, Z_2, \dots につないだものである。

上圖に於て、整流子は電機子導体と共に回轉し、刷子 B, B' は靜止してゐる。

今整流子片 1, 2 の間に結れる導体 l が刷子 B の下を通過し、刷子に依り整流せらるゝ前後の状況を考へると、次圖の (イ) (ロ) (ハ) (=) の展開圖のやうになる。即ち 1, 2 間の整流子片から直接導き出したのでは、l が中性線 NN' の左にある時 [(イ) 圖の如く] の起電力の方向は 2 から 1 に向ひ、右に移ると [(=) 圖の如く] 1 から 2 の方向となる。然るに、刷子に依つて導き出されると、(イ) より (=) に至る展開圖で明かな様に、常に刷子 B より導き出され

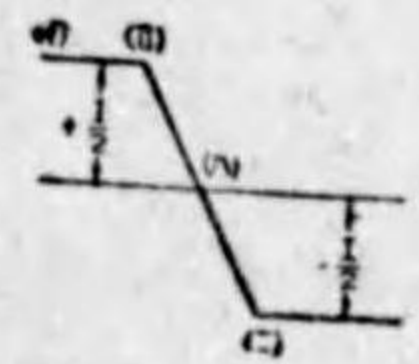
る方向を取る。斯く B 刷子よりは常に電流を流出し、反対側の B' 刷子よりは常に電流が導体に流入する。斯様にして、整流子の働きに依つて、磁界内を回轉する導体から直流を得る。



次に BB' 刷子間に負荷を結ぶと、NN' 左右の導体に誘起される起電力に相當する電流が流れる。之が B' 刷子より NN' の左右の導体に各 $I/2$ づゝ流入し、B 刷子で集つて I となつて流出する。

次に上記の展開圖に就て考へると、線輪 l が刷子の元を通過する前後に於て、其の中に流れる電流の方向が反轉 ($+\frac{I}{2}$ より $-\frac{I}{2}$ へ) される。然して、(ハ) の位置では l 線輪に電

流が流れてはならない。此の間の推移を圖示すると左圖の如くなる。即ち、

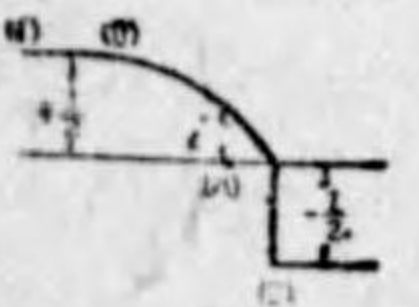


l 線輪が (イ) (ロ) 圖で $\frac{I}{2}$ を流して居つたものが、漸次減少し、(ハ) 圖の位置で零となり、漸次反対方向の電流を増大して (=) 圖の位置で $-\frac{I}{2}$ となる。こうなつて呉れると

理想的であるが、實は l 線輪には自己誘導がある。自己誘導とは電流が減ると、其の電流に依つて生じて居つた磁束が減じ、之が該導体を切つて、電流を減じさせない方向の起電力を誘起する。又、電流が増して行く時は、電流の増加に反対する方向に誘起起電力を生ずる作用である。

従つて、(ハ) 圖の位置では、此の l 線輪の自己誘導に依る起電力が、刷子で短絡せられるので、相當の局部的電流を流して、刷子を過熱する。

又、l 線輪の結ばれる整流子片 1, 2 が (=) 圖の位置、即ち、1 なる整流子片が刷子を離れる際に、此の自己誘導に依る起電力の爲めに、空氣中を通じて火花放電に依る電流を流す。



其の狀況を示すと左圖の如くなる。即ち l 線輪には (ハ) 圖の位置に於ても i なる電流が流れ、i より零に至る電流は火花放電で流れる。

註：上圖のやうに、横軸に時間、縦軸に整流線輪 l の電流變化を示したものを整流曲線と稱する。又、自己誘導に依る電壓をリアクタンス電壓とも云ふ。

斯様な火花は、整流子を過熱し消耗させるから、出来るだけ無火花整流を得る方法を講ぜねばならない。其の方法を次項で述べる。

4.2.2 無火花整流 無火花整流を得る方法は、① 抵抗整流；高抵抗の刷子、例へば、炭素刷子を用ひて、上記の短絡電流を小さく制限する。今日の整流子機は特殊の場合の他は、總て炭素刷子を用ひてゐる。

② 電壓整流；刷子を電氣的中性軸以上に進めて、整流線輪の誘起電壓で、リアクタンス電壓を打ち消す。

刷子を進める方向 — 發電機の場合は回轉方向
— 電動機の場合は回轉方向の逆

これと同様のことは刷子の幅を廣くしても行へる。即ち、刷子の幅を廣くすると、整流子が刷子を離れる際に、刷子を移動した場合と同様に、既に、次の磁界に這入つてゐるから、自己誘導起電力を打ち消す起電力を誘起してゐる。此の刷子を移動する分量は、磁界の強さ、負荷電流の大きさに依つて相違する。實際に之れを行ふには、刷子を移動して見て、火花の最小な点に留める。

註：斯様に發電機に於て、電機子反作用磁界を生ずると、刷子を移動せねばならない。刷子を移動すると、前述したやうに、減磁作用が大きくなり、誘起起電力が低下する。従つて、端子電壓を舊の値に保持する爲めには、勵磁電流を増さねばならない。電動機に於ても刷子を移動すると ϕ が小になるから、トルクが減少し、n を小にしようとするが、一方、 ϕ が小になつて n を大にしようとするから、n には餘り影響がない。即ち

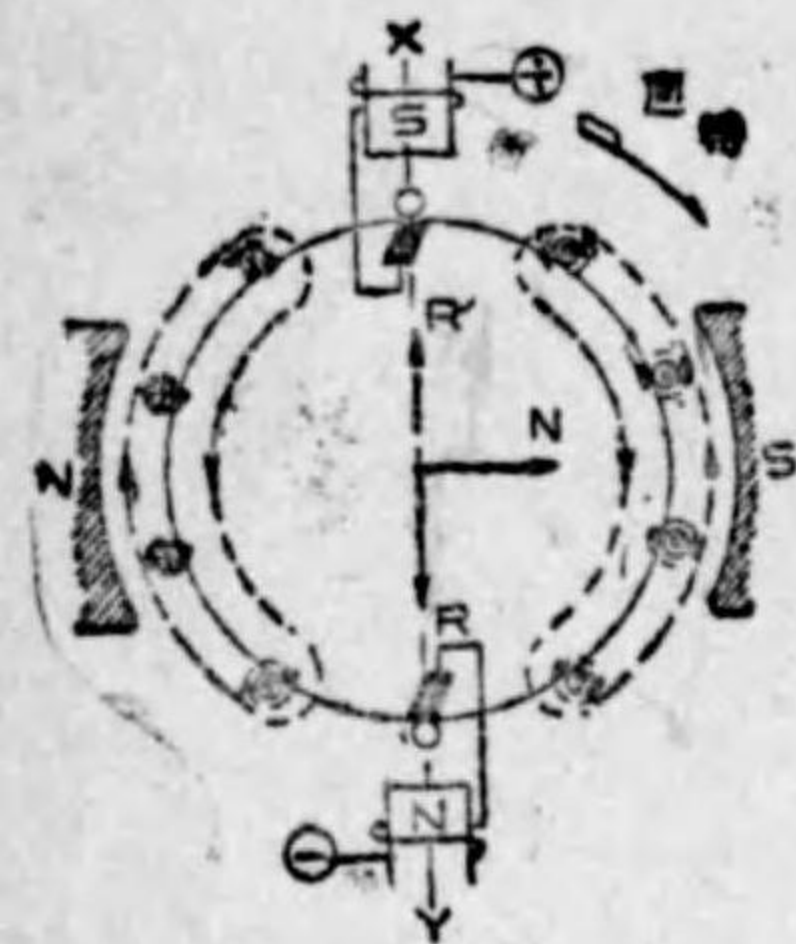
刷子を移動すると — 發電機では端子電壓の低下
— 電動機ではトルクの減少

となる。電動機は發電機と異つて、普通は容易に手がつけられないやうな場所に据付けられてゐるから、そうそう負荷状態に応じて刷子を移動出来るものでない。従つて、電動機では界磁を充分に強く設計して、電機子反作用の影響を少くし、少々の負荷の變動では刷子を移動せず無火花整流を得るやうにされる。然し、根本的には補極なり補償巻線を用ふべきである。

③ 補極を用ふる (電壓整流の 1 種)

① 補償巻線を用ふる（電機子反作用磁界を打ち消す）

4.23 補極 良好な整流を得る爲めには、前述したやうに、刷子の位置を
負荷に応じて調整せねばならない。之は甚だ煩雜であるから、補極を用ふる。



發電機の場合

此の補極と云ふのは、主磁極間に小磁極を置いて、
此の勵磁巻線に負荷電流を通じ、その極性を
補極の極性—

- 發電機では電機子が次に入る主極と同一
- 電動機では電機子が次に入る主極と反対

とする。即ち、主極をNS、補極を ns とすると、發
電機では回轉方向に S→n→N→s とし、電動機では
S→s→N→n とする。斯様な小磁極を置くくと電機子
反作用磁界の合成（無負荷の中性線 XY 上にある）

\overline{OR} と反対に $\overline{OR'}$ の如き磁界を生ずる。其の結果

\overline{OR} と $\overline{OR'}$ は相殺して中性線電移動しない。然かも、負荷電流の大小に依つて
 \overline{OR} と $\overline{OR'}$ は同じやうに増減するから一々中性線を移動する必要がない。即ち
補極は反作用磁界を自動的に打ち消す。此の補極は發電機よりも寧ろ電動機に多
く採用されるのであつて、其の理由は、前述したやうに電動機は刷子を隨意に手
で移動し得る處に設置されないからである（例へば、電车用電動機等）補極の強
さを反作用磁界より少しく大として置くと、整流状態が更らに良くなる。即ち、
電壓整流を行ふから、補極は整流極とも云はれる。以上の圖は發電機の場合であ
つたが、電動機にあつても同様で、回轉方向を同一とすると、各導体の電流は反
對となり、反作用磁界は $\overline{OR'}$ となる。従つて、補極の極性も反對として上を
n、下を s とし、補極に依る磁界は \overline{OR} となつて両者が相殺する。

註：今、補極を有する發電機に於て刷子を回轉方向に移動すると差動巻發電機の如き、
逆方向に移動すると和動巻發電機のやうな特性となつて、負荷が増すと電壓が上昇する。
補極を有する電動機にあつては、刷子を回轉方向に移すと、合成磁束を増して回轉數が低下
し刷子を逆方向に移すと、合成磁束が減じて回轉數を増加する。

4.24 補償巻線 補極は電機子反作用を打ち消すのであるが、之は前述し
たやうに電機子各導体の作る磁界の合成を打ち消すのであつて、導体個々の磁界

を打ち消す事が出来ない。其の結果、次圖に示すやうに、導体の作る磁界は、回
轉方向に對して、前方の部分 A 及 a' で相加はり此



發電機の場合

の部分の磁束密度を密とし、後方の B 及 b' の部
分では差となり磁束密度を粗とする。従つて、整
流子上に於ける電壓分布（整流子片間の電壓）も
前方で大で、後方で小となる（電動機の場合は此
の反對である）今、此の前方の整流子片間の電壓が
或る限度（例へば 30~35V）以上となると、整
流子片間に火花が出て、整流子面が不潔であると火

花が整流子全面に及び、正負の刷子間を弧光短絡する。之を閃絡と云ひ。負荷
變動の激しいもの程大であつて、例へ補極を有して居つても、負荷變動の激しい
電氣鐵道用發電機（回轉變流機）及電動機或は製鐵ロール運轉用の電動機では閃
絡を生ずる。此の閃絡を防止するのが補償巻線である。即ち、圖に示したやうに
主磁極の表面に近く電機子導体と並行に巻線を設け、之れに負荷電流（電機子電
流）を通じて其の方向を電機子電流と反對とする。斯うすると、明かに電機子導
体の偏磁アンペア回數の部分の磁束は打ち消され、磁束分布を歪めて、整流子に
閃絡を生ぜしむるやうなことはなくなる。

註：尚、閃絡を防ぐには、整流子片間の電壓を小さく設計したり、整流子面に接して閃火
隔壁を設ける。普通、補償巻線は、直流機の kW 出力と毎分の回轉數の積が約 400,000 以
上の機械に施すのであるが、高速機或は電壓調整範圍の廣いレオナード式發電機、又は負
荷變動の激しいものには小容量機でも採用する。

4.25 補極と補償巻線 補極は中性軸上の反作用磁界を打ち消して、刷子移
動の必要をなくし、刷子で短絡された線輪に、リアクタン



ス電壓を打ち消す方向の電壓を誘起させ、整流を良好とする

註：反作用磁界は、電機子電流に比例するので、補償巻線は電機
子巻線と直列にする。同様に補償巻線も電機子と直列にする。又、
補極鐵心は十分に大きくして、過負荷時にも磁氣飽和せぬやうにす
る。

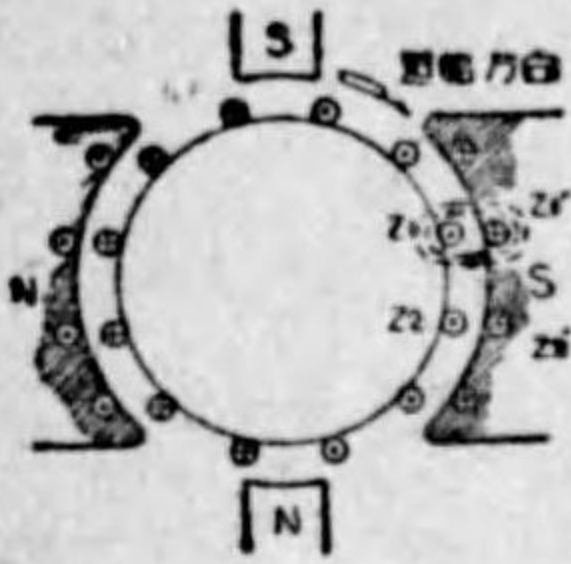
補償巻線は、補極のやうに中性軸上だけでなく、全面的に電機子反作用磁界を

打ち消し、磁束分布を正しくして、刷子移動の必要をなくし、閃絡を防止する。

要するに、刷子移動の必要をなくすることに變りはないが、夫々の特長は

補極……整流電壓を與へて、整流状態を良好とする。

補償巻線……磁束の分布を正しくして、閃絡を防止する。



註: 補極と補償巻線を併用する時、補極の巻線は併用しない場合の50%以下でよい。

4.3 試験

4.3.1 巻線抵抗 電機子、界磁、補極、補償等の各巻線抵抗を常温で測る。

註: 測定には、ホイートストンブリッジ、ダクタ、又はオーム計等を用ひ、或は電圧降下法に依る。尚、その時の温度を併記する。

4.3.2 特性 ① 無負荷特性試験; 發電機を他勵磁とし、回轉數を定格値に保つて、界磁電流を變へ乍ら、無負荷端子電壓を讀む。

註: ② 電壓調整試験; 速度、並に負荷電流を規定値に保ち、界磁抵抗器の把手を動かして、發電機の端子電壓、界磁電流等を讀む。

4.3.3 負荷 無負荷状態から負荷を 0, 25, 50, 75, 100, 125%, と増して各負荷時の端子電壓、界磁電流、速度等を記録する。この試験結果より、發電機の電壓變動率、電動機の世界變動率等を知る。

註: 上記の試験で、發電機の負荷には、實負荷、又は水抵抗器等を用ふる。又、電動機の負荷には、この負荷した發電機を運轉する。

4.3.4 温度上昇 定格負荷で連續運轉し(連續定格)、又は、指定の時間だけ運轉して(短時間定格)各部の温度上昇を測る。

註: 温度の測定は、寒暖計、又は、巻線の抵抗を測つて知る。尚、この時の周圍温度も併記する。

直流機の温度上昇の許容値(暫定規定)

機械の部分	外被の型	温度上昇限度(°C)	
		A種絶縁	B種絶縁
巻線	全閉型以外	60	75
	全閉型	65	80
整流子並に集電環	總ての型	70	90
軸受	外部より測定する時	45	

4.3.5 絶縁抵抗 各巻線と大地間の絶縁抵抗を、500Vメガで測つた時、次の値以上のこと

$$\text{最小絶縁抵抗 (M}\Omega) = \frac{\text{定格電壓 (V)}}{1000 + \text{定格出力 (kW)}}$$

註: 但し、上式は直流機だけでなく、電気機械一般に適用される。

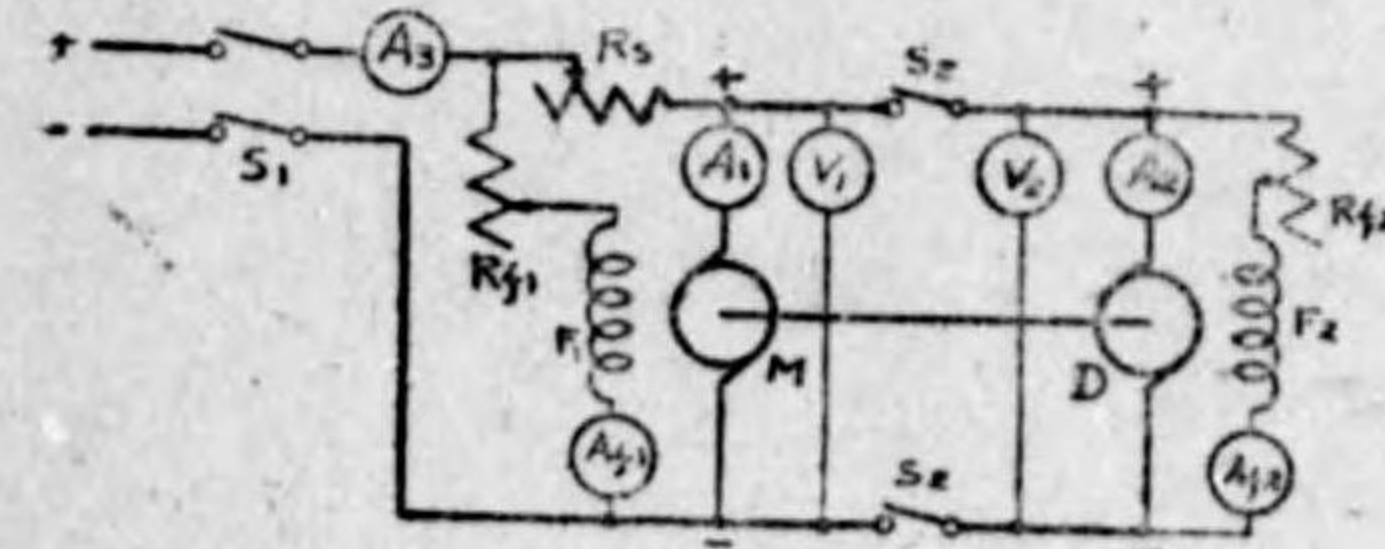
4.3.6 絶縁耐力 各巻線相互間、及び、巻線と鐵心間に次の電壓を1分間加へ、異状のないこと、

1 kW 未満 定格電壓の2倍 + 500V } 但し、50~60~の
 1 kW 以上 定格電壓の2倍 + 1000V } 正弦波交流電壓

4.3.7 無負荷損 直流機を無負荷で運轉し、次のやうにして求める。

- ① 發電機……定格速度、定格電壓の時の機械的入力から、界磁銅損を差引く
- ② 電動機……同上の條件で、電氣的入力から界磁銅損、及び、電機子銅損を差引く。

4.3.8 返還負荷法 温度上昇、及び、負荷試験の際、機械に實際に負荷をかけると大容量機では、莫大な電力を消費する。故に、次の返還負荷法(虚負荷法)による。



圖はカツプ法で、供試發電機 D と電動機 M は、同一定格である。先づ、D の定格電壓と同一の電壓で M を運轉し、V₂ を V₁ に等しく

して S₁ S₂ を入れる。次に、R₁ を小さくして D より M に電流を供給し、

D の電流を定格値にすると、

$I_0 \dots A_2$ の読み $I_M \dots A_1$ の読み $I_D \dots A_2$ の読み $V = V_1 = V_2$ の読み
 電源よりの電流 $I_0 = M$ の電流 - D の電流 = $I_M - I_D$

同電力 $W_0 = VI_0 =$ 兩機の損失の和、

$$\therefore M \text{ の能率} = \frac{VI_M - \frac{VI_0}{2}}{VI_M} \quad D \text{ の能率} = \frac{VI_D}{VI_D + \frac{VI_0}{2}}$$

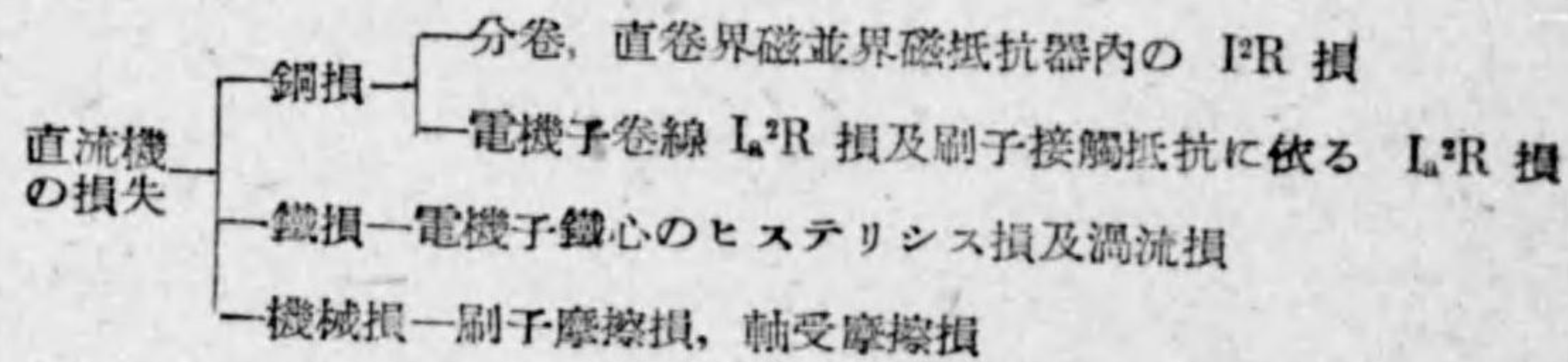
上記のやうにして、各機を任意の負荷で連続運轉し、温度試験や負荷試験を行ふ

註：精密には、D の誘起電壓 = $V + I_D R_a > M$ の誘起電壓 = $V - I_M R_a$ 又、 $I_M > I_D$ であるから、D は界磁銅損、及び、鐵損が大き、M は電機子銅損が大き。

4.3.9 容量及能率 最初に述べたやうに、電氣機器の容量とは、巻線部分
 其の他に過度の温度上昇を與へない最大限度の負荷容量である。此の温度上昇は
 大抵、機器の損失に比例し、冷却効果に反比例する。直流機の容量も、温度上昇
 に制限せられることは勿論であるが、負荷が増加すると、電機子反作用を増し、
 整流を困難にし、遂には激しい火花を發生するに至る。之れに依つても容量が制
 限されて来る。尙、其の他、發電機では負荷の増加に依る端子電壓の降下、電動
 機では速度の減少に依つても制限されるが、主として、温度上昇と整流の困難で
 容量が定まる。又、能率は

$$\text{能率 } \eta = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100 = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100 = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100$$

尙、直流機の損失を掲げると、次の如くである。



註：風損とは電機子が風を切るときの損失である。以上の外に漂遊負荷損があるが、其の値は極めて小さい。

4.4 運 轉

4.4.1 運轉方法 [發電機] ① 無勵磁で回轉數を次第に高め、各部の温度

唸音等に注意する。

- ② 界磁回路を閉ち、界磁抵抗を次第に小さくして、定格電壓を發生させる。
- ③ 無負荷で暫く運轉し、各部の温度上昇、刷子の火花等に注意して、負荷を増す。

註：以上の運轉操作は、普通、配電盤で行ふ。そのため配電盤には、電壓計、電流計、電力計、自動遮斷器、操作用開閉器等を設ける。

④ 運轉中には、電流計や電壓計の読み、軸受の温度、刷子の火花、振動等に注意する。

[電動機] ① 起動器の把手を正しく起動位置に置いて回路を閉ち、次第に速度を高める。

② 軸受の温度や音響等に注意する。

註：その他、③ 運轉を止めた時は起動器の把手を起動の位置に置く。

④ 直巻機は、常に負荷と直結し、又、分巻機は、運轉中に界磁回路を開かぬやうにして、共に逸走を防ぐ。

⑤ 刷子の壓力は、0.1~0.15kg/cm² (電車用は 0.35~0.4kg/cm²) 位にする。又、整流子の掃除には、銹油等を用ひないこと。

4.4.2 故障とその対策

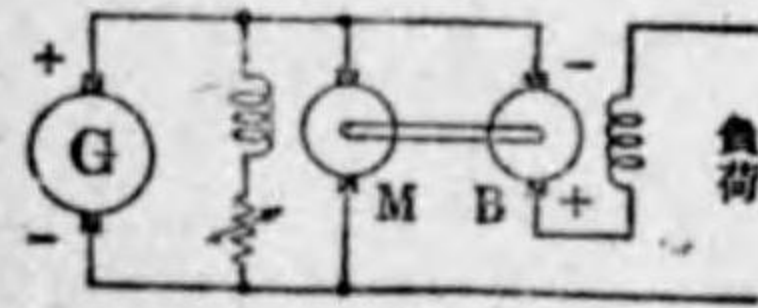
	故障原因	被害状態	対策
整流不良	設計の不適當 ① 補種強さの不適當	① 整流が不良になり、整流子面が荒れる。	① 補種磁路抵抗の調整又は、巻回數を變へる
	取扱上の原因 ① 刷子の位置、壓力等の不良。 ② 手入の不十分。	① 刷子が躍り、整流に火花を發生する。 ② 整流子が高温になる	① 刷子の品質を適當に選びその壓力を調整する ② 整流子を清拭する
電氣的故障	① 線輪の斷線、及び短絡。	① 整流子の一部分で火花を發生する。	① メガ等で斷線や、短絡を調べる。
	② 絶縁の低下。	② 短絡地絡の原因になる。	② 熱風等で乾燥する
	③ 過熱(取扱の不注意)	③ 燒損、絶縁低下の原因。	③ 餘り過負荷しない

機械的故障	① 軸受の過熱(油の不足, 振動, 軸の歪等)	① 軸受が焼損し, 運轉不能になる.	① 軸受に注油し乍ら停めて修理する.
	② 騒音の發生.	② 各部を破損する.	② 基礎, 締付を良くする.

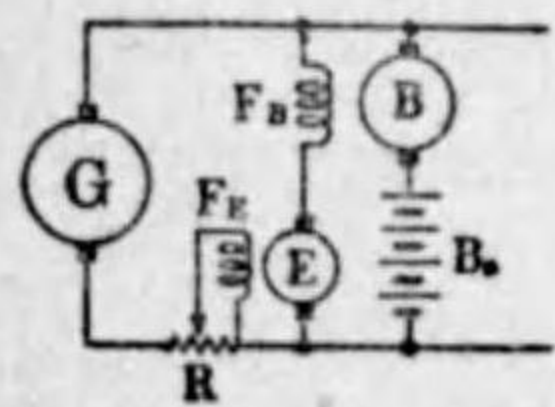
5. 特殊直流機

5.1 直流昇壓機(加減壓機)

5.1.1 直列昇壓機 圖のやうに昇壓機(直巻發電機)Bを線路と直列に挿入し, 之を分巻電動機Mにより一定速度で運轉する線路電流が増すと, 昇壓機の發生電壓が増して, 線路電壓降下を補償し, 負荷点の電壓を一定に保つ. Bの所要容量は其の最大誘起電壓と全負荷電流の積となる. 本機は電鐵歸線の漏洩電流を減少する等に用ひられる.



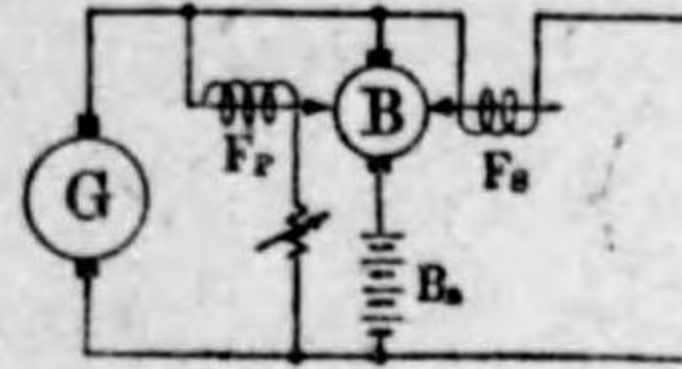
5.1.2 並列昇壓機 圖は, パート法で, Bは昇壓機, B_a は蓄電池, Eは小勵磁機である. 負荷が増すと, F_E の電流が増して, Eの電壓が線路電壓より高まり, F_B に電流が流れる. 此の時Bは上側が+下側が-の電壓を發生して, B_a が放電する. 電流が減少すると, Eの電壓が線路電壓より下り F_B に反対方向の電流を流して, Bの發生電壓の極性が逆になり, B_a を充電する. このやうにして, 負荷の増減により, B_a を自動的に充放電する.



註: 上記のやうに, 負荷と並列につないで, 電源に對する負荷變動の割合を緩和する蓄電池を緩衝蓄電池と云ふ.

5.1.3 複巻昇壓機 昇壓機(B)は直巻巻線 F_s と分巻巻線 F_p を有する. その作る磁束は反対方向に働くのであつて, 平均負荷では兩磁束は全く打ち消し合つて, 線路電壓を電源の電壓に保持する. 負荷が増加すると F_s の磁束が大となりBの誘起電壓は蓄電池 B_a の電壓と加り合つて電池を放電する. 負荷が平均負

荷以下となれば F_p の磁束が大となつて, Bの誘起電壓は電源に加つて電池を充電する.



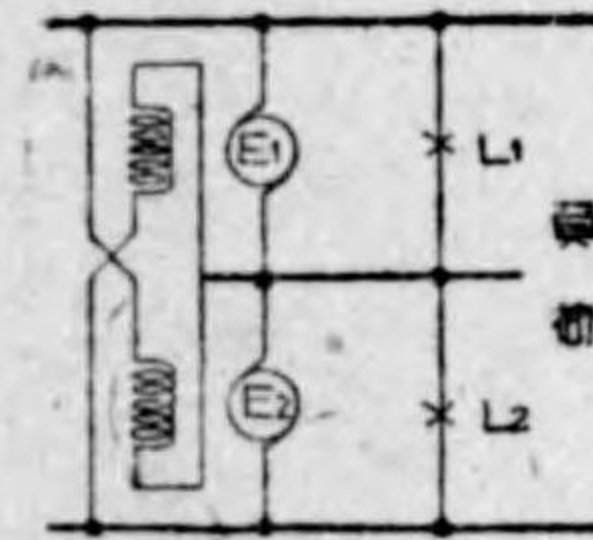
註: この方式に於て, 蓄電池が完全に充電された時の電壓を線路電壓と等しくすれば, 完全に充電されてゐないと平均負荷に於ても充電電流が流れ込む.

即ち電池の充放電は必ずしも負荷電流に依らない, 電池の充電状態に依つて相違する. 斯様に緩衝蓄電池を併用するのは, 電壓調整と云ふよりも電源の容量を節約するにある(之がないと發電機は最大負荷に應ずる容量とせねばならぬ) 然し電源に負荷が常に一樣に掛れば勵磁電流を一樣として略々電壓を一定に保持し得る.

5.2 均壓機

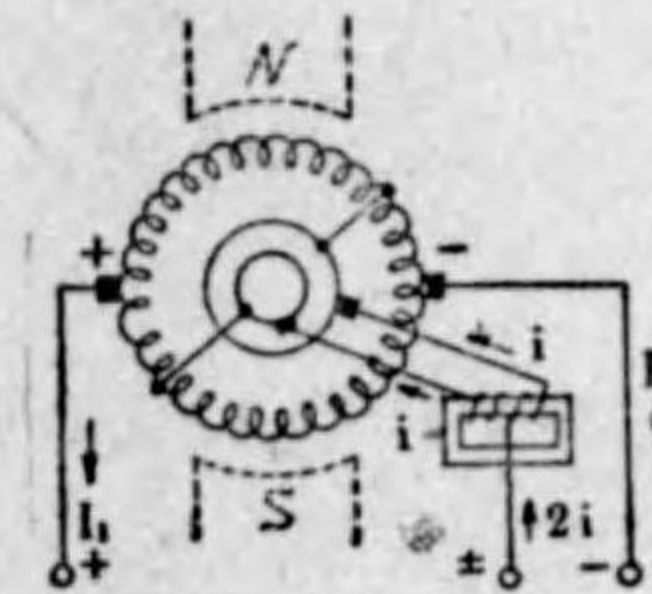
5.2.1 用途 均壓機は, 直流3線式配電線で中性線と兩外線間の負荷が相違する時, 各負荷電壓の不平衡を少なくする爲に用ふる.

5.2.2 2箇の分巻機を用ふる法 E_1 及 E_2 は同一の均壓機で, その界磁を夫々他側の線間に結ぶ. L_1 と L_2 の電流が等しい時, ($I_1=I_2$) E_1 E_2 は共に電動機になつて回轉するが, $I_1 > I_2$ 従つて, $V_1 < V_2$ の時, E_1 には流出, E_2 には流入方向の各電流が流れ, E_1 は發電機, E_2 は電動機として働き, V_1 を高めて, V_1 と V_2 を均一化する.



5.3 3線式直流發電機

直流3線式配電に用ふる發電機である. 電氣角度で 180° 離れた電機子線輪上の2点に集電環をつなぎ, これに低抵抗, 高インダクタンスのリアクタンス線輪を結んで, その中点より中性点を引出す. 斯様にすると, 中性線の電位は, 常に+刷子と-刷子の中間にあり, 不平衡電流が中性線に流れても, リアクタンス線輪の電壓降下が小さく(兩側の磁束が打ち消し合ふため), 電壓の不平衡が少い.



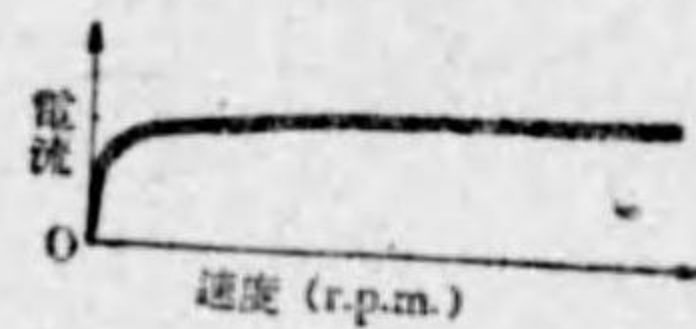
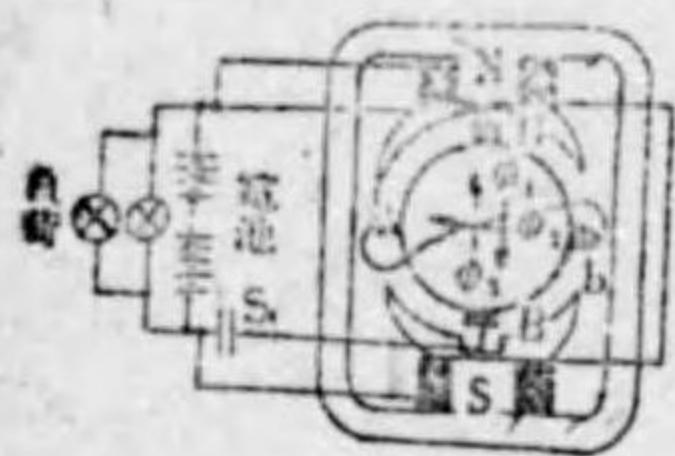
註: 本機は, 均壓機に較べて機械の臺数が少く, 設備費, 維持費が少い

5.4 發電動機

1箇の直流機の電機子に2箇の獨立した線輪を捲いて、直流電動機と直流發電機の電機子巻線とし、界磁、及び、電機子鐵心を共用したものである。兩線輪の導体數を適當に選んで、一方を電動機、他方を發電機として、直流電壓の變成を行ふ。

5.5 不變電壓及不變電流直流發電機

5.5.1 ローゼンベルヒダイナモ

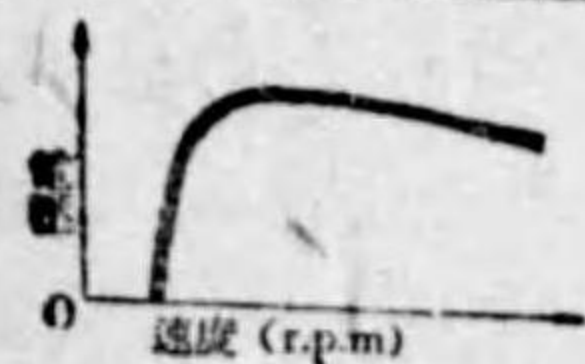
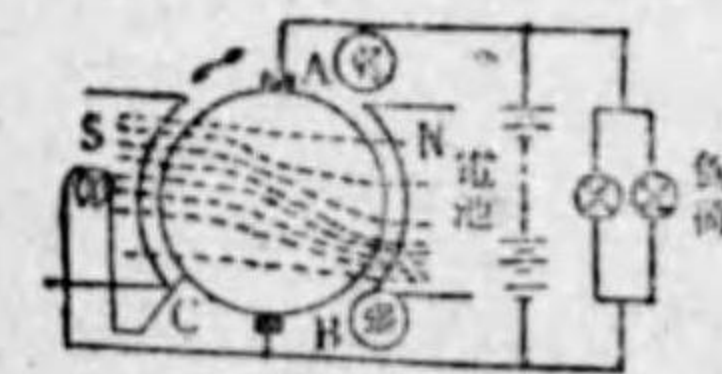


構造: $b b$, 及び $B B$ は夫々刷子で前者は短絡し、後者には負荷をしない。固定子の鐵轂、及び、界磁鐵心の斷面積を小さくして、主磁界によつて飽和させ、磁極片の形を大きくして、反作用磁界が通り易いやうにする。

註: 尚、 $B B$ 刷子部分の磁極片に溝を設けて、この部分の磁束密度を減じ、刷子で短絡する線輪の誘起電壓を小さくして、整流を良くする。

原理: 電機子を回轉すると、 $b b$ に短絡電流が流れ、大きい磁極片を通つて ϕ_2 の反作用磁界を生ずる。この ϕ_2 によつて $B B$ 間に電壓を發生し、この電壓が蓄電池の電壓より大きいと、負荷、及び蓄電池に電流を流す。従つて、この電流によつて、反作用磁界 ϕ_3 を生じ、主磁界 ϕ_1 の一部を打消す。

發電機が速度が増すと、 $b b$ の短絡電流が増加し、 ϕ_2 が大きくなつて負荷電流を増さうとするが、同時に ϕ_3 が増大するので、合成磁束 ($\phi_1 - \phi_3$) が減少して、電壓は一定値に保たれる。即ち、速度に拘らず、定電壓發電機として働く。



註: 速度が下ると上記の反對で、速度が相當廣範圍に變化しても、上記のやうに電壓が一定で、回轉方向が反對になつても有効に働く。

5.5.2 三刷子發電機 $A B$ は主刷子、 C は第

三刷子で、分巻界磁を $B C$ 間につなぐ。

界磁の合成磁束は、電機子反作用によつて圖のやうに一方に偏るので、速度が高まり負荷電流が増すと、 $B C$ 間の電壓が下り、界磁束を減少して電流を一定に保つ。

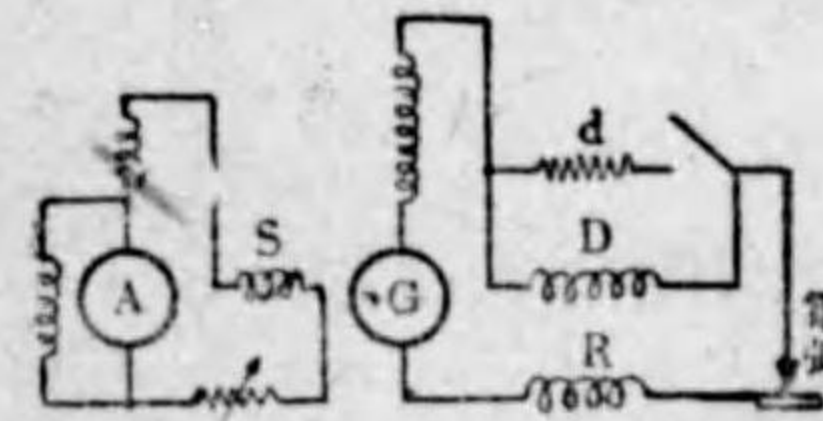
註: 上記は定電流型であるが、分巻界磁を $A C$ 間につなぐと定電壓型になる。即ち、電流が増すと $A C$ 間の電壓が上昇して、界磁束が増し、發生電壓を高める。尚、定電流型、及びローゼンベルヒダイナモは、列車や自動車の蓄電池充電等に用ひられる。

5.6 熔接用發電機

5.6.1 特性 無負荷電壓は、電弧を容易に發生させるため $60 \sim 110V$ 位であるが、電弧が發生すると $15 \sim 25V$ 位 (金屬電極式) の弧光電壓に降下して、電弧を安定にする。即ち、電流が増すと、電壓が急に下る垂下特性のものが望ましい。

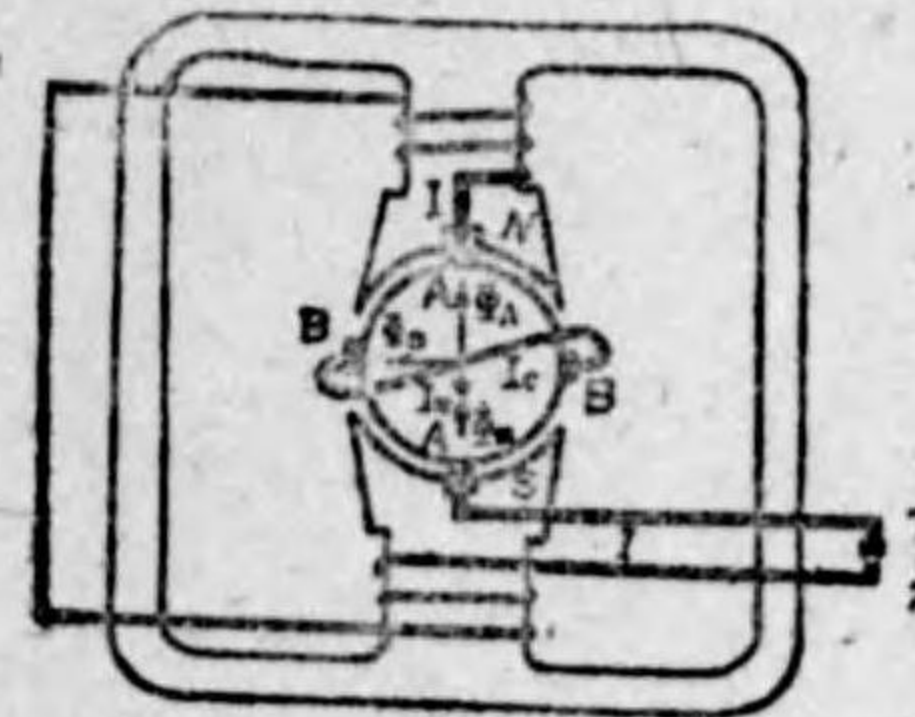
5.6.2 他勵磁差動複巻發電機

分巻界磁を他勵磁とし、直巻界磁束の方向と反對にして、負荷電流が増すと發生電壓が急激に低下する垂下特性にする。熔接電流は、直巻界磁の分路抵抗 d により又、無負荷電壓は、他勵磁束により夫々加減する。尚、短絡電流を制限するため直列リアクトルを用ふる。



R ...リアクトル d ...分路加減抵抗
 S ...他勵磁巻線 D ...差動直巻巻線

〔自勵磁差動複巻發電機〕 電極を母材に觸れた時分巻界磁束は零で、次に電極を離した時殘留磁氣により電壓が確立する。然し、分巻界磁巻線のインダクタンスが大きいので、電壓の上昇が遅く、適當でない。



5.6.3 ローゼンベルヒダイナモ 圖は直巻自己勵磁式で、負荷電流が増すと、初めは主磁束 ϕ_m も増すが、鐵轂、及び磁極鐵心の斷面積が小さいので、 ϕ_m はすぐに磁氣飽和をする。然し、反作用磁界 ϕ_A は、磁氣飽和しないので、電流が増すと端子電壓は

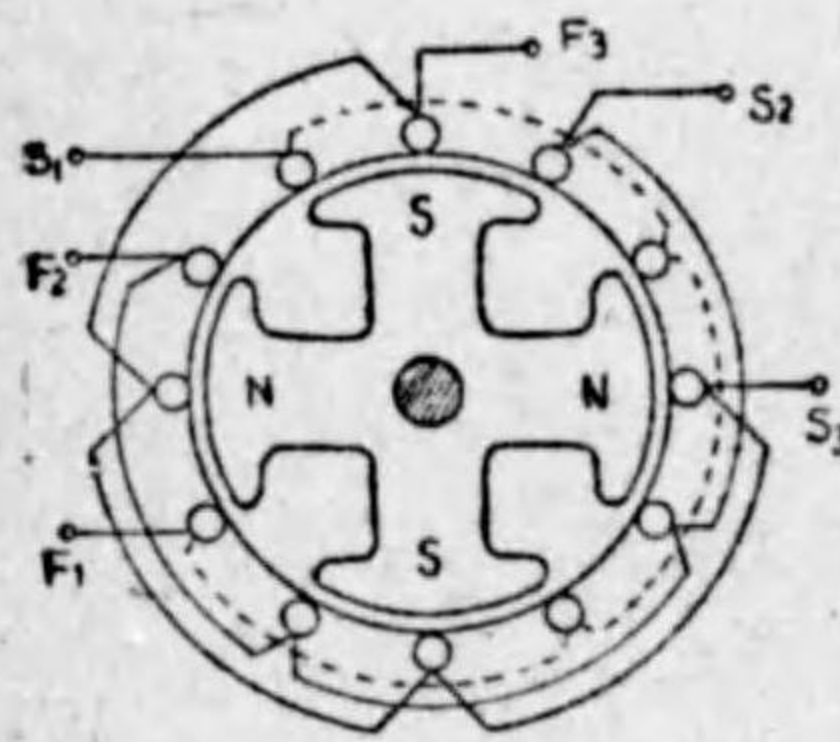
急に下る。

註：本發電機は、電弧熔接用、弧光探照燈用等の電源に用ひられる。

6. 同期發電機

6.1 一般

6.1.1 原理 直流發電機の原理で述べたやうに、電機子巻線に誘導される電圧は正弦波交流電圧で、これが整流子に依り、外部に導き出されて初めて直流となつた。故に、整流子の代りに集電環を通じて、電機子巻線の起電力を其のまゝ導き出すと正弦波交流電圧が得られる。斯様に整流子を要しないから、電機子巻線は回轉する必要がないので、之れを固定子に配置して、反對に磁極を回轉させてゐる。之れに依つて、電機子巻線の絶縁が容易になる。圖は4極の凸出磁極型で固定子に電機子巻線を施し、回轉子の凸出磁極に直流勵磁巻線を捲く。電機子巻線は、電氣角度で120°毎につなぎ、6本の引出線を出し、星形又は三角結線として、これから3相交流が得られる又、此の磁極を直流で勵磁するのに勵磁機を用ふる



極型で固定子に電機子巻線を施し、回轉子の凸出磁極に直流勵磁巻線を捲く。電機子巻線は、電氣角度で120°毎につなぎ、6本の引出線を出し、星形又は三角結線として、これから3相交流が得られる又、此の磁極を直流で勵磁するのに勵磁機を用ふる

6.1.2 周波數 磁極毎分の回轉數を N_s 、極數を P とすると、2磁極が通過すると1サイクル

1回轉すると $P/2$ サイクル、毎秒 $N_s/60$ 回轉した時は、

$$\text{周波數 } f = \frac{PN_s}{120} \text{ サイクル} \quad \text{故に } P = \frac{120f}{N_s} \quad N_s = \frac{120f}{P}$$

註：交流發電機では周波數は一定値に保持されるから、 N_s も一定である。この N_s を特に同期速度と云ふ。

6.1.3 誘起起電力 交流發電機の1相の誘起起電力 E (實効値) は、

$$E = 4.44K_p K_d f \phi Z \times 10^{-8} = 4.44K f \phi Z \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

但し、 K_p ... 短節係數 (全節巻では1) K_d ... 分布係數 (集中巻では1)
 f ... 周波數 (サイクル) ϕ ... 1極の磁束數 (マックスウェル)
 Z ... 1相の直列巻回數 K ... $K_p \times K_d$ 巻線係數

電機子巻線の兩側を、N極とS極の下で、180°より小さい間隔に置くと、

巻線兩側の起電力の和は、夫々の算術和より小さいベクトル和となる。此の比を短節係數と云ひ、丁度180°の時を全節巻と云ひ、 $K_p=1$ であつて、180°以内の時は1より小さい。

註：短節巻とする方が、正弦波起電力が得られ易い。

又、電機子巻線、1相の線輪を全部、1つの溝に納めたときを集中巻と云ふ然し、實際は2つ以上の溝に納めるので、各線輪に依つて起電力に相差を生ずる。故に、實際の起電力は是等の算術和より少いベクトル和となる。此の比を分布係數と稱する。

6.1.4 起電力の波形 起電力の波形は、一般に正弦波に設計するが、①電機子反作用磁界により主磁界が歪む。②電機子が回轉する時、溝と齒の部分移動し、磁束が脈動する。等の原因でその波形が歪む。

註：基本波に高調波を含むと、歪波になる。反對に、歪波は基本波と高調波に分けられる [高調波起電力の除去法] ①磁極の形を正弦波磁束を生ずるやうにする。②分布巻、及び短節巻を用ふる。③固定子の溝による磁束の脈動を除く。

③には、溝に磁性体の楔を用ふる、溝を斜にする等の方法がある。

6.1.5 勵磁方式

	直結運轉	別筒運轉
運轉方法	<p>原動機の主軸に勵磁機を直結して運轉する。</p>	<p>同期機の母線につないだ交流電動機で勵磁機を運轉する。</p>
特長	① 据付、運轉等が容易である。 ② 信頼度が高く、安價である。	① 速度が自由に選ばれ、能率が高い。 ③ 電壓の上昇率が大きく、電壓の變化が少ない。
欠点	① 原動機が速度が低いと、大型になる。 ② 原動機が速度變動の影響を二重に受ける。	① 勵磁機運轉用の原動機を要する。 ② 設備費が嵩む。

6.1.6 勵磁機の定格 ① 勵磁方式; 同期機の容量が約 500 kVA 以下は自動式を用ふる。それ以上は、勵磁電流が大で界磁抵抗器中の電力損失が増加するため、主勵磁機の他に更らに小勵磁機 (副勵磁機と云ふ) を設けて、主勵磁機を他勵磁にする。

② 容量; 同期機容量の 1~0.4% (同期機が 4 極) 又は 3~0.7% (同 16 極) 位である。

註; 勵磁機の型式には、分巻式と複巻式がある。前者は、電壓の調整が容易で、主に自動電壓調整に用ひられる。後者は、電壓の変動が少く、手動電壓調整に用ひられる。尙、電壓は、普通 110~220V である。

6.1.7 連應勵磁方式 送電系統に故障が発生した時、速かに發生電壓を高めて線路電壓の低下を防ぐと、系統の同期外れが防がれる。この目的で勵磁機の電壓上昇率を大きくしたものを連應勵磁方式と云ふ。

註; 勵磁機の電壓上昇率を大きくするには、その勵磁巻線を幾つかの並列回路に分けて、インダクタンスを小さくし、電流の増加を速かにすると、勵磁機を高速度にする等の方法がある。

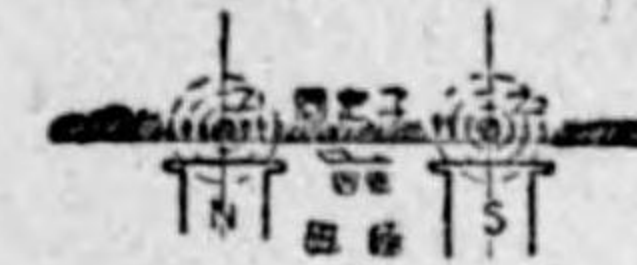
6.2 電機子反作用

6.2.1 一般 直流發電機に負荷すると、電機子巻線の作る反作用磁界を生じ、電氣的中性軸が回轉方向に移動した。刷子を幾何學的中性軸に置くと、反作用磁界は偏磁作用をしたが、刷子を回轉方向に移すと、偏磁作用と共に減磁作用をする。更らに刷子を 90° 移すと減磁作用のみとなる。反對に、刷子を回轉と逆方向に移すと、偏磁作用と共に増磁作用を行ひ、90° 移すと、増磁作用のみとなる。之れと、同様な現象が交流發電機の電機子反作用にも起るのであつて電流が電壓と同相の時は偏磁作用を、遅れ電流では偏磁作用と減磁作用を、90° の遅れ電流では減磁作用のみを行ひ、進み電流では偏磁作用と増磁作用を、90° の進み電流では増磁作用のみを行ふ。之れに就ては項を改めて説明しやう。

註; 直流發電機で刷子を回轉方向に移すと云ふことは、交流發電機で遅れ電流の場合に相當し、回轉方向と逆に移すと云ふことは、進み電流の場合に相當する。

6.2.2 多極機に平衡負荷をかけた場合 ① 負荷電流が誘起起電力と同相の場合; 圖に於て、 Z_1, Z_2 なる導体が NS 磁極の中央に來た時、誘起起電力は圖

示の方向 (右手の法則) に最大値を取り、之れと同方向に負荷電流が最大値を取



右手の法則の適用に當つては Z_1, Z_2 は N, S と反對方向に運動すると考ふる

ることを意味する。故に、導体に依つて作られた磁束は磁極の片側を強め、片側を弱めるから、磁束總數には影響せぬが磁束の分布を變形する。然し、實際は磁極が飽和に近い状態にあるから、強める方より弱める方の影響が大きい。一般には偏磁作用 (交

叉磁化作用) のみと考へてゐる。

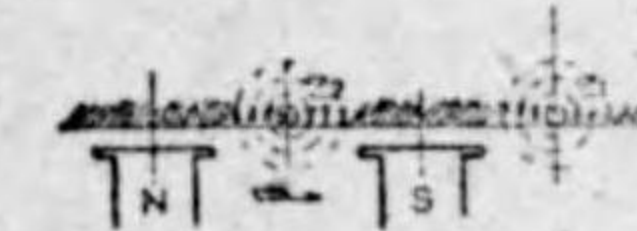
註; 此の場合、磁極の磁束分布が歪んで、誘起起電力の波形が歪む。

② 負荷電流が誘起起電力より 90° 遅れる場合; 此の場合は、NS が ① より 90° 進んで、 Z_1, Z_2 が各磁極の中間に來た時、



電流が初めて最大となり、電機子反作用が最大となる。(即ち、電流が電壓最大の位置から 90° 遅れる) 此の時の反作用磁界は、圖より明かなやうに、界磁束を打消す。従つて、減磁作用をする。

③ 電流が誘起起電力より 90° 進相の場合; NS が ① より 90° 手前にある時、既に電流が最大であつて、圖より明かなやうに電機子反作用磁界は界磁束を強める。これを増磁作用又は磁化作用と云ふ。



註; 電流と誘起起電力の位相角が ϕ の場合は、 $I \cos \phi$ は交叉磁化作用をなし、 $I \sin \phi$ は、減磁作用、又は磁化作用をする。

註; 再び直流 2 極機に就て示すと、左圖の如くであつて、界磁束 OP に対して、反作用磁界は OQ となり、其の合成は、兩者のベクトル和となる。結局、合成磁界は点線のやうになる。



此の圖の回轉方向は電機子の回轉方向を示した

交流發電機の場合も同様で、力率が 1 であると、反作用磁界は直流發電機の場合と同様に、主磁界より 90° 進む負荷電流の位相が 90° 遅れると、反作用磁界 OQ は之れ

より 90° 進んで、OP と反對方向の位相を取り、主磁界を弱める。又、電流が 90° 進むと、之れより 90° 遅れて、OP の位相となり、OP と相加はつて、主磁界を強める。但し

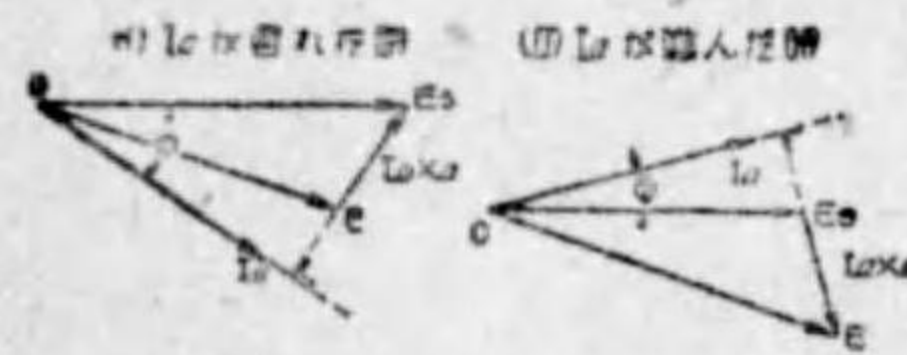
以上の進退は電機子回轉方向に對して云つてゐる。

6.2.3 單相負荷の電機子反作用 上記の電機子反作用は、回轉磁極と同速度の回轉磁界であるが、單相負荷の電機子反作用は、回轉せず交番する。故に、誘起起電力の波形が歪む。(主に第3調波電壓を含む)

6.2.4 同期インピーダンス ① 同期リアクタンス; 電機子巻線の負荷電流に依つて作られる磁力線は、前諸圖のやうに一部は磁極面と連絡し、他は電機子巻線のみを圍繞する。磁極面と連絡する磁力線が電機子反作用となり、巻線のみを圍繞するものが、一般の線輪の場合と同様に、自己誘導起電力を發生する。即ち、電機子巻線は自己インダクタンス L を有することになり、2π/L を電機子巻線の漏洩リアクタンスと稱する。

此の漏洩リアクタンスに依る電壓降下も亦、負荷電流の位相に依つて、異つた影響を端子電壓に與へる。次に此の状況を考察して見やう。

今、負荷電流 I_a が誘起起電力 E_s より遅れた場合と進んだ場合に就て、端子電壓 E のベクトルを書くと、左圖のやうになる。



(イ)は Es = E + I_a X_a を示し、 (ロ)は E = Es - I_a X_a を示す。

圖の I_a X_a は漏洩リアクタンスに依る電壓降下で、I_a より 90° 進む。(逆に云ふと、I_a は 90° 遅れる)(イ)の I_a が遅れた時は、リアクタンス電壓降下が端子電壓 E を低め、(ロ)の I_a が進んだ時は端子電壓 E

を高める。これは前述した電機子反作用と全く同一の結果を來す。其處で、此の2つが1つのリアクタンスだと見做して、同期リアクタンスと名付け、x_s で示す

② 同期インピーダンス; r_a を電機子巻線の抵抗とすると、巻線のインピーダンスは

Z_s = sqrt(r_a^2 + x_s^2) となる、これを同期インピーダンスと云ふ。

注: 一般に r_a の値は x_s に比して極めて小さいから、Z_s ≈ x_s と見做し得る。

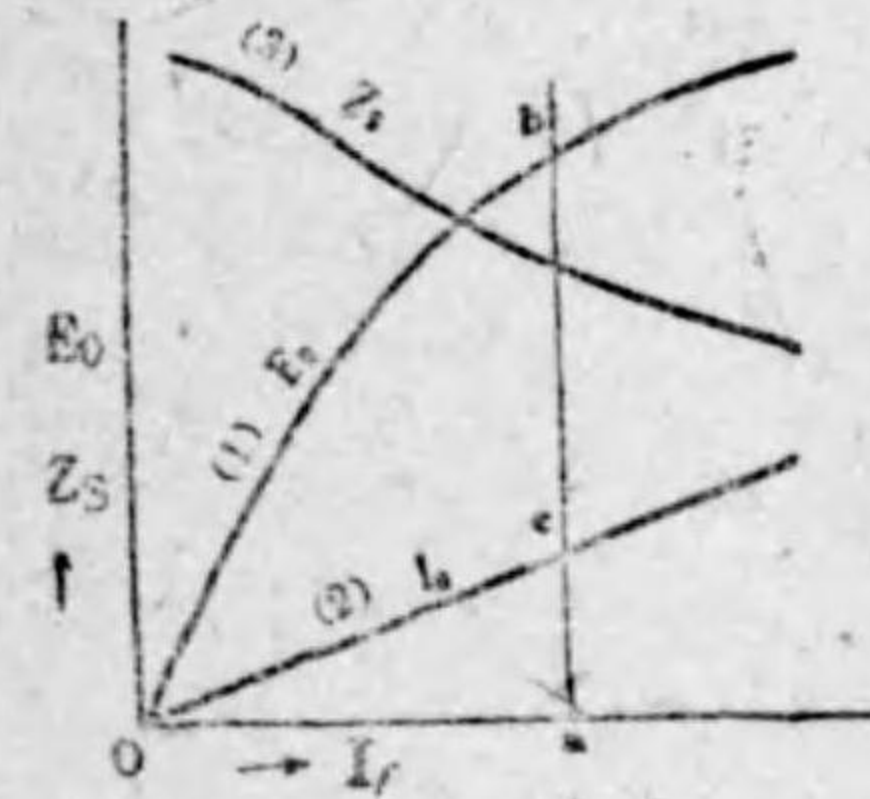
今、I_a が E より φ 角だけ遅れた時の E_s と E の關係は、配電線の給電点電壓が E_s、受電端電壓が E、負荷電流が I_a、同力率が cosφ で、線路の抵抗が r_a、同リアクタンスが x_s の場合のベクトル關係と全く同様で、次式のやうになる

E_s = sqrt((E + I_a r_a cosφ + I_a x_s sinφ)^2 + (I_a x_s cosφ - I_a r_a sinφ)^2)
≈ E + I_a r_a cosφ + I_a x_s sinφ

6.3 特性

6.3.1 無負荷飽和曲線

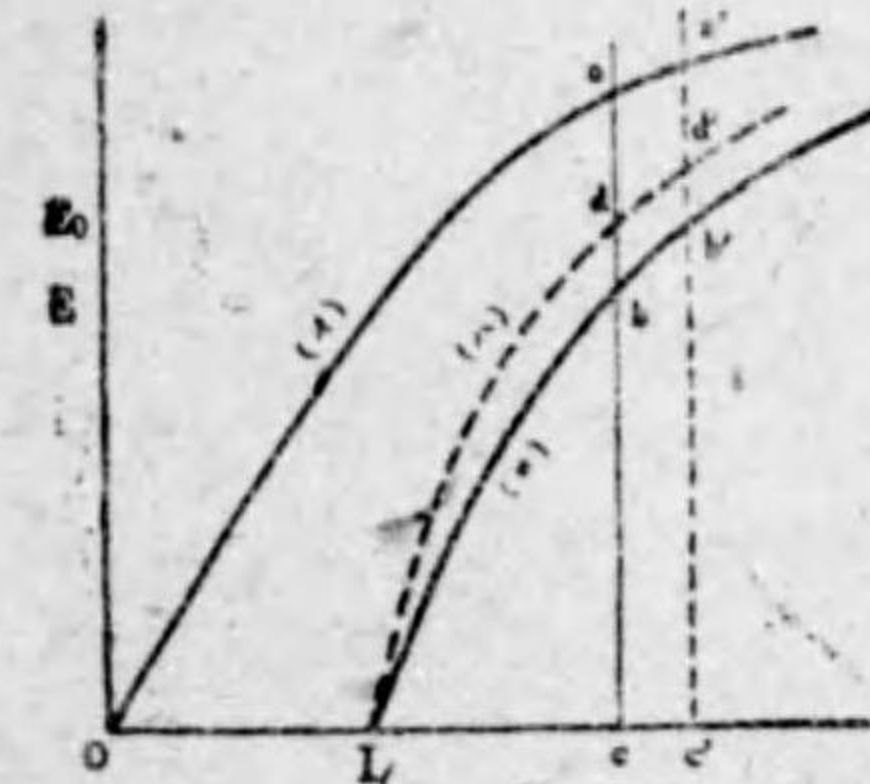
發電機を定格速度で運轉し、勵磁電流を次第に増した時、これに應ずる無負荷端子電壓の上昇を表した曲線(圖の E_0 曲線)である。



6.3.2 負荷特性曲線 發電機に定格電流を流して、勵磁電流を次第に増した時の端子電壓の變化を表した曲線である。下圖の(イ)及(ロ)は力率 100% 及 0% (遅れ) の場合である。

6.3.3 短絡特性曲線 發電機の端子を短絡して、勵磁電流を次第に増した時の短絡電流を表した曲線(6.3.1の圖の I_0 曲線)である。

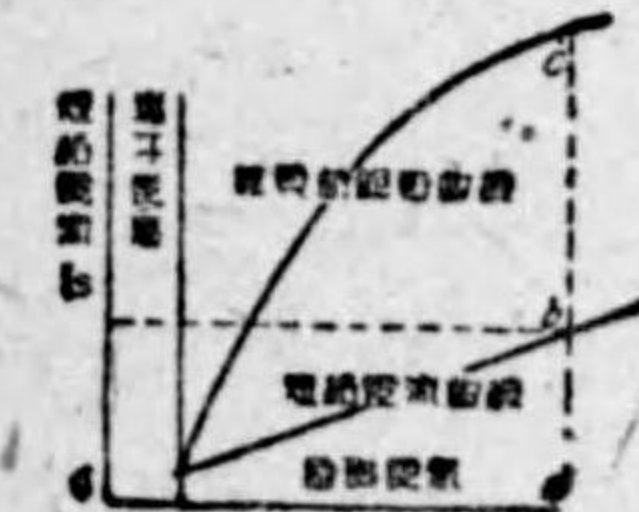
注: 同期インピーダンスの殆んどは、同期リアクタンスであり、短絡電流は電壓より約 90° 遅れて、大部分減磁作用をする。故に、合成磁束は甚だ小さく、界磁は飽和しないので、短絡電流は略々勵磁電流に正比例し、短絡特性曲線は直線に近くなる



6.3.4 同期インピーダンス曲線 勵磁電流の各値に對する同期インピーダンス Z_s の變化を表した曲線である。これは、無負荷飽和曲線と短絡電流曲線から求められる。今、圖に於て ab = I_s が全負荷電流に等しいやうな、a b c 線を引くと、此の時の誘起起電力は ac = E_s であつて、これが全部、同期インピーダンス Z_s で降下せられるから、

同期インピーダンス Z_s = ac/ab = E_s/I_s

次に電機子の抵抗を電壓降下法かホイートストーンブリッジで測定して r_a を得ると、



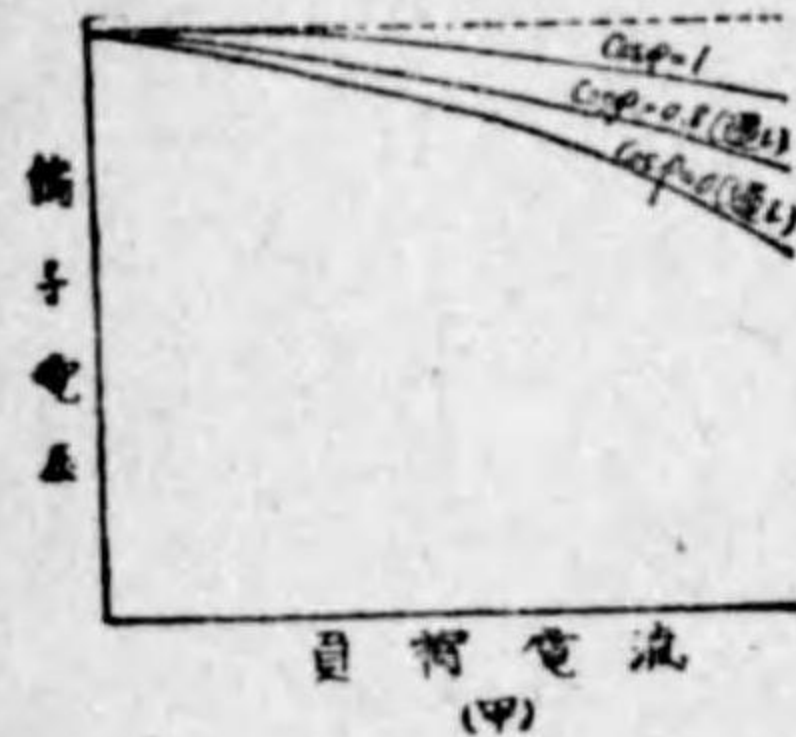
同期リアクタンス $x_s = \sqrt{Z_s^2 - r_a^2}$

註: 交流發電機が運轉中、端子の處で短絡すると

短絡電流 $I_s = \frac{E_s}{Z_s} = \frac{E_s}{x_s}$ x_s は r_a に比して甚だ大である

然し、此の状態は、或る時間後に生ずるのであつて、短絡の瞬時には更に大なる電流が流れる。これは同期リアクタンスの中、電機子反作用に依るものは直ちに表はれず、或る時間を要する。故に短絡の瞬時は抵抗と漏洩リアクタンス x_a に依つてのみ電流が制限され、 $I_s \approx E_s / x_a$ 此の値は全負荷電流の 8~10 倍に達する。然して、電機子巻線間に働く電磁力は電流の 2 乗に比例するので、此の電磁力が常規の 100 倍以上にもなり、巻線端を變形する虞がある。機器の容量は近來、益々大となり、短絡電流の値が大きく、リアクタンスが小さいので、大型機では鐵筋コンクリート圓柱に電線を巻いたリアクタンス線輪を挿入する之を限流リアクトルと稱する。

6.3.5 外部特性曲線 發電機の勵磁電流を一定に保ち、負荷電流を増加した時の端子電壓の變化を示した曲線である。



註: 負荷が遅力率の時、端子電壓は負荷と共に下るが、進力率の時、反對にある程度電壓が上昇する。

6.3.6 電壓變動率 定格速度、定格力率の定格負荷電流に於ける端子電壓が定格値 E となるやうに、勵磁電流を調整し、速度と勵磁電流を同一に保ち、無負荷とした時の端子電壓が E_0 になつたとすると、全負荷時と無負荷時の電壓變動の割合は

電壓變動率 $\%Reg. = \frac{E_0 - E}{E} \times 100$

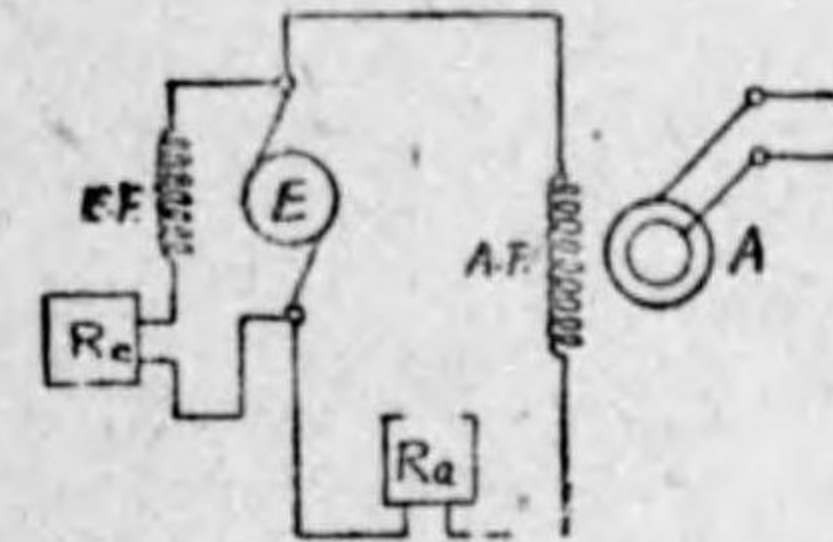
この値は、力率の低い程大で、 $\cos\phi=1$ の時 15~20%、同 0.8 の時 25~40% 位である。

註: 電壓變動率の値を小さくするには、① 同期インピーダンスを小さくする。② 電機子反作用を小さくするため磁極を飽和させる、等である。

6.3.7 電壓調整 直流發電機の場合と同様に、負荷に依つて端子電壓が相違するから、常に端子電壓を一定に保つには、發電機の誘起起電力を調整しなければならぬ。然るに、誘起起電力の値は $E_s = Kf\phi$ であつて、周波数 f は一

定に保持されるから、回轉數も一定(同期速度)であつて、界磁束 ϕ を調整するより他に方法がない。

普通の交流發電機は下圖のやうに、其の界磁巻線 A.F は直流勵磁機 E に依



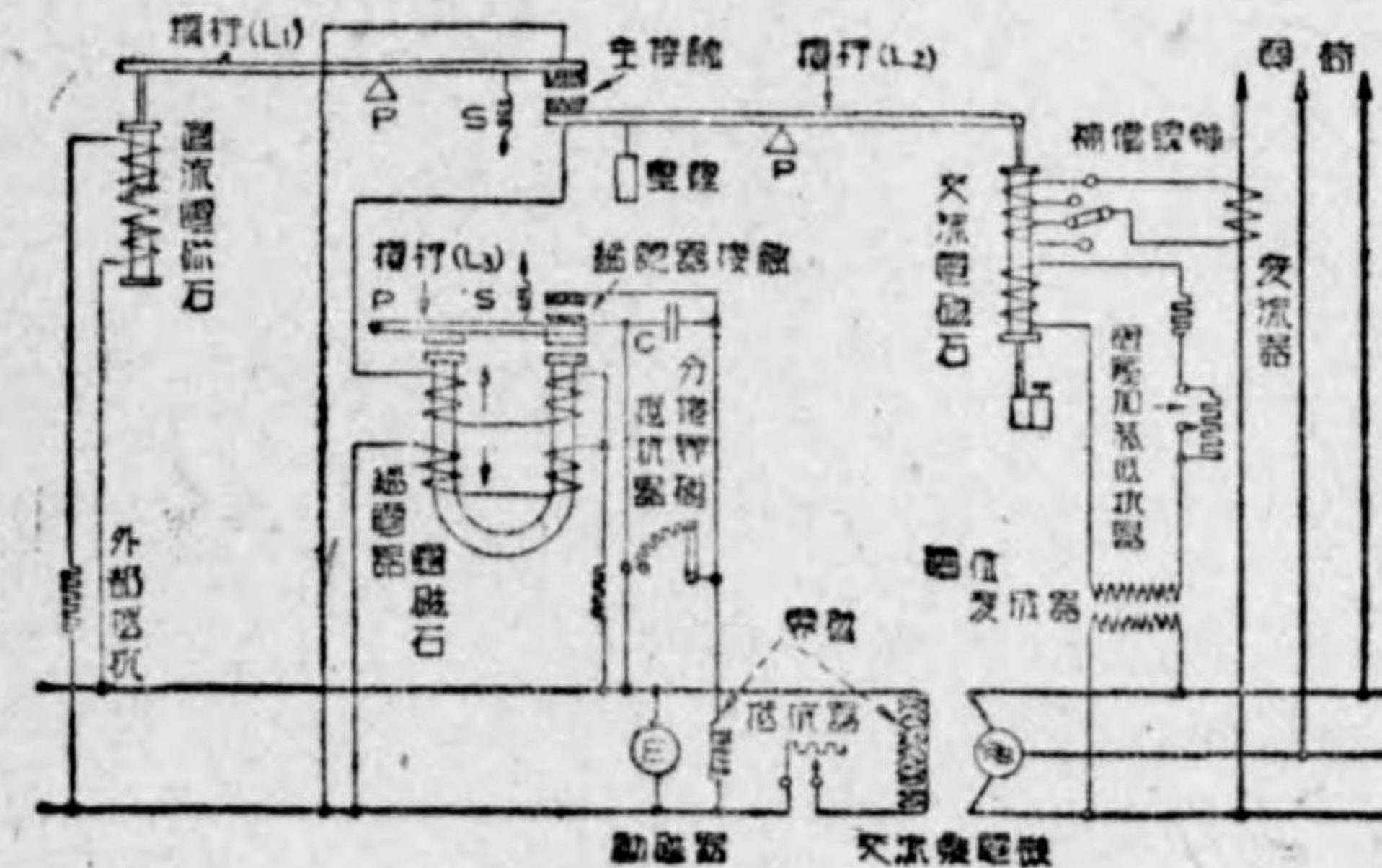
つて勵磁せられる。圖は E が分巻機の場合を示す A.F 巻線の電流を調整して ϕ の値を、従つて E_s を調整する。これには、A.F の回路に加減抵抗器 R_a を挿入すると E の分巻界磁回路 E.F に界磁調整器 R_e を入れて、これに依つて E の端子電壓を調整する 2 方法がある。

註: R は大型となり電力損失が大きい、r は之れに反する。

6.3.8 自動電壓調整器 其の原理は直流發電機用のものと同様であるが相違するのは、界磁抵抗器を短絡するのは主接觸でなく、主接觸に依つて働かせられる繼電器接觸に依る。もう一つは主接觸の一方に交流電磁石のあることである。

即ち、其の主要部は交流電磁石、直流電磁石、と繼電器電磁石の 3 者である。先づ構造を説明しやう。

直流電磁石は槓杆支点 P が中央にあつて、他はばね S に依つて引き下げられる。交流電磁石も支点 P が中央にあり、一方に重錘、他方に電磁石があり釣合つてゐる。交流及直流電磁石の槓杆の一端には夫々主接觸子片が取付けてある



扱、交流発電機の電圧が一定値の時は L_2 は平衡静止し、 L_1 が直流発電機用の場合と同様に振動して勵磁機の電圧を一定に保持し、従つて交流側電圧も一定値にある。若し交流側の負荷が増加して、交流電圧が低下すると、交流電磁石の引上げる力が弱つて、 L_2 の右端は降下し左端が上る。主接觸を閉じて、繼電器電磁石の上部巻線に電流が流れる。(繼電器電磁石の下部巻線は勵磁機電圧で勵磁せられ、 L_2 を下に引く) 上部巻線は下部巻線の磁束を打ち消すから L_2 はばねの力で繼電器接觸を作る。従つて分巻界磁抵抗器は短絡せられて、勵磁機電圧を高め、交流側の電圧を上昇する。一方、直流側の電圧が或る値以上に上昇すると直流電磁石の引力がばねに打ち勝つて主接觸を開いて、勵磁機電圧の行き過ぎるのを防止する。交流側電圧が低下した時は此の反對である。結局、主接觸間の距離を交流電磁石と直流電磁石で調整して、勵磁機電圧が交流側を一定電圧とするやうに、繼電器電磁石に振動の周期(短と入の時間の割合)を與へるのである。

交流電磁石には制動壺を取付けて、動作が過敏とならぬやうにする。勵磁機の容長が増すと繼電器電磁石に流れる電流が大となり、接点の構造が困難となるから抵抗器の抵抗を等分して3箇乃至4箇の繼電器電磁石で制御する。又、抵抗器と並列にあるCは蓄電器であつて、繼電器接觸に生ずる火花を減じて之が損傷を防いでゐる。

尙、送電線に於ける電圧降下を補償する爲めに交流電磁石電圧線輪の上に補償巻線を施し、變流器より之れに電流を通ずる。之が働きは電圧線輪と反對である即ち、電流が多く流れた時に L_2 の右端を下げて、交流発電機電圧を上昇し、線路電圧降下の増加を補償して、受電端電圧を一定とする。

註: ① 電圧調整器は發電機電圧を常に一定に保つものでなく、運轉上、調整電圧を變化せねばならない時は、交流電磁石電圧回路に直列とせられた電圧加減抵抗器を調整すれば交流調整電圧は上下する。

② 界磁抵抗の値は相當に大きく、これを挿入すると電圧が遙かに下り、反對に短絡すると、電圧は相當に昇る。故に、自動電圧調整器は、端子電圧の降下に對してのみ働けばよい。

③ 自動電圧調整に依る調整範圍は135Vの勵磁機で50~125Vの間の任意の値と出来る。

6.4 補遺

6.4.1 自己勵磁現象 同期發電機で無負荷の長距離送電線を充電すると、

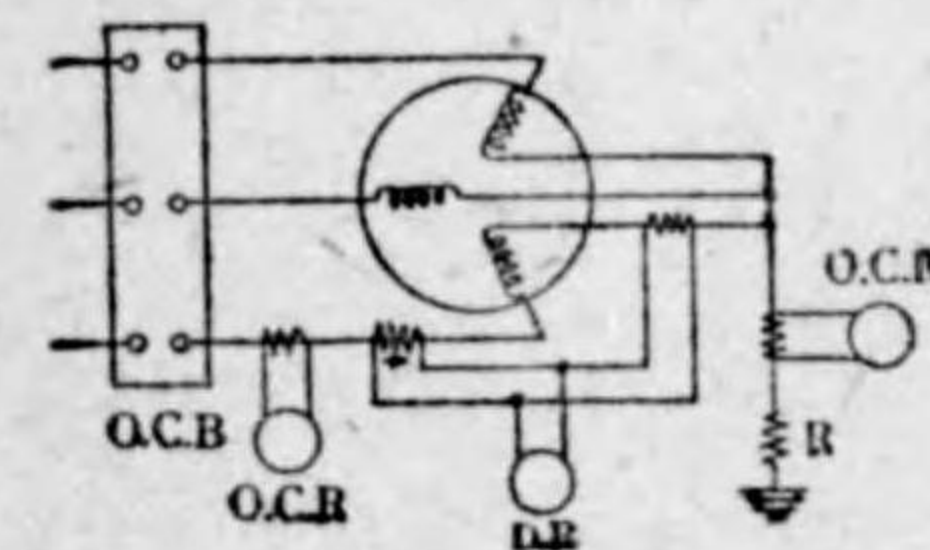
線路と大地間の静電容量によつて、電圧より 90° 進相の充電電流が流れる。従つて、電機子反作用に依る磁化作用により發電機の端子電圧が高まり、更らに充電電流が増す。斯様にして原因が結果となり、結果が原因となつて、發電機の電圧が上昇する。これを自己勵磁作用と云ふ。

註: 自己勵磁作用を防ぐには、① 數台の發電機を並列につないで、線路を同時に充電する。② 電機子反作用の小さい發電機を用ふる。③ 受電端にリアクトル、又は變壓器をつないで、逆電流を流す等である。

6.4.2 軸電流 電機子鐵心並に鐵轂は、製作、運搬に便利なやう數箇に分ける。このため磁氣回路の抵抗が不同になり、磁極が回轉した時、回轉軸の周りに變化する磁束ができて軸、軸受、鐵台等を通じて電流(軸電流と云ふ)が流れる。そのため軸受面が損傷して、運轉に障害を來す。

註: 軸電流を防ぐには、鐵台と軸受台の間に絶縁板を挟むか、又は、銅線をつないだ刷子を軸の兩端に當て、これに軸電流を流す。

6.4.3 保護装置 ① 巻線の差動及び過電流保護: 圖のD.R.は差動繼電器



O.C.R.は過電流繼電器、O.C.B.は油入遮断器である。常時、引出側と接地側の兩變流器の電流は環流して、D.R.には電流が流れない。然し、巻線に地氣、層間短絡等が生ずると、兩變流器の電流に差ができ、この差電流でD.R.が働く。

註: 發電機の過負荷や外部の短絡時には、O.C.R.が働き、發電機の過電流を防ぐ。

② 巻線の溫度上昇保護: 巻線に埋込線輪を設け、これを溫度繼電器につなぐ。溫度が過昇すると線輪の抵抗が増し、警報を發する。

註: 軸受にも、同様に溫度計の素子を埋込んで、溫度保護を行ふ。

③ 巻線の發火に對する保護: 巻線が發火すると、溫度繼電器が働いて風洞の入口に炭酸ガスを噴射し、同時に通風を阻止する。

7. 特殊同期発電機

7.1 2巻線タービン発電機

電機子巻線を二重に設け、各々單獨の母線につなぐ。巻線の同期リアクタンスが増大し、短絡電流が小さくなつて、油入遮断器の容量が低減される。

注：本機は、10万kVA級以上の大型タービン発電機に採用される。

7.2 50サイクル60サイクル両用発電機

50サイクル発電機を60サイクルに用ふると、回転数が1.2倍になるので発生電圧が高まる。この電圧の上昇を防ぐため、①勵磁電流を少なくする。②各極各相の巻線を約20%切離す。③50サイクルの時 Δ 結線、60サイクルの時2並列Y結線にする等の方法を行ふ。

注：①の方法は、最も簡單で能率が良く、一般に用ひられる。②は、主に極数が少く溝数の多いタービン発電機に用ひられる。③は、 Δ 結線の時差動繼電器保護が行はれず、餘り用ひられない。

7.3 機開發電機

往復動機関は、1回転中の速度が一樣でないため並行運転に支障を來す。これを防ぐため回転子にはずみ車を取付け、或は、回転磁極を外側とした外側磁極型を用ふる。

7.4 正弦波発電機

計器の性能試験、鐵の磁性試験等には、純正正弦波電圧が望ましいが、その電源は一般に単相である。然し、同期発電機に單相を負荷すると、その反作用磁界が脈動して、誘起電圧の波形が歪む。故に、正弦波発電機(主に單相用)を用ふる。

7.5 水素冷却発電機

空氣冷却器付の閉鎖通風型発電機で、冷却空氣の代りに水素を用いたものである。その得失は、

特 長	欠 点
① 水素の密度は空氣の7%で、風損が約7%に減じ、能率が良くなる。	① 爆発の危険性がある。
② 水素の傳熱率は空氣の7倍で、冷却が良く、定格出力が増す。	② 機械の外函を氣密にする必要があり高價である。
③ 水素はコロナの發生を防ぎ、又、酸化しないので壽命が長い。	③ 水素が漏洩するので、水素の補給装置を要する。

注：機械が大型になると、損失の割合に放熱面積が増さないで、温度上昇が増大する故に、水素冷却発電機を用ふる。この水素冷却は、又、特に高速度機、同期調相機等にも適する。

7.6 高周波発電機

圖はアレキサンダーソン発電機で、逆V型の固定子に發電子鐵心と發電子巻線を設ける。又、誘導子には圓周に磁極数だけの溝を設け、



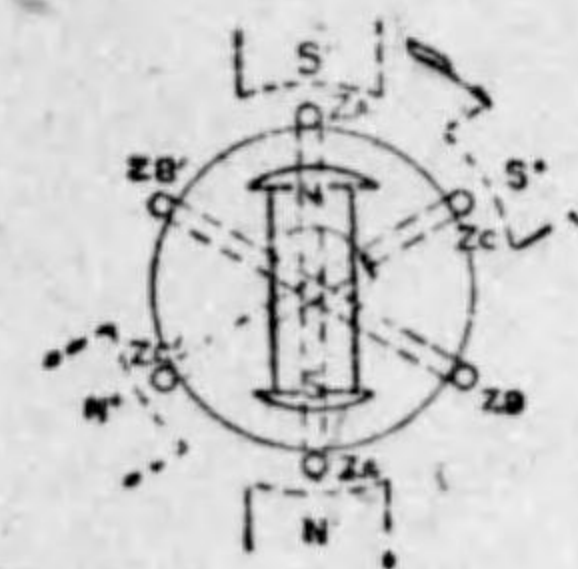
この溝に非磁性体を埋込む。この誘導子を高速度で廻すとその溝によつて發電子鐵心、空隙、誘導子と通る磁束が脈動し、高周波電圧が発生する。

注：本機の特長は、①構造が簡單、②保守が便利、③刷子が無い等で、欠点は①形態、重さが大きく高價、②能率電壓變動率が低い等である。

高周波発電機は、電力用(高周波電氣爐用、高周波電動機用等で普通120~1000サイクル)、通信用(500~十數萬サイクル)等を用ふる。

8. 同期電動機

8.1 一般



8.1.1 原理 直流発電機が電動機となつたやうに交流発電機も亦其のまゝ電動機となる。其の理由は圖の如く、 $Z_A Z_A'$, $Z_B Z_B'$, $Z_C Z_C'$ なる3個の巻線を120°の角度を以て配置し、之に三相交流を流すと、回転磁界を生ずる。

今、此の中央にNSなる磁極を置くと、磁極は回転

磁界と共に回轉する。其の理由は、回轉磁界とは圖の点線の磁極 S'N' があつて之が回轉する事と同一であるから、磁極の N と回轉磁界の S' 磁極の S と回轉磁界の N' とが相吸引し、NS は S'N' について廻る。然して、NS の回轉數は S'N' 即ち回轉磁界の回轉數と同一であつて、此の 1 分間の回轉數 N_s は今 $Z_A Z_B Z_C$ の巻線に通ずる 3 三相交流の周波數を f サイクル、 P 極に捲れてあるものとする

$$N_s = \frac{120f}{P} \text{ R. P. M. 之を同期速度と云ふ。}$$

此の同期速度より磁極の回轉數を減ずる事は出来ぬ。何故なら、若し減じやうとして S'N' と NS のやうな位置となると、兩者の吸引力は減じて、負荷が同一であると、益々 NS は遅れ遂には停止するからである。

即ち、此の電動機は同期速度で回轉を續けるのだから同期電動機と稱せられる

註：回轉方向を變へるには、回轉磁界の回轉方向を變へればよい。之れが爲めには固定子三相の任意の 2 線を入れ換へて接續する。

8.1.2 構造 構造は同期發電機と殆んど同様であるが、異つた点を擧げると

① 同期電動機には、回轉凸出界磁型を用ひ、圓筒型は用ひない。その理由は圓筒型にする程、一般に高速度でない。又、圓筒型は、磁極と電機子間の空隙が、皆一樣で、無勵磁では殆んどトルクを生じない。

註：凸出型では、無勵磁でも電機子回轉磁界の最も強い方向に凸出磁極が索きつけられてトルク（リアクショントルクと云ふ）を生ずる。

② 同期電動機は起動トルクが小さく、自起動が困難である。故に、起動トルクを大きくするため磁極の表面に制動巻線を設け、これを誘導電動機と同様に特殊籠形、又は、巻線型にして、起動特性を良くすることがある。

註：制動巻線は、界磁鐵心の溝に納めた籠形の短絡環で、發電機では主に亂調防止、電動機では起動トルクの増大、並に亂調防止の目的に用ふる。

8.1.3 逆起電力 回轉磁界を作る巻線を電機子と云ひ、固定子側にある、電機子に電流が流れると、回轉磁界を生ずる。

今、磁極を何かの方法で、之れと同一速度に起動してやると、磁極は其のまま回轉を續ける。そうすると、此の磁極の磁束を電機子導体が切る事に依つて、誘

起電力を生ずる筈である。此の誘起起電力を直流電動機の場合と同様に逆起電力と云ふ。

8.1.4 電機子反作用、同期リアクタンス 電機子巻線に電流が流れると、交流發電機の場合と同様に 2 つの磁束を生ずる。其の 1 つは導体のみを圍繞するもので、之は自己誘導起電力、即ち、漏洩リアクタンスとなる。其の 2 は、磁極と連るものであつて、之れは電機子反作用となる。此の兩者を合せて同期リアクタンスと云ふこと、交流發電機の場合と同様である。然して、直流電動機の場合は同發電機の場合に對し、導体に流れる電流の方向が反對となつたので電機子反作用磁界も亦反對であつた。

之れと同様に、同期電動機の場合の電機子反作用も交流發電機の場合と次の如く反對である。

- (イ) 電流が同相の場合は、偏磁作用をする。
- (ロ) 電流が遅れる場合は、磁化作用をする。
- (ハ) 電流が進む場合は、減磁作用をする。

漏洩リアクタンスも同様に發電機の場合と反對の働きをする。

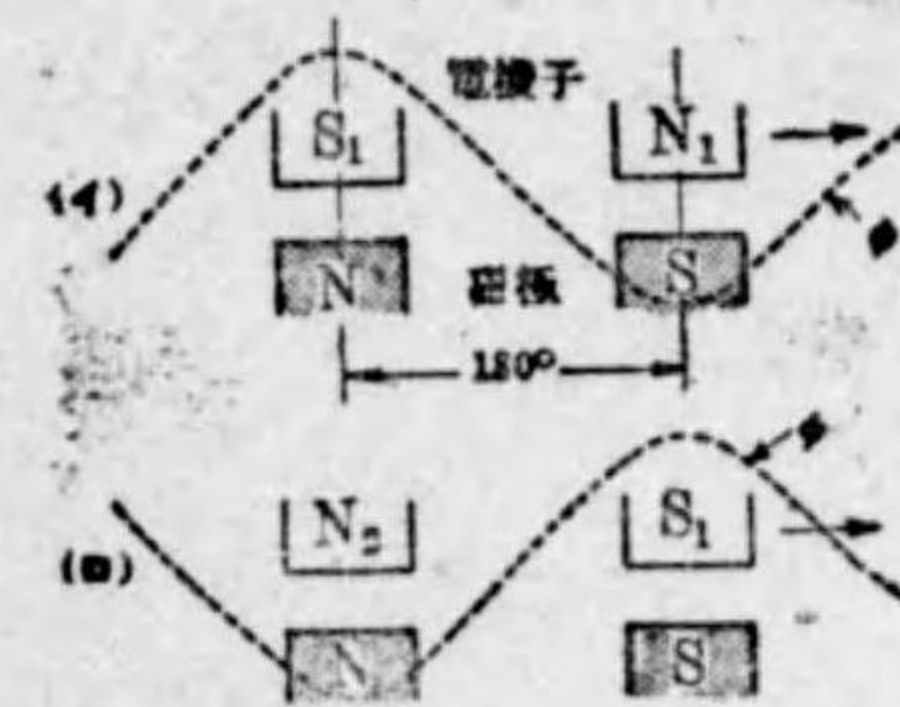
註：上記のやうに反對になる理由は、電流の進退を發電機では誘起起電力に對して云ふが電動機では、端子電壓（誘起起電力と反對方向）に對して云ふからである。

8.2 特 性

8.2.1 起動トルク 電動機が起動し始める瞬時の回轉力を起動トルクと云ふ

〔起動トルクの小さい理由〕 同期電動機は

起動トルクが極めて小さい。その理由は、 $N_1 S_1, N_2 S_2$ を回轉磁界の磁極（右方に移動すると考へる）NS を回轉磁極とすると、(イ) では NS は右方に引かれるが、(ロ) では NS は左方に斥けられる。然して、 $N_1 S_1$ は高速度で回轉するので、NS は交互に力を受けるが、慣性のため結局トルクを發生しない。



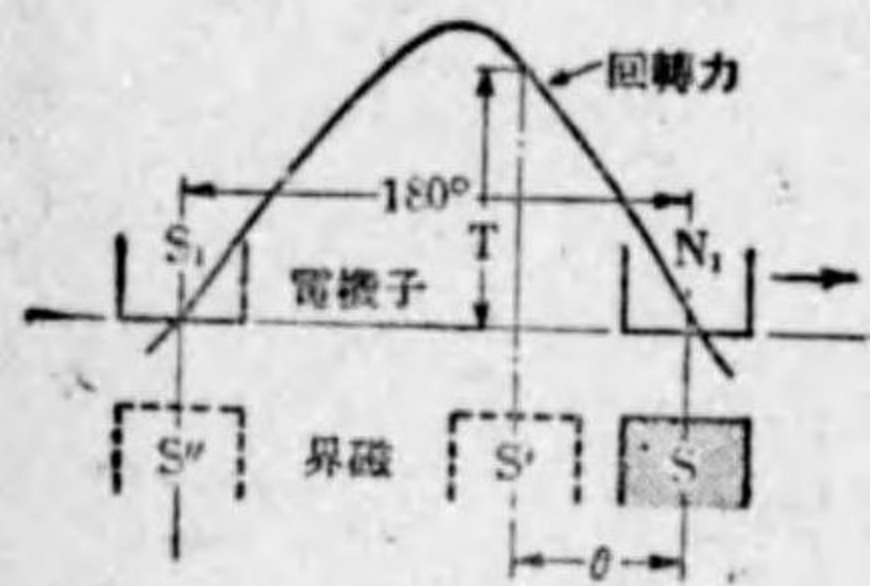
註：磁極に制動巻線を設けると、これが回轉磁界を切つて電流が流れ、誘導電動機と同様

に一定方向のトルクを発生する。

8.2.2 引入トルク 制動巻線のある同期電動機を起動し、同期速度近く（普通、その95%）になつた時、勵磁を與へて同期に引入れやうとする瞬間の回轉力を、引入トルクと云ふ。

8.2.3 脱出トルク 電動機を定格電壓で運轉し、勵磁を一定にして負荷を増した時、負荷し得る最大回轉力を脱出トルクと云ふ。

註：一般の同期電動機では、定格負荷トルクに對し、起動トルクは30~100%、引入トルクは20~75%、脱出トルクは150~200%位である。

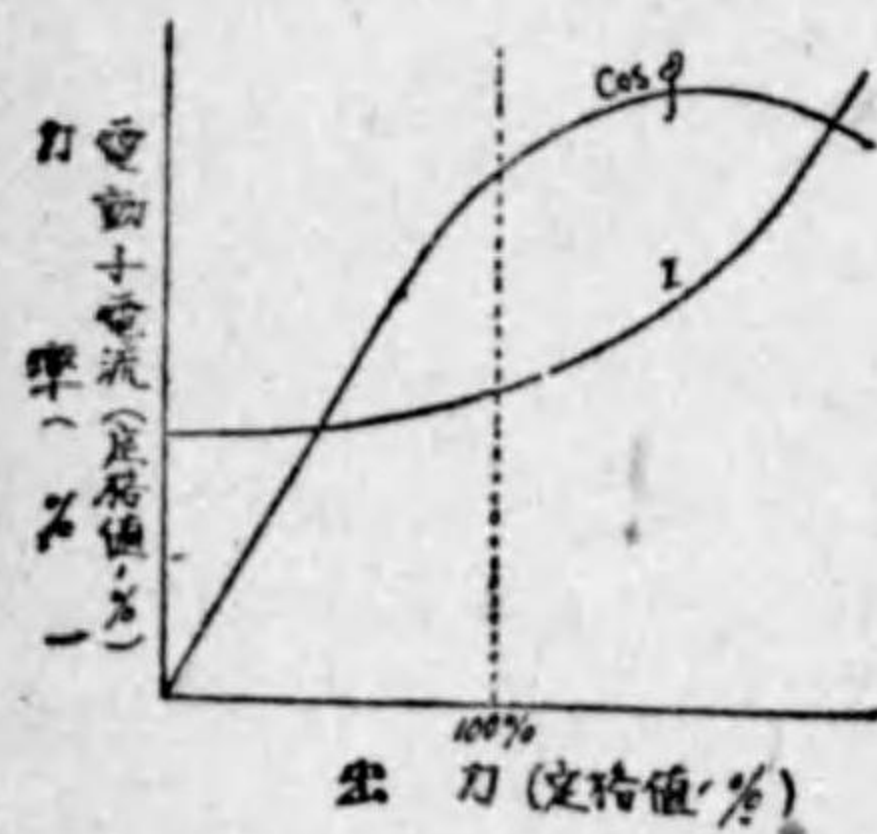


8.2.4 トルク特性 無負荷の時、回轉磁極NSは回轉磁界の磁極S1N1にくつついて回轉してゐるが、負荷をかけると、SはN1よりθ角遅れて、その間に吸引力を発生する。負荷トルクTが増す程このθも増すが、Tはθ=90°で最大になり、これ以上負荷を増すと、θは急

に増して脱調する。

註：Tの最大 即ち、脱出トルクはθ=90°の時であるが、實際に安全に運轉の出来る範圍は、θ=90°より遙かに小さい。

8.2.5 負荷特性曲線



① 出力と電機子電流、電壓、及び勵磁電流を一定に保ち、出力を増すと、流入電流はI曲線のやうに増加する。

註：但し、電流の力率を一定にした場合である。

② 出力と力率、電壓、電流、勵磁を各々一定に保ち、出力を増した時の力率の變化を示すと圖のcosφ曲線のやうになる。

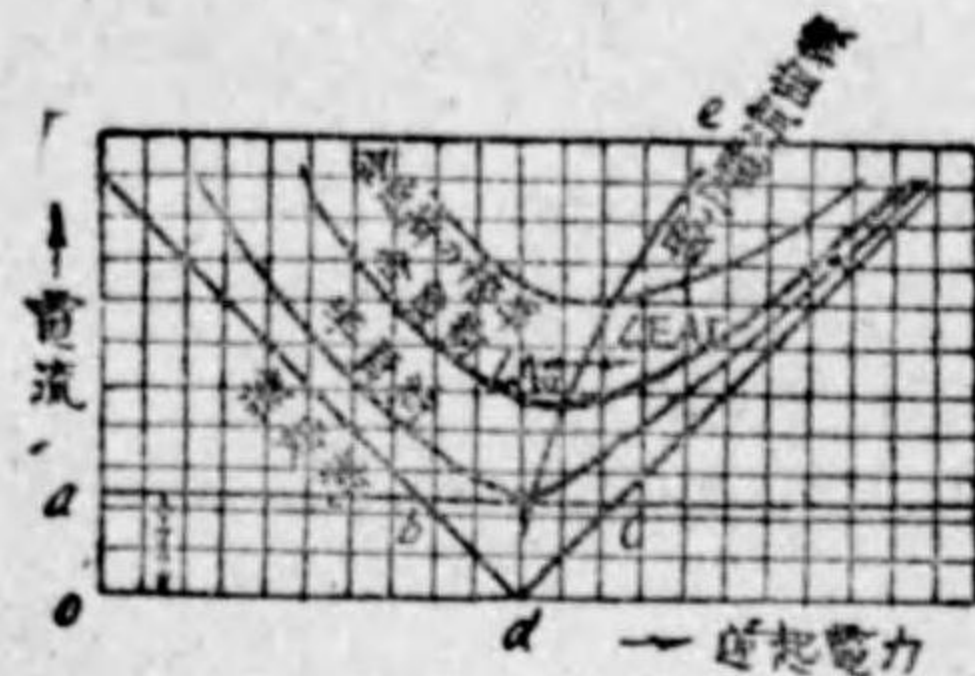
註：出力の小さい時は、過勵磁となり進み力率であるが、出力が増すと共に力率は100%に近づく。更

に負荷が増すと、力率は遅れになる。

8.2.6 V曲線 電壓と負荷を一定に保ち、勵磁電流を零より次第に増すと力率は遅れより1に近づくので、流入電流は減少し、力率1で最小値になる。

更らに勵磁を増すと、進力率になり、流入電流が再び増して圖のやうにV型曲線を書くこれをV曲線と云ふ。

註：負荷を増すとV曲線は右上方に移り、その變化の度合が少くなる。



8.2.7 單獨運轉時の亂調とその防止法

電動機の入力がP0の時、磁極Sが回轉磁界よりδ0角遅れて回轉してゐるとする。この時、負荷がP0よりP1に増すと

δ0は増してδ1になるが、回轉磁極には慣性があるのでδ1より更にδ2迄遅れる。故に、發生トルクが負荷トルクより増大して、Sが加速する。然し、慣性のためSはδ1より進み過ぎる。このやうにSはδ1の前後に振動し次第に振れを減少してδ1に落つく。この時、負荷の變調

が大きく、振れが或る角を越へると、電動機のトルクが反對に減少して遂に停るこれを脱調と云ふ。

〔亂調の防止法〕 ① 制動巻線を設ける；正常運轉の時、磁極は回轉磁界と同一速度で、制動巻線は全く磁束を切らない。然し、亂調を生ずると、制動巻線が回轉磁界を切り、これに電流が流れて、亂調を阻止する方向にトルクを発生する。

② 回轉部のはずみ車効果を適當にする；一般にはずみ車効果を大きくすると、その振動を緩和して、亂調を少くする。

8.3 起 動

8.3.1 自起動法 制動巻線で起動トルクを発生させ、同期速度の95%位になつた時、界磁を勵磁して同期に引き入れる。この自起動法は、電動機の容量が電力系統の容量に比して、小さい時に用ふる。

〔起動電壓〕 ① 全電壓起動；定格電壓を加へて起動する方法で、低速度機、超同期電動機等に用ひられる。起動トルクは大きくなるが、起動の際の進起電力は零であるから、起動電流も甚だ大きい。② 起動補償器法；單巻變壓器で定格電壓の1/2~3/4位の電壓を與へ、起動後は全電壓を與へて同期化する。

〔界磁巻線〕 起動時、電機子回轉磁界が界磁巻線を同期速度で切り、界磁巻線に相當の誘

起電力を発生して、その絶縁に悪影響を與へる。(同期電動機は低速のものが多いから、絶縁を破壊する程高電圧は誘起しない) 故に、界磁巻線を抵抗で短絡するか、又は、数箇に分けてその電圧を低下する。

〔磁気クラッチ法〕 回轉子と負荷の動力傳達に磁気クラッチを用ひ、負荷を切離して起動した後、クラッチを徐々に勵磁して、遂にクラッチを完全に密着する。

8.3.2 他起動法 同期電動機を起動用の小型電動機で一時發電機として運轉し、同期檢定器で電源と同期になつた瞬時に電源につなぐ。(交流發電機並行運轉を参照) 起動用電動機としては、次の種類がある。

① 誘導電動機法; 同期電動機より極数が 2 極少ないものを用ひ、起動後、誘導電動機を電源より切離して、その速度が同期速度に低下した時、電源に入れる

② 同期誘導電動機法、同期電動機と同一極数のものを用ひ、先づ同期誘導電動機の速度が同期速度に近づいた時、直流勵磁して同期化する。次に、同期電動機を勵磁し、同期誘導電動機の固定子移動装置を操作して、之を廻して發生電壓の位相を電源電圧に一致させ、電源につなぐ。

註: 他起動法は、極数の少い(即ち、高速度)、大容量機の起動に用ひられる。尚、②の方法は、一度同期誘導電動機の固定子を調整すると、以後、同期電動機の發生電圧は、常に電源電圧と同期の状態にある。

8.4 同期電動機の特徴と用途

8.4.1 特徴 同期電動機の得失を挙げると、次の如くである。(主として、誘導電動機に比し) 〔特長〕 ① 不変速度(同期速度)である。② 空隙が大きく出来る。(回轉子と固定子が接觸する處が少い) ③ 能率がよい。④ 供給電圧の變化に対するトルクの變動が少い。(同期電動機のトルクは供給電圧に比例し、誘導電動機のトルクは供給電圧の 2 乗に比例する) ⑤ 電機子電流の位相が、勵磁電流に依つて任意に調整せられ、回路の力率を改善し得る。⑥ 修理が容易である。〔欠点〕 ① 速度の調整が困難(磁極数 P を變更するか、電源の周波数を調整する、共に實用的でない) ② 起動トルクが小さい。③ 勵磁機を要する。④ 亂調の處がある。⑤ 取扱が面倒である。

8.4.2 用途 用途としては、速度を細く調整せねばならないものには適さない。低速度誘導電動機は能率、力率共に悪いので、低速度用として本機が用ひ

られる。力率が任意になるのが本機の強味である。

9. 特殊同期電動機

9.1 特殊籠形同期電動機

同期電動機の制動巻線を誘導電動機の特種籠形(後述)と同様にして、起動、及び引入れトルクを大きくし、起動電流を小さくする。

註: 特殊籠形としては、深溝型、二重籠形等を採用する。

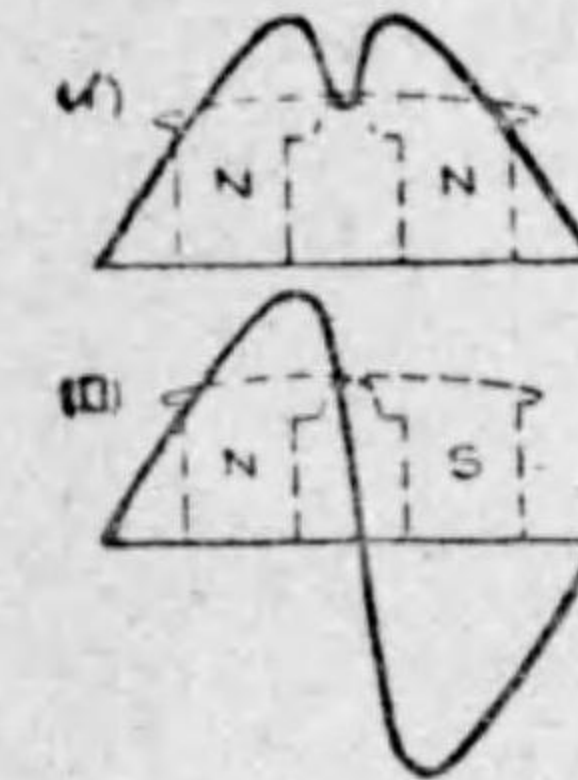
9.2 巻線型同期電動機

制動巻線を誘導電動機の巻線型回轉子と同様に巻線型として、起動時に集電環を通じ起動抵抗を挿入する。起動後は集電環を短絡する。

註: 本機は、上記より更に起動トルクが大きく、然も起動電流が小さい。

9.3 2 速度同期電動機

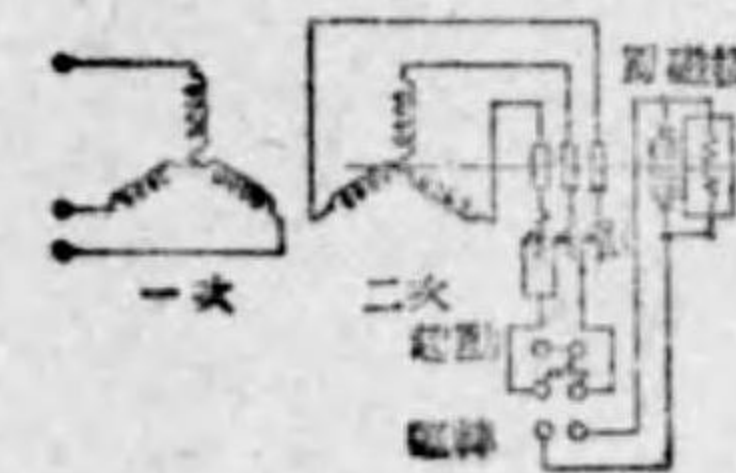
同期電動機は速度は $N=120/f/P$ であるから、N を變へるには f か P を變へる。P を變へるには、凸極型の場合、圖のやうな變形の對磁極を用ひ、兩方を N に磁化して 1 極とし、NS と磁極化して 2 極とする。この場合、電機子巻線も同時に切換へて、兩者の極数を等しくする。



註: 本機は、艦船の電氣推進用、送風機用、製氷アンモニア壓縮機用等の如く、比較的的低速度で 2 種の速度を要求する負荷に用ひられる。

9.4 同期誘導電動機

巻線型誘導電動機の回轉子巻線に、直流勵磁機を圖のやうにつなぐ。起動時には、開閉器を上に入れて、2 次巻線を抵抗 R で短絡し、巻線型誘導電動機として起動する。次に、同期速度近くなると、開閉器を下に入れ、勵磁機より回轉子巻線に直流を流して、同期に引入れ、同期電動機として運轉する。本機は起動電流が小さく、起動トルクが大きい。



註：起動トルクが大きいので、低速度のセメントミル用、同期電動機、又は、同期調相機の起動用電動機等に用ひられる。

9.5 超同期電動機

〔構造〕 固定子と回轉子が別々に回轉するやう軸受を 2 重にし、固定子は薄鋼板の制動帯で締めつける。又、固定子巻線には、集電環を通じて三相電圧を加へる。

註：回轉子は凸出磁極型で、その表面に制動巻線を設けてある。

〔取扱〕 回轉子に負荷を直結して起動する時、固定子の制動帯を緩めると、重さの軽い固定子が反対方向に回轉する。その速度が同期速度近くなつた時、界磁を勵磁して同期化する。次に、制動帯を締めると回轉子は漸次に起動を始め、遂に、固定子を停めて運轉状態に入れる。

超同期電動機の得失

特 長	欠 点
① 負荷に直結の儘起動ができる。	① 構造が複雑で、高價である。
② 起動トルクが電動機の脱出トルク以内であると、容易に起動できる。	② 固定子が回轉し、高速度機に適さない
	③ 起動に手数を要し、その時間が長い

註：本機は、セメントのチューブミル運轉用等に用ひられる。

10. 同期調相機

10.1 一 般

10.1.1 進電流を取る機器 送配電系統の力率改善に用ふる機器には、① 静電蓄電器、② 同期電動機を過勵磁する。③ 非同期調相機、等がある。

註：① は、資材が少く、運轉や取扱が簡単であるから、最近廣く用ひられて來た。然し、進電流を取り得ない。② 及 ③ は、進電流の他に遅れ電流を取つて、例へば長距離送電線を充電する時、線路の充電電流を打消して、發電機の自己勵磁を防がれる。

10.1.2 構造 同期電動機と殆んど同様であるが、違つてゐる点は、

① 速度が任意に撰定できるので、一般に 600~1000 R.P.M 級の高速度に設

計する。

註：一般に、回轉機は高速度のもの程、小型になる。尙、本機は軸が外函を貫通してゐないので、水素冷却方式か屋外式に適する。

② 勵磁電流を廣範圍に變へるので、界磁巻線が太く、勵磁機も大型である。

③ 安定な運轉を行ふため、大きい制動巻線を設ける。又、機械的の負荷が小さく、軸が細い。

註：尙、起動を容易にするため、軸受に壓油を加へて、回轉子を浮揚する。



10.1.3 原理 同期電動機を一定電圧の電源で運轉し、その勵磁電流を次第に増すと、先きに示した V 曲線より明かなやうに、流入電流は圖のやうに變化する。故に、之れを過勵磁して進み電流を取らせ、電力系統の力率を改善する。之れが同期調相機である。

10.2 運 轉

10.2.1 起動法 同期電動機の場合と同様で、自起動法と他起動法がある。又、最近人件費の節約と、誤操作を防ぐため自動起動法が用ひられつゝある。次にその 1 例を述べる。

〔自動自起動法〕 ① 起動鈕を押すと、壓油が軸受に注入され軸を浮揚する。

② 油壓が一定値になると油壓繼電器が働いて、起動補償器を通じ調相機に電圧が加はる

③ 速度が同期速度に近づくと、界磁を勵磁して同期化する。

④ 一定時間後に起動補償器を切離し、全電圧を加へて起動を終る。

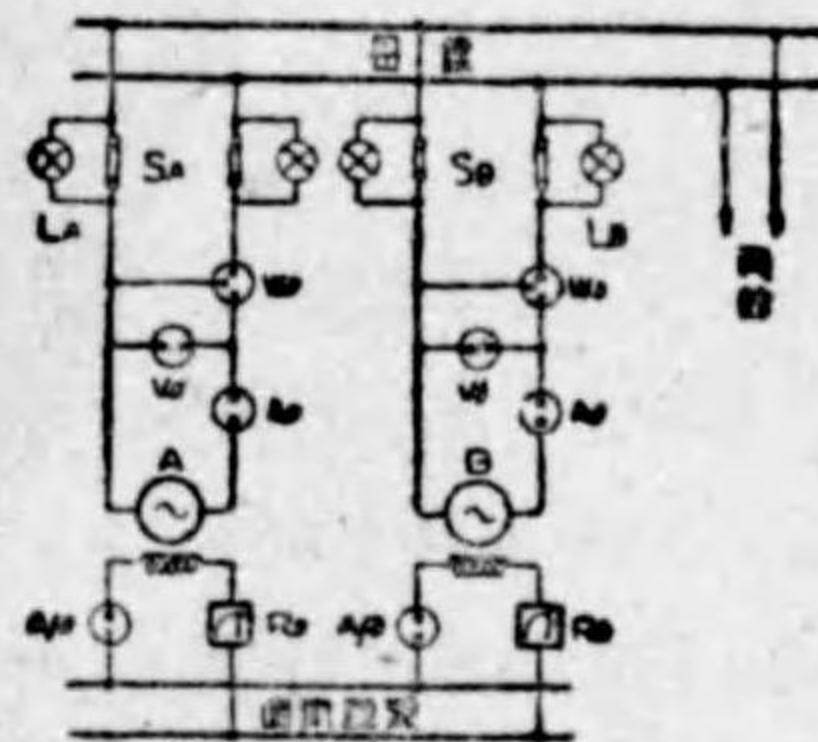
上記 ④ で界磁を勵磁するには、遠心力開閉器、又は界磁回路の周波数が零に近づいて儘（周波數繼電器等を用ふる。

10.2.2 停止 同期調相機が故障した時、電源より切離して自然に停止するのを待つと、相當の時間を要し被害が増大する。この時、直結した起動用電動機の電機子回路に起動抵抗をつなぎ、回轉子巻線を直流勵磁して發電制動を行ふと 2~3 分の短時間で停る。

11. 交流發電機の並行運転

11.1 並行運転の操作

並行運転の利益は直流発電機の處で述べたと同様である。今 A の発電機が運



轉中、新に B の発電機を並行運転させるには、次の順序に依る。

- (イ) 原動機の運転を開始し、徐々に其の速度を上げて、B 発電機を規定回転數で運転する。
- (ロ) B の界磁巻線に電流を通じ、 R_L を漸次減じて、B の端子電壓 (V_B にて讀む) を母線電壓に等しく調整する。

(ハ) 同期検定器を有する時は、(圖は電燈式

の場合) 其の栓を挿入する。

(ニ) 同期検定器が Slow を示したなら B の原動機の調速器ガバナーに依つて、其の回転數を減ずる。Fast なら増す様に調整する。

(ホ) 同期検定器の指針が同期を示す位置 (中央) に來た時、(圖の電燈 L_B では之れが消へた時) S_B を入れる。

(ヘ) B の原動機の入力を其のガバナーに依つて増大し、尙 R_L を減じて A_B 及 W_B が適當なる負荷を指示する様に調整する。A には此の反對の操作を行ひ負荷の分擔を輕める。(R_A R_L を調整すると力率が相異なる。即ち kW 出力が調整される)

次に AB が並行運転中、A 機を停止するには、(ヘ) の手順と同様にして、A の負荷の分擔を漸次減じ、B の負荷の分擔を増し、A の電流計 A_A 及電力計 W_A の指示が零となれば、 S_A を開き其の原動機を止める。

註; 圖は单相の場合を示したが、三相の場合も同様である。尙、本章の並行運転は總て同期電動機の場合にも同様に云へる。

11.2 並行運転に必要な條件

上述より、直流発電機の並行運転と相違する處は、直流機では勵磁電流の調整

に依つて、誘導電壓を一致させると良かつたが、交流機では同期検定器を要した又、負荷分擔の變更は、直流機では勵磁電流の調整であつたが、交流機では原動機の入力をも調整せねばならない。何故、斯様に相違するのか、交流機においては單に電壓計の指示が一致するだけではない。即ち、兩機の起電力が瞬間的に變るのであるから、各瞬時に於ける端子電壓の合一が望ましい。之れがためには次の條件を必要とする。

- (イ) 各機の波形が相等しいこと
- (ロ) 各機の周波數が相等しいこと
- (ハ) 各機の起電力が同相にあること
- (ニ) 各機の端子電壓の實効値が相等しいこと

これを煎じ詰めると、兩機の誘起起電力の波形が全く重り合ふと云ふことになる。

次に是等の 4 つの條件が異なる時は如何なる現象を生ずるか、これを研究して見やう。

(イ) 波形の不同一; 波形が相違すると、例へ他の條件が合つて居ても、各瞬時に於いて、兩起電力に相違を來し、負荷電流に關係せぬ循環電流が流れ、兩機を無用に熱する。

(ロ) 周波數の相異; 其の他の條件が合つて居ても周波數に相異があると、電燈 L_B (或は L_A) が明くなつたり、暗くなつたり点滅する。(同期検定器では指針が Slow か Fast の方に移動する) 何故なら、電燈にかゝる電壓は兩機の電壓差 ($E_A - E_B$) であるから下圖の太線 E_d のやうに變化し、^{チラツキ} 明暗を與へる。従つて、前述した加く、原動機の回転數を調整し、之れを一致させる。

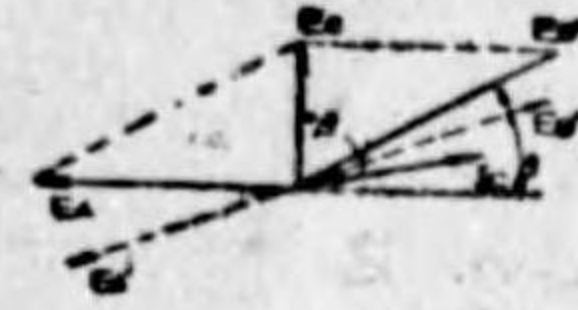


(ハ) 兩機の電壓に相差のある時; 今 B 機の起電力が θ だけ lead して E_B' となると、兩者の合成電壓は E_c となり、此の電壓に依つて兩機内に循環電流 I_c を流す、其の値は

$$I_c = \frac{E_c}{AB \text{ 兩機の同期インピーダンスのベクトル和}}$$

然して、同期インピーダンスは、抵抗に比し、同期リアクタンスが大きいから I_c が E_c より遅れる角 β はほとんど 90° である。

従つて、 I_c は E_B' と殆んど同相にあつて、其の電力は正となり、B 機の負擔有效電力を増大し、速度を遅らさうとして E_B' の位相を E_B'' に遅らせる。然るに I_c は E_A と殆んど 180° の相違があつて、其の電力は負であり、A 機の負擔有效電力を軽減して、其の速度を速めんとして E_A の位相を E_A' の如くに進める。



斯様に兩機の起電力の相違は兩者の位相を合致させやうとする（即ち同期の状態にあらせやうとする）電流を流す、此の電流を同期化電流（有效横流）と云ふ（=）端子電壓の相違；AB 兩機の起電力が圖の E_A E_B のやうに、 $E_B - E_A = E_d$ と相違すると、之れに依つて、兩機に循環電流 I_s を流す。然して、 I_s は E_d より殆んど 90° 遅れる。従つて、 E_A E_B に對して、殆んど同一相違であつて前項のやうな働をしない。

然し、 I_s は E_B より 90° 程遅れ、 E_A より 90° 程進むから、B の界磁を弱め、 E_B を小とし、反對に A の界磁を強め E_A を大とし、兩者の起電力を合一させやうとする。斯様に、此の時の循環電流は兩機の同期化力とならないので之れを無効循環電流（無効横流）と云ふ。

11.3 原動機の必要條件

並行運轉をする交流發電機運轉用の原動機が具備しなければならない條件を挙げると次の如くである。

- ① 角速度が均一なこと。
- ② 速度變動率が適當な値のこと。
- ③ 調整器が餘り鋭敏でないこと。

註 ① 角速度が不平等の場合、往復動機では、1 回轉中の速度が均一でなく、横流によつて並行運轉が困難になる。これを防ぐため、回轉部のはずみ車効果を大とする。

② 速度變動率が小さいと、1 機の速度が僅か變つても、その出力が著しく變化する。反對に大き過ぎると、分擔負荷により速度の變動が大きくなる。

③ 調速機が鋭敏過ぎると速度の調整が行過ぎて、乱調の原因になる。

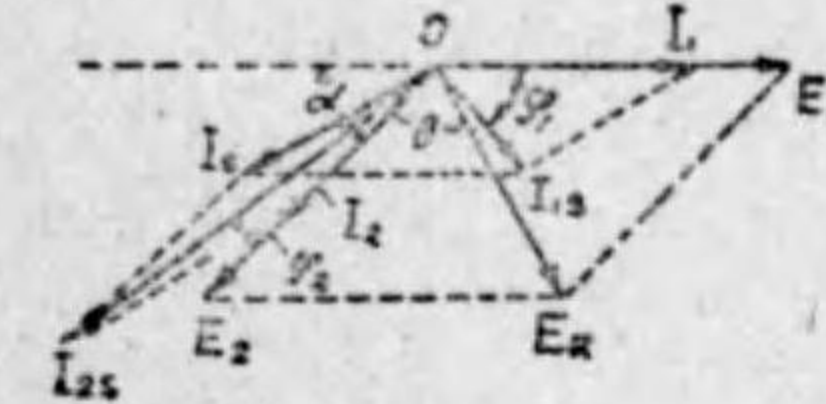
11.4 分擔負荷の變更

並行運轉中の同期發電機の負荷分擔を變へるため、調速機の制御用電動機で、

例へば B 機の入力を増した時、その電壓 E_1 が δ 角進んだとする。すると他機との間に有效横流 I_s が流れ、各發電機の電流は、

$$\text{A 機} \cdots I_1 \text{ より } \dot{I}_1 + \dot{I}_s = \dot{I}_{1s} \text{ に}$$

$$\text{B 機} \cdots I_2 \text{ より } \dot{I}_2 + \dot{I}_s = \dot{I}_{2s} \text{ に}$$



即ち、B 機の出力が増し、他機の出力が少くなる。この場合各機の力率の變化は、界磁電流を加減して、容易に調整できる。

〔並行運轉時の母線電壓の調整〕 直流發電機で、その母線電壓を高めやうと 1 機の勵磁を強めると、之れが負荷分擔を大とする。然して、母線電壓は他機の容量が大で、原動機の速度變動率が小であると、殆んど一定である。従つて、1 機の勵磁を調整したのでは母線電壓を調整し得ないで、負荷分擔を相異させるに過ぎない。故に、各機の勵磁を一樣に強め或は弱めて母線電壓を所求の値とする。

並行運轉中の交流發電機に於て 1 機の勵磁を強めると、此の負荷分擔には相違を來さないで、他機の電壓を高め、本機の電壓を低めて、幾分、母線電壓を高める。然し、發電機間には有效横流が流れ、各機の力率を相違させるだけで、矢張り母線電壓を調整するには、各機の勵磁を一樣に調整せねばならない。要するに

並行運轉中の母線電壓調整……各機の勵磁を一樣に調整する。

11.5 並行運轉時の亂調

並行運轉中の 1 機の磁極が何等かの理由で同期速度から遅れると、その電壓の位相が遅れ、有效横流が流入して加速する。この時、回轉磁極は慣性のため元の位置より行過ぎる。故に、今度は反對にその負荷が増して減速する……斯様にして、回轉磁極が同期速度の前後に振動することを亂調と云ふ。亂調を起した時回轉子の振動が次第に増して、その發電機が遂に同期から外れることがある。これを脱調と云ふ。

〔亂調の防止法〕 ① 磁極の表面に制動巻線を設ける；亂調を起すと、制動巻線が電機子による回轉磁界を切り、これに電流が流れて、亂調を阻止する方向にトルクを發生する。

但し、制動巻線は、誘導電動機の籠形回轉子と同様な短絡環である。

② 調速機に制動壺を設ける；調速機の復原機構に小孔を有する油ピストンを設けて、その動作をある程度鈍くする。

12. 回轉變流機と周波数變換機

12.1 回轉變流機一般

12.1.1 原理一般 直流發電機の電機子導体個々には交流起電力が誘導せられるのであつて交流發電機と何の相違もない。然して是等の導体の起電力が加り合つて、外部に出るのに整流子を経て初めて直流となる。従つて、整流子と反対側に集電環を附し、巻線の適当な位置から引出線を取つて、之れに結ぶと、交流が得られる。即ち、斯様な發電機は直流發電機であると同時に交流發電機であるから複流發電機と云はれる。此の複流發電機に於て、其の原動機を止め、交流側から交流電壓を供給すると、交流發電機はそのまゝ同期電動機となつて回轉をつゞけ、直流側から依然として、直流が得られる。これが回轉變流機の原理である。

註：直流側から直流電力を供給すると、交流側から交流電力が得られる。これが逆用回轉變流機である。

註：何れ後述するが、回轉變流機の電機子反作用は、回轉變流機自体が同期電動機と直流發電機の複合であるから、反作用磁界も亦、兩者の合成となる。然して、回轉變流機では直流側刷子が常に無負荷の中性軸に置かれるので、直流側の反作用磁界は回轉方向に主磁界よりも 90° 進んだ交叉磁化作用（偏磁作用）のみとなる。次に交流側は力率を 1 とすると同期電動機に依る反作用磁界は、主磁界よりも 90° 遅れた交叉磁化作用のみであつて（後述する）直流と交流側で反作用磁界は相殺する。然し、交流側の勵磁を強めて、進み電流を取らせると減磁作用を爲し、弱めて遅れ電流を取らせると磁化作用をする、これは同期電動機の處で説明した。斯様に反作用磁界が殆んどなくなるので、回轉變流機の直流側刷子は、常に無負荷中性軸に置いて、良好な整流を得る。従つて、中性軸の移動防止と云ふ点から云ふと、補極は無用であるが、事實は補極を附してゐる。

其の理由は、電機子巻線に誘導せられる周波数が電源の関係から 50 又は 60 サイクルと云ふ高いものであるから、整流が困難となる。何となれば、周波数を増すためには、極数と回轉数を増さねばならない。極数を増すと、少し刷子の位置を移動しても、電氣的角度から云ふと大きいから火花を生ずる。即ち、刷子の位置の調整が困難となる。又、回轉が早く

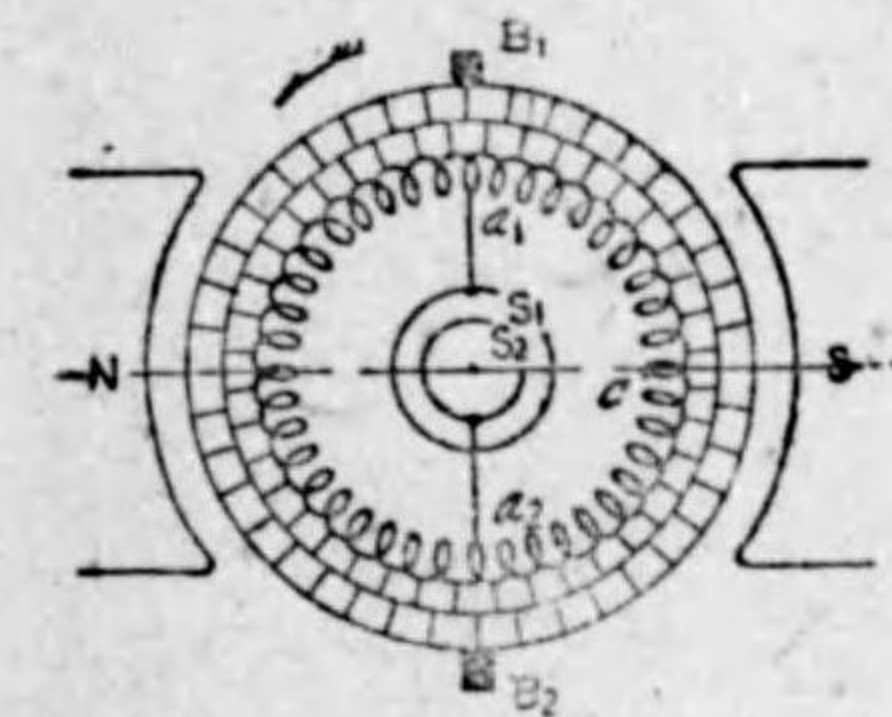
なると、1 個の整流子片が刷子と接觸してゐる時間（これが整流時間）が短くなるので、此の短時間に電流の方向を反轉せねばならないので、火花を生ずる懸念が加重する。故に、完全な整流を行ふためには補極を用ひ、補極の磁界で整流せられる線輪に進んだ電壓を誘導させて、整流を助ける。因に、普通の直流發電機では、以上の理由から、電機子巻線内の周波数を低く 10~15 サイクルに設計する。

回轉變流機の電機子巻線内には交流と直流が重疊して流れ、其の方向は互ひに打ち消し合ふ方向にあるから、銅損 (I^2R) は少い。これは相数の多い程、顯著で力率が 1 で最も少い。

12.1.2 構造 大抵直流發電機と同様で、集電環は交流側の相数だけ設ける

磁極面（固定子）には、同期電動機と同様に制動巻線を設け、起動を容易にすると共に亂調を防ぐ。電機子巻線には、直流側に均壓線を設けて、整流をよくする。

但、直流側の電壓を E_d 、交流側の電壓を E_a 、其の相数を m とすると、係がある。



$$\frac{E_a}{E_d} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \frac{2\pi}{m}$$

斯様な一定関係にあるから、直流側の電壓のみを勝手に加減することが出来ない。従つて、直流電壓を調整しやうとすれば、先づ、交流側の電壓を調整する。

又、並行運轉中の回轉變流機の交流側が開くと、直流電動機になつて過速されるので、回轉軸の一端に遠心錘で動く限速繼電器を設け、高速度になると直流側を開く。

註：尙、回轉變流機は機械的の負荷をかけないので、軸が左右に動かず、刷子のため整流子に溝が出来る。これを防ぐため搖軸装置を用ふる。

12.1.3 電機子反作用 ① 交流側の力率が 1 の時、電機子反作用は、同期電動機側も直流發電機側も共に交叉磁化作用をなし、前者は主磁界より 90° 遅れ、後者は 90° 進んでゐる。故に、兩者は互に打ち消し合ひ、合成反作用磁界は極めて僅かである。

註：43 頁の圖に於て、發電機の反作用磁界は OQ の方向であり、電動機の反作用磁界は OQ' の方向となるから、兩者を合せた回轉變流機の反作用磁界は互に打ち消し合ふ。之

れが後述の複流発電機になると、何れも OQ の方向となつて、反作用磁界を著しく大とし、整流が不良になり、減磁作用も大きくなる。

② 交流の力率が 1 でない時、交流の無効分による反作用は、直流の反作用と 90° の相差があり、同期電動機と同様に、進力率の時は減磁作用、遅力率の時は磁化作用をする。

12.1.4 閃絡の原因 ① 直流側の短絡、この時、直流側には大きい短絡電流が流れるが、交流側は、漏洩リアクタンスのため電流が制限される。故に、直流の反作用が過大になり、磁束分布が歪んで閃絡の原因になる。

② 亂調、亂調を起すと、反作用磁界が主磁束の前後に動揺し、合成磁界が移動して、整流子片間に火花を発生し、閃絡の原因になる。

註：閃絡を防ぐには、① 整流子面に接して閃火隔壁を設ける。② 高速度遮断器で、直流側の短絡電流を直ちに遮断する。等である。

12.2 回轉變流機の電圧調整法

12.2.1 電圧調整法の種類 前述したやうに、直流側の電圧を調整するには交流側の電圧を調整せねばならない。

交流側で行ふ方法	① タップ付變壓器、又は誘導電圧調整器を用ふる。 ② 交流側にリアクタンスを直列にする。 ③ 同期昇壓機を用ふる。
その他	④ 直流昇壓機を用ふる。⑤ 分割磁極を用ひ主磁束の分布を變へる。

註：直流側の電流と交流側の電流が、電機子巻線内で打ち消し合ふ度合は、相数の多い程、大きいので、6相又は12相を用ふる。従つて、3相電源から、電圧を變成し相数を換へて、變流機に給電する爲めに、變壓器を用ふる。① は此の變壓器に多数のタップを設けて、交流側集電環に加へる電圧を調整する。此の方法は、大きな負荷電流を切換へるのであるから、閉閉器が損傷し易く、高電圧の引出口を複巻とするので、(タップは電流の少い高電圧に設けられる) 一般に用ひられない。誘導電圧調整器に依る方法も高價であつて、實用的とは云へない。② は交流發電機で、其の電機子は變流機の電機子と同一軸上に直列に結れる。故に、同期昇壓機の界磁を勵磁すると、昇壓機は發電して、供給電圧に加はり、逆に勵磁すると、供給電圧と逆方向になつて(即ち、電動機となる) 供給電圧を下げる。

② の方法が一般に用ひられるから、項を改めて説明する。

12.2.2 リアクタンス線輪と複巻界磁巻線の併用 回轉變流機の界磁を複巻



として、(一般には分巻である) 交流側の集電環と變壓器間にリアクタンス線輪を置く。直流側の負荷が増加すると、電機子内での電圧降下を大とし、端子電圧を低下する。負荷電流が増すと、直流界磁巻線の作る磁束が大となつて、界磁束を増加する。界磁束を増加すると、同期電動機である交流側の流入電流は進み電流となる。斯くすると、變流機交流側の集電環間の電圧が、變壓器の二次電圧よりも高くなる。これは上圖のベクトル圖からも明かであつて、 E を變壓器の二次電圧、 E_c を變流機側電圧とすると、界磁が弱いと (イ) の如く交流側の流入電流 I は E_c より ϕ 角遅れる。 E_c に I より 90° 進んだリアクタンス電圧降下 Ix をベクトル的に加へたも

のが變壓器の二次電圧となる。此の場合は明かに、 $E_c < E$ である。界磁を強めると (ロ) の如く I は E_c よりも進み E_c に I より 90° 進んだ Ix をベクトル的に加へた E は E_c より小さくなる。

註：リアクタンス線輪を用ひなくとも變壓器の漏洩リアクタンスを利用しても良い。特に漏洩リアクタンスを大きく設計すれば、15% 位のリアクタンスが得られる。

換言すると、變壓器側電圧 E が一定であると、直流線輪に流れる負荷電流の大小に応じて、交流側供給電圧は上下して直流側電圧を負荷の増加と共に引上げやうとする。本方法が一般に用ひられる。

註：尙、本方法は、變流機の力率を低下させて電圧を調整するため、その出力が著しく減少する。故に、定格電圧の 10~15% 以上の調整には適さない。

12.3 回轉變流機の起動法

回轉變流機は、整流子側より見ると直流機であり、集電環側より見ると、同期機であるから直流電動機、或は、同期電動機として起動する。

12.3.1 直流側起動法 ① 直流側の高速度遮断器を閉ち、起動抵抗を通じて起動する。

② 起動抵抗を徐々に抜いて速度を高め、界磁を調整して、定格速度にする。

③ 交流側を母線と同期化し、油入遮断器を入れて並列運転する。

注：交流電圧は、直流側の電圧を變へて加減し、速度は、界磁で調整する。

④ 界磁抵抗器を調整して、交流側の力率を 1 に保つ。

注：交流側より起動するには、同期電動機と同様の方法で起動し、直流電圧の極性が正しい方向になった時、界磁回路を入れて同期化する。

12.4 回轉變流機と電動發電機の比較

電力の傳送には電圧を自在に變更し得る交流が便利であるから、電鐵とか電氣化學のやうに直流を必要とする負荷には、傳送されて來た交流を直流に變成して供給する。此の變成装置として用ひられるのが、電動發電機、回轉變流機及水銀整流器である。最近、重要資材である銅、鐵を必要とせぬ水銀整流器が採用されてゐるが、之れは別に述べることにして、茲では前 2 者を比較する。

電動發電機は、交流電動機と直流發電機を直結したものである。交流電動機としては 100kW 以上には、同期電動機が用ひられる。本方式ではその勵磁を調整し得、速度が一定なる特長がある。然し取扱ひが不便であるから小容量のものには電動機として取扱ひの簡便な誘導電動機が用ひられる。既述したやうに、此の同期電動機（回轉電機子型）と直流分巻發電機からなる電動發電機に於て、兩機の極数が等しいと、界磁も電機子も共通とする事が出来る。然して、電機子巻線の一方には整流子を附して之より直流を出し、他方には集電環を備へて交流を供給する。斯く全く 1 台の機械で交流同期電動機と直流分巻發電機の兩作用を行ふ如くされたものが回轉變流機である。

次に電動發電機 (M.G) と回轉變流機 (R.C) を比較すると、次の如くである

① 同一容量に就て比較すると、R.C の方が能率が良好である。何故なら界磁及電機子は一つであるから、何れの鐵損も小である。然して、電機子電流には交流と直流が流れ、普通兩電流は打ち消し合ふやうにせられるから銅損は小となる。

② R.C の價格は M.G よりも安い。(約 80% 位)

③ 重量及形態は R.C の方が小であるから、床面積を節約し、基礎工事が簡單となる。

④ 容量の小なるものは M.G の方が有利。何故なら M.G にあつては起動の簡便な誘導電動機が用ひられ運転も安定である。之に反して小容量の R.C は起動が難しい上に運転が不安定である。負荷變動の激しいもの程、此の点が顯著になる。

⑤ 直流側の電圧調整は R.C の方が困難である。

注：回轉變流機は短時間なら、300% 負荷にも耐へるやうにせられてゐる。

12.5 特殊回轉變流機

12.5.1 逆用回轉變流機 回轉變流機を逆に使つて、直流を交流に變成する

注：本機は、電氣鐵道で、電車が下り勾配を運転する時、直流電動機を發電機として電力を發生させ、その電力を電源に送り返す場合等に用ひられる。

12.5.2 複流發電機 回轉變流機を原動機で運転し、直流と交流を同時に發生させる。

注：本機は、電機子反作用が直流と交流の和になり、整流が困難である。又、電機子銅損が大きく、回轉變流機より負荷容量が遙かに小さい。

12.5.3 3 線式回轉變流機 回轉變流機の直流側より 3 線式配電を行ふ場合交流側の變壓器を星形につないで、その中性点より中性線を引出す。

12.6 周波數變換機

12.6.1 種類 ① 定比周波數變換機：周波數の變換比が一定のもので、同期周波數變換機等がある。

② 可變比周波數變換機：周波數の比が一定でなく、又、任意に變へられるもので、誘導周波數變換機、同期非同期周波數變換機等がある。

注：① は、周波數の異なる送電系統の連絡用、② は、① と同様、又は、可變速度電動機の電源用等に用ふる。

同期周波數變換機は、磁極數の異なる 2 台の同期機を直結して、一方を電動機、他方を發電機として運転する。今、磁極數を P_1 及 P_2 、回

轉數を N とすると、

$$\text{各機の周波數 } f_1 = \frac{P_1 N}{120} \quad f_2 = \frac{P_2 N}{120}$$

$$\text{周波數比 } \frac{f_1}{f_2} = \frac{P_2 N}{P_1 N} = \frac{P_2}{P_1}$$

即ち、周波數の比に等しい極數の比を選ぶ。

12.7 同期機一般

本節は以上の復習の意味で同期機一般を要約した。

12.7.1 用途に依る分類

種類	構造	用途
同期發電機	固定子に電機子巻線を設け、直流で勵磁した磁極を回轉する。	一般の電燈用、電力用に用ふる。
同期電動機	發電機と同様の構造である。回轉磁極に設けた制動巻線を起動に利用する。	一定速度用、高効率用の電動機に用ふる。
同期調相機	同期電動機を無負荷で運轉し、その界磁を加減して、進相、又は進相電流を取らせる。	電力系統の力率改善に用ふる。
周波數變換機	同期電動機(又は誘導電動機)に同期發電機を直結して運轉する。	電力系統の周波數を變更する。
回轉變流機	同期電動機の電機子巻線を回轉子に設け、此の一侧に整流子を置いて直流側とする。	交流を直流(又は反對)に變更する。

12.7.2 型式に依る分類

型式	細別	構造
回轉界磁型	凸出磁極型	回轉磁極が凸出型で、界磁巻線の冷却がよい、低速度用に用ひられる。
	圓筒磁極型	回轉磁極が圓筒型で、風損が少く、丈夫であるが、界磁巻線の冷却が悪い。
回轉電機子型		固定子に界磁巻線を設け、回轉子に電機子巻線を施す。絶縁が困難である。
誘導子型		界磁巻線、電機子巻線を共に固定し、誘導子(鐵心)が回轉する(高周波用發電機)

12.7.3 原動機に依る分類

分類	特徴
水車發電機	回轉界磁凸出磁極型で、横軸型(200~1200 R.P.M)と豎軸型(72~750 R.P.M)がある。
タービン發電機	横軸型で高速度(1500~3600 R.P.M)である。風損を少くし、遠心力に耐へるため、圓筒磁極型を用ふる。
機關發電機	横軸型で低速度(100~300 R.P.M)である。特にはずみ車効果を大きくするため、外側磁極型を用ふる。

12.7.4 仕様書

- ① 機械の名稱。
 - ② 型式、並に冷却方式(横軸型、豎軸型、開放型、閉鎖通風型等の別)。
 - ③ 定格の種類(短時間、連続等の別)定格事項(出力、電壓、相數、周波數、回轉數、力率等)。
 - ④ 勵磁機(勵磁方式、電壓、原動機の種類等)回轉方向。
 - ⑤ 用途(負荷の種類)附屬品、及び豫備品。
 - ⑥ 準據する規格(電氣工藝委員會標準規程)運轉、及び据付條件。
- 註: 更に、發電機では、原動機の種類、自動電壓調整器の種類等、又、電動機では、起動方法、起動特性等を記載する。

12.7.5 試験

- ① 無負荷試験: 定格回轉速度で、勵磁電流を零より次第に増し、端子電壓を記録して、無負荷飽和曲線を畫く。

註: 無負荷時の入力は、大体 鐵損+機械損 である。

- ② 短絡特性試験 電機子巻線を短絡して、勵磁電流を次第に増すと、短絡特性曲線が得られる。これをインピーダンス曲線とも云ふ。

$$\text{同期インピーダンス } Z_s = \frac{E_0 \text{ (無負荷誘起電壓)}}{I_s \text{ (短絡電流)}} \quad \therefore x_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2}$$

但し、 E_0 と I_s は、同一の勵磁電流に対する値であり、上式は、1 相についてである。

又、短絡比とは、短絡比 = $\frac{\text{無負荷で定格電壓を發生する勵磁電流}}{\text{短絡時に定格電流を流す勵磁電流}}$

で表はされ、この値の大きい機械は、 Z_s が小さく大型になる。最近は、1.2~1.4 位の大き

い値が採用される。

尚、短絡試験の時の発電機入力は、大体 銅損+機械損 である。

③ 負荷特性試験 ① 同期発電機；負荷電流を一定に保ち、勵磁電流を次第に増して、端子電圧の変化を書き、外部特性曲線を求める。

② 同期電動機；一定の機械負荷をかけ、勵磁電流を調整して、流入電流の変化を書き V 曲線を求める。

註；負荷は、直流電動機を運轉してその發生電力を水抵抗器等に消費させる等の方法を用ふる。或は、他の特性曲線より算定する。

④ 温度上昇試験 ① 實負荷法、小型の時は、實際に負荷をかけて連続運轉し、温度を測る。

② 虚負荷法、例へば、定格速度で無負荷運轉し、110% 定格電圧で一定温度上昇となつた後、短絡して 125% 定格電流を流し、最終温度を求める。これが全負荷温度上昇に相當する。

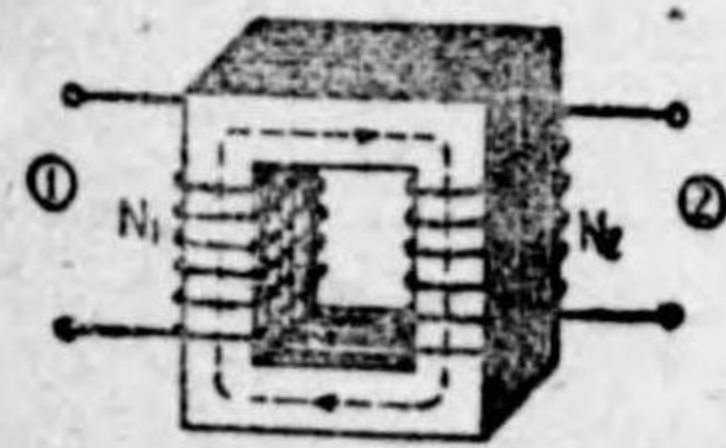
註；温度の測定方法には、① アルコール温度計等を用ふる方法。② 抵抗法、巻線の抵抗増加より、その平均温度上昇を知る。③ 埋込温度計法、豫じめ温度計素子、又は熱電對を測温箇所へ埋込んで、最高温度上昇を知る。等の方法がある。

④ 絶縁抵抗及び絶縁耐力試験 前者は、温度試験直後に行ひ、その値が良い時、後者の試験を行ふ。

13. 變 壓 器

13.1 一 般

13.1.1 原理 圖の如く、薄鐵板を積重ねた鐵心上に 1 次巻線 N_1 と 2 次巻線 N_2 を捲き、1 次側に交流電圧を加へると、之れに交流が流れ、其のアンペア回數(電流×巻線回數)に比例する磁束を生ずる。此の磁束は鐵心を通つて、2 次巻線と鎖交する。又、此の磁束は電流に應じて變化するから、2 次巻線に誘起起電力を生ずる。



する。

然して、同じ磁束に依つて切られるのであるから、1 次側と 2 次側の電壓

E_1 と E_2 の比は、夫々の巻線回數 N_1 及 N_2 に比例し、

$$E_1 : E_2 = N_1 : N_2 \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{となる。}$$

註；① 1 次及 2 次巻線の作る磁束の中、自分だけの巻線と鎖交するものが少々ある。これは變壓器作用に關係なく、夫々の側の自己インダクタンスとなる。

② 鐵心内の最大磁束を ϕ_m とすると、

$$\text{一次巻線 } N_1 \text{ の誘起電圧 } E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

$$\text{二次巻線 } N_2 \text{ の誘起電圧 } E_2 = 4.44 f N_2 \phi_m \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

従つて、前述のやうに、

$$\text{電壓比 } \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = n \quad n = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{之れを、變壓器の巻數比と云ふ。}$$

即ち、一次、二次の誘起起電力の比は、巻數比に等しい。

一次端子電圧と二次端子電圧の比は、實用的に略、上記の巻數比に等しいが、精密には、次に示すやうに、巻線の電壓降下のため、巻數比より稍大きい。

13.1.2 ベクトル關係 發送配電に、今日、交流が全盛を極めてゐるのは此の變壓器に依つて、電壓、電流が自在に、然かも高能率で變成せられるからである。前項で、原理の一般を説明したから、此處では、更らに詳しく、ベクトル圖に依つて、その特性を説明しやう。



左圖は、2 次巻線に負荷を接続しない無負荷の場合を示した。1 次に E_1 なる電圧を加へると、 i_{00} なる勵磁電流が 1 次巻線に流れ、 E_1 より 90° 遅れ ϕ なる磁束を鐵心内に通ずる。此の ϕ は、 E_1 が正弦波形的に變化するに伴ひ大體同様に變化する。之が 2 次巻線を切つて、 ϕ より 90° 遅れた位相に E_2 を生ずる。此の E_2 が 2 次巻線端子に現はれる。然して、勵磁電流と磁束の間には ϕ なる相差がある。之は鐵心のヒステリシス及渦流損に依るのであつて若し之れがないと、 i_{00} と ϕ は同相にある。

此の E_1 及 E_2 は 1 次及 2 次巻線の誘起起電力であつて、1 次は 1 種の電動機と考へられるから、 E_1 は逆起電力に相當し、2 次は發電機と考へられるから、 E_2 は誘起起電力に相當する。

扱、2 次側に負荷を接続して、2 次巻線に電流 I_2 を流すと、之れに依つて

$I_1 N_2$ に比例する磁束 ϕ' を生ずる (發電機の電機子反作用に相當する) 之れが前の磁束 ϕ を減じ $\phi - \phi'$ にしやうとする。従つて、1 次側の逆起電力 E_1 は $N_1 (\phi - \phi')$ に相當する値に減じやうとする。然るに、供給電圧は一定値であるから、1 次側に新に電流 I_1 が流入し、 $I_1 N_1$ に相當する新なる磁束を作る。之れが ϕ' を打ち消して、鐵心内の磁束を前と同一に保つ、1 次側の逆起電力も亦、前と等しく E_1 である。

註: 換言すると、1 次供給電圧が一定であると、之れと平衡する逆起電力 E_1 も亦一定でなくてはならない。従つて、 E_1 に相當する $N_1 \phi$ も一定値とならねばならないから、2 次負荷電流 I_2 の作る磁束 ϕ' を、新に流入した 1 次電流 I_1 の作る磁束で打ち消す。結局、鐵心内の磁束は前と等しく ϕ である。此の ϕ を作る電流が 1 次巻線にのみ流入する勵磁電流 i_{00} であり、 ϕ' を作る I_2 及 I_1 が負荷電流である。

上述より明かなやうに、

$$\phi' = k I_1 N_1 = k I_2 N_2 \quad I_1 N_1 = I_2 N_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{n} \quad I_1 = \frac{1}{n} I_2 \quad I_2 = n I_1$$

但し、 n は巻數比である。

前の電壓關係の式と合せて考へると、

$$E_1 I_1 = (n E_2) \times \left(\frac{1}{n} I_2 \right) = E_2 I_2$$

結局、變壓器の 1 次側と 2 次側のボルトアンペア (又は kVA) 數は相等しい。扱、2 次巻線に I_2 、1 次巻線に I_1 が流れると、

$$1 \text{ 次に加へる端子電壓 } E_1' \text{ は } E_1' = E_1 + 1 \text{ 次巻線内の電壓降下}$$

$$2 \text{ 次の端子電壓 } E_2' \text{ は } E_2' = E_2 - 2 \text{ 次巻線内の電壓降下}$$

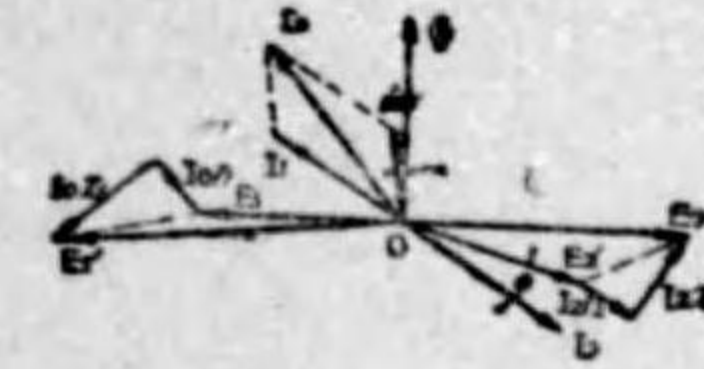
となる。但し、電壓降下の加減はベクトル的に行ふ。

扱、此の電壓降下は、負荷電流と同相の抵抗電壓降下と、負荷電流より 90° 進んだ夫々の巻線の自己インダクタンスに依るリアクタンス電壓降下の和である。

今、2 次に I_2 アンペア、従つて、1 次に $I_1 = I_2 \times \frac{N_2}{N_1}$ アンペアの電流が流れた場合のベクトル圖を畫くと、次の如くなる。

即ち、2 次の端子電壓 E_2' より ϕ だけ遅れた負荷電流 I_2 アンペアが流れる

と、其の端子電壓 E_2' は、 I_2 より 90° 進んだ 2 次巻線のリアクタンスに依る電壓降下 $I_2 x_2$ と、 I_2 と同相の 2 次巻線の抵抗に依る電壓降下、 $I_2 r_2$ を、 E_2 より引いたものになる。



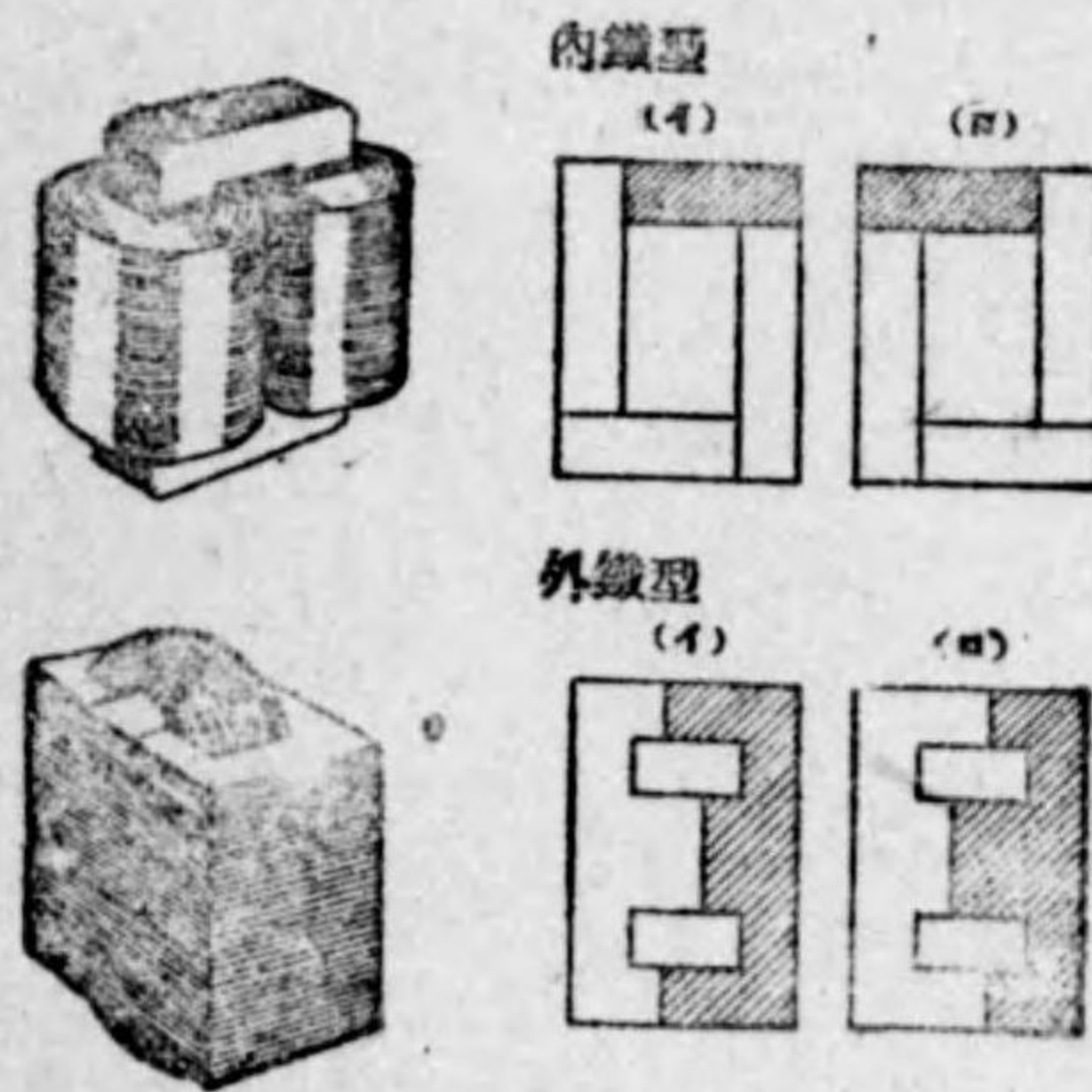
1 次側では、 $\phi' = I_2 N_2$ を打ち消す、 $I_1 N_1 = \phi'$ に相當する I_1 ($I_1 = I_2/n$) が流れるから、結局、1 次側には、 I_1 と勵磁電流 i_{00} のベクトル和 I_0 が流入

する。其處で、1 次に加へる端子電壓 E_1' は、 E_1 に I_0 と同相の 1 次巻線の抵抗電壓降下 $I_0 r_1$ と、 I_0 より 90° 進んだ 1 次巻線のリアクタンス電壓降下 $I_0 x_1$ を加へたものになる。従つて、 I_0 と I_2 、 E_1' と E_2' の間には $n = N_1/N_2$ に關する、上記のやうな簡単な關係式は成立しないが、實用的には、 i_{00} は極めて小さいので、 $I_0 \approx I_2$ 、 $E_1' \approx E_1$ 、 $E_2' \approx E_2$ と見て大過はないから、

$$\frac{I_0}{I_2} \approx \frac{N_2}{N_1} \quad \frac{E_1'}{E_2'} \approx \frac{N_1}{N_2} \quad \text{此の時の } N_1/N_2 = n \text{ を變壓比と云ふ}$$

註: 上述したベクトル圖から、使用中の變壓器の 2 次を開放してはならないことが、明かに分る。

一般に使用中の變壓器では、1 次と 2 次の負荷電流に依る磁束は打消し合つて、勵磁電流に依る ϕ なる磁束に依つて、 E_2 なる端子電壓に保たれてゐる。今、2 次を開放すると、



I_2 は消へ、従つて I_1 は消へる。鐵心内の磁束は依然として ϕ である。然るに、變壓器では、1 次の線路電流が全部勵磁電流であつて、之れは 2 次を開放し、 I_2 が零になつても線路に電流が流れてゐる以上、消滅しない。故に鐵心内には、之れに相當する磁束を生じ之れは當時の ϕ の値の數 10 倍である。従つて、2 次巻線に高電壓を誘導して其の絶縁を脅かし、鐵心内に過度の磁束が通ることによつて、鐵損を大とし、

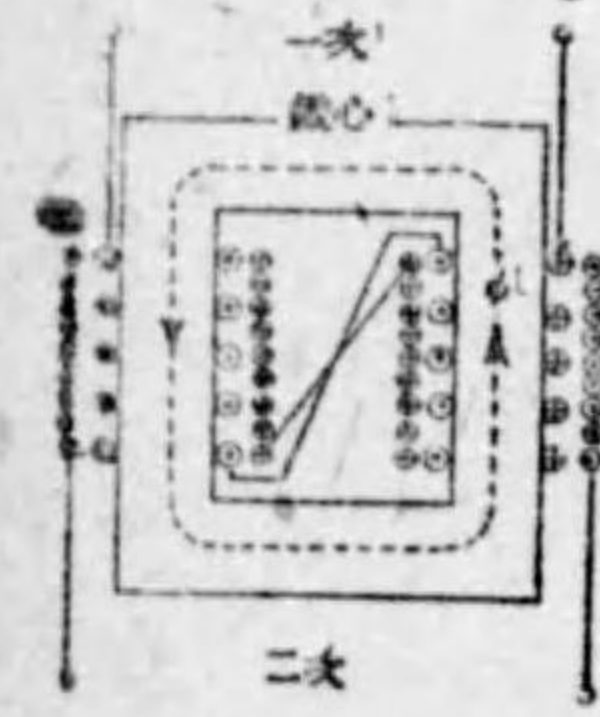
著しく其の温度を上昇させて、巻線を焼損する。

13.13 構造 [鐵心], 卷線と鐵心の配置に依つて, 内鐵型と外鐵型に分れる。前者は鐵心の各脚に卷線を捲き, 後者は, 鐵心が卷線を圍んでゐる。

内鐵型と外鐵型の比較

比較項目	内 鐵 型	外 鐵 型
鐵 量	構造上少い。	構造上多い。
銅 量	卷線の平均半径が大きいから多い。	卷線の平均半径が小さいから少い。
鐵 損 漏磁電流	磁路の長さが短いので小さい。	磁路の長さが長いので大きい。
銅 損	所要銅量が多いから大きい。	所要銅量が少いから小さい。
絶縁の容易	卷線の外形が大きくでき容易である。	卷線の大きさに制限を受け困難である。
適用場所	鐵量が少く, 絶縁が容易であるから, 高電圧の大型變壓器に適する。	銅量, 及び漏洩リアクタンスが小さいので, 低電圧に適する。

註: 鐵心は, 約 0.3~0.5mm の硅素鋼板を積重ねて作り, 各板の表面に絶縁ワニスを塗つて, 渦流損を軽減してゐる。



[線輪] 實際には, 圖のやうに鐵心の何れの脚にも 1 次巻線と 2 次巻線を捲いて, 兩線輪の漏洩磁束を少くする。

[套管] 約 70 kV 級以下には磁器套管を用ひ, それ以上には油入套管, 蓄電器型套管等を用ふる。油入套管は, 圓筒狀磁器の中心に導体を通し, その周圍に絶縁筒

を置いて油を満す。

註: 蓄電器型は, 油入套管の絶縁筒の代りに, 導体に絶縁紙と錫箔を交互に巻き, 各錫箔間の静電容量が等しくなるやうその長さを調整する。こうすると, 導体から套管の取付金具迄の電圧分布が均一になり, 絶縁の所要厚さが他の型に較べて著しく薄くなる。

13.14 冷却法

種 類	構 造 及 び 原 理	用 途
氣 冷 式 (氣冷變壓器)	空氣の對流, 輻射に依る熱放散を利用して冷却を行ふ。	極く小容量の外, 一般には用ひられない。
油入自冷式 (自冷變壓器)	變壓器兩内に油を満したもので, 外面を波形にし, 或は, 放熱油管を設けて放熱を良くする。	構造が簡單, 保守に便利で, 最も廣く用ひられる。
油入送油式 (送油變壓器)	油入變壓器で, 變壓器兩内の油を油ポンプにより外部の油冷却器に循環させる。	大型變壓器で, 冷却水の不良な時に用ひられる。
油入水冷式 (水冷變壓器)	油入自冷式で, 變壓器兩内の上部に冷却蛇管を設け, これに冷却水を通ずる。	大型變壓器で, 良水が豊富な時に用ひられる。
送 風 式 (送風變壓器)	氣冷式で, 變壓器の外面に送風機で風を送り冷却をよくする。	低電壓の變壓器に稀に用ひられる。

註: 尙, 放熱器付油入自冷變壓器に於て, 尖頭負荷の時に, 送風式を併用することがある。負荷率の低い負荷に適する。次に, 上記の各種冷却法の得失を挙げると,

- ① 油入自冷式; 構造が簡單で保守に便利であるが, (冷却水の得難い處に適する) 所要資材が大きい。
- ② 油入送油式; 油が自冷式の 40% 位でよく, 小型で運搬に便利である。但し, 高價で油の漏洩が多く, 信頼度が多少低い。
- ③ 油入水冷式; 冷却効果が大きい, 冷却水が油中に漏れる虞れがある。

13.15 變壓器油 變壓器油の具備すべき條件は,

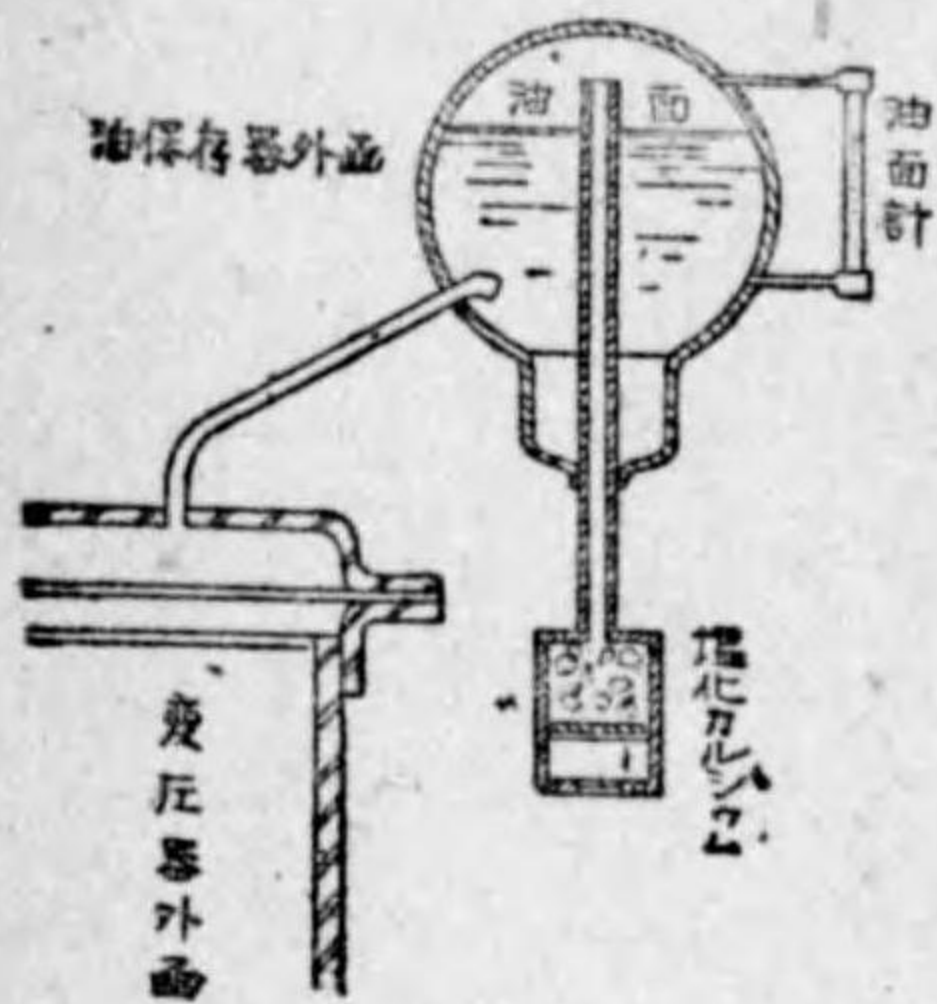
- ① 絶縁耐力が大きく, 水分, 塵埃等による絶縁耐力の低下が少ないこと。
- ② 比熱や熱膨脹が大で, 冷却作用が大きく, 粘度が小で, 循環作用の良いこと。
- ③ 引火, 並に發火点が高く, 又卷線, 鐵心材料に對し有害な硫黄, 酸等を含まぬこと。
- ④ 長年月使用しても析出物が生じないで, 耐久性の大きいこと, 等である。

註: 變壓器油の絶縁耐力は, 直徑 2.5mm の球狀電極を 2.5mm 離して相對置し, これに 50~60 サイクルの正弦波電壓を加へた時, 25 kV 以上と規定されてゐる。然し, 清淨な油では, 普通 40~50 kV の絶縁耐力を有してゐる。

13.1.6 油入變壓器の特長

- ① 油は空氣より比熱が大で、熱容量が大きい。故に、瞬時過負荷耐量が大い。
- ② 比熱が大きいので對流作用により熱をよく放散する。又、巻線に浸み込んで、深部の熱をよく運び去る。
- ③ 油は絶縁耐力が大きく、巻線の絶縁耐力を著しく向上する。

13.1.7 コンサベータ(油保存器) 油は使用中次第に酸化して劣化する。この酸化を少なくするため變壓器外函の上部に油タンクを設け、外函内の油面を高めて、油が空氣に接觸する面積を少なくする。これを油保存器と云ふ。



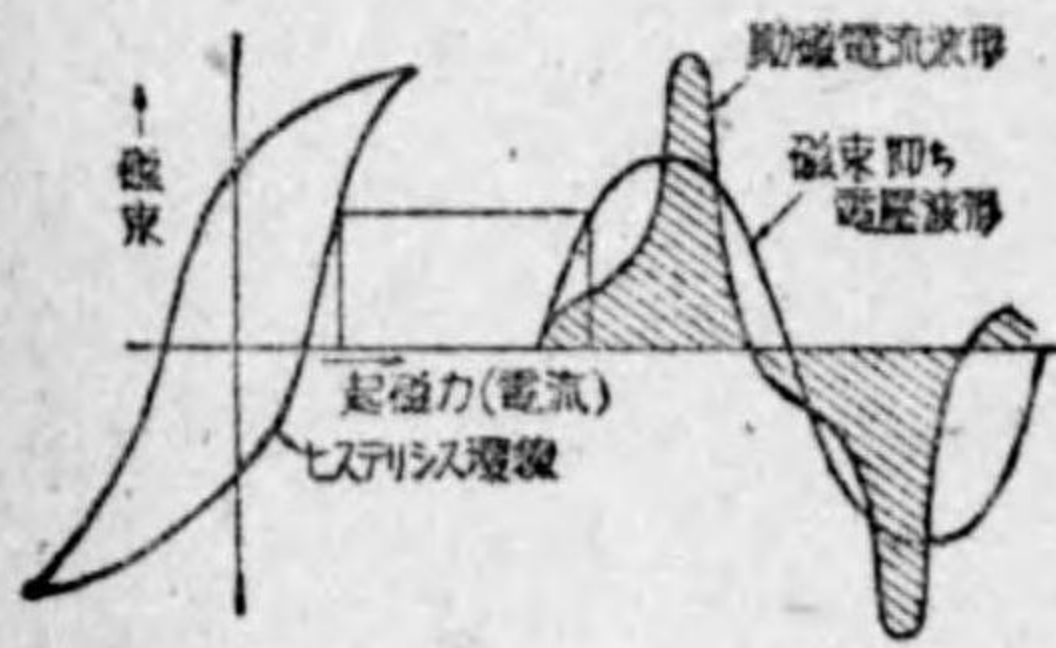
油は使用中次第に酸化して劣化する。この酸化を少なくするため變壓器外函の上部に油タンクを設け、外函内の油面を高めて、油が空氣に接觸する面積を少なくする。これを油保存器と云ふ。

註: コンサベータには、呼吸口と油面計を設ける。變壓器の温度が變化して、油が膨脹、又は收縮した時、呼吸口より空氣が出入する。その入口には、塩化カルシウムを置いて吸入空氣の湿氣を除く

13.2 特性

13.2.1 勵磁電流 前述したやうに、1

次巻線に正弦波電壓を加へると、鐵心の磁束 ϕ も亦正弦波なるを要し、勵磁電流 i_{00} は、鐵心のヒステリシスにより圖



のやうに歪波になる。

註: 左圖で、正弦波磁束が零より次第に増す時、磁束のある値 ϕ に対する勵磁電流 i_{00} は ϕ を左圖のヒステリシス環線に移し(垂直線上に ϕ の値を取る)、環線との交点の横軸上の長さより求められる。このやうにして、 ϕ の

各値に対する i_{00} の値を求めると、右圖のやうに第3調波、及び多少の第五調波を含んだ歪波になる。

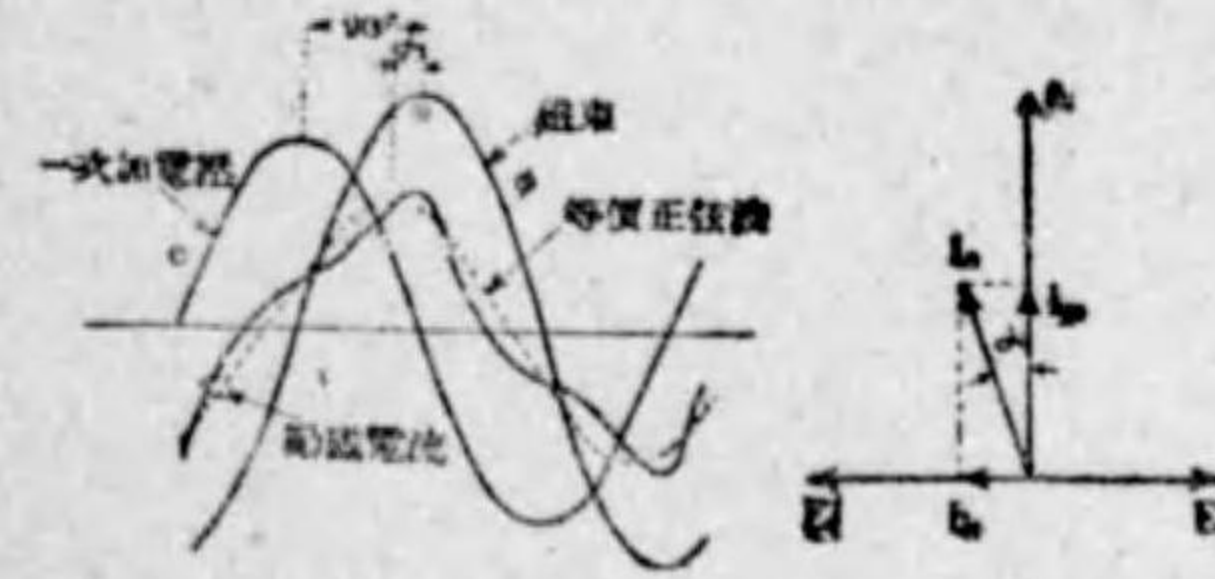
13.2.2 ヒステリシス進角 歪波の勵磁電流を、これと同一實効値の正弦波

に置換へた時(これを等價正弦波と云ふ)、その實効値を I_0 とすると、

變壓器の鐵損(無負荷入力)

$$W = E_1 I_0 \sin \alpha = E_1 I_0 \cos(90^\circ - \alpha)$$

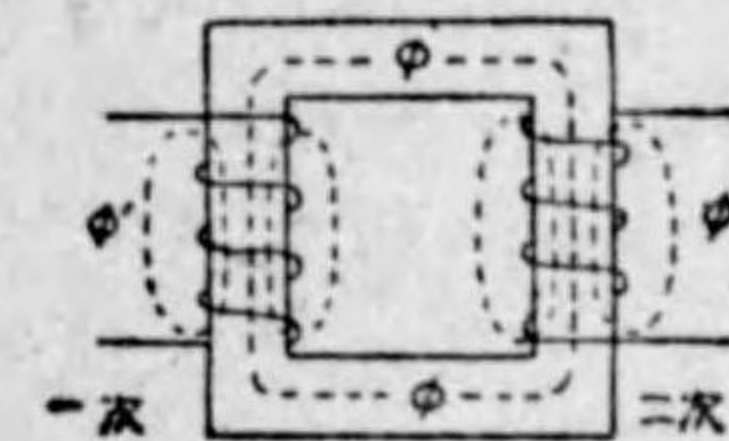
この α をヒステリシス進角と云ふ。即ち、 I_0 、 ϕ 、及び1次電壓 E_1 をベクトル圖に表した時、 I_0 が ϕ より進む角がヒステリシス進角



である。

註: 上記の勵磁電流 i 、 $I_h = I_0 \sin \alpha$ をヒステリシス有效分 $I_m = I_0 \cos \alpha = I_0 \sin(90^\circ - \alpha)$ を磁化分と云ふ。

13.2.3 漏洩リアクタンス 1次巻線 N_1 と2次巻線 N_2 に夫々 I_1 I_2 の

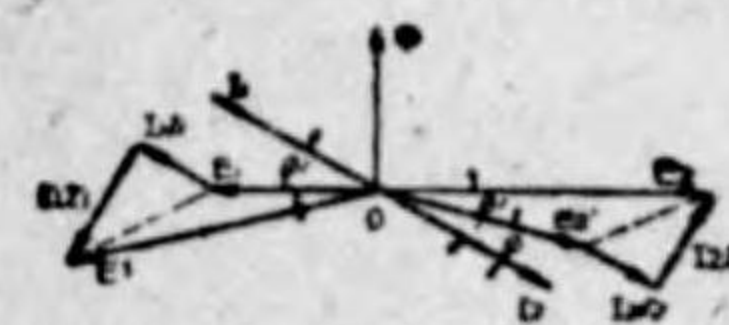


電流が流れた時、圖のやうに主磁束 ϕ の外に ϕ' 、及び ϕ'' の漏洩磁束が生ずる。この漏洩磁束は負荷電流によつて生じ、各巻線に電流より 90° 進んだ誘起電壓を發生するので、前述したリアクタンス $2\pi/L$ (L は自己インダクタンス…ヘンリ) として働

く。これを漏洩リアクタンスと云ふ。

註: 漏洩磁束は、負荷電流によつて生ずるが、主磁束 ϕ は電源電壓 E によつて作られる。即ち、 ϕ は E より 90° 遅相で、この ϕ による2次巻線の誘起起電力は、 ϕ より更に 90° 遅れ、何等リアクタンスとして作用しない。

13.2.4 等價回路 變壓器の勵磁電流を無視した場合のベクトル圖を畫くと



下圖の如くである。此のベクトルから明かなやうに1次及2次巻線の抵抗及リアクタンスは、之れを變壓器外に引出して、下圖のやうに、 r_1 、 x_1 、 r_2 、 x_2 としても、此のベクトル關係には何の變りもない。従

つて、變壓器はインピーダンスがなく、單に電壓及電流を變成するに過ぎなくなる。今、負荷の端子電壓を E_2 、負荷電流を I_2 、其の力率を $\cos \phi$ 、2次巻線の誘起起電力を E_2 、1次巻線

の誘起起電力を E_1 , 其の端子電圧を E_1' , 負荷電流を I_1 とすると, ベクトル圖より明かなやうに,

$$\begin{aligned} 2 \text{ 次側で, } E_2 \cos \phi' &= E_2' \cos \phi + I_2 r_2 \\ E_2 \sin \phi' &= E_2' \sin \phi + I_2 x_2 \end{aligned}$$

但し, ϕ' は E_2 と I_2 の相差, (E_1 と I_1 の相差)

$$1 \text{ 次側で } E_1' = \sqrt{(E_1 \cos \phi' + I_1 r_1)^2 + (E_1 \sin \phi' + I_1 x_1)^2}$$

$$\text{今, } \frac{N_1}{N_2} = n \text{ とすると } E_1 = E_2 \times \frac{N_1}{N_2} = n E_2 \quad I_1 = I_2 \times \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_2}{n}$$

$$\text{故に, } E_1' = \sqrt{\left(n E_2 \cos \phi' + \frac{I_2}{n} r_1\right)^2 + \left(n E_2 \sin \phi' + \frac{I_2}{n} x_1\right)^2}$$

之れに前式の關係を代入すると,

$$E_1' = \sqrt{\left\{n(E_2' \cos \phi + I_2 r_2) + \frac{I_2}{n} r_1\right\}^2 + \left\{n(E_2' \sin \phi + I_2 x_2) + \frac{I_2}{n} x_1\right\}^2}$$

此の兩邊を n で除すると,

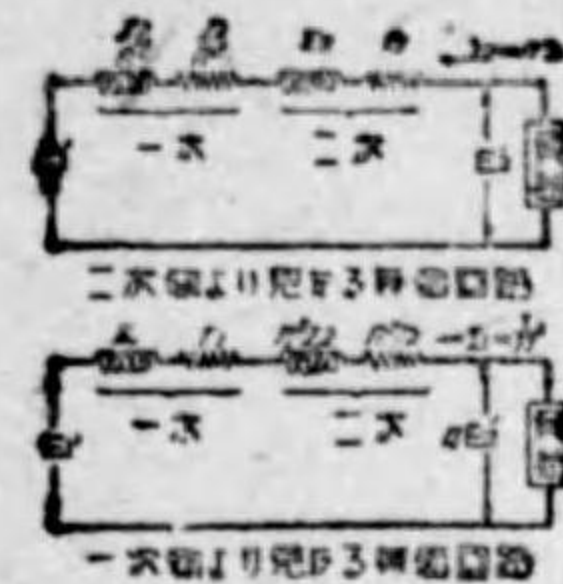
$$\frac{E_1'}{n} = \sqrt{\left\{E_2' \cos \phi + I_2 \left(r_2 + \frac{r_1}{n^2}\right)\right\}^2 + \left\{E_2' \sin \phi + I_2 \left(x_2 + \frac{x_1}{n^2}\right)\right\}^2}$$

本式は變壓器がないものと考え、負荷点の端子電圧を E_2' , 負荷電流を I_2 , 線路抵抗を $R_2 = \left(r_2 + \frac{r_1}{n^2}\right)$ 及線路のリアクタンスを $X_2 = \left(x_2 + \frac{x_1}{n^2}\right)$ とした場合の給電点の電圧を現はしてゐる。即ち、變壓器の抵抗及リアクタンスを上記のやうに取ると變壓器がないものと考えてよい。但し、電圧は $\frac{E_1'}{n}$ となり電流は $n I_1 = I_2$ である。これが變壓器の 2 次側から見た等價回路である。即ち、變壓器 1 次側の抵抗及リアクタンスを $\frac{r_1}{n^2} = \frac{r_1}{(\text{變壓比})^2}$ 及 $\frac{x_1}{n^2} = \frac{x_1}{(\text{變壓比})^2}$ とすると、2 次側に換算せられたことになる。

同様に 2 次側の抵抗及リアクタンスを $n^2 r_2$ 及 $n^2 x_2$ とすると、1 次側に換算せられる。

次に 2 次側及 1 次側から見た等價回路を圖示する。但し、 $n = N_1/N_2$

以上の r_1, x_1 及 r_2, x_2 は 1 次及 2 次巻線の抵抗及リアクタンスだけでなく



1 次又は 2 次側に結れた線路の抵抗及リアクタンスを夫々 2 次側又は 1 次側に換算する場合に於ても同様である。

註: 1 次等價抵抗 $R_1 = r_1 + n^2 r_2$

2 次等價抵抗 $R_2 = r_2 + \frac{r_1}{n^2}$

1 次等價リアクタンス $X_1 = x_1 + n^2 x_2$

2 次等價リアクタンス $X_2 = x_2 + \frac{x_1}{n^2}$

1 次等價インピーダンス $Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}$

2 次等價インピーダンス $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$

上記の等價抵抗、及び、等價リアクタンスで變壓器の電氣的回路を表したものを變壓器の等價回路と稱する。

上圖は、等價回路の一例で、變壓器の勵磁電流を無視した場合である。變壓器の特性は普通この等價回路について考へる。

13.25 電壓變動率

變壓器の 2 次側に定格力率の定格負荷をかけた時、

定格 2 次電圧 E となるやうに 1 次電圧を調整しこの電圧を一定値に保つて、無負荷にした時の 2 次端子電圧を E_s とすると、

電壓變動率

$$\% \text{ Reg} = \frac{E_s - E}{E} \times 100 = \frac{I_2 r_2 \cos \phi + I_2 x_2 \sin \phi}{E} \times 100 = P_r \cos \phi + q_r \sin \phi$$

但し、 $r_2 \dots$ 2 次等價抵抗 $x_2 \dots$ 2 次等價リアクタンス
 $E \dots$ 2 次電圧 $I \dots$ 2 次電流

$P_r = (I_2 r_2 / E) \times 100 \dots$ パーセント抵抗 $q_r = (I_2 x_2 / E) \times 100 \dots$ パーセントリアクタンス

註: $Z_s = \sqrt{r_2^2 + x_2^2}$ であつて、 $(I Z_s / E) \times 100$ を其の變壓器のパーセントインピーダンスと云ふ。

13.26 鐵損と銅損

變壓器の 1 次側の入力を $E_1 I_1 \cos \phi_1$, 2 次側の出力を $E_2 I_2 \cos \phi_2$ とすると $E_1 I_1 \cos \phi_1 > E_2 I_2 \cos \phi_2$ である。即ち、入力より出力は少いのであつて、此の差額が變壓器の損失となる。此の損失を分つと、鐵損と

銅損になる。更に、鐵損を分つとヒステリシス損及渦流損になる。ヒステリシス損とは、鐵心内の磁束が方向及大きさを變化する事に依り、鐵心を構成する磁氣分子が方向及配列を變へ、分子相互間に摩擦損を生ずるのに起因する。

之は周波數に比例し、磁束密度 ($\frac{\text{磁束數}}{\text{鐵心の切斷面積}}$) の 1.6 乘に比例する。即ち

$$\text{ヒステリシス損 } w_h = \eta / VB_m^{1.6} \times 10^{-7} \text{ ワット} = k_1 / B_m^{1.6} = k_1 \frac{E^{1.6}}{f^{0.6}}$$

但し、 η …ヒステリシス係數 f …周波數(〜) B_m …最大磁束密度(ガウス)
 V …鐵心の体積(cm^3) k_1 …常數 E …供給電壓

茲に渦流損とは、磁束の變化に依つて、鐵心内に起電力を生じ、電流が流れる結果、 I^2R 損となるものである。これは、周波數及磁束密度の 2 乘に比例する即ち、

$$\text{渦流損 } w_e = k_2 \frac{f^2 B_m^2 V t^2}{\rho} \text{ ワット} = k_2' f^2 B_m^2 = k_2' E^2$$

但し、 k_2, k_2' …常數 ρ …鐵心の固有抵抗(Ω/cm^2) t …鐵板の厚さ(cm)
 即ち、ヒステリシス損は電壓の 1.6 乘に比例し、周波數の 0.6 乘に反比例する。又、渦流損は電壓の 2 乘に比例する。従つて、 E を増すと鐵損が増し、 f を一定とすると略々 E^2 に比例し、又、ヒステリシス損は渦流損より大きいから(約 4:1) E が一定だと、 f の低い程、鐵損が大きくなる。

銅損とは、云ふ迄もなく、1 次及 2 次巻線内の I^2R 損であつて、

$$\text{銅損 } w_c = I_1^2(r_1 + \frac{r_2}{n^2}) = I_1^2(r_1 + n^2 r_2)$$

13.2.7 能率及び最大能率 能率は、出力の入力に對する比である。即ち、

$$\text{能率 } \eta = \frac{\text{出力(ワット)}}{\text{入力(ワット)}} \times 100 = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} = \frac{E_2 I_2 \cos \varphi_2}{E_2 I_2 \cos \varphi_2 + w_1 + I_2^2 R_2} \times 100$$

但し、 E_2 …2 次電壓 I_2 …2 次負荷電流 $\cos \varphi_2$ …2 次負荷力率
 w_1 …鐵損 R_2 …等價 2 次抵抗

次に、能率の最大となる負荷は、銅損と鐵損が相等しい時である。即ち、

$$\text{能率の最大は } I_2^2 R_2 = w_1 \quad \text{最大能率 } \eta_m = \frac{E_2 I_2 \cos \varphi_2}{E_2 I_2 \cos \varphi_2 + 2w_1} \times 100$$

註：鐵損は E 及 f が一定なら一定であるが、銅損は負荷の 2 乘に比例して變化する。

13.2.8 全日能率 上記の能率は、變壓器の負荷によつて常に變化するので配電用變壓器のやうに、1 日中回路に結ばれてゐるものは、1 日中についての能率を考へる。

$$\text{全日能率} = \frac{\text{1 日中の全出力量(ワット時)}}{\text{1 日中の全入力量(ワット時)}} \times 100$$

13.3 結 線

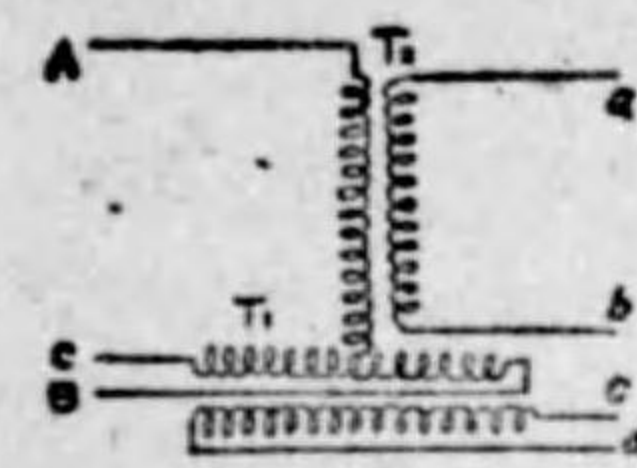
13.3.1 單相變壓器の三相結線法

結 線 圖	特 長	缺 點
<p>星形-星形結線</p>	<p>① 中性點が接地でき保守、及び保護が容易である。</p> <p>② 各變壓器の定格電壓が線間電壓の $1/\sqrt{3}$ で絶縁が容易である。(高電壓小電流に適する)</p> <p>③ 各變壓器の變壓比インピーダンス等が相違しても、循環電流が流れない。</p>	<p>① 中性點の電位が不安定である。</p> <p>② 各變壓器に第 3 調波電壓を發生し、附近の弱電線に誘導障害を與へる</p> <p>③ 1 臺が焼損した時、V 結線として使へない</p>
<p>三角-三角結線</p>	<p>① 1 臺が故障しても V 結線にして使へる。</p> <p>② 第 3 調波電流が Δ 回路を循環して外部に表れない。</p> <p>③ 各變壓器電流が線路電流の $1/\sqrt{3}$ で、低電壓大電流に適する。</p>	<p>① 中性點が接地できない。</p> <p>② 變壓比が相違すると循環電流が流れる。</p> <p>③ 各器のインピーダンスが異ると、負荷分擔が異なる。</p>

<p>星形—三角、又は三角—星形</p>		<p>① 星形側の中性点が接地できる。</p> <p>② 三角結線のため星形側の中性点が安定である。</p> <p>③ 三角結線により第3調波電圧が外部に表れない。</p>	<p>① 1臺が故障した時、V結線で送電が出来ない。</p> <p>② 星形側の變壓器電壓が線間電壓の$1/\sqrt{3}$で、單相變壓器に共用できない。</p>
<p>V—V結線</p>		<p>① 變壓器が2臺でよい。</p> <p>② 柱上變壓器等のやうに設置場所に制限を受ける場合に適する。</p>	<p>① 1臺の容量の$\sqrt{3}$倍の3相出力しか得られない(利用率が悪い)。</p> <p>② 平衡負荷でもインピーダンス降下のため端子電圧が不平衡になる。</p>
<p>星形—千鳥形結線</p>		<p>① 中性点と各線間に第3調波電圧が表れない(直列の2相の第3調波電圧が打消し合ふ)。</p> <p>② 千鳥側の1線と中性点間に負荷できる。</p>	<p>① Y—Y結線より約15%銅量を多く要する。</p> <p>② 能率、電壓變動率がΔ—Y結線より劣る。</p> <p>③ 結線が面倒であるから一般に用ひられない。</p>

註: $\Delta\Delta$ 結線は、30kV級の送配電線に、 ΔY 結線は、3相4線式配電、又は、長距離送電線の選昇用に、Y Δ 結線は、同じく選降用に夫々採用される。

13.3.2 T結線 3相より2相を得る結線法で、最も廣く用ひられてゐるのはT結線である。圖のやうに主座 T_1 の1次巻線の中点に、巻数が T_1 の



86.6%のT座の1次巻線をつなぎ3相電壓を加へる。2次巻数は何れも同一である。

註: 本結線は、單相電氣爐等に対し、3相電源より平衡負荷を取る場合に用ひられる。

13.3.3 3相—6相變成結線法 ① 2重星形

結線; 各變壓器の2次巻線を2等分して、互に位相の 180° 異なる2組の星形結線を作り、その中性点間をつなぐ。



註: 本結線法は、中性点を引出し得る特長がある。

② 對角結線; 3箇の2次巻線を平衡6相負荷の各相相對した2点間につなぐ。

註: 三相電壓は夫々da fe eb間に加はるから、afelebの各端子間には、右圖のベクトル



ル圖のやうに6相電圧が加はる。

③ 2重3角結線; 3箇の2次巻線を各2等分して、互に位相の 180° 異なる2組の3角結線を作り

これを圖のやうに組合せる

13.4 並行運轉

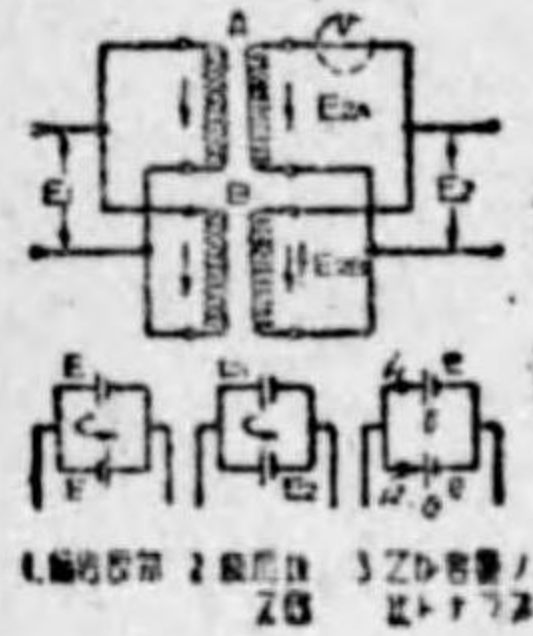
13.4.1 單相變壓器の場合

電力負荷は常に變動するから、負荷に応じて運轉臺數を變へ、能率の低下を防ぐ。この場合、並列接続を満足に行ふ爲めの條件は、

電力負荷は常に變動するから、負荷に応じて運轉臺數を變へ、能率の低下を防ぐ。この場合、並列接続を満足に行ふ爲めの條件は、

- ① 1次, 2次の極性が一致すること。
- ② 1次及2次の定格電圧が相等しい。即ち、変圧比が相等しいこと。
- ③ 各器のインピーダンスが、容量の逆比のこと(又は、各器のインピーダンス電圧が相等しいこと)
- ④ 各器のリアクタンスと抵抗の比が相等しいこと(又は、力率100%の電圧変動率が等しいこと)

以上、4つの条件が必要で、この場合、各器の負荷分擔は、その容量に正比例する。



[上記の各条件を満足しない場合] ① 逆極性の時; 圖の場合、B器とA器の2次電圧が直列に相加つて、大きい循環電流

$$I_c = \frac{(E_{2A} + E_{2B})}{(Z_A + Z_B)} \text{ が流れる。}$$

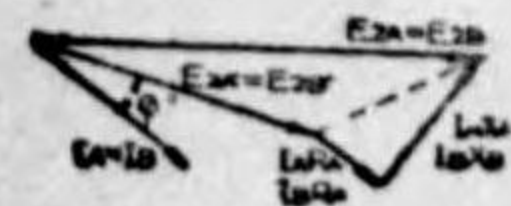
但し、 Z_A, Z_B は各器の2次側から見たインピーダンスである、此の Z_A, Z_B の値は極めて小さいので、流れる

I_c の値は大で、変圧器を焼損するに至る。然も、2次側電圧が $|E_{2A}| = |E_{2B}|$ であると、 $E_2 = 0$ となる。これは ① の電池の回路から類推しても明かである。然し、極性が一致してゐると、 E_{2A} と E_{2B} は並列的に相加はり、 $E_{2A} = E_{2B}$ であると、循環電流が流れない。極性を調べるには、點線 V のやうに、電圧計を入れ、其の指示が零なら、極性が一致してゐる。② E_2 であると、不一致であるから、何れかの2次巻線の端子を反轉する

② 各器の変圧比が異なる時; 其の電圧差に比例した横流 $I_c = (E_{2A} - E_{2B}) / (Z_A + Z_B)$ が流れる。これは負荷電流に関係なく存在し、變圧器を無用に熱し、溫度を上昇させて、其の容量を減ずる。(上の電池の圖を参照;)

③ 各器のインピーダンスが容量の逆比とならず、インピーダンス角の等しくない時; 2器が並列に結ばれてゐる以上、2次端子電圧が相等しくないといけない。即ち、 $E_{2A}' =$

E_{2B}' 然して、1次側が並列であり、變圧比が等しいと、2次側の誘起起電力は $E_{2A} = E_{2B}$ である、これをベクトルに書くと圖の如くである。之れがためには、A器のインピーダンス電圧3角形とB器のインピーダンス電圧3角形が同一形であることが必要で、



$$I_A X_A = I_B X_B \quad I_A R_A = I_B R_B$$

前式の兩邊を後式の兩邊で除すると $\frac{X_A}{R_A} = \frac{X_B}{R_B}$

即ち、此の條件が成立すると A器とB器のインピーダンス三角形は相似となつて、 $I_A R_A$ と $I_B R_B$ (或は $I_A X_A$ と $I_B X_B$) とは平行する。故に I_A, I_B なる兩器の負荷電流も亦、同一位相にある。次に各器の容量を P_A, P_B ボルトアンペアとすると

$$I_A = \frac{P_A}{E_2} \quad I_B = \frac{P_B}{E_2} \quad \text{故に} \quad \frac{I_A}{I_B} = \frac{P_A}{P_B}$$

然して、最初の式の兩邊を自乗して加へ合すと $I_A^2(R_A^2 + X_A^2) = I_B^2(R_B^2 + X_B^2)$

$$\frac{I_A}{I_B} = \frac{\sqrt{R_B^2 + X_B^2}}{\sqrt{R_A^2 + X_A^2}} = \frac{Z_B}{Z_A} \quad \text{之と上式より} \quad \frac{P_A}{P_B} = \frac{Z_B}{Z_A} = \frac{I_A}{I_B}$$

即ち、インピーダンスが容量の逆比になると、 I_A 及 I_B が P_A 及 P_B に比例する。換言すると、各器のインピーダンスが容量の逆比になると、負荷電流は容量に比例し、負荷に供給し得る電力は各器の容量の和となる。

尚、各器のインピーダンス角は等しいが、各器のインピーダンスの比が容量の逆比でない時は、各器はインピーダンス逆比に負荷を取る。

13.4.2 三相變壓器の場合 3相變壓器、又は、單相變壓器の3相結線を満足に並列接続する條件は、上記の4つの他に、更らに次の条件を必要とする

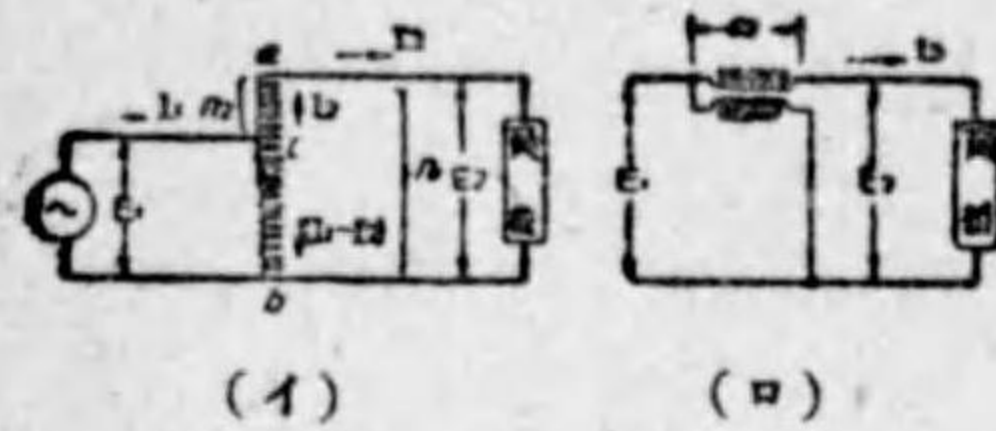
- ⑤ 各變壓器の相回轉が同一のこと。
- ⑥ 各器の1次, 2次線間電圧の位相が等しいこと。

註; 3相バンクの並列接続で、特に注意を要するのは、並列とする1次, 2次の各線間電圧の位相が一致することである。次に、これを表示すると、

	並列運轉の可能な結線				並列運轉の不可能な結線				
	1次側		2次側		1次側		2次側		
	Aバンク	Bバンク	Aバンク	Bバンク	Aバンク	Bバンク	Aバンク	Bバンク	
1	Δ	Δ	Δ	Δ	1	Δ	Δ	Δ	Y
2	Y	Y	Y	Y	2	Δ	Δ	Y	Δ
3	Δ	Y	Δ	Y	3	Y	Y	Δ	Y
4	Y	Δ	Y	Δ	4	Y	Y	Y	Δ
5	Δ	Δ	Y	Y					
6	Δ	Y	Y	Δ					
7	Y	Y	Δ	Δ					
8	Y	Δ	Δ	Y					

13.5 単巻變壓器

13.5.1 一般 単巻變壓器とは、(イ)圖の如く、變壓器巻線の一部分 bc



が 1 次 2 次に共通のものである。即ち普通の變壓器のやうに 1 次と 2 次が判然と分れてゐない。今、ab 間の巻数を n_1 、ac 間の巻数を n_2 とすると、ac の部分のアンペアターンと cd の部分のアン

ペアターンが相等しきを要する。(互に反対方向の電流が流れ、各磁束は打消し合ふ) ac の部分の電流を I_2 、bc の部分の電流を $(I_1 - I_2)$ とすると、

$$I_2 n_2 = (I_1 - I_2) (n_1 - n_2) \quad \text{故に、} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_1}{n_1 - n_2}$$

$$\text{1 次と 2 次の電圧比は} \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

此の、 $\frac{n_1}{n_1 - n_2}$ を變壓比とすると、電圧電流の関係は單相變壓器の場合と同一である。

電圧を E_1 より E_2 に昇壓する場合、負荷電流を I_2 とすると、所要單巻變壓器の容量 P は

$$P = e I_2 = (E_2 - E_1) I_2 \times 10^{-3} \dots \dots \dots \text{kVA}$$

である。即ち $E_2 I_2 - P = E_1 I_2$ は單巻變壓器を通ぜず直接 1 次より 2 次に行き $e I_2$ が單巻變壓器を通じて 2 次に行くから此の $e I_2$ が單巻變壓器の所要容量となる。

13.5.2 単巻變壓器の特長 ① 所要電線量が少い(これは n が 1 に近い程著しい)。

- ② 鐵心の磁路が短く、鐵量、及び鐵損が少い。又、安價で能率が良い。
- ③ 巻線の 1 次、2 次の共通部分には漏洩磁束がなく、漏洩リアクタンスが小で、電圧變動率が小さい。

註: 但し、1 次と 2 次が電氣的につながつてゐるから、低壓側も高壓側と同様の對地絶縁を施さねばならない。又、 n が大きいと、電線量の節約は少くなる。

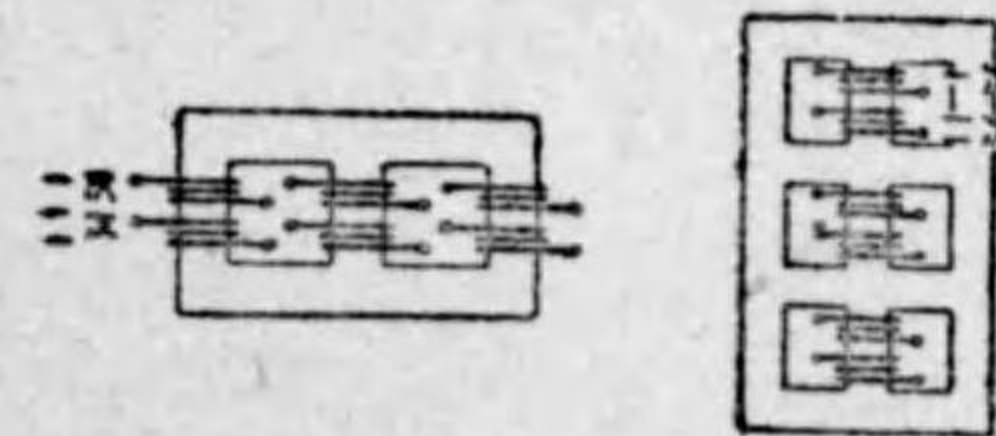
13.5.3 單巻變壓器の 3 相結線法と得失

V 結 線	星形結線	延長三角結線	内三角結線
<p>① 筒数が 3 筒でよい。 ② 變壓器の利用率が悪い(86.6%) ③ 平衡負荷でも端子電圧が不平衡になる。</p>	<p>① 中性点が接地できる。 ② 所要容量が小さく 1 次 2 次電圧の位相が等しい。 ④ 各相電圧に第 3 調波電圧を含む。</p>	<p>① 第 3 調波電流が Δ 回路を循環して、外部に表れない。 ③ 容量が星形より 15.5% 大きい。</p>	<p>① 所要容量が大きい。 ② 電源側と負荷側の電圧比が、ある値以上にできない。</p>

註: 低壓や高壓配電線には、V 結線、又は延長三角結線が用ひられ、星形結線は、第 3 調波電圧を発生するので用ひられない。

13.6 特殊變壓器

13.6.1 三相變壓器 3 筒の單相變壓器の鐵心を結合したもので、内鐵型



(左)と外鐵型(右)がある。前者では、對稱 3 相磁束 $\phi_A \phi_B \phi_C$ が同一方向でそのベクトル和は常に零になり、鐵心の各部分の斷面積は相等しい。後者は、中

央巻線(例へば B 相)の磁束を反対方向にし、各窓間の鐵心部の磁束を主磁束の 1/2 にする。故に、この部分の鐵心は、他の 1/2 の斷面積でよい。

各窓間の鐵心の磁束

$$\frac{\dot{\phi}_A}{2} + \frac{\dot{\phi}_B}{2} = \frac{\dot{\phi}}{2} \quad \frac{\dot{\phi}_B}{2} + \frac{\dot{\phi}_C}{2} = \frac{\dot{\phi}}{2} \quad \phi = \phi_A = \phi_B$$

註: $\phi_A \phi_B \phi_C$ が同一方向であると、上記の各磁束は $\dot{\phi}_A/2 - \dot{\phi}_B/2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{\phi} = \dot{\phi}_B/2$

$-\dot{\phi}_C/2 = \frac{\sqrt{3}}{2} \dot{\phi}$ 即ち、主磁束の 0.866 倍になる。

三相變壓器と单相變壓器による3相變成の比較

3相變壓器の長所	单相變壓器の特長
① 鐵心の所要量が約16%少く、価格が10~20%位安い。	① 豫備變壓器の容量が、3相變壓器の2/3でよい。
② 能率が0.15~0.4%高い。	② Δ結線では、1台が故障した時、V結線として使へる。
③ 所要表面積が約半分で、建物費、基礎費、鐵構費等が少い。	③ 大型變壓器の製作が容易である。

但し、變壓器のバンク数が多いと、豫備變壓器に対する3相變壓器の不利が緩和される最近の設備の点か緩和せられたので、3相變壓器が廣く用ひられるに至つた。

尙、3相變壓器で1相が故障した時、外鐵型ではその相を切離して短絡すると、V結線として使へる。然し、内鐵型では、残りの2相の合成磁束が故障巻線を貫通するので、實用されない。

13.6.2 漏洩變壓器 ネオン管、水銀燈等の点燈に用ふるもので、鐵心の



兩脚間に漏洩磁路を設ける。負荷電流が増すと、漏洩磁束が増加し、又、リアクタンス降下が増大して、2次端子電圧が急に低下する。故に、短絡電流が甚だ小さい。

註：ネオン管、水銀燈等は、電流が増すと端子電圧が反對に低下するので（これを負特性と云ふ）、これを普通の變壓器で点燈すると、電流が過大になつて、遂に管が破損するに至る。尙、電氣用變壓器もこの漏洩變壓器と同様である。

13.6.3 負荷時調整變壓器 負荷のかかつた儘タップを切換へて、電壓を調整する變壓器で次の種類がある。

(イ) はタップの變更を滑動タップで行ふやうにしたもので、或る位置では、一部の巻線を短絡することがある。従つて、接觸子には高抵抗の炭素刷子を用ひて、此の時の短絡電流を制限する。本器は極く小容量の實驗室用の變壓器に採用される。(ロ) 以下は容量の大きい電力用變壓器に用ひられる。

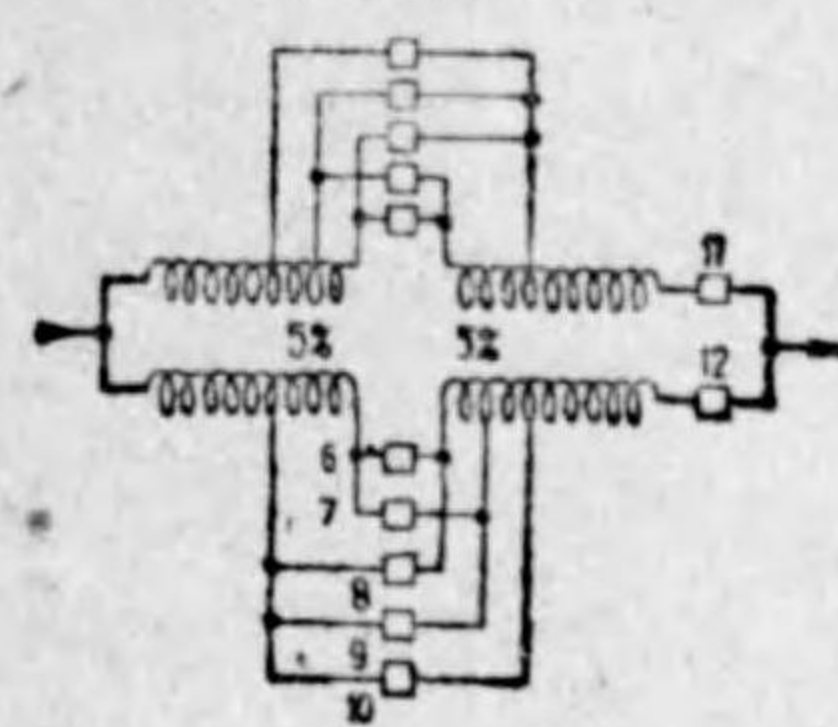
(ロ) は變壓器の1次側の巻線を並列2回路に分つて、タップを切換へる時は、一方づつ巻線を開く。

註：例へば、1と6の開閉器を2と7に切換へるには(25%電壓を調整)、先づ、1

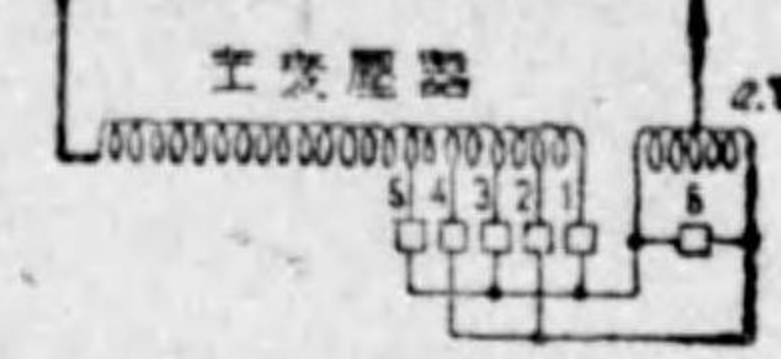
(イ) 滑動タップ法



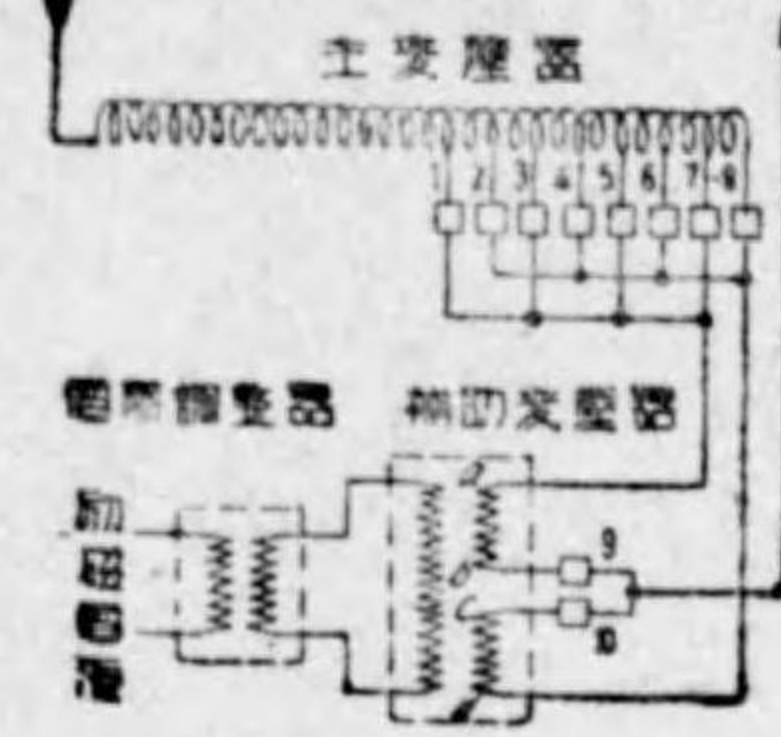
(ロ) 並列回路法



(ハ) 單卷變壓器法



(ニ) 誘導電壓調整器法



1 2 3 4.....の數字は油入開閉器を示す

を開いて、2に切換へる。此の1が開かれてゐる僅かの間は、6側の巻線のみを負荷電流が流れる。次に、2が閉ぢられると、兩回路の電壓の差で、兩巻線に横流が流れる。然し是等は何れも短時間であるから、之れに耐へるやうに設計することは容易である。最後に6を開いて27を入ると、タップは完全に1と6から2と7に切換へられる。(上部の開閉器は下から上に1, 2, 3, 4, 5である)

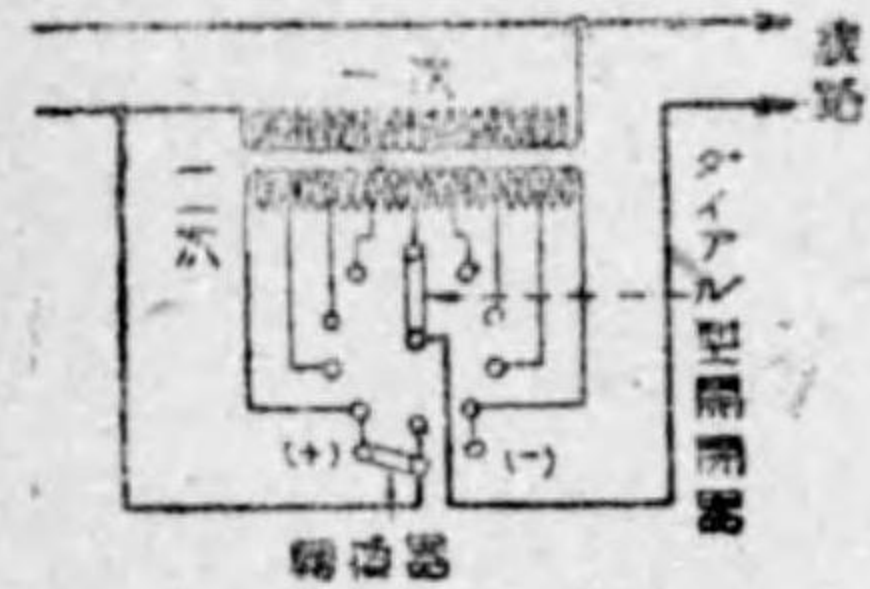
(ハ) の方法は、今1のタップを用ひてゐる時は、6の開閉器は入れられてゐる。故に、單卷變壓器aTには1よりの電流が左右から流入して、互に磁束を打ち消し合ひ、僅かの抵抗と漏洩リアクタンスが残るだけである。今、タップを1から2に変更するには、先づ6を開き、2を入れ、次で1を開き6を閉する。1と2が入られ、6の開かれた時は、1, 2間の巻線は單卷變壓器で短絡せられるから、單卷變壓器の容量は之に對して十分なやうに設計する。

註：此の方法では電壓の變化が階段的になるから、各タップ間の電壓を小容量の誘導電壓調整器で平滑に調整する。

(ニ) 主變壓器のタップ間に補助變壓器と誘導電壓調整器を用ふる。之れは上述のやうに變壓器のタップからタップへ切換へる際、階段的に電壓の變化するのを防ぐ爲めに、そのタップ間の電壓の半分に相當する2次電壓を有する三相誘

線電壓調整器を入れる。タップの切換へは複雑となるが、全タップ間を誘導電圧調整器を入れたのと同様に電圧を直線的に調整し得る。接続圖に於て1のタップ及9の油入開閉器が入れられ、電壓調整器の2次側の電圧を零とすると、回路は1のタップの電圧である。次に電壓調整器の回轉子を動かして a, b 間の電圧を漸次増加して行くと、回路の電圧は1より次第に2の方に移動して行く。電壓調整器の2次電圧が最高となると a, b 間の電圧はタップ1, 2間の電圧の半分に等しく、回路の電圧は(b 点の電圧は)1, 2 タップ間の中点にある。此の時2を入れるとC 点の電圧は2 点の電圧から c, d 間の電圧(之は ab 間の電圧、即ちタップ間電圧の半分)を引いたものとなり、矢張り1, 2 タップ間中点の電圧である。故に電圧の等しい b, c を結んでも何の支障もないから 10 を入れる。次で1と9を開放して、回轉子を廻すと c, d 間の電圧は次第に減少し、回路の電圧はタップ2の電圧に近迫して行く。斯くて全タップ間の電圧を平滑に調整する。

13.6.4 調整單卷變壓器 本器は單卷變壓器にタップを附けたものと考へられる。



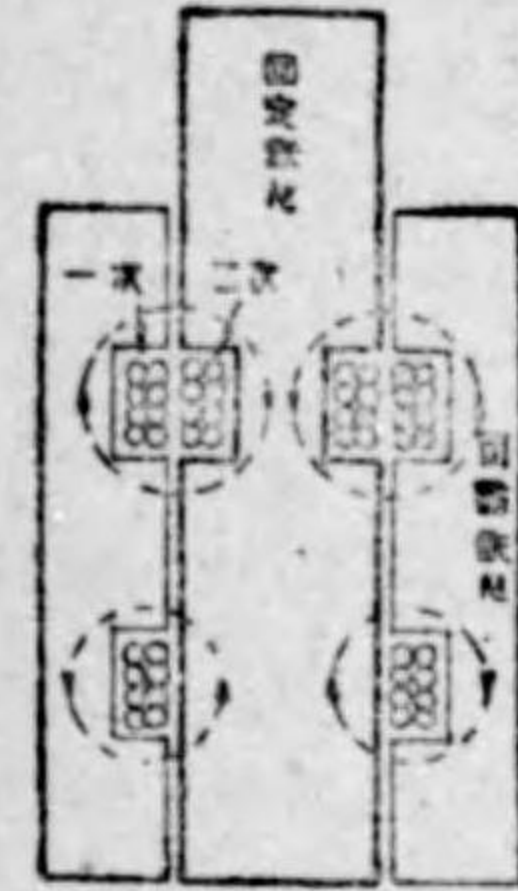
轉換器を+と-に入れるので、外分單卷と内分單卷に變化する

1次側を線路に並列に2次側を直列に接続し、2次側タップに依つて電圧を調整する。圖の接続では線路の電圧は調整器2次電圧の半分だけ高くなる。把手の此の位置で轉換器を(-)側にすると、線路の電圧は2次電圧の半分だけ低くなる。次に把手を右へ1

つ進めると線路電圧は2次電圧の3/8だけ低くなり、此處で轉換器を(+)側にすると線路電圧は2次電圧の5/8だけ高くなる。即ち、線路電圧は2次電圧の1/8宛上下し得る。但し、本器の切換は負荷を中斷せずには行へない。

13.6.5 滑動鐵心型變壓器 定電流變壓器(弧光燈の直列回路に用ひられる)は、電流の大きさに依つて2次卷線の位置を鐵心上に自動的に滑動した。之れと同様に、本器は1次卷線とその鐵心を滑動するものであつて、構造は下圖の如くである。原理は單相誘導電圧調整器と同様であつて、調整器では回轉して電圧

を變化させたが、之れは1次卷線を含む鐵心を2次卷線及其鐵心に對して上下に滑動さす。1次卷線は上下2つの部分に別れ、互に相反するやうに接続される。然して外部の鐵心が動くとき、2次卷線を鎖交する磁束數が變化して之に誘起する電圧を調整する。



13.6.6 三卷線變壓器 1次及2次卷線の他に3次卷線を設け、これを三角結線とする。従つて、1次、2次卷線がY-Y結線でも、第3調波電流が3次卷線内を環流して、2次卷線には第3調波電圧が発生しない。

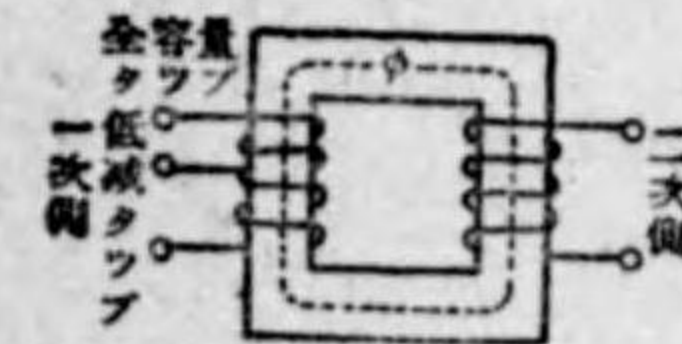
註：但し、最近では3次卷線を上記の目的に使用するだけでなく、これより所内用電力を取り、或は、同期調相機等をつないで、線路の力率を改善する等に共用してゐる。

13.6.7 非共振變壓器 變壓器に雷電壓のやうな周波數の大きい、波形の變化が大なる電圧が加はると、卷線の靜電容量に流れる電流が増大し、端子の近くの卷線に過大電圧が加はつて、其の絶縁を破壊する。これを防ぐため、卷線各部の靜電容量を適當にし、雷電壓を受けても、卷線の電位分布が平常時と變らないやうにした變壓器を非共振變壓器と云ふ。

註：非共振變壓器は、雷電壓(衝擊電壓)に對する絶縁耐力が大きい。送電線路に直接結ばれる高電壓、大容量の變壓器に用ひられる。

13.7 變壓器のタップ

變壓器のタップは、線路の電壓降下等によつて使用場所の1次電圧が僅かに



相違する時、常に一定の2次電圧を得る爲に用ふる。このタップには、規定の溫度上昇以内で定格出力のかけられる全容量タップと、定格出力がかけられない低減容量タップがある。尙、タップは普通、電流の小さい高壓側に設ける。

註：例へば柱上變壓器では、3150V、3300V、3450V タップは各全容量タップであるが2850V、3000V タップは低減容量タップである。

13.8 變壓器の温度

13.8.1 温度上昇 變壓器に負荷すると、鐵損と銅損のため温度が昇る。この温度上昇が過大であると、絶縁物が著しく劣化するので、次表のやうに巻線の最高温度(°C)が定められてゐる。故に、この温度を越へない最大負荷が、變壓器の定格出力になる。

	周圍温度		油入自冷式		油入水冷式		油入送油式	
	空氣	水	温度上昇	最高温度	温度上昇	最高温度	温度上昇	最高温度
Z 規格	35	25	65	100	65	90	70	95
舊規格	40	25	55	95	55	80	65	80

註: ① 最高温度を高めて、機器の資材を節約する目的で定められたのが戦時規格(Z規格)であるが、今日では恒久規格と認められてゐる。

舊規格の既設變壓器は戦時規格に相當する値迄、過負荷し得る。

② 油の温度は、温度計法により Z 規格では温度上昇が 55°C、最高温度が 90°C、舊規格では温度上昇が 50°C、最高温度が 90°C である。

13.8.2 温度測定法 ① 寒暖計法; 簡單ではあるが、巻線内部等の温度が測れない。主に油の温度を測る。

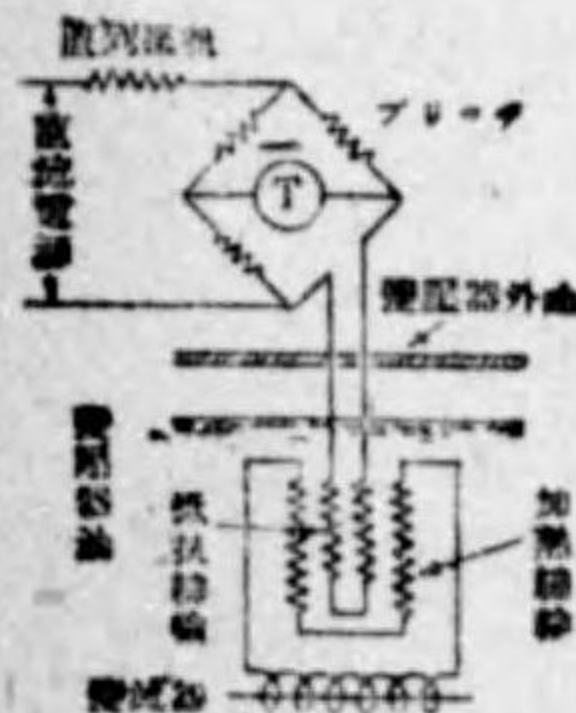
② 抵抗法; 温度上昇による巻線の抵抗増加を測つて、次式より求める。

$$\text{温度上昇 } T-t = \frac{R_T - R_t}{\alpha R_t} \quad \text{但し } R_T, R_t \dots \dots T \text{ 及 } t \text{ °C の巻線の抵抗}$$

$$\alpha: \dots \dots t \text{ °C に於ける抵抗温度係数}$$

註: 本方法は; 巻線の平均温度上昇を知る方法で、一般に用ひられてゐる。

③ 埋入温度計法; 圖は、巻線の最高温度を指示する装置の一例である。即ち、電橋回路の一辺につないだ抵抗線輪を油中に置き、負荷電流に比例した電流を通ずる加熱線輪で、これを加熱すると、抵抗線輪の抵抗が増して電流計 T が偏れる。この偏れは負荷電流に比例し、之れに依つて、巻線の最高温度が分る。



13.8.3 變壓器の許容負荷 變壓器の最大負荷は、

その許容温度によつて定められる。次に、舊規格品を過負荷使用する場合、過負荷耐量に影響を及ぼす事項を挙げると、

- ① 舊規格品の温度上昇を Z 規格まで許すと(温度上昇が 10~15°C 大きい) 10~30% 位過負荷ができる。
- ② 周圍温度が低く、負荷の負荷率が低い程、過負荷耐量が大きい。
- ③ 銅損が鐵損に較べて小さいと、過負荷耐量が大きい。

註: その他、油入自冷式變壓器に送風設備を設けると、過負荷耐量が増す。

13.9 變壓器の周波数及び電壓特性

周波数が低下した時(又は、電圧が上昇した時)

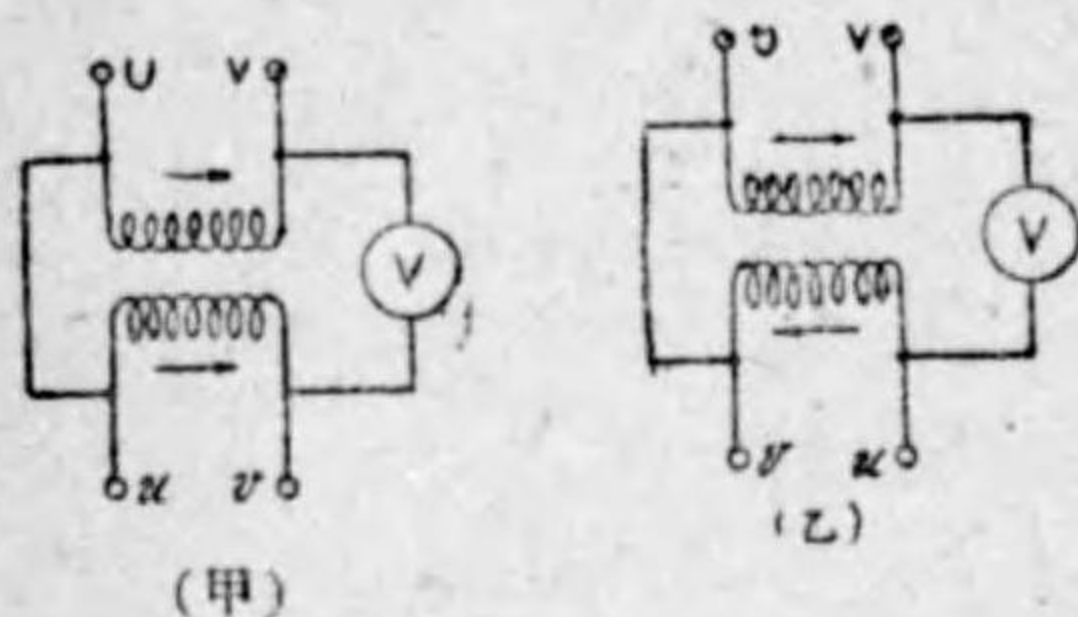
項 目	特 性 の 變 化
磁束密度	變壓器の誘起起電力は $E = k f \phi_m$ 故に、磁束密度は周波数に反比例し、電圧に比例して増す。
鐵 損	ヒステリシス損は $w_h = k E^{1.6} f^{-0.6}$ 渦流損は $w_e = k E^2$ 故に、鐵損が増加し、温度上昇が大きくなる。
勵磁電流	磁束密度が増すので増加する。普通、變壓器は相當に高い磁束密度に設計するため、勵磁電流の増加が著しい。
電壓變動率	磁束密度が増すと漏洩磁束、従つて漏洩リアクタンスが増大し、電壓變動率が増す。
出 力	周波数が低下した時は、鐵損が増加し出力が低下する。電圧が上昇した時は、一般に出力が増す。
能率、力率	鐵損、及び勵磁電流の増加により、共に低下する。

註: 周波数が増加(又は、電圧が低下)した場合は、上記と反對である。故に、周波数と電圧が共に低下すると、磁束密度、鐵損等は變化が少い。

13.10 試 験

13.10.1 豫備試験 ① 極性; 圖のやうに 1 次側 UV と 2 次側 uv の一端子を結び、他側に電壓計 V をつなぐ、V の指示が 1 次、2 次兩電壓の差

の場合を減極性、和の場合を加極性と云ふ。我國では、減極性を標準とする。



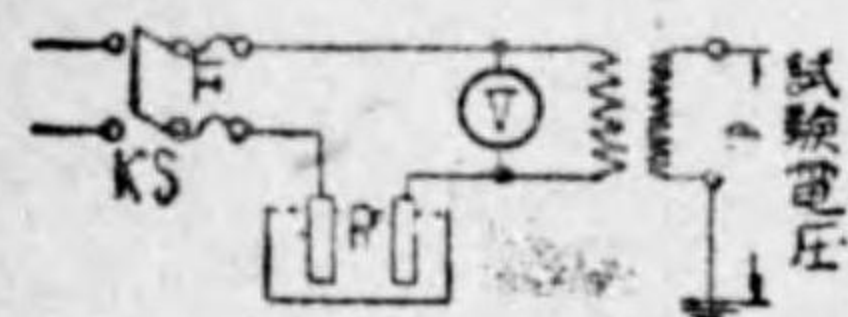
註； 即ち、減極性は甲圖のやうに、
 兩巻線の誘起起電力が同一方向であり、
 加極性は、乙圖のやうに反対方向の場合
 である。

② 變壓比； 1 次側に定格電壓を
 加へ、無負荷 2 次電壓を測つて變

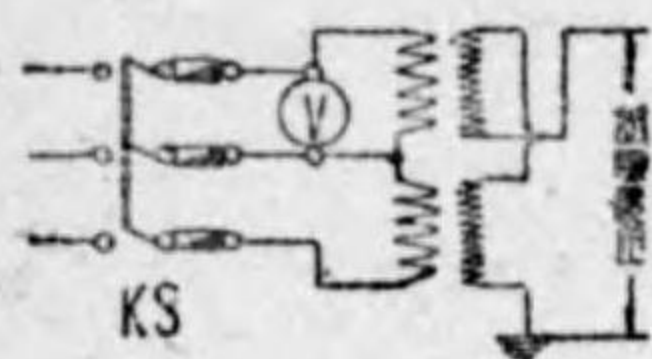
壓比を求める。

③ 絶縁抵抗、巻線と鐵心間、及び、各巻線間の絶縁抵抗を 1000V 位のメガ
 で測る。

④ 絶縁耐力； 絶縁抵抗が良好であると、絶縁耐力試験を行ふ。茲では、現場
 等で試験用變壓器が無い場合を説明する。



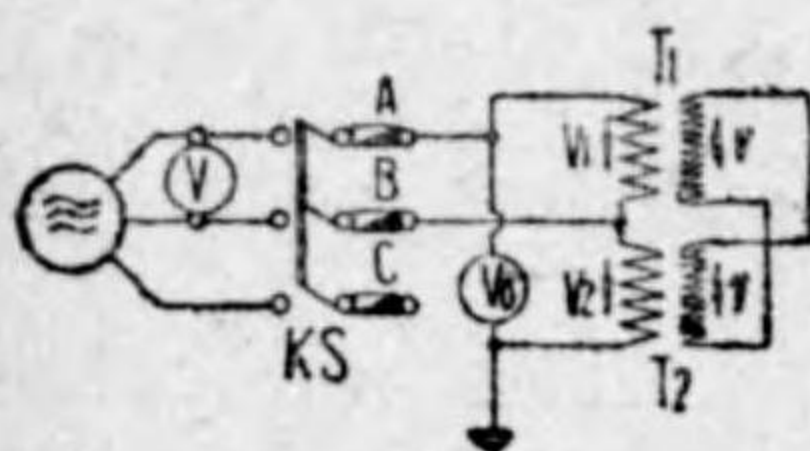
① は、2 次側に試験電壓を發生させ、そ
 の一端子宛を接地して、他端子に試験電壓を
 加へる。



② は、1 次側を V 結線、2 次側を逆 V
 結線にして、次の電壓を得る。

$$2 \text{ 次側の試験電壓} = \sqrt{3}nV$$

但し、V、1 次電壓 n、變壓比



③ は、發電機の絶縁耐力試験を自己の發
 生電壓で行ふ方法を示す。變壓器 T₁ の 2 次
 電壓が T₂ の 2 次側に加はり、發電機 A の
 對地電壓は 2V になる。同様にして、B、C
 端子も試験できる。

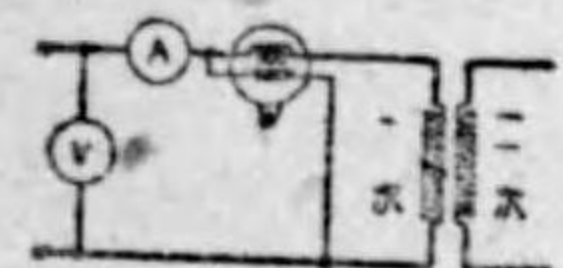
註； 變壓器の 1 次側に水抵抗等挿入して試験電壓を調整すると、1 次電流(勵磁電流)
 は至波であるから、抵抗の電壓降下も至波になり、變壓器に至波の電壓が加はる。この場
 合、誘導電壓調整器を用ひ、或は、發電機の發生電壓を加減するのが理想的である。尙、
 試験電源の容量を十分に大きくして、試験電壓が降下しないやうにする。

⑥ 衝擊電壓； 變壓器に雷電壓等の異常電壓を加へると、巻線の電位分布は常

規と著しく異なるので、一般の商用周波數の絶縁耐力は意義が薄い。其處で、衝擊
 電壓を加へて、その絶縁耐力を試験する。

註； 本試験は、高電壓の大型變壓器に、最近行はれつゝある。

13.10.2 本試験 ① 無負荷試験； (鐵損の測定) 變壓器の 2 次 (又は 1 次)
 側を開き、1 次 (又は 2 次) 側に定格周波數の定格電壓

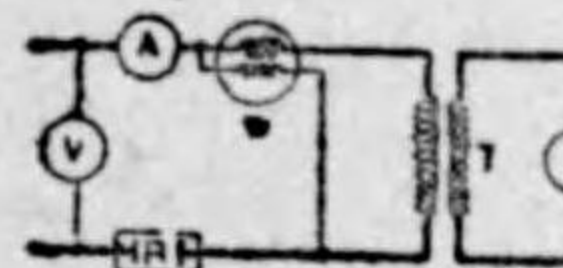


を加へて、電流計 A 及び電力計 W の讀みを取る。此の時
 の A の指示が勵磁電流であり、W の指示が鐵損である

註； 勵磁電流に依る 1 次巻線の銅損は極めて小さく、無視し

てよい。

② 短絡試験； (銅損の測定) 變壓器 2 次側を電流計を通じて短絡し、1 次側
 に規定周波數の電壓を加へ、其の電壓を水抵抗 R に依



つて調整し、2 次側に 2 次側の全負荷電流を流させる
 此の時の V の讀みを V_{s1} 2 次側 A の讀みを I₁ とす

ると、此の變壓器の 1 次側より見たインピーダンス

$$Z_{s1} \text{ は } Z_{s1} = V_{s1} / I_1 \text{ となる。}$$

同様に 1 次側に電流計を挿入して短絡し、2 次側より加壓し、1 次に 1 次側
 の全負荷電流 I₁ を流させる。此の時の 2 次電流計の讀みを I₂ 電壓計の讀みを
 V_{s2} とすると、2 次側より見たインピーダンス Z_{s2} は Z_{s2} = V_{s2} / I₂ となる。

次に、電壓降下法或はホイートストンブリッジに依つて、1 次及 2 次巻線の
 抵抗を測定し、其の値が r₁ 及 r₂ であると、

$$1 \text{ 次側より見た變壓器のリアクタンス } X_1 \text{ は } X_1 = \sqrt{Z_{s1}^2 - (r_1 + n^2 r_2)^2}$$

$$2 \text{ 次側 } \quad \quad \quad X_2 \text{ は } X_2 = \sqrt{Z_{s2}^2 - (\frac{1}{n^2} r_1 + r_2)^2}$$

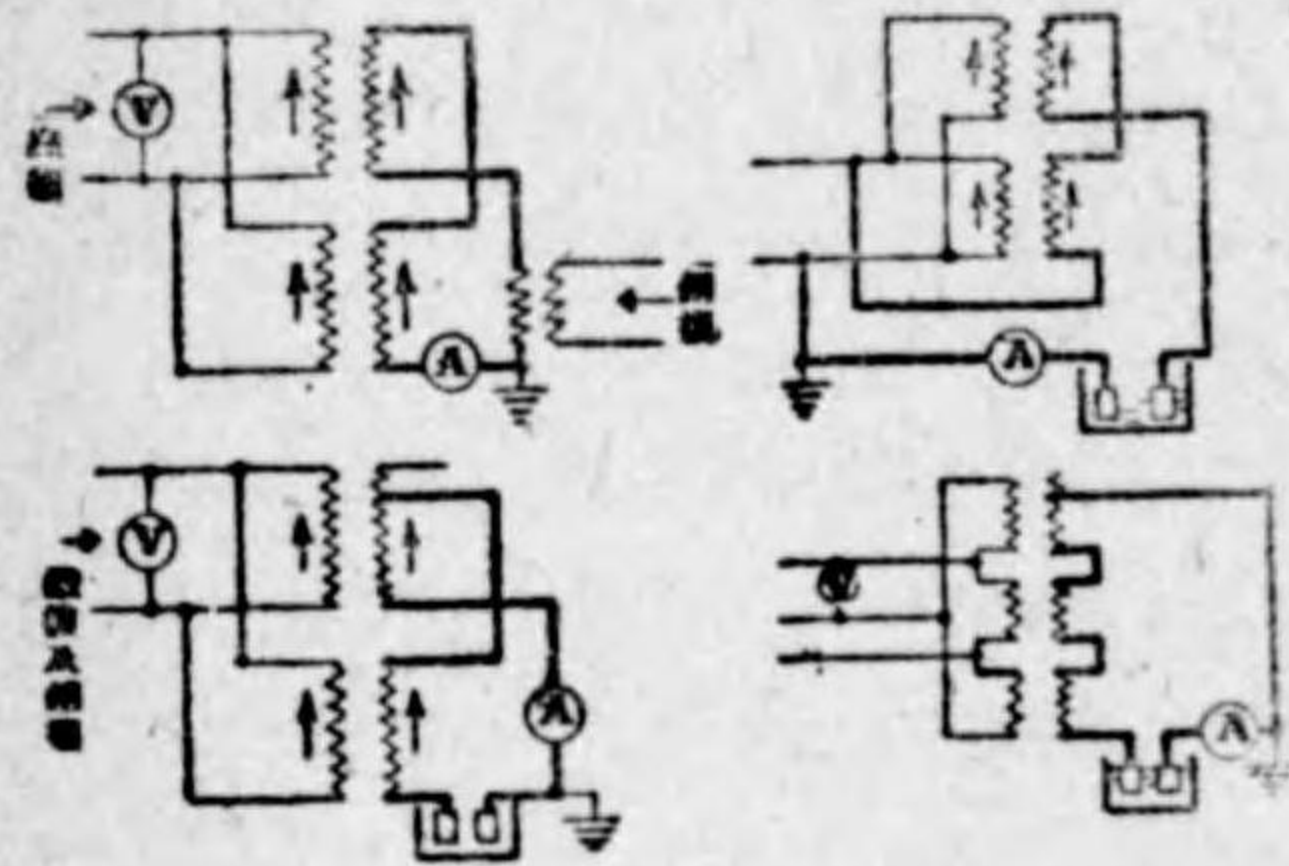
$$\text{但し } n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \text{ である。}$$

尙、此の時の電力計 W の讀みは全部銅損であつて、これは 1 次側の場合も
 2 次側の場合も同一である。此の場合の電壓計の指示が變壓器のインピーダンス
 電壓である。

註； この場合、W は銅損と鐵損の和であるが、インピーダンス電壓は定格電壓の 3~10%

位であり、鐵損は、略々電壓の 1.7 乗に比例するから極めて小さい。故に、鐵損は銅損に較べて無視される。又、% インピーダンス電壓 (V_{s1}/E_1) $\times 100$ は (V_{s2}/E_2) $\times 100$ に等しい。

③ 負荷試験、變壓器に連続定格負荷をかけ、各部分の温度上昇を測る。その負荷方法として、茲では返還負荷法を述べる。これは、定格電壓に於ける鐵損と全負荷銅損を別々に供給する方法で、消費電力が甚だしい。



(イ) は、2 箇の變壓器を圖のやうにつなぎ、1 次側に定格電壓を加へ、2 次側に 2 次インピーダンス電壓の 2 倍を加へて各巻線に定格電流を循環させる。

(ロ) は、(イ) の 2 次側に加へる電壓の代りにタップの電壓差を利用する。

註：この場合、水抵抗で循環電流を定格値に調整する。

(ロ) は、1 次電圧を水抵抗で降下させ、これを 2 次回路に加へる。

註：本方法で、1 次電圧が高い時は補助變壓器を用ひて、その 2 次電圧を 2 次回路に加へる。

(ハ) は、3 相の場合で、(ロ) と同様にタップの電圧差を利用する。

註：上記の各方法で、(イ) は 1 次側より鐵損、2 次側より銅損を供給するが、他は何れも 1 次側より鐵損と銅損を供給する。

13.11 保 守

13.11.1 検査 [毎日検査] ① 1 時間毎に巻線、油、及び周囲温度を記録する。

② 音響、異臭等に注意し、異常を認めた時は、直ちにその原因を調べる。

[毎月検査] 毎月 1 回絶縁抵抗を測り、端子の締付状態、コンサベータの吸濕装置等を検査する。

[半年検査] 變壓器、及びコンサベータの底部の油を抜取つて、絶縁耐力を試験する。又、套管を清掃して、その異常を調べる。

13.11.2 乾燥作業 乾燥作業は、現場で新に變壓器を組立てた時、或は、絶縁の著しく低下した場合等に行ひ、次の種類がある。

[熱風乾燥法] 變壓器を乾燥箱に入れ、電熱器で 70~85°C 位に熱した熱風を送風機で送る。

註：本方法で、空気に塵埃を含むと、これが電熱器で火の子になり、變壓器に種々の障害を生ずる。

[電氣乾燥法] 變壓器の 1 次、又は 2 次側を短絡して、他側に低電圧を加へ全負荷電流の 10~20% の過電流を流して、温度を上昇させる。

註：巻線の温度が約 85°C を越へぬやうに短絡電流を調整する。

[真空乾燥法] 變壓器を真空函内に入れ、蒸汽で加熱する。本方法は、氣壓が低いので蒸發がよく、著しく乾燥が早く行へる。

註：上記の各方法で、乾燥の程度を知るには、時々巻線の絶縁抵抗を測る。初めは、濕氣が蒸發するので絶縁抵抗が下るが、次第に上昇し、大体一定になつた後暫く乾燥する。

13.11.3 變壓器油の水分検出法 變壓器の油吐出口より油を取り出し、その水分を次の何れかの方法で検する。

① 赤熱した金屬板上に油を滴下する。油が水分を含むと、パチパチと大きい音を發する。

② 硫酸銅の結晶を熱して白色とし、これを油中に入れて振る。水分があると硫酸銅が青色に變る。

③ 油の絶縁耐力を測る。水分を含むと、耐電圧が著しく低下する。この方法が最も完全で、一般に用ひられる。

[油の處理法] ① 炭火、電熱等で油を暖め、水分を蒸發させる。

② 濾過機で固形物、塵埃、水分等を除く。この方法が最も完全で、廣く實用される。

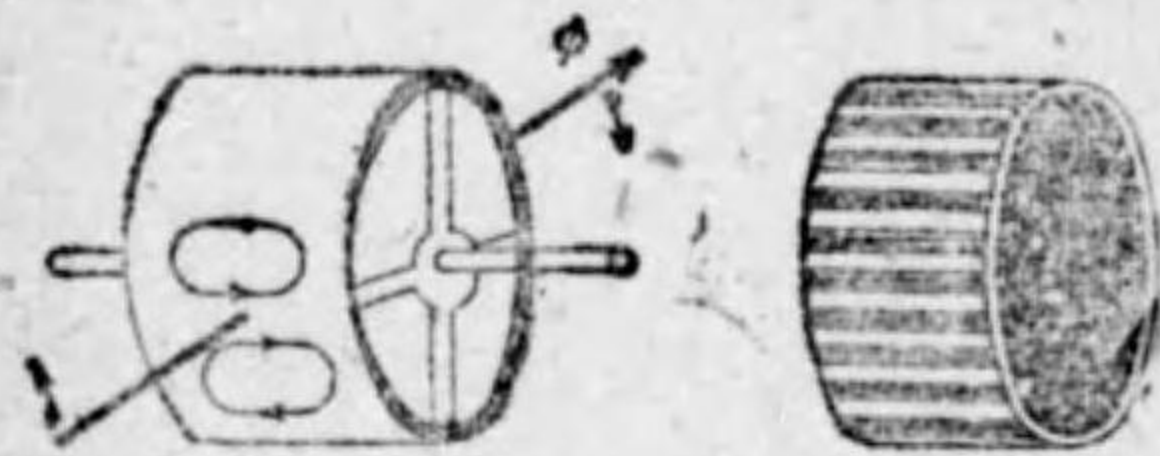
③ 酸性白土等の脱水劑で、水分を吸收する。

註：濾過機には、吸取紙で油を濾過する濾過式(最も實用的である)遠心力を利用して、比重の大きい水分を除く遠心分離式、直流高壓を加へた電極間に濾紙を置き、これに油を通過させて淨油する電氣式等がある。

14. 誘導電動機

14.1 一般

14.1.1 原理 3 相同期電動機の固定子巻線（電機子巻線）に 3 相交流を通ずると、既述したやうに、回轉磁界を生ずる。其處で、界磁回轉子を引出して



其の代りに、圖のやうな金屬圓筒の回轉子を置くと、回轉磁界 ϕ に依つて切られる。其の結果、右手の法則に依り、圓筒に圖示の方向に誘起起電力を生ずる（圓筒が ϕ と反對方向に動く

考へる）従つて、同方向に電流が流れ、此の電流と回轉磁界 ϕ の間には、左手の法則が示す方向に回轉力を生ずる。此の回轉力は ϕ の回轉方向になるから、圓筒は回轉磁界と同方向に回轉する。これが誘導電動機の原理である。

註：回轉力を生ずる電流は軸方向であるから、右圖のやうに圓筒を軸方向に分割し、尙、磁束が通じ易いやうに、之れを鐵心内に納める。

14.1.2 構造 固定子は、同期電動機と全く同様である。回轉子には籠形と巻線型があり、前者は、回轉子鐵心の各溝に 1 本宛の導体を入れ、その兩端を銅環で短絡する。後者は、固定子と同様に 3 相巻線を施して星形につなぎ、その端子を集電環を経て外部の抵抗器に導く。

註：固定子と回轉子の空隙は、勵磁電流の増大による力率の低下を防ぐため、極力小さくする。

14.1.3 滑り 誘導電動機に負荷をかけると、その速度が低下して回轉磁界が回轉子を切り、これに電流が流れて負荷に應ずるトルクを發生する。この速度の低下を滑りで表す。

$$\text{滑り } S = \frac{\text{同期速度 } N_s - \text{回轉子速度 } N}{\text{同期速度 } N_s} \times 100 \%$$

注意、電壓變動率にせよ、誤差を表す式、或は速度變動率の式にせよ、分母は分子の第 2 項であるが滑りを表す式だけは分母が分子の第 1 項である。

故に、電源の周波数を f サイクル、固定子の極数を P とすると、

$$\text{同期速度 } N_s = \frac{120f}{P} \quad \text{毎分の回轉數 } N = \frac{120f}{P} \left(1 - \frac{S}{100}\right)$$

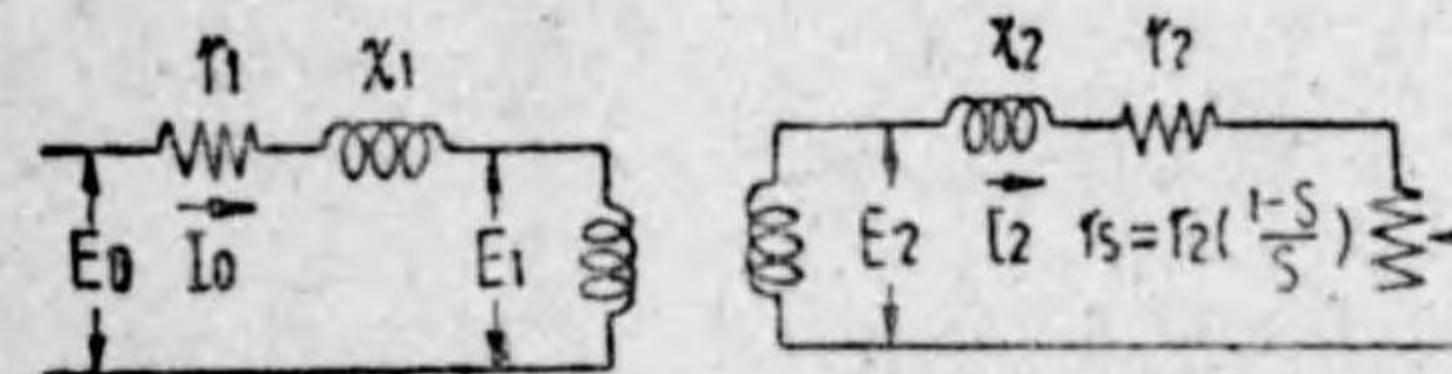
註：誘導電動機の全負荷時の滑りは、普通 5% 前後である。

14.1.4 回轉子の周波數 誘導電動機の滑りを S とすると、回轉磁界は回轉子を $N_s - N = SN_s$ （但し、此處の S は小數とす）の速度で追越すから回轉子が靜止してゐると考へると、 ϕ は SN_s の速度で回轉子を切る。

$$\text{回轉子の周波數 } f_2 = \frac{PSN_s}{120} = Sf \quad \text{但し } f \dots \text{電源の周波數}$$

即ち、回轉子の周波數は滑りに正比例する。

14.1.5 等價回路 誘導電動機の電氣的諸特性は、變壓器と同様に考へられるので、その電氣的回路は圖のやうな等價變壓器で置換へられる。即ち、電動機の出力は等價變壓器の 2 次可變抵抗 $r_s = r_2 \left(\frac{1-S}{S}\right)$ で表され、こ



r_1, X_1 ... 固定子 1 相の抵抗、及びリアクタンス
 r_2, X_2 ... 回轉子 1 相の抵抗、及びリアクタンス（電源周波數に對する）

の抵抗の電力は滑り S によつて變化する。

註：上記より、一般に誘導電動機の固定子を 1 次、回轉子を 2 次と云ひ、例へば 1 次巻線、2 次巻線、2 次周波數等と稱する。

14.1.6 特性一般 誘導電動機の起動トルクは、

- ① 供給電壓の 2 乗に比例する。
- ② 回轉子巻線數の 2 乗に比例する。
- ③ 回轉子回路の抵抗がそのリアクタンスと相等しい時に、最大トルクで起動する。

起動電流の大きさは

- ① 供給電壓に比例する。
- ② 起動電流の力率は、回轉子の抵抗がそのリアクタンスに比して小さいから劣悪である。尙、起動電流は回轉子抵抗が大きい程小である。

③ 固定子巻線数の平方に逆比例する。

註: 誘導電動機の滑り S に於けるトルク T は

$$T = KE_2 \frac{SE_2}{\sqrt{r_2^2 + (Sx_2)^2}} \cdot \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + Sx_2^2}} = KE_2 I_2 \cos \phi_2$$

で表す事が出来る。即ち、トルク T は 2 次巻線の入力 $P_2 = E_2 I_2 \cos \phi_2$ に比例するので P_2 に依つて、T の大小が表はされる。此の P_2 を同期ワットと稱する。

但し K... 常数 $\frac{m}{2\pi N_s}$ N_s ... 同期速度 m... 相数 E_2 ... 静止時の回轉子誘導電壓

$E_2 = 4.44 W f N_2 \phi \times 10^{-8}$ W... 巻線係数 f... 周波数 N_2 ... 回轉子 1 相の巻線数 ϕ ... 1 極の作る磁束数 S... 滑り r_2 及 x_2 ... 回轉子の抵抗及リアクタンス

故に、起動トルクは上式に於て $S=1$ と置いて、

$$T_s = KE_2^2 \frac{r_2}{r_2^2 + x_2^2}$$

然るに、 r_2 は x_2 に比して小さいので (特に籠形に於て然り) 起動トルクは甚だ小である従つて、 E_2 (又は N_2) の自乗に比例する。又、 r_2 のみを可變とすると T_s の式での變數 y は

$$y = r_2 + \frac{x_2^2}{r_2} \quad \frac{dy}{dr_2} = 1 - \frac{x_2^2}{r_2^2} = 0 \quad r_2 = x_2$$

の時に y が最小従つて T_s が最大となる。或は $r_2 \times \frac{x_2^2}{r_2} = x_2^2$ で定數だから 2 數の和の最小なるは 2 數の等しき時である。

回轉子 1 相の電流 I_2 は $I_2 = \frac{SE_2}{\sqrt{r_2^2 + (Sx_2)^2}}$ その力率 $\cos \phi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (Sx_2)^2}}$

1 次電流は之れに 1 次と 2 次の巻線数の比を乗じたものに、勵磁電流をベクトル的に加へたものであるが、其の大略は本式で推知出来る。起動電流は本式で $S=1$ と置くと、

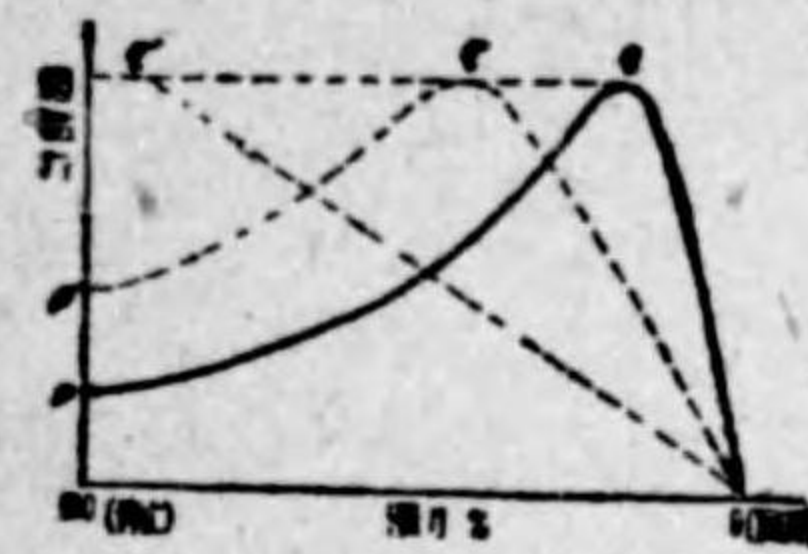
$$I_{2s} = \frac{E_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}} \quad \cos \phi_{2s} = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}}$$

E_2 は供給電壓に巻線比を乗じたもので、供給電壓に比例する。

又滑りは 滑り $S = \frac{\text{回轉子銅損}}{\text{回轉子入力}} = \frac{I_2^2 r_2}{E_2 I_2 \cos \phi_2}$

で回轉子の抵抗 r_2 に比例する。又、電動機の能率は回轉子の損失 ($I_2^2 r_2$) に反比例するから、回轉子の抵抗が大なる程、電動機の能率は低下する。

14.1.7 比例推移 滑りの變化に對するトルクの變化は、圖の實線 PqO のやうになる。即ち、起動に際しては、P なるトルクで起動し、(之れを起動トル



クと云ふ) 滑りの減少、回轉數の上昇と共にトルクが次第に増加して、遂に最高 q に達する。更らに、滑りが減少すると、トルクは急激に減じ、同期速度では零になる。これは當然であつて、同期速度に達すると、導体は回轉磁界と同一速度だから磁束を切らない。従つて、電流が

流れないから、トルクは零である。

然して、今、回轉子回路に抵抗を挿入して、2 次合成抵抗を前の n 倍とすると、同一のトルクは (n×S) の滑りの点で生じ、最初のトルク曲線 q の各点を横に nS の處に移した、P' q' O のやうになる。従つて、最大トルクの位置が滑りの大きい、回轉數の少い處に来る。

此の性質を應用して、巻線型の回轉子を有するものでは、起動の際に、回轉子巻線に相當の抵抗を挿入する。斯様にすると、回轉力曲線が q''O のやうになり S=100% の起動時に最大トルクを生ずる。次に速度の上昇と共に、其の抵抗を減ずると、P' q' O のやうにトルク曲線が變化し、此の抵抗を抜いて、回轉子巻線を短絡すると、遂には本來の P q O のトルク曲線になる。

斯様に、回轉子抵抗の値に依つて、トルク曲線が比例的に推移する性質を比例推移と云ふ。

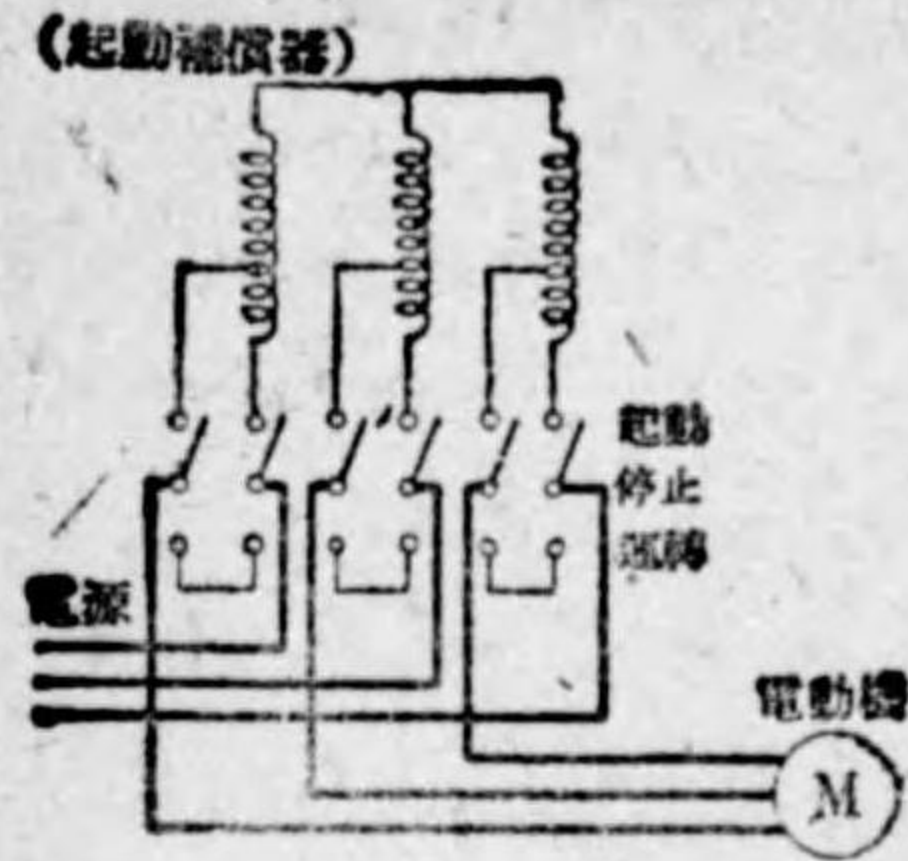
註: 尙、此の性質は速度制御にも利用出来る。

14.2 起 動

14.2.1 一般 誘導電動機に初めから全電壓を加へて起動すると、回轉子が静止してゐるのでその誘起電壓が高く、2 次電流が大で、之れを打ち消す 1 次電流も大きく、大きな起動電流が流入する。(變壓器 2 次側を短絡した場合に相當する) 故に、この起動電流を制限するためには、次の起動法を採用する。

註: 又、起動時は 2 次周波數が高いので、2 次リアクタンス x_2 が大きく、起動電流の力率が甚だ低い。一方、トルクは 2 次電流の電壓と同相分に比例するので、起動トルクは起動電流の過大なのに較べて、極めて小さい。

14.2.2 籠形電動機 ① 起動補償器法; 起動補償器は 1 種の單巻變壓器



で、最初、電源電圧を 60% 位に下げて電動機に加へる。次に、起動と共に起動補償器のタップを切換へて電圧を高め、最後に全電圧を加へて、起動補償器を回路より除く。

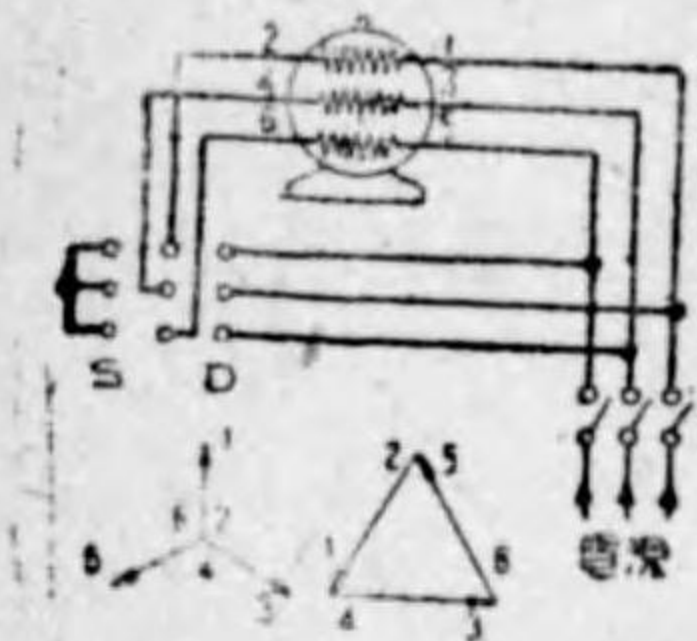
註：起動補償器には、直流電動機に於ける起動器の場合と同一の目的に用ふる無電圧開放器と、過負荷開放器を設けてゐる。

② Y Δ 切換法； 固定子巻線を起動時には星形につないで、各巻線に定格電圧の $1/\sqrt{3}=0.58$ を加へ、

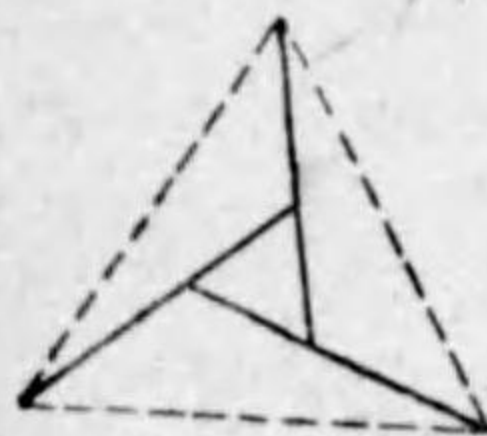
運轉時には、3 角形に切換へて全電圧を加へる。斯くすると、起動電流は約半分となる。但し、起動トルクは $1/3$ になる

註：上記の方法は、何れも電動機に加はる電圧を低下して、起動電流を制限するため、起動トルクも減少する欠点がある。尙、普通 5kW 位以下では直入電動機とし、(直接に全電圧を加へて起動する、起動電流は数倍となる) これ以上 10kW 位迄は YΔ 切換法を、更らに大型には起動補償器法を用ふる。

尙、邊延 3 角結線に依る起動法もある。これは固定子巻線の溝の位置と数との關係より、起動の際は磁氣的及電氣的に下圖のやうな、邊延 3 角結線とする。起動電流は小さくトルクが大きい。



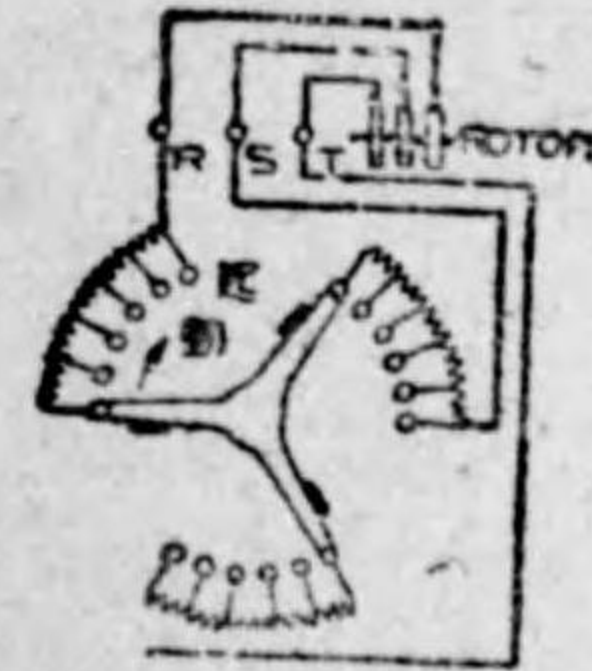
起動の時に開閉器を S 側にすると、2,4,6 は共に結ばれて星形結線となり、速度が上昇してから D 側とすると 3 角結線となる。



14.2.3 巻線型電動機 巻線型回轉子の各相 R.S.T に集電環を通じて起動抵抗を挿入し、比例推移によつて起動トルクを大きくする。本方法は、最大トルクで起動することが出来、起動電流が小で起動特性が最も優れてゐる。

註：小型の起動抵抗器には金屬抵抗器を用ふるが大型には水抵抗器使用する。又、運轉時には、集電環を短絡して、無用な刷子摩擦損を避ける爲めに刷子を全部引揚げる。

尙、其の他、調車に摩擦クラッチ或は電磁クラッチを附して、起動は無負荷状態で行ひ起動後、遠心力或は電磁作用でクラッチがかゝり運轉状態となる方法もある。或は、膠



起動とある方に把手を廻すと、2 次抵抗は逐次に除き去られる。

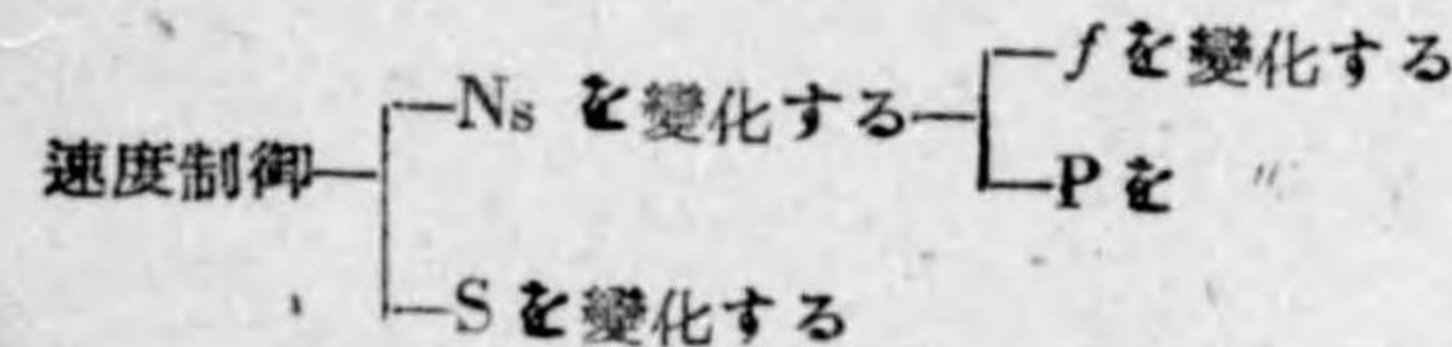
轉子巻線を各相 2 並列回路にして起動し、起動時は兩回路の誘導電圧の差で僅少の電流を流し、起動電流を制限し、運轉に入ると、3 相全部を短絡するもの、或は籠形回轉子の端絡環の一部を切つて、起動電流を制限し、起動トルクを大とするもの等がある。然し、何れも、餘り實用されてゐない。

14.3 速度制御法

14.3.1 一般 誘導電動機は分巻電動機と性質が良く類似して居つて、全負荷より無負荷に至る速度の變動は極めて少い。

註：速度變動率は 5% 前後 (滑りも約 5% 位) 滑りも速度變動率も値は餘り相違しない。又、その速度を制御する事が甚だ困難であつて、力率の低いことと共に之が誘導電動機の二大欠点で、扱、速度を如何に制御すべきかと云ふに

$$N = N_s (1 - \frac{S}{100}) \quad N_s = \frac{120f}{P} \text{ に就て考へると}$$



と分つて考へる事が出来る。

14.3.2 周波数調整法 (f を變化する方法) 供給電源の周波数を變更する方法で、普通電源となる交流發電機を運轉する原動機を速度を變化させる。本方法は船舶の電氣推進の如くに、1 發電機で 1 電動機を運轉する場合、夫れも戦闘艦のやうに戦闘速度と巡洋速度の 2 様を得たい場合等に P を變化する方法と共に採用される。或は入絹工業のボツキ用電動機にも此の方法が用ひられるが、一般的ではない。

註：速度を細かく調整し得る特長はあるが、専用の電源を要し、費用が嵩む。

14.3.3 極數變換法 (P を變化する方法) 固定子巻線の極数を變更するのであつて、2 つの方法がある。即ち、同一固定子巻線の接続を變更して極数を變へると、同一鐵心に異つた極数の巻線を各々獨立に設けたものである。此の方

法に依る場合は回轉子が籠形であると問題でないが、巻線型の場合には、回轉子の巻線方法も同時に切替へねばならないので複雑になるのは免れない。

註：此の方法は能率がよいが、速度の調整が階段的になり、巻線電圧が著しく變化する欠点がある。

次に方法は全然別であるが、結果から見て極数を變更したのと同様な速度の制御方法がある。之を縦線法と云つてゐる。之には種々の組合せがあるが、其の一例である直列縦線法を掲げると、P₁極の誘導電動機 A を線路に結び、此の回轉子の各相を、之れと直結せられた P₂ 極の誘導電動機 B の固定子(或は回轉子)に接続する。P₂ 極の回轉子(或は固定子)には抵抗を接続する。各機が單獨に運轉すると、夫々 P₁ 及 P₂ 極に相當する回轉数が得られ、之を直結すると 2 極の和或は差に相當する回轉数が得られる。

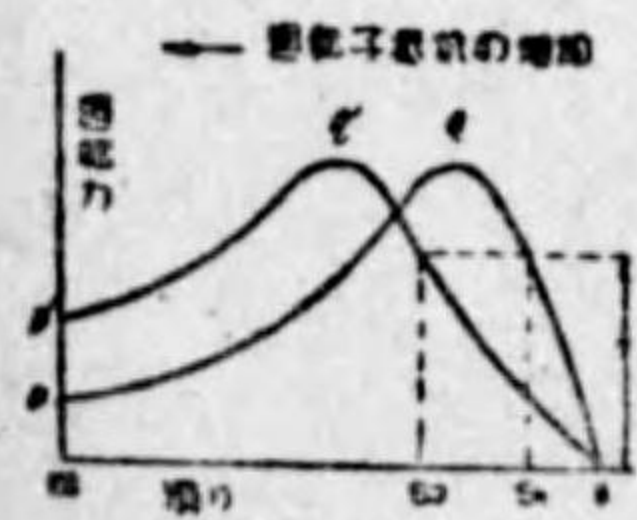
註：各場合の同期速度は、電源の周波数を f として、

$$同様の回轉磁界が同方向の時 N_s = \frac{120f}{P_1 + P_2}$$

$$逆方向の時 N_s = \frac{120f}{P_1 - P_2}$$

回轉子は上記の N_s よりある滑りで運轉する。

14.3.4 滑り調整法 (S を變化する方法) 以上の兩方法は同期速度を變更したのであつて、滑りの値は實用的には略一定と考へられる。本方法は同期速度を一定として置いて滑りを變化するのである。先に述べたやうに、滑りは回轉子抵抗に比例するから、回轉子に外部抵抗を挿入すると、同一トルクに對して滑りが大となり回轉速度を小とし得る。其の状況は圖の如くであつて、回轉子抵抗を増大するとトルク曲線が圖に於て PqO より P'q'O の如くに變化する。今、起動トルクを一定 τ とすると、其の結果、滑りは S₁ より S₂ に變化し



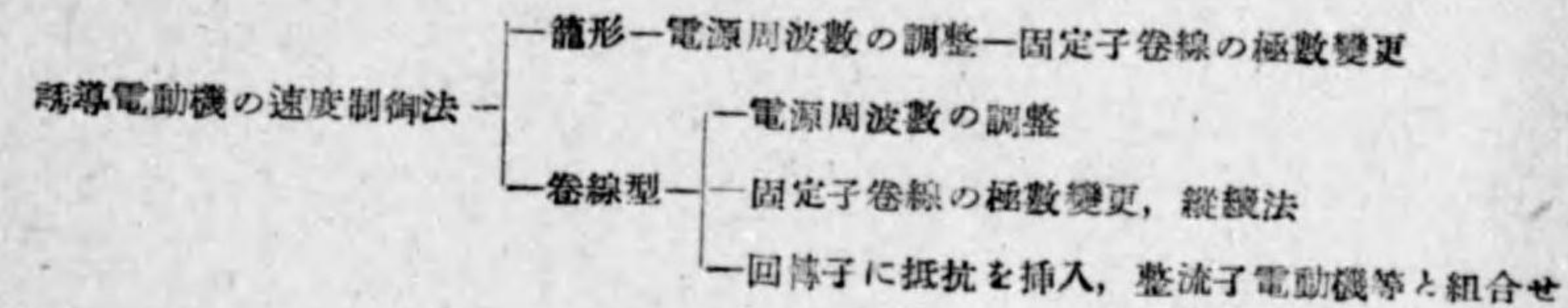
従つて、回轉数は減少する。本方法は起動抵抗器の大きいものを用ふる(起動時のみであると、時間が短いから容量は小さくてよいが、速度の制御に用ふる場合は

時間が長く温度上昇が大となるから、容量を大きくせねばならぬ) 本方法は回轉子銅損が大きくなるのだから能率を悪くする。然し、方法が至つて輕便であるから一般に用ひられてゐる。

14.3.5 特殊制御法 誘導電動機の回轉子に整流子電動機を結んで、誘導電動機の回轉子に與へる電壓を調整して、速度を制御する事がある。装置は複雑となるが速度制御は割合に圓滑に行ふ事が出来る。

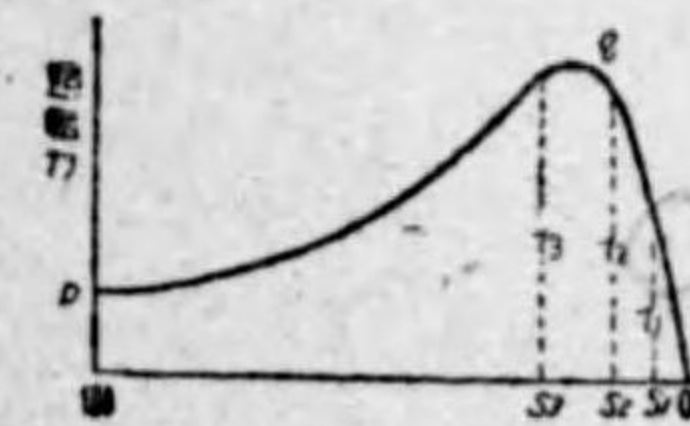
或は又、誘導電動機の固定子を外部から回轉させて速度を制御したり、整流子型周波數變換機と組合す方法がある。何れも根本は S を調整することになる。

註：以上の速度制御法を一括すると



14.4 運轉

14.4.1 安定運轉 今、誘導電動機がトルク τ₁ を要する負荷を擔ひ、S₁ なる滑りで運轉中、負荷が増し、所要トルクが大になると滑りは増加する、(回轉数が減少する) 此の所要トルクが τ₂ であると、滑り S₂ に於て、安定なる運轉を繼續する。然るに、負荷の所要トルクが最大トルク q より大になると、滑りは一層減少する然もトルクも同時に減少するから、遂に qP を辿つて停止する。



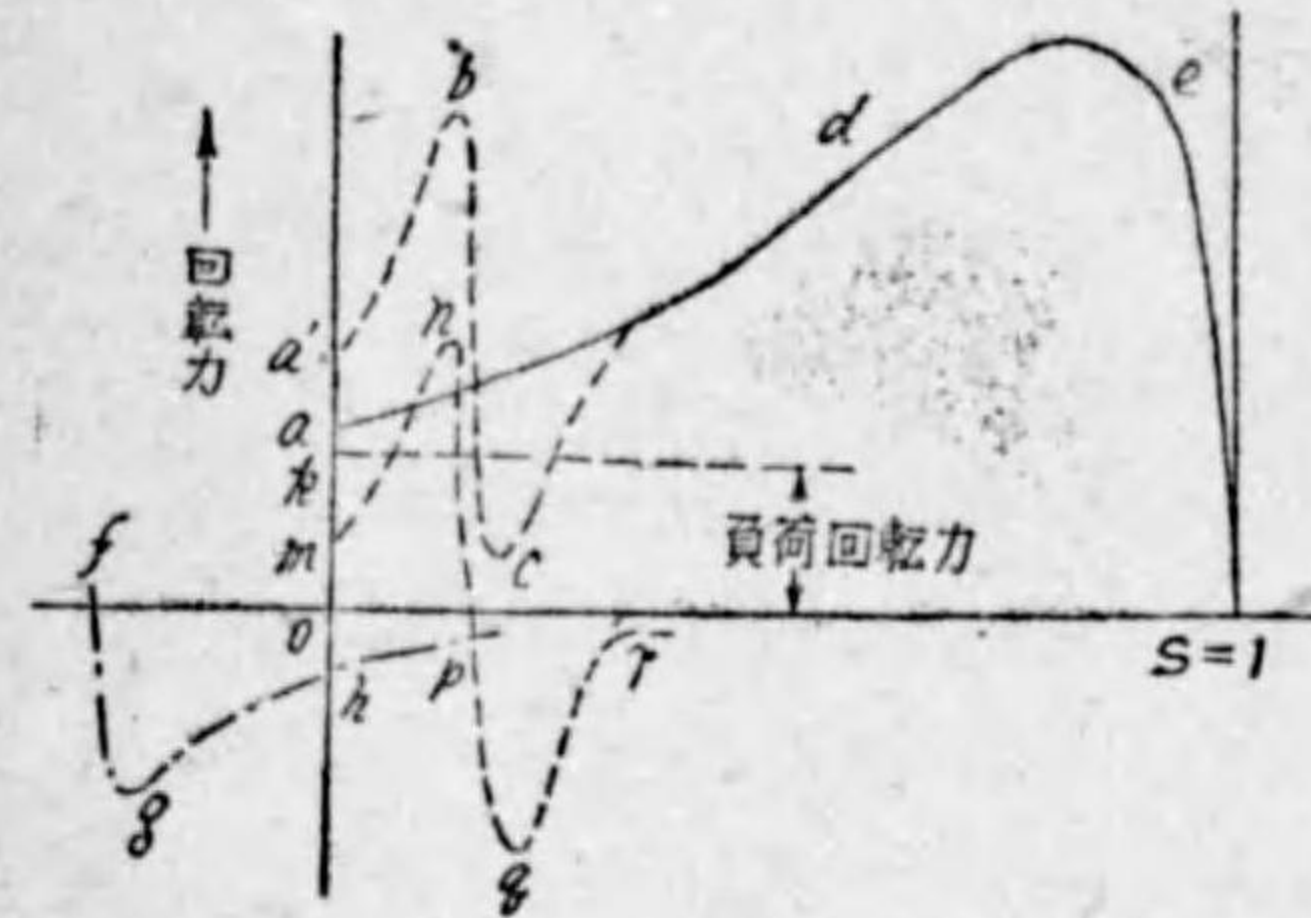
又、何かの原因で誘導電動機が S₃ なる滑り、トルク τ₃ で運轉して居つたとする。此の時、負荷が増すと、回轉子は一時的に減速(滑りが増大)する。滑りが増大するとトルクは減じ、益々滑りを増大して停止するに至る。

上述より誘導電動機が安定なる運轉を行ふのは qO なるトルク曲線の部分に於てであることが分る。

普通 qO 間で q の 1/3~1/4 位の τ の点で全負荷(5 馬力の電動機なら 5 馬力の負荷)となる様に設計される。此の時の滑りは數%である。従つて、最大ト

トルクを生ずる滑りは 15~20% である。

14.4.2 起動時の異常現象 誘導電動機のトルク曲線は、実際には回轉磁界



の磁束分布が正弦波でないため (高調波の磁束分布を含む)、圖の ad 曲線のやうにならずに $a'bc$ 曲線のやうになる。故に起動トルクが圖示のやうであると極めて低速度で運轉し、これ以上に速度が上昇しない。

註: この現象を、次同期運轉 (クロッキング) と云ふ。

14.4.3 ゲルゲス現象 多相誘導電動機で、2 次側が単相になると、起動が困難になり、或は、起動しても同期速度の $\frac{1}{2}$ 附近で運轉するやうな現象を生ずる。これをゲルゲス現象と云ふ。

註: この現象は、巻線型電動機に起り易い。例へば、3 相誘導電動機で集電環の 1 箇が損傷し、或は、回轉子巻線の 1 相が断線した場合等に起る。

14.4.4 逆轉 誘導電動機の回轉方向を反對とするには、回轉磁界の方向を反對とすればよく、固定子巻線の任意の 2 相をふり換へて、電源に接続する。

註: これは、同期電動機、回轉變流機等でも同様である。

14.4.5 制動 電動機を電源より切離して、速かに停止させるには、この制動法を行ふ。

① 摩擦制動; 主軸に取付けた車輪に、制動靴等を押つけて、その間の摩擦を利用する。

② ブラツギング; 電動機を電源より切離し、その 2 線を入れ換へて再び電源につなぐと、反對方向のトルクを生じて急に停止する。

註: 本方法では、過大電流が流入して、温度が上昇するため、回轉子回路に抵抗を挿入して、過大電流を防ぐ。

③ 發電制動; 固定子巻線を電源より切離して、これに直流を通ずると、回轉子に起電力を發生する。この發生電力を、回轉子に挿入した外部抵抗で消費し、

制動を行ふ。

14.4.6 力率改善 一般に力率が悪いと種々の支障を來すので、なるべく力率を改善するやうに苦心されてゐる。誘導電動機の力率を改善する方法としては回轉子回路から別の整流子機で勵磁電流を送つてやる。元來、誘導電動機の力率の悪いのは電壓より 90° 遅れた此の固定子勵磁電流が大きい爲めであつて、之を 2 次から供給すれば、固定子の勵磁電流は減じて、自から力率が良くなる。之を極端にして固定子に進電流を流すやうにしたのが非同期進相機である。

或は誘導電動機と靜電蓄電器を並列とし、誘導電動機の遅電流を蓄電器の進電流で中和させて力率の改善を計る。今日、此の方法が奨励され、容量電動機にも廣く採用されてゐる。

或は又、誘導電動機として起動して、運轉に入ると回轉子に直流勵磁電流を送つて、同期電動機とする誘導同期電動機がある。これは運轉時には、同期電動機となるのであるから力率は良好である。

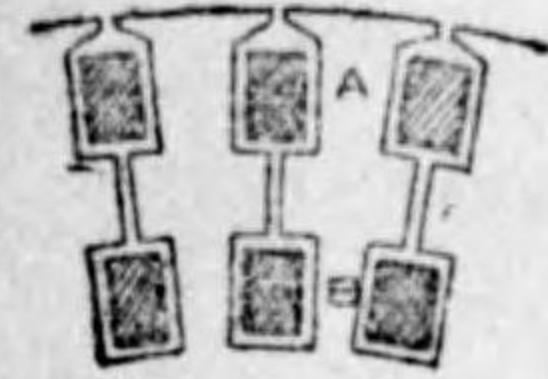
14.5 特殊誘導電動機

14.5.1 直入電動機一般 普通の籠形電動機は 3kW 程度以下のものに限つて、電源の全電壓を加へて、直接起動を行ふが、少しく出力が大きくなると起動電流が大きい。例へば、出力 3kW のものでは、起動電流を全負荷電流の 6 倍として $12 \times 6 = 72A$ であるが、15kW のものでは $58 \times 6 = 350A$ と云ふ莫大なものになる。之は電源に悪影響を與ふるは勿論、電動機巻線の加熱は、電流の 2 乗に比例するから、全負荷の場合の 36 倍にもなる。

註: 起動の際の力率は悪いから電源の電壓を一層降下する。殊に電源變壓器のリアクタンスが大きいと著しい。

従つて、容量の大きいものを直入とするには、特殊の構造とせねばならない。之れを設計上から分つと、高抵抗型と高リアクタンス型 (二重籠形、深溝型) となる。高抵抗型は、固定子巻線の巻線数を増したものである。前述のやうに、起動電流は固定子巻線回数の平方に反比例するから、巻線数を 4 倍にすると、起動電流は半分になる。然して、起動トルクは之れが爲めに減少するので、回轉子導体を高抵抗としてゐる。高リアクタンス型に就ては項を改めて述べる。

14.5.2 二重籠形電動機 其の目的とする處は起動特性の改善（起動電流が小、起動トルクが大）にあつて、回轉子の抵抗が電氣的自働的に變化するやうにされてゐる。即ち、巻線型の回轉子に抵抗を挿入して起動するのと同様の性質を有する。其の構造は、次圖のやうに回轉子溝が2段 A、B となつて居り、兩者



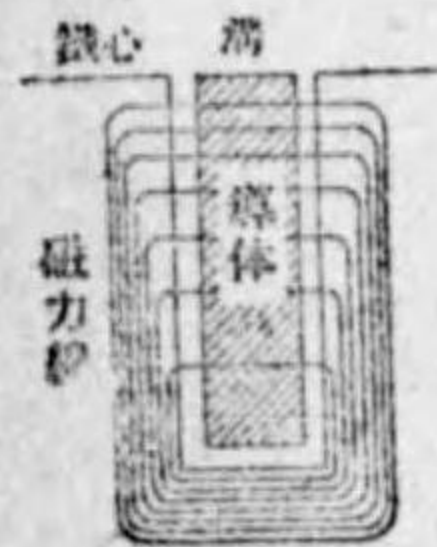
の間に適當な空隙を有するものも有しないものもある。此の A 導体は抵抗の高いもので、B 導体は普通の籠形と同様である。起動の際には、回轉子導体の周波數 $f_2 = S f_1$ は $S=1$ で $f_2 = f_1$ 即ち 1 次周波數と同一で高いから、インダクタンスの大きい B 導体（B 導体の作る磁束は、殆んど總てが鐵心を通るから、生ずる磁束も大で、インダクタンスは大きい）のリアクタンス ($2\pi f L_2$) は大きい、A 導体はリアクタンスが小であるから（A 導体の作る磁束は、鐵心と空隙を通るので、生ずる磁束も小で、インダクタンスは小である）大部分の電流は高抵抗の A 導体を流れ、起動電流が小で起動トルクが大である。

速度が上昇すると、 S は小となり、 f_2 は低くなるから B 導体のリアクタンスが小となり、今度は、電流の大部分が B 導体に流れ、普通の籠形となつて運轉を繼續する。

注：運轉中は A 導体に 10~20% の電流しか流れない。

尚、回定子の抵抗が常に大きいと、起動特性は良いが、運轉時の銅損が大きく、能率が低下する。又、速度變動率が大きくなる。

14.5.3 深溝電動機 籠形回轉子の導体を圖のやうに扁平にする。即ち、二重籠形の A、B を共にしたやうな形である。この導体に電流が流れると、圖のやうな磁束を生じ、導体の深部程磁束數が多いので、そのリアクタンスが大きい。故に、起動時、電流はリアクタンスの大きい深部には餘り流れず、表面に流れ導体の有効斷面積が減少して、その抵抗が増したやうに働く然し、速度が高まると共に、電流は次第に深部まで流れて、導体の抵抗が小さくなる。本型は、回轉子導体の放熱がよく、起動、停止を屢



導体の抵抗が小さくなる。本型は、回轉子導体の放熱がよく、起動、停止を屢

★行ふ場合に適する。

注：以上の特殊籠形電動機は、起動電流が小さいので、約 1000kW 級まで直入電動機とされる。この場合の起動電流は、全負荷電流の大体、4~6 倍である。夫れ以上のものには Y-Δ 切換又は起動補償器を用ふる。

14.5.4 Z 規格（暫定規格）電動機 Z 規格は、電氣機器の資材を節約するため許容温度を舊規格より 10~15°C 高めたものである。斯様にすると、電流や磁束密度が大きく採られ、資材が少い。但し、能率、力率等は低下する。

誘導機の温度上昇 (Z 規格)

機 械 の 部 分	外被の種類	温 度 上 昇 限 度 (°C)		
		O 種絶縁	A 種絶縁	B 種絶縁
巻 線	全閉型以外	45	60	75
	全閉型	50	65	80
集電環、整流子		55	70	90
軸 受		45 (外部より測定)		

注：Z 規格電動機は、舊規格品に對し能率が 1.5~3%、力率が 3~4% 夫々低下し、滑りが 0.5~1% 増す。

14.5.5 アルミ籠形電動機 籠形回轉子の導体にアルミニウムを用いたもので、その鑄造法に次の 3 種がある。

① ダイキャスト法：700°C 位の熔融アルミニウムを、ダイキャスト機で回轉子溝、並に短絡環の鑄型に高壓力で押し込む。

注：本方法は、設備費が高いが大量生産に適し、最も廣く用ひられる。

② 遠心鑄造法：回轉子を高速度で回轉し、遠心力で熔融アルミニウムを押し込む。

③ 流込法：注湯に壓力を加へず、唯、熔融アルミニウムを上部から注ぎ込む

注：本方法は、設備が最も簡單であるが、湯の廻りが悪く、工作に熟練を要する。主に大型機に用ひられる。

アルミ籠形電動機と銅籠形電動機の比較

アルミ籠形の特長	銅籠形の特長
① 能率はやゝ劣るが、トルクが大きい。	① 無負荷電流が小さい、力率が僅か高い。
② 軽量で移動用、走行起重機用等に適する。	② 熱伝導度、並に比熱が大きく、冷却効果が良いので小型になる。
③ 重要資材である銅材の使用量が少い。	③ 銅はアルミより腐蝕が少い。

注：アルミニウムは籠形回転子にだけ用ひられ、固定子や巻線型回転子には用ひられていない。これは、導体が太くなつて鉄量が増すこと、アルミ線の接続が面倒なためである。

14.6 試験

14.6.1 絶縁抵抗及び絶縁耐力試験 普通、メガで巻線の対地絶縁抵抗を測りその値が良好であると、規定の試験電圧を加へる。

14.6.2 無負荷試験 電動機に定格周波数の定格電圧を加へて無負荷運転し流入電流、並に電力を測る。但し、巻線型の回転子は短絡して置く。

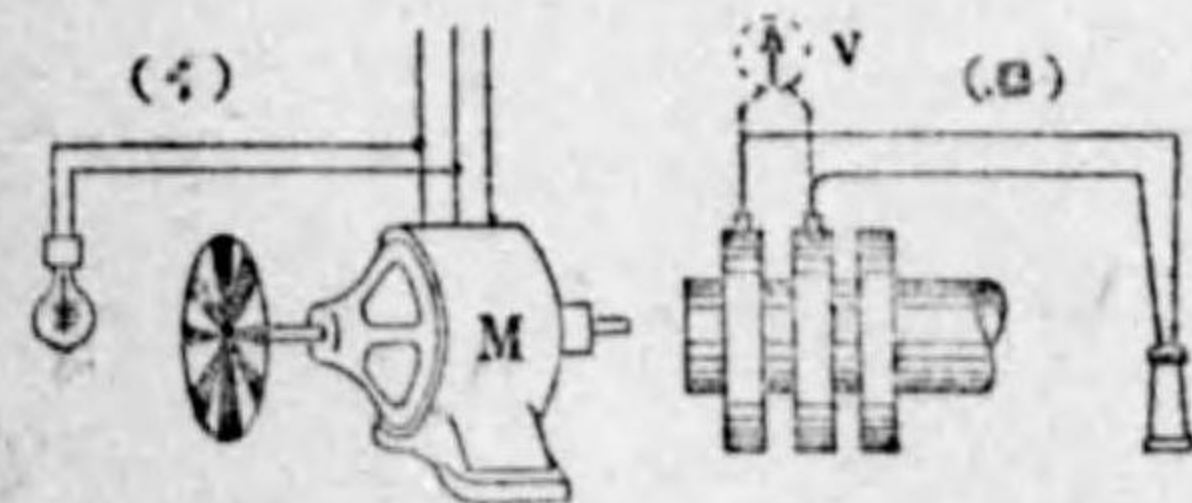
注：この場合、風損、軸受の摩擦損等は極めて小さく、然も、電動機には空隙があるので、電力、及び電流は、殆んど、鐵損、及び勵磁電流と考へられる。

14.6.3 拘束試験 回転子を固定して、固定子に定格電流が流入するやうな電圧を加へ、この電圧、及び電力を測る。

注：本試験は、變壓器の短絡試験に相當し、電圧は、インピーダンス電圧降下に當る。又、電圧が低いので鐵損は小さく、電力は殆んど銅損と見られる。

14.6.4 制動試験 小型電動機で、實際に負荷をかけた時の電力、電流並に電動機のトルク等を試験するために行ふ。

注：本試験の1種にブレーキ制動法がある。これは2枚の木片間に調車を挟み、その1端を梁秤で吊す。電動機が回轉すると、調車と木片間の摩擦力で秤りが偏れ、電動機のトルクが分る。



14.6.5 滑りの測定 ① 左圖は、軸の1端に扇形圓板をつけ、これを電動機と同一電源で点燈したネ

オン燈で照すと、扇形は滑りに等しい速度で、軸と反対方向に回轉するやうに見える。即ち、

$$\text{扇形毎分の回轉數 } n = SN_s \quad \therefore \text{滑り } S = \frac{n}{N_s} = \frac{Pn}{120f}$$

注：但し、黒の扇形數を電動機の極數に等しくする(圖は、4極の場合である)

② 右圖は、巻線型の場合で、集電環の間に受話器、又は零中心目盛の直流ミリボルト計をつなぐ。回轉子の周波數は $f_2 = Sf$ であり、1 サイクルは正と負の半波よりなるから、1 分間に受話器の發する音、又は電壓計が左右に偏れる回數を読み、これを2で除すると、2次周波數 f_2 が分る。故に、滑りは $S = f_2/f$ より求められる。

注：集電環は運轉中、短絡されてゐるが、僅か乍ら接觸抵抗があるので、受話器又はミリボルト計に電流が流れる。

14.6.6 溫度試験 電動機を全負荷で連続運轉し、各部の最終溫度上昇を測る。その負荷方法として、茲では返還負荷法を述べやう。

返還負荷法は、2箇の同一電動機を並列に運轉し、甲機の調車を乙機より大きくし、兩軸をベルトで連結する。この時、甲機が全負荷速度で運轉すると乙機は同期速度以上になり、乙機が誘導發電機となつて甲機に電力を供給し、甲機が乙機の原動機になる。故に、電源からは兩機の損失電力が流入するだけで、兩機を全負荷運轉できる。

注：返還負荷法によらない時は、電動機に發電機を直結して、その發生電力を水抵抗器等に消費し、電動機に負荷をかける。

14.7 補遺

14.7.1 誘導電動機の得失

特長	欠点
① 整流子が無く、構造が簡單堅牢で廉價である。	① 勵磁電流が大きく力率が悪い。(空隙を小にせねばならない)
② 取扱が簡便である。	② 速度の制御が困難である。
③ 直流勵磁の必要がなく、勵磁機を要しない。	③ 回轉部の空隙小さく、取扱に注意を要する。
④ 3相電源は容易に得られる。	④ 籠形電動機は起動トルクが小さく、起動電流が大きい。

14.7.2 籠形電動機と巻線型電動機の比較

籠形の特長	巻線型の特長
① 構造が簡単で安価な上、取扱が便利。	① 回轉子に抵抗を挿入して、起動電流を小に、起動トルクを大にできる
② 能率、力率が良く、回轉子の許容温度が高いので、過負荷耐量大きい。	② 同様の方法で、速度が滑かに變へられる
③ 火花を發せず、耐爆型に適する。	

註：籠形電動機は、種々の優れた特長を持つてゐるので、小型電動機には、殆んど籠形電動機が用ひられてゐる。

14.7.3 誘導電動機と直流分巻電動機の比較 [類似した点] ① 兩機共に、負荷が變化した時の速度の變化が少い。

② 界磁束が負荷の大小に拘らず殆んど一定である。

③ 起動電流を制限するためには、何れも起動器を要する。

[相違した点] ① 電源が違ふ。前者は交流であるが、後者は直流である。

② 後者には整流子があるが、籠形電動機には整流子、及び回轉子に巻線がない。

③ 速度を變へるには、前者は回轉子に抵抗を挿入し、後者は界磁束を變へる

14.7.4 誘導電動機の電壓及び周波數特性

① 電壓が一定で周波數が低下した時

項目	特性の變化
回轉數	同期速度が周波數に比例して減少し、回轉數が低下する。故に、風損軸受及び刷子の摩擦損等が少くなる。
磁束、鐵損	磁束は周波數に逆比例して増す。又、ヒステリシス損は周波數の0.6乗に逆比例して増加する。
力率	磁束の増加により勵磁電流が増し、力率が低下する。
能率	鐵損と力率低下により銅損が増加するので、能率が下る。
出力	損失の増加と、回轉數の減少により出力が低下する。

註：周波數が上昇した時は、上記の反対である。

② 周波數が一定で電壓が低下した時

項目	特性の變化
磁束、鐵損	磁束は電壓に比例して減少し、ヒステリシス損及び渦流損が減ずる。
力率	磁束が減少するので勵磁電流が小さくなり、力率が向上する。
能率	鐵損は減少するが、出力を一定とすると、電流が電壓に反比例して増し、銅損が増加する。能率は一般に低下する。
トルク	固定子巻線の電壓の略2乗に比例して、減少する。
出力	一般に損失が増し、又、トルクが減少するので出力が小さくなる。

註：電壓が上昇した場合は、上記の反対である。以上より、電壓と周波數が比例して變化した時は、勵磁電流、鐵損等の變化が少い。

14.7.5 仕様書 誘導電動機を注文、又は照會する時、その仕様書に記載すべき事項は、

① 機械の名稱、及び型式（開放型、半閉型、全閉型、防塵型、耐水型、耐爆型等）

② 冷却方式（自然冷却式、自己通風型、全閉外被通風型、他力通風型等）

③ 定格の種類（連続定格、短時間定格）定格事項（出力、電壓、相數、周波數、極數等）

④ 回轉數、及び起動装置の種類、許容起動電流、起動トルク等。

⑤ 負荷の種類と特性、連結方法、据付場所、附属品、豫備品等。

註：温度上昇、能率、力率、滑り、無負荷電流等は、製品の規格を統一するために、なるべく電気工業委員會の定めた數値を採用する。

14.7.6 故障とその原因

故障状態	原因
起動トルク低下	配電線の電壓降下の過大、電源容量の不足、負荷の過大等。

起動状態の不良	電圧の不均衡 (1 相の断線) 空隙の不同 (軸受の摩滅) 回轉子巻線の断線, 集電環の不良, 起動器の故障.
回轉数の低下	回轉子の 1 相断線, 2 次抵抗の不均衡, 電圧の低下等.
温度の過昇	電圧の低下, 過負荷, 固定子巻線の短絡等.
集電環の摩滅	刷子の品質不良, 接觸不良による火花の發生等.

15. 特殊誘導機

15.1 誘導發電機

運轉中の誘導電動機を外部から力を加へて同期速度以上に廻すと, 回轉子導体は回轉磁界を超越して切るのので, 前と反対方向の電流が流れる. この電流によつて生ずる磁束も前と反対方向であるから, これを打消す爲に固定子巻線に流れる電流も反対になる. 即ち, 電動機と反対に, 發電機として外部に電流を供給するこれが誘導發電機である.

註: 誘導發電機は, 回轉子を單に同期速度以上に回轉するだけでよく, 運轉が簡單である. 然し, 並列に運轉中の他の電源より勵磁電流を取る必要があり單獨に發電が出来ない等のため餘り用ひられない.

15.2 誘導周波數變換機

巻線型誘導電動機の固定子巻線と回轉子巻線を夫々異つた周波數の電源につなぎ, その主軸を他の電動機で回轉する. この場合, 兩周波數の間には, 次の關係がある.

1 次周波數 $f_1 = S \times 2$ 次周波數 f_2 但し $S \dots f_1$ に對する滑り

故に, 主軸の回轉数を變へて, S を變化し, f_1 と f_2 の比が任意に變へられる

15.3 單相電動機

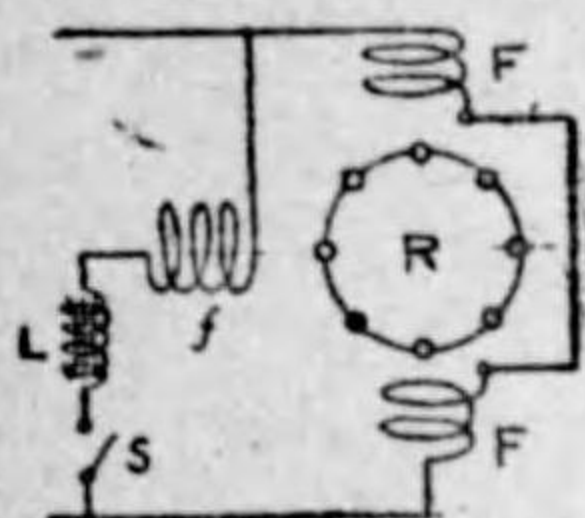
15.3.1 原理 三相誘導電動機の固定子に單相交流を加へると, その儘では

起動しないが, これを外部より何れか一方の方向に廻すと, その方向に起動し, 相當の負荷をかけることが出来る. これが單相電動機の原理である.

註: 本機の構造は, 籠形電動機と全く同様で, 唯, 固定子巻線を單相に捲いてある.

15.3.2 起動法 單相電動機は, 上記のやうに起動トルクが零であるから次の何れかの起動法を採用する.

① 分相起動法; 固定子に主巻線 F と, これより 90° 隔てた起動用巻線 f を設ける. F は太い導体で, その電流は電圧と略同相であるが, f は細い導体



これに高インダクタンス L を直列にしてあるので, その電流は電圧より $60 \sim 70^\circ$ 位遅れる. 故に, F と f で不完全な回轉磁界ができ, 起動トルクが発生する. 次に, 回轉子が同期速度近くになると, 遠心力開閉器 S が開いて, 單相電動機として運轉する.

註: 蓄電器電動機は, 上記の高インダクタンスの代りに静電蓄電器を用ひて, 回轉磁界を作る. 運轉中も蓄電器を入れた儘にすると, 力率が改善され滑りが減少して, 効率, 出力が増す.

② 隈取線輪式; 固定子磁極の一端を分割し, これに太い銅環 (隈取線輪と云ふ) を嵌める. 斯様にすると, 銅環部分の磁束が他より遅れて, 空隙に沿ひ移動磁界が出来, 回轉子にトルクが発生する.

註: 本方法は, 簡單であるが運轉中に電力損失を生ずる欠点がある.

15.3.3 單相直巻電動機 直流直巻電動機に於て, 之れに單相交流を供給すると, 界磁の磁束と電機子電流とは半周波毎に, 同時にその方向を變ずるから常に一定方向のトルクを生じて, 負荷を擔つて回轉を続けることが出来る. 然し, 磁束が交番するから, 磁路には渦流及ヒステリシス損を生ずるので, 良質の薄鐵板を成層して用ふる. 尙, 直流機と異つて整流が困難で發熱が大となり起動トルクが小である. 故に一個の電機子巻線の巻数を小にする (1 個の線輪を 1 巻き) 極數を増す, 整流子片數を多くし, 磁束密度を小とする. 又, 補償巻線を用ひて整流作用を助け, 力率を良化する.

註: 交流整流子電動機は廣範圍に速度が調整され, 力率, 効率もよいが, 高價であり, 取扱ひが面倒である. その大体を分類すると次の如くである.

直巻特性—单相及多相直巻電動機, 反撥電動機

分巻特性—单相及多相分巻電動機, 補償誘導電動機

其の他にも種々がある。

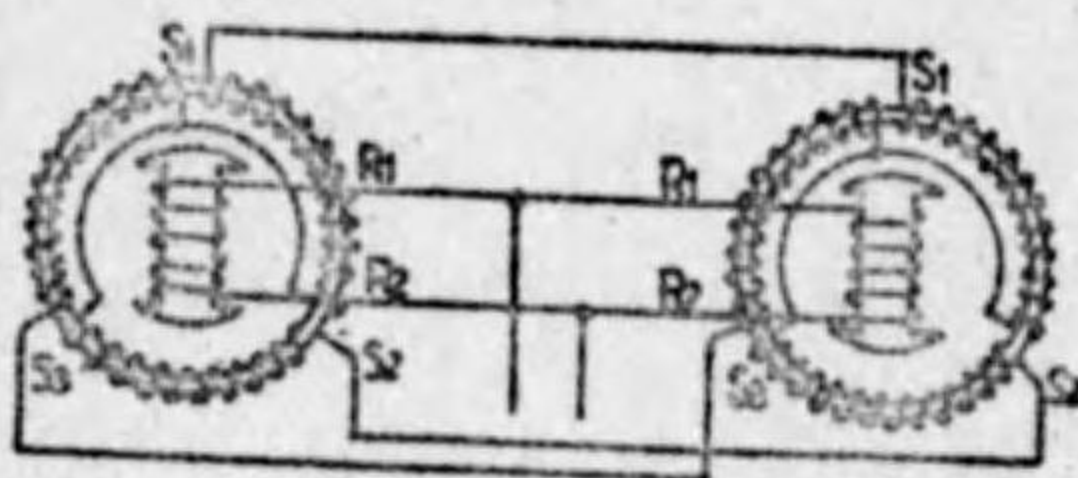
反撥電動機: 之れは直巻電動機に於て電機子を短絡して, 界磁に交流を流したものである。電機子には變壓器作用に依つて電流が流れ, 之れと前の界磁とが働いて, 一定方向に運轉を繼續し得る。又, 本電動機に於ては刷子の位置を調整して回轉方向を變ずる事が出来る。

多相整流子電動機: 多相直巻整流子電動機は, 多相巻線を有する誘導電動機と同じ固定子と, 或る極數を有する直流電機子(従つて整流子を有する)とが極數と相數に應ずる刷子を以て直列に(或は變壓器を通じて)接続されたものである。

此の固定子と回轉子が並列に電源に結れて居るものが分巻型である。刷子の移動で圓滑に廣範圍なる速度の調整を行ひ得る。

補償誘導電動機: 多相誘導電動機に回轉子に整流子を附して, 之より無効電壓を供給して誘導電動機の力率と, 刷子を移動して速度を制御するものである。

15.3.4 セルシン電機 構造は小型同期電動機と同様で, 固定子は3相巻線, 回轉子は凸出型2極である。これを2臺並列につなぎ, 回轉子回路に單相交流を加へる。今, 一方の回轉子を θ 角廻すと, 他方の回轉子もこれに追隨して, 同一角 θ だけ回轉するやうなトルクを發生する。



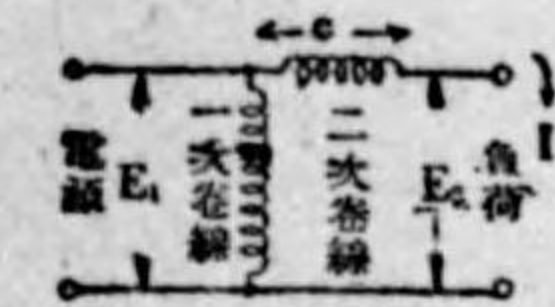
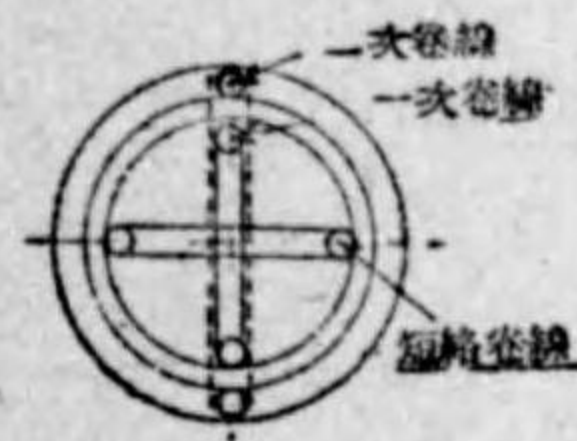
注: 本機は, 遠隔測定や遠方制御方式で, 一方の回轉子を測定量に比例して廻し, この回轉角を他方に再現して測定量を知る等に用ひられてゐる。

16. 誘導電壓調整器

16.1 單相用

16.1.1 構造 鐵心は誘導電動機と同様で, 回轉子に1次巻線(電源に並列に結ぶ)と短絡巻線を互に直角に捲き, 固定子に2次巻線(線路に直列にす

る)を捲く。又, 回轉子は齒車で左右に任意の角度だけ回轉できる。



16.1.2 原理 1次巻線によつて交番磁界 ϕ が生じ, これが2次巻線を貫通する。2次巻線の誘導電壓は巻線を通過する磁束に比例する。この貫通磁束數は, 圖の位置で最大 ϕ で, 回轉子をこれより θ 角廻すと $\phi \cos \theta$ になる。故に, 負荷側の合成電壓 E_2 は

$$E_2 = E_1 + e \cos \theta$$

但し E_1 …電源側電壓 e …2次巻線の最大誘起電壓

其の所要容量は I_2 を線路の定格負荷電流とすると,

$$P = eI \times 10^{-3} \text{ kVA となる。}$$

即ち, θ を變へて, $E_2 = E_1 + e$ ($\theta = 0^\circ$) より $E_2 = E_1 - e$ ($\theta = 180^\circ$)迄電壓が調整できる。

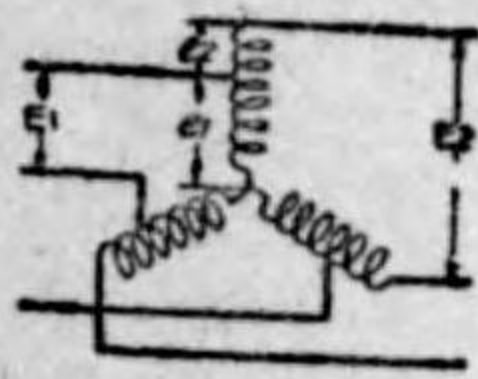
16.1.3 短絡巻線 この巻線がないと, $\theta = 90^\circ$ の時, 2次巻線の負荷電流によつて生ずる磁束 ϕ_2 は, 1次巻線の磁束 ϕ_1 を全く打消さないで, 2次巻線に大きい逆起電力が發生し, 負荷電壓が低下する。然し短絡巻線があると, これに短絡電流が流れて ϕ_2 を打消し, 2次巻線のリアクタンス降下を小さくする。

注: $\theta = 0^\circ$ の時は, 單巻變壓器と同様に ϕ_2 は ϕ_1 によつて打消される。

16.2 三相用

16.2.1 構造 構造は上記と同様で, 固定子に2次巻線 $Z_A Z_A', Z_B Z_B', Z_C Z_C'$ を, 回轉子に1次巻線 $Z_a Z_a', Z_b Z_b', Z_c Z_c'$ を夫々 120° 宛隔てに捲く。1次巻線は星形につないで, 電源に結び2次巻線は各線に直列にする。又, 回轉子はウオームギヤで回轉を阻止し, 手動, 或は電動機で左右に任意の角度だけ回轉できる。

注: 自動電壓調整器は, 電壓繼電器で操作用電動機を左右に廻し, 負荷電壓を一定に保つ。



16.2.2 原理 1次巻線によつて回轉磁界 ϕ を生じ、2次巻線に電壓 e_2 を誘起する。回轉子を廻しても e_2 の値は變らないが、 e_1 に対する e_2 の位相が變り、負荷端の電壓 E_2 を、圖のやうに E_n より E_m 迄任意に變へられる。所要容量は $P = \sqrt{3} e_2 I_2 \times 10^{-3} \text{kVA}$ である。

16.2.3 位相を變位しない電壓調整法 3相用は、上記のやうに E_1 と E_2 の間に相差ができる。これを避けるには、3箇の單相誘導電壓調整器を各1相に用ひ、その回轉子を同一軸で回轉する。或は、2箇の3相誘導電壓調整器の1次を並列に、2次を直列にして、その回轉子を反對方向に同一の角度 θ だけ廻すころすると e_1 に対し、一方の e_2' は θ 角進み、他方の e_2'' は θ 角遅れて、 e_2' と e_2'' のベクトル和は、常に e_1 と同相になる。

16.2.4 單相用と3相用の相違

構造の異なる点	作用の異なる点
① 單相用は短絡巻線を有するが、3相用は有しない。	① 單相用は交番磁界を利用し、3相用は回轉磁界を利用する。
② 3相用は回轉を防ぐ装置を要するが、單相用は要しない。	② 單相用は2次電壓の値が變るが、3相用は大きさは一定で、その位相が變る。

註：誘導電壓調整器の用途は、配電線、試験用電源、電氣爐、水銀整流器等の電壓を調整するのに用ふる。3相用は變電所で給電線の電壓を調整するのに廣く用ひられてゐる。

17. 整流機器

17.1 種類

名稱	構造及原理	用途
回轉變流機	同期電動機と直流發電機の鐵心と巻線を共用する。	600~1500V 迄、餘り高い電壓には用ひない。
電動發電機	同期電動機に直流發電機を直結する。誘導電動機に直流發電機を直結する。	餘り用ひられない小容量に用ひる。
機械的整流機	絶縁板の1/4圓弧に金屬板を取付けた整流子を電動機で交流と同期的に回轉して、整流する。	集塵装置用等。

水銀整流器	陽極に鐵、陰極に水銀を用ひ、水銀弧光の整流作用を利用する。	最も廣く用ひられる。
真空管	真空管内に陽極と陰極を設け、陰極のみより熱電子を放出させて、これを陽極に吸引させる。	無線通信用。
電解整流器	電解液中に陽極と陰極を相對し、電極に生ずる皮膜の弁作用を利用する。	小型蓄電池充電用。
乾式整流器	導体と半導体の接觸面の整流作用を利用する。	一般の小型用。

17.2 水銀整流器

17.2.1 ガラス製水銀整流器 圖は單相全波整流用で、 A_1 A_2 は主陽極、



t は点弧極、 K は水銀陰極、 R は負荷抵抗である。起動するには、ガラス球を右に傾けて元に戻す。この際 t K 間の水銀が切れる瞬間に火花を發生して、水銀蒸氣と熱電子が生じ、 A K 間に主放電を誘發する。この放電は、陰極より放出した熱電子と水銀蒸氣によつて続けられるから、陽極が $+$ の時だけ熱電子がこれに吸着される。故に電流は陽極より陰極に向けてのみ流れ（電流の方向は電子と反對）反對方向には流れない。即ち、電弧は A_1 が正の半波の時は A_1 K 間、 A_2 が正の半波の時は、 A_2 K 間に夫々生じて、 R に全波整流電流が流れる。

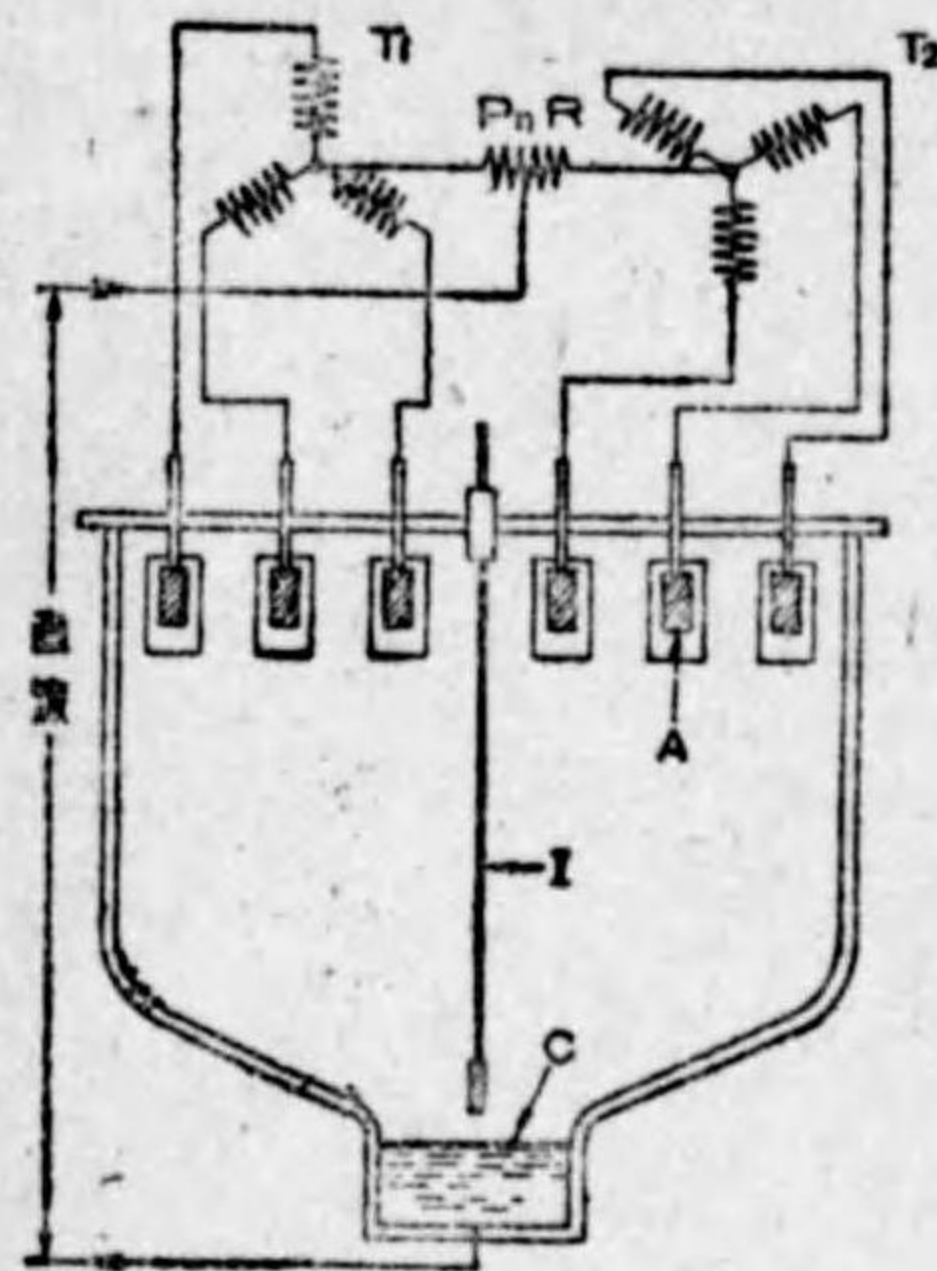
註：圖の L は高インダクタンスで、その逆起電力により電流の脈動を少くする。尙、水銀整流器内の全電壓降下は、20V 位である。

17.2.2 鐵製水銀整流器 六相水銀整流器に就て説明しやう。圖は鐵槽内に鐵或は黒鉛の陽極 A 、水銀陰極 C 、点弧陽極 I が納められてゐる。主陽極 A は6相だから6本あり、下方の開いた絶縁筒内に入れられてゐる。

註：3相であると、勿論、主陽極は3本である。一般に6相が用ひられる。尙、 P 、 R は整流電流の波形を平滑とする爲めに用ふる。

之を變壓器の2次脚 E_1 及 E_2 に結ぶと、圖より明らかに6本の陽極には6

相が加はる。兩變壓器 2 次側は相間リアクトル $P_n R$ で結ばれ、其の中心から



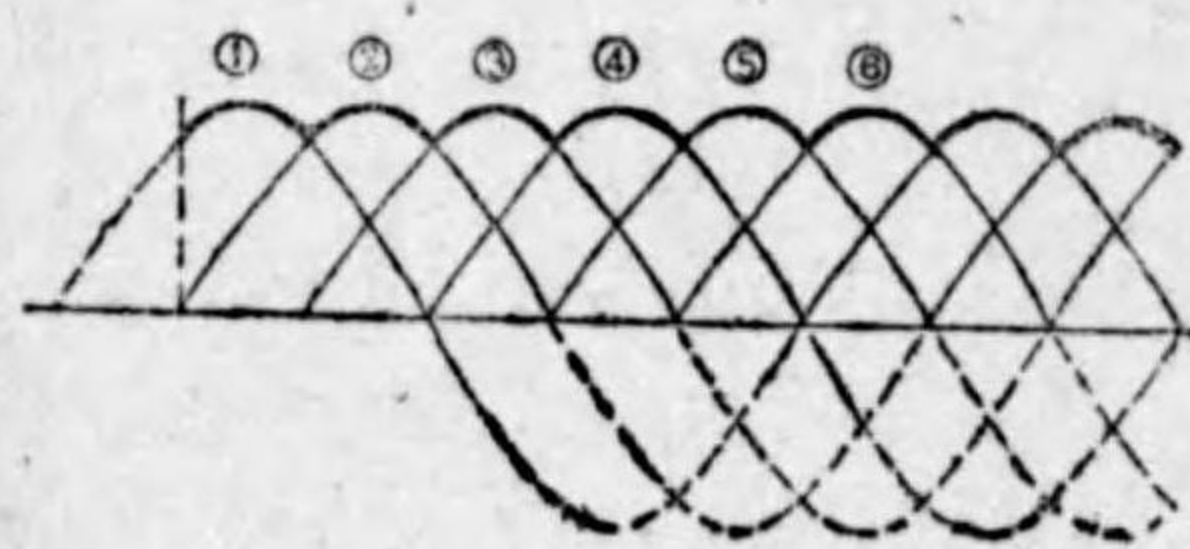
直流の 1 極が出てゐる。他の直流の 1 極は下方水銀陰極が夫れである。今、真空ポンプに依つて十分に管内の真空を高め点弧極 I と C 間に電壓を加へて電流を流し、I を引き上げると、I C 間の接觸は急に絶たれて、其の間に火花を生ずる。此の電弧の熱に依つて C より多量の水銀蒸氣を生ずる。斯くて所謂起動が終る。次に A が水銀に對して正電位となつた時には、イオン化された水銀蒸氣内の負電子が陽極 A に中和し、此の結果、水銀蒸氣中の負電子が不足となり、全休として正電子の引力が強くなるから、電子の飛出

し易い水銀から負電子が飛出して之を補充する。

註：ガス体が正と負の電荷に分れることを此處でイオン化と云ふ。

水銀の用ひられたのは、此の電子が飛び出し易い性質を有する、其の他に比熱が小さく沸騰点の低いこと、液体だから蒸氣から凝結すると自然と陰極に復歸する、等に依る。

之を外部から觀察すると、負電子が C から A に流れるので、電流は A から C に流れるやうに看取される。次に A の 1 が負電位になると A C 間には



電流は通じなくなるが(何故なら鐵や黒鉛である陽極からは負電子を放射し難いので) 次の正波の部分になる A の 2 と C の間に弧光が生じ、2 より C に向つて電流が流れる。然して此の整流作用をする電弧電流は常に

電位の最も高い 1 つの陽極から陰極に流れるのであつて、1 つ以上の電弧は生じない。従つて此の 6 相整流器に依つて整流せられる電流は上圖の如く 6 相交流の正波の頭の部分を結んだ太線のやうになる。上圖からも明かに、相數を増す程、得られる直流電壓は脈動の少い平滑なものとなる。

若し此の 6 相水銀整流器の運轉中、槽内の様子を覗ふなら、水銀弧光は陰極面の局部に白熱部分を生じ、之を足として、6 本の陽極に次ぎ次ぎと走り廻る 1 つの回轉弧光として見受けることが出来やう。

註：之を陰極点と云ひ、其の電流密度は約 4000 A/cm^2 である。

17.2.3 格子電極 水銀整流器の陽極前面の弧光通路に設けた格子状の電極を、格子電極と云ふ。これに大きい負電位を與へると、陽極が正電位でも、陰極よりの電子を追返して点弧しない。次に、格子の負電位を減少すると、陽極の正電位による電子の吸引力が勝つた瞬時に点弧する。このやうに、格子の負電位を加減して、点弧の瞬時を任意に制御し、直流側の平均電壓を變へることが出来る。

17.2.4 逆弧 水銀整流器は、常時陽極より陰極に向つてのみ電流が流れるが、この整流作用が失はれて、陰極より陽極、或は、陽極相互間に弧光を生じた時、これを逆弧と云ふ。

註：逆弧を起すと、變壓器、及び直流電源が短絡されたことになり、過大電流が流れて陽極や機器を損傷する。故に、此の際は、交流と直流の兩側を高速度遮斷する。

17.2.5 化成 鐵製水銀整流器を製作、又は分解組立した時、器壁の溫度を高めて、その吸藏ガスを除く作業を化成と云ふ。

註：化成には、次の種類がある。① 温水化成：整流器を温水で暖めて器壁等の吸藏ガスを放出させ、これを真空ポンプで排氣する。

② 單極化成：陽極の 1~2 極宛に電弧を發生させ、その電弧熱で鐵槽を暖める。初めは真空度が急に下つて電弧が消へることが多いから、この時は、一時回路を開いて真空度を高める。

③ 低壓化成：整流器を低電壓で運轉し、その溫度を高める。

17.2.6 直流電壓の調整法 ① 格子制御：格子に加へる負電壓を變へて、点弧の時期を變化させ、直流側の平均電壓を調整する。

註：本方法は、僅かの電力で廣範圍に電壓を變へられるため、最近、大容量のものに廣く用ひられてゐる。

② 交流電壓調整法：誘導電壓調整器、負荷時調整變壓器等で交流側の電壓を變へる。

註：水銀整流器は、交流電壓と直流電壓の間に一定の關係があるので、交流電壓を變へ

ると直流電壓も變る。

③ 直流電壓調整法; 小型の場合は、直流側に可變抵抗を挿入する。

註: 本方法は、簡單であるが電力損失が大きい。

17.2.7 水銀整流器と回轉變流機の比較 一体、機械を設計するに當つて心懸くべき諸点は、簡單で能率が良く信頼度が高くても然も經濟的な事で、如何に原理が優秀であつても此の点に欠けるなら實用化は困難であり、例へ實用せられて居つても衰微するに至らう。

水銀整流器は構造は簡單であり、然も靜止機械であるから騒音を發する心配もなく、(真空ポンプの音があるが之は間歇的に使用するのであり音も小さいから問題でない、然し再冷式で空氣冷却を行ふ時は送風機の音が相當高い、然し變流機に比しては問題でない) 都市の電鐵用變電所に好都合である。

能率は回轉變流機が鐵損、銅損、勵磁損失、風損、摩擦損失とあるのに反して、水銀整流器は弧光電壓降下其の他排氣装置に僅少の電力を要するのみである。今其の1例として1500V, 2000kWのものに就て比較すると、

(イ) 變壓器其の他を考へない場合の能率

負荷	1/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
回轉變流機	89.10	93.79	95.23	95.88	96.10	96.22
水銀整流器	97.75	98.19	98.32	98.34	98.32	98.28

(ロ) 變壓器其の他を考へた場合の能率

負荷	1/4	3/4	3/4	3/4	3/4	3/4
回轉變流機	87.40	92.50	94.00	91.60	91.70	94.64
水銀整流器	95.24	96.51	96.77	96.74	96.60	96.38

以上に依つても明かなやうに、水銀整流器にあつては特に輕負荷時に於て能率が良好である。次に價格の点であるが、之は靜止器であるから同一容量の變壓器が誘導電動機よりも安いやうに2割~3割安いやうである。又、重量が輕いので特別の基礎工事も不要であり、所要床面積及部屋の大さが少なくて済む。尙融通性があつて1500V用のものは1200V, 1000V, 500Vと何れにも使用され得る起動、運轉、保守、点檢も割合と簡單である。

然し、いとこすくめでなく、回轉變流機に對して劣つてゐる点もある。夫れは

連続過負荷耐量が小である。(瞬時過負荷耐量は大である) 従つて、少しの尖頭負荷に對しても水銀整流器は回轉變流機よりも容量の大きいものを撰定せねばならない。又、力率は變流機では界磁の調整で如何様にもなつたが、(進みでも遅れでも)處が整流器では約遅れの96%位で一定である。使用の初めに當つて、或は故障で槽を明けた場合には一々化成と云ふ運轉操作をせねばならない。尙、冷却水を要すること、直流を交流にする可逆性はあるが、容易に實用されないから回生制動を行ふ電鐵用には適さないのも欠点である。

然し、重要資材である銅、鐵の所要量が比較にならぬ程、少いので、今日、水銀整流器全盛の觀がある。以上の要点を表示すると、次のやうになる。

水銀整流器の特長	回轉變流機の特長
① 構造が簡單で、資材が少く、安價である。又大容量の時は能率が高い。	① 界磁を調整して、交流側の力率が任意に變へられる。
② 騒音が少く、基礎工事が容易である。	② 電力回生(直流を交流に變へる)を簡單に行へる。
③ 起動、運轉、保守が容易である。	③ 連続過負荷耐量大きい。
④ 輕負荷及過負荷時の能率が高い。	

註: 水銀整流器の内部電壓降下は、大体20~25Vで、負荷電流や電壓等によつて餘り變らない。故に定格電壓が低いと、能率は整流器より却つて回轉變流機の方が優れてゐる

17.2.8 イグニトロン (イグナイトロン) 單陽極水銀放電管とも云はれ、

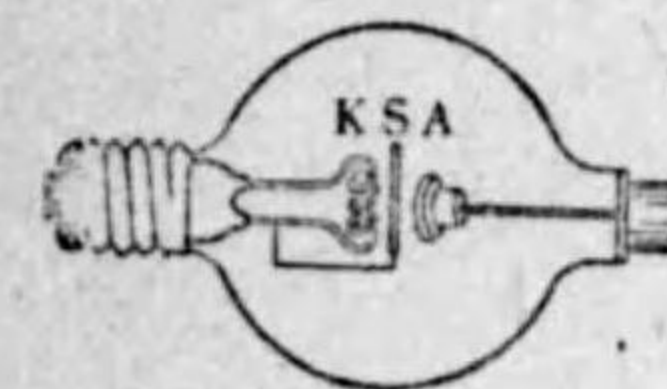
真空管内に陽極、水銀陰極、及び点弧極を設ける。陽極と陰極間に主放電を誘發させるには、毎回点弧極と陰極間に電壓を加へ、その間に微小火花を發生させて行ふ。

註: 即ち、点弧極によつて主放電の時期を任意に制御することが出来るので、瞬時大電流を通ずる抵抗溶接等に用ひられる



17.3 熱陰極ガス入整流管

17.3.1 タンガー整流器 圖のKはタングステン織條の陰極、Aは黒鉛の陽極、Sは遮蔽板で管内にはアルゴンを封入する。織條を点火し、K A間に交流電壓を加へるとKより放出した熱電子は

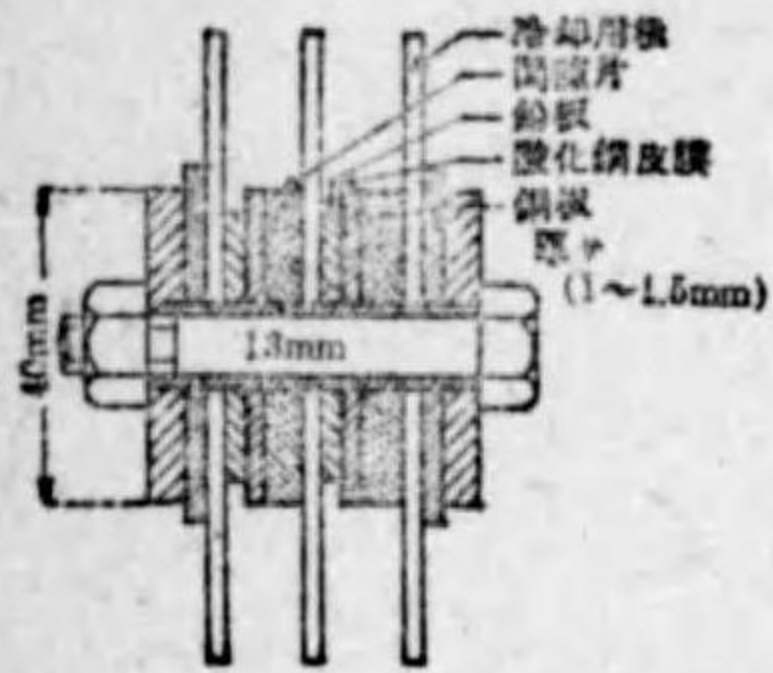


A が正の瞬時にのみこれに吸着されて、電流は A K の方向に流れ、反対方向には流れない。

註：本器は、電信電話用、信號用等の小型蓄電池の充電用に用ひられる。

17.4 乾式整流器

17.4.1 酸化銅整流器 銅板を約 1000°C に熱して 0.5~1 時間の後、約 600°C に冷却し、水中に入れて急冷する。すると銅板の表面に亜酸化銅の皮膜ができ、亜酸化銅より母銅には電流が流れるが、その反対方向には電流が流れないやうになる。亜酸化銅は抵抗が大きいので、これに鉛板を當て、使用電圧に応じて適當數だけ積み重ねる。又、各素子毎に冷却用の放熱板を挿入する。



註：本器の定格は、① 1 素子の耐逆電圧 4~7V

- ② 安全使用電流密度 0.05 A/cm²
- ③ 力率 100%
- ④ 壽命 半永久的 (但し、40°C 位以下で使用)
- ⑤ 能率 40~60% である。

17.4.2 セレン整流器 鐵板の片面にニッケル鍍金を行ひ、その上にセレン層を覆せて、更に低抵抗の合金を壓着する。これを電圧に応じて適當數だけ積重ねる。電流は、セレンより合金の方向にのみ流れる。

註：本器の定格は、① 1 素子の耐逆電圧 12V, ② 安全使用電流密度, 0.08A/cm²

- ③ 許容温度 70°C 以下である。

乾式整流器の特長は、① 小型で軽い。② 安価である。③ 壽命が長く、維持費が少い。④ 取扱が容易である。⑤ 静止器である。等である。

17.5 電解整流器

電解液中に浸された、或る種の金属は電流が、金属から液に流れる時は抵抗が大で、液から金属に流れる時は少い。此の点を極端に利用したのが本器である。例へば、磷酸アンモニヤ液中にアルミニウム板 (Al) と鉛板 (Pb) とを對立して置き、Al を陽極に Pb を陰板として直流電圧を加へると、瞬時、電流が流れるが急減して、暫くすると、電流は全く通じないやうになる。これは、Al の表面

に酸化膜を生ずるため、斯様な處理を化成と云ふ。此の化成された 2 つの電極を交流回路に結ぶと、Al が陰極となつた時だけ電流を通じ、交流の一定方向の半波のみが残る。

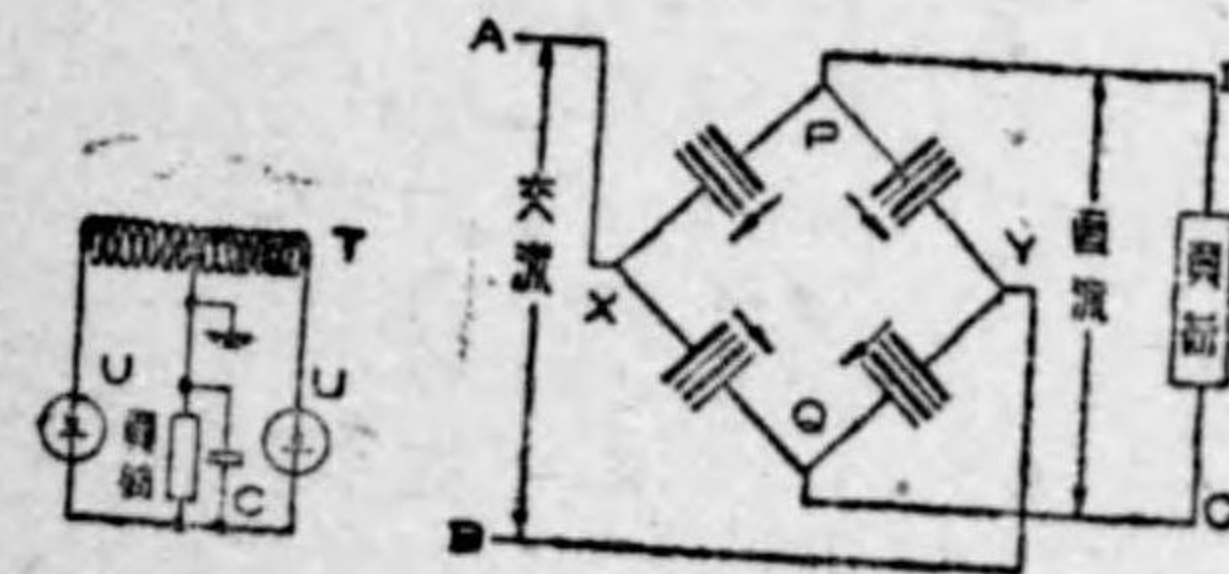
17.6 機械的整流器

従來は用ひられたが、現在は殆んど用ひられないものに、振動整流器がある。これは金属振動板に同期振動を與へて、交流電壓の方向及大きさが蓄電池を充電さすやうな期間だけ接觸子を閉するやにうされてゐる。勿論、小規模の電池の充電位にしか用ひられなかつた。故障も多いし、取扱いも面倒であり、能率も悪く、壽命も短い。又、此の接点に生ずる火花はラヂオに可成り強い雜音を與へる。

回轉變流機に於ては、刷子が静止して電機子が同期速度で回轉したのであるが之れと反対に電機子を静止して刷子を同期的に回轉させても、直流が得られるのであつて、本装置をトランスパータと云つてゐる。本機は相當古くから研究せられたが、實用とならない内に水銀整流器が大いに活用されて來たので、研究にも活氣を缺いて實用化されるに至らなかつた。

以上、種々なる整流装置を述べたが吾々が心得て置かねばならないのは、蓄電池充電用としては、酸化銅整流器、電動發電機、ガラス水銀整流器であつて、大規模の電鐵用、電氣化學用には回轉變流機、水銀整流器、特殊な試験用の高電壓直流を得るのにはケノトロン整流管が用ひられること等であらう。

17.7 整流器の接続回路



電流の通路は

A → X → Q → C → D → P → Y → B

B → Y → Q → C → D → P → X → A

負荷には常に C より D の方向に電流が流れる。

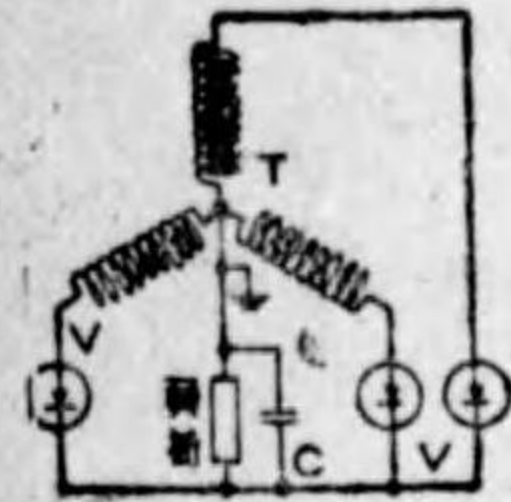
① 單相半波整流回路; 單相回路の 1 線に 1 組の整流器を挿入す。

註：最も簡單であるが、整流電壓の脈動が大きい。

② 單相全波整流回路; (左) は、整流器 U の箇數は 2 箇で少いので廣く用ひられるが、變

壓器 T の半分しか利用されない。又; 負荷電壓は電源電壓の 1/2 になる。

(右) のブリッジ接続は、接続が複雑で、整流器を 4 箇要するが、変圧器の利用率が良く、又、整流器に加はる逆耐電圧が小さい。



註: 圖の C は蓄電器で、負荷電圧の脈動を少なくする。この C の容量が大きい程、直流電圧が平滑になる。

③ 3 相半波整流回路: 3 相の各線に整流器 V を挿入し、その他端を一緒にして、これと電源の中性点間に負荷をつなぐ。

演習問題

單なる棒讀みでは、學修事項が体得されない。従つて、受験場で優秀な答案を書くことが出来ないし、實務に應用することは思ひもよらぬ。これでは全く徒勞である。左様なことのないやうに、諸君は以下の演習問題を十分に究め、悉くに、満足な解答を與へ得るやうに研讀せられたい。

1. 電氣機器一般

本項は第 2 章以下の全部を學修してから研究されたい。

- (1) 電氣機器に於ける定格出力の意義を述べ、且つそれを制限する主たる事項を挙げよ。
- (2) 電氣機器に於ける損失の一般を記せ。
- (3) 漂遊負荷損に就いて簡単に説明せよ。
- (4) 大容量電氣機器の能率を製造工場に於て定むる場合、之を如何にして算定するや。
- (5) 電氣機器に使用する絶縁材料の種類を挙げよ。
- (6) 容量 10kVA、一次定格電圧 3300 V、二次定格電圧 105 V なる三相變壓器あり。この變壓器に絶縁耐力試験を行ふ場合、試験電壓並に加壓時間を記せ。

2. 直流機

以下本項は第 2 章より第 5 章を學修の上、研究せられたい。

- (1) 電氣的中性軸と幾何學的中性軸の相違せる点を説明せよ。
- (2) 直流機に於て刷子を電氣的中性軸に置いた場合と、何れか一方に移動した場合とに於て電機子反作用は如何に變化するや。
- (3) 下記に就き簡単に説明せよ。
 - (イ) 整流 (ロ) リアクタンス電圧 (ハ) 整流曲線
- (4) 直流機に於て整流を良好とし、且つ閃絡を防止する方法に就き説明せよ。
- (5) 直流發電機及び電動機に於て補極を設ける場合その極性に就いて記せ。
- (6) 直流機に於ける補極の作用を説明せよ。
- (7) 直流機に於て補償巻線に就き説明し、之れが補極と作用の相違せる点を述べよ。
- (8) 直流機に於て受入試験を行ふ場合、その主たる項目を列挙せよ。
- (9) 直流發電機の負荷試験を行ふ場合、其の方法並に試験に際し注意すべき事項を述べよ。

- (10) 直流機の無負荷損を測定する方法を簡単に説明せよ。
 (11) 直流機の温度上昇試験を行ふ場合、之れを實際に負荷することなく行ふ方法の1種を挙げ、且つ説明せよ。

3. 直流發電機

- (1) 直流發電機の種類の主なるもの4種を挙げ、夫々に適する用途を示せ。
 (2) 蓄電池充電用の發電機として、和動複巻發電機の不適當なる理由を述べよ。
 (3) 電氣化學工業用の直流電源として低電壓の場合、一般に水銀整流器より直流發電機の方が適當なる理由を説明せよ。
 (4) 直流發電機に於て線巻に誘起する起電力は交番電壓であるに拘らず、發電機の端子より直流電壓の得らるゝ理由を説明せよ。
 (5) 直流發電機の1線巻に誘起する起電力は、電機子の回轉と共に其の値が變化するに拘らず、發電機の端子電壓は略一定値なる理由を説明せよ。
 (6) 直流機に於ける通風方式の種類3種を挙げ、之れを簡単に説明せよ。
 (7) 直流電動機の型式4種を挙げ、その構造の概略を記せ。
 (8) 直流機の均壓環に就き其の原理並に作用を説明せよ。
 (9) 下記に就き述べよ。
 (イ) 無負荷飽和曲線 (ロ) 内分巻(複巻發電機の)
 (10) 直流發電機に於ける内部特性曲線及び外部特性曲線に就き其の意義を説明せよ。
 (11) 他勵磁直流發電機に於ける無負荷飽和曲線の一例を簡単に圖示し、之れを説明せよ。
 (12) 他勵磁直流發電機に於て、無負荷飽和曲線より負荷飽和曲線を簡単に求める方法を説明せよ。
 (13) 直流分巻發電機を其の正常回轉方向と反對方向に回轉する時、端子電壓の上昇せざる理由を説明せよ。
 (14) 分巻直流發電機を規定速度にて運轉せるも電壓が十分に確立せざる場合あり、其の理由を説明し且つ之れが対策を記せ。
 (15) 直巻發電機に於て負荷電流がある値以上になると、電壓の確立せざることありと云ふ。その理由を説明せよ。
 (16) 下記に就き相違せる点を述べよ。
 (イ) 過複巻直流發電機 (ロ) 平複巻直流發電機 (ハ) 不足複巻直流發電機
 (17) 直流發電機に於ける電壓變動率の意義を述べ、且つその値の小なる發電機の種類を

挙げよ。

- (18) 直流發電機に使用する自動電壓調整器の1種に就き簡単に説明せよ。
 (19) 發電所に於て一般に大容量の發電機を1台とせず、小容量の發電機數台を設置する理由を説明せよ。
 (20) 垂下特性の分巻發電機の並行運轉が最も安定なる理由を説明せよ。
 (21) 直巻發電機の並行運轉は一般に困難なりと云ふ。其の理由を説明せよ。
 (22) 直流發電機の並列運轉を満足に行ふ爲の條件を挙げよ。
 (23) 2台の直流複巻發電機を並列に運轉する場合の開閉器操作順序を略圖を以て説明し、其の理由を説明せよ。
 (24) 均壓環の使用目的を問ふ。

4. 直流電動機

- (1) 直流電動機の原理を説明せよ。
 (2) 直流分巻電動機の高轉方向を反對とするには如何なる方法を採用すべきや。理由を附して之れに答へよ。
 (3) 直流分巻電動機の高轉速度が負荷の増加と共に低下する場合と反對に上昇する場合のある理由を説明せよ。
 (4) 直流電動機に就き下記事項を説明せよ。
 (イ) トルク特性曲線 (ロ) トルク速度曲線
 (5) 直流分巻電動機と直流直巻電動機とに就き、負荷電流に對して速度及びトルクが如何に變化するかを説明し、夫々に適する用途を挙げよ。
 (6) 和動複巻直流電動機に於て流入電流と速度及トルクの關係を表す特性曲線を圖示しこれを説明せよ。
 (7) 直流電動機を起動する場合、一般に起動器を必要とする理由を説明せよ。
 (8) 直流分巻電動機に採用せられる起動器の種類3種を挙げ、その作用を説明せよ。
 (9) 直流電動機に於ける自動起動器の1種に就き簡単に説明せよ。
 (10) 直流分巻電動機の高轉速度を制御する方法3種を挙げ、之れを説明せよ。
 (11) 直流電動機の高轉速度を廣範圍に變化する方法としてレオナード方式及イルグナ方式の適當なる理由を説明し、夫々の得失を記せ。
 (12) 直流電動機の高轉速度制御法3種を挙げ之れを簡単に説明せよ。
 (13) 2台以上の直流直巻電動機がある場合、その速度を同時に制御する方法として最も

一般的なる方法を説明せよ。

- (14) 負荷の増減に對し回轉數の變化少き直流電動機の種類を挙げ、その理由を説明せよ。
- (15) 直流電動機の運轉上留意すべき一般的事項に就き述べよ。
- (16) 直流分巻電動機と三相誘導電動機の類似せる点、及び相違せる点を夫々挙げよ。
- (17) 長らく休止せる直流發電機を運轉する場合、運轉上注意すべき点を説明せよ。
- (18) 供給電圧が變化したる時直流分巻電動機の特性は如何に變化するや。
- (19) 直流機に於て整流を不良とする原因並に之れが対策を記せ。

5. 特殊直流機

(1) 直流配電線に於て線路の直長長き場合、其の終端の電壓を一定に保持する方法を説明せよ。

- (2) 直流昇壓機の 1 種を挙げ其の原理並に用途を説明せよ。
- (3) 直流均壓機の用途を説明せよ。
- (4) 下記に就き簡単に説明せよ。

(イ) 三線式直流發電機 (ロ) 發電動機

- (5) ローゼンベルヒダイナモの原理及び用途を述べよ。
- (6) 下記の用途を問ふ。

(イ) 三刷子發電機 (ロ) 單極直流發電機

- (7) 直流發電機に於て電氣熔接用發電機と一般用發電機の相違せる点を説明せよ。
- (8) 直流電氣熔接に適する發電機の 1 種を挙げ、其の原理を説明せよ。

6. 同期機一般

以下、第 6 章より第 11 章迄を學修の上、研究せられたい。

- (1) 同期發電機の原動機による分類 4 種を挙げ、夫々の特徴を比較せよ。
- (2) 下記の用途を述べよ。

(イ) 同期調相機 (ロ) 回轉變流機 (ハ) 周波數變換機

- (3) 長距離送電線に接続せられる同期發電機の仕様書に記載すべき事項を説明せよ。
- (4) 同期發電機を購入するに當り行ふべき試験項目を挙げよ。
- (5) 同期機に於て實際に負荷することなく其の溫度上昇を推定する方法を説明せよ。

7. 同期發電機

- (1) 同期發電機に於て回轉磁極の種類 2 種を挙げその構造、得失並に用途を述べよ。

- (2) 同期發電機の發生電壓に高調波電壓を含む原因を挙げ、其の防止方法を述べよ。
- (3) 同期發電機に於て勵磁機の運轉方式として最近、主機直結のものが多く採用される理由を述べよ。

(4) 下記に就き簡単に説明せよ。

(イ) 速應勵磁方式 (ロ) 副勵磁機

- (5) 直流發電機と三相交流同期發電機に於て、電機子反作用の異なる点を説明せよ。
- (6) 同期發電機の電機子反作用が負荷電流の力率によつて相違することを説明せよ。
- (7) 同期機に於て同期リアクタンス及び同期インピーダンスの意義を説明せよ。
- (8) 同期發電機に於ける負荷特性曲線の意義を述べ、その一例を圖示せよ。
- (9) 下記につき略述せよ。

(イ) 同期インピーダンス曲線 (ロ) 短絡特性曲線(同期發電機の)

- (10) 同期發電機に於て電壓變動率の意義を述べ、その概数を記せ。
- (11) 同期發電機に於て、一般に採用せらるゝ電壓調整法に就き述べよ。
- (12) 同期發電機に使用する自動電壓調整器の 1 種を挙げ、その原理を簡単に説明せよ。
- (13) 同期發電機を無勵磁にて運轉し、これを長距離送電線に接続するにその端子電壓が著しく上昇する場合ありと云ふ、其の理由を略述せよ。
- (14) 軸電流に就いて簡単に説明し、その防止方法を記せ。
- (15) 同期發電機の巻線に對する保護裝置を説明せよ。
- (16) 2 台の三相交流同期發電機を並列運轉するに當り必要なる條件を挙げよ。
- (17) 交流同期發電機の並列運轉に於て各機に流れる有效並無効横流の効果につき述べよ。

(18) 並列運轉をなせる交流同期發電機あり、其の母線電壓を上昇するには如何なる操作をなすべきや。

(19) 並列運轉をなせる甲乙 2 台の交流發電機あり、次の場合これを元に復する爲めには如何になすべきや。

(イ) 甲機の電力計の讀みが著しく増加したる時

(ロ) 乙機の力率計の讀みが著しく低下したる時

(20) 並列運轉をなせる同期發電機の亂調現象について説明せよ。

(21) 同期發電機に於て機械に全く電氣的及び機械的の故障なきに拘らず界磁巻線の發熱することありと云ふ、其の理由を問ふ。

8. 特殊同期發電機

(1) 最近大容量のタービン發電機に2巻線發電機の採用されるもの多しと云ふ、その理由を説明せよ。

(2) 下記に就き略述せよ、

(イ) 50 サイクル 60 サイクル 兩用發電機 (ロ) 正弦波發電機

(3) 水素冷却發電機に就き原理、構造並に得失を説明せよ。

(4) 高周波電氣爐用の電源に適する發電機の1種を挙げ、其の原理を略述せよ。

9. 同期電動機

(1) 同期電動機の回轉子速度が負荷の大小に不拘ず常に一定不變なる理由を説明せよ。

(2) 同期電動機の回轉子磁極には一般に凸出型を用ひ、圓筒型が採用せられざる理由を説明せよ。

(3) 同期電動機と同期發電機の電機子反作用に就き、その相當せる点を挙げて理由を説明せよ。

(4) 同期發電機に於て單獨運轉時の亂調と並列運轉時、亂調の相違せる点を説明せよ。

(5) 同期電動機に設ける制動巻線の效用に就いて説明せよ。

(6) 同期電動機に於ける起動トルクの意義を述べ、其の極めて小さき理由を説明せよ。

(7) 下記の事項を簡単に説明せよ。

(イ) 脱出トルク (ロ) 引入トルク

(8) 同期電動機に於ける主なる特性曲線の種類を挙げよ。

(9) 同期電動機につき下記事項の意義を略述せよ。

(イ) V 曲線 (ロ) 負荷特性曲線

(10) 交流同期電動機の起動方法3種を挙げよ。

(11) 同期電動機に於て、自起動を行ふ場合、起動方法とその取扱上の注意事項に就いて述べよ。

(12) 同期電動機他起動法に於て起動用の電動機の種類を挙げ、その得失を述べよ。

10. 特殊同期電動機

(1) 特殊籠形同期電動機の構造を説明し、其の特徴を述べよ。

(2) 下記の特徴を記せ。

(イ) 巻線型同期電動機 (ロ) 3 速度同期電動機

(3) 同期誘導電動機の原理を簡単に説明しその用途を記せ。

(4) 同期電動機に於て負荷の起動トルクが全負荷トルクなる場合探るべき方法を述べよ。

11. 同期調相機

(1) 同期調相機と同期電動機の相違せる点を挙げよ。

(2) 電圧一定なる母線に接続せる同期調相機の勵磁電流を増減せば、電機子電流は如何に変化するかを圖示し、その理由を簡単に説明せよ。

(3) 同期調相機の起動方法3種を挙げよ。

(4) 同期調相機に於て起動を容易にし、且つ起動容量を低減する爲に探るべき方法を述べよ。

12. 回轉變流機及び周波數變換機

以下、各章を學修り上研究せられたい。

(1) 回轉變流機の構造、並に原理を簡単に説明せよ。

(2) 回轉變流機の亂調現象について説明し、その防止法を記せ。

(3) 下記の使用目的を問ふ。

(イ) 限速繼電器 (ロ) 搖軸裝置

(4) 回轉變流機の電機子反作用が同期電動機の電機子反作用と相違せる点を説明せよ。

(5) 回轉變流機に於ける閃絡の原因を挙げ、その防止方法を記せ。

(6) 回轉變流機の電壓の調整方法4種を挙げよ。

(7) 回轉變流機の交流側にリアクトルを挿入して直流電壓を調整し得る理由を説明し、

本方法の得失を述べよ。

(8) 回轉變流機に於て直流側より起動する場合の起動方法を説明せよ。

(9) 下記の用途を記せ。

(イ) 複流發電機 (ロ) 逆用回轉變流機 (ハ) 3 線式回轉變流機

(10) 周波數變換機の種類を挙げ、その用途を述べよ。

(11) 同期周波數變換機の構造、並に原理を説明せよ。

13. 變壓器

(1) 内鐵型變壓器と外鐵型變壓器の得失を比較し、之れが採用を適當とする場合を述べよ。

(2) 變壓器に於て巻線の漏洩リアクタンスを減少する爲の一般的方法を述べよ。

- (3) 套管の使用目的を述べ、蓄電器型套管に就きその原理並に特長を説明せよ。
- (4) 變壓器油の具備すべき條件を列挙せよ。
- (5) 變壓器に於ける冷却法の種類 5 種を挙げ、その得失を簡単に説明せよ。
- (6) コンサーベータの構造を説明し、その効用に就いて述べよ。
- (7) 變壓器の一次巻線に正弦波電圧を加へたる時、流入する勵磁電流は歪波となることを説明せよ。
- (8) 變流器の勵磁電流に就き下記事項を簡単に説明せよ。
 - (イ) ヒステリシス進角 (ロ) 等価正弦波
- (9) 下記の術語を説明せよ。
 - (イ) アンペア回数 (ロ) 漏洩磁束 (ハ) 漏洩リアクタンス
 - (ニ) インピーダンスボルト
- (10) 變壓器の二次側に遅れ力率の負荷電流を通じたる場合、一次二次の電壓並に電流のベクトル圖を畫け。
- (11) 變壓器の等価抵抗及び等価リアクタンスの意義を説明せよ。
- (12) 變壓器の電壓變動率に就いて説明せよ。
- (13) 50 サイクルの變壓器を 60 サイクルに使用したる場合、鐵損及び銅損は如何に變化するや。
- (14) 變壓器の全日能率の意義を説明し、その適用に就いて述べよ。
- (15) 單相變壓器を使用して三相變成を行ふ場合、其の方法の各種を挙げ、得失を簡単に記せ。
- (16) 容量 7.5 kVA の單相變壓器 3 個を用ひて三相變成を行ふ場合と、2 個を用ひて行ふ場合に於て、供給し得る最大出力を算出し、これが理由を説明せよ。
- (17) 三相電源より六相水銀整流器に給電する場合の變壓器の結線法 1 種を挙げよ。
- (18) 三相電源より單相電氣爐を使用する場合、電源に不平衡を與へざる方法を説明せよ。
- (19) 單相變壓器の並列運轉と三相變壓器の並列運轉に於て、必要なる具備條件の相違せる点を説明せよ。
- (20) 三相バンクの並列運轉に於て、運轉の可能なる結線と不可能なる結線各 3 種を挙げよ。
- (21) 單巻變壓器の原理を説明し、その得失を述べよ。
- (22) 單巻變壓器を使用せる三相結線法の種類を挙げ、その得失を記せ。
- (23) 單相變壓器による三相結線と三相變壓器の得失を説明せよ。

- (24) 三相變壓器に於て内鐵型と外鐵型を比較し、其の用途を述べよ。
- (25) 漏洩變壓器の構造を説明し、その用途を記せ。
- (26) 負荷時調整變壓器の 1 種に就いて説明し、その用途を述べよ。
- (27) 下記の用途を問ふ。
 - (イ) 三巻線變壓器 (ロ) 非共振變壓器
- (28) 60 サイクル用の變壓器を定格電壓の下に於て 50 サイクルの回路に使用せる場合下記の値は夫々如何に變化するや。
 - (イ) 鐵損 (ロ) 銅損 (ハ) 全負荷能率
- (29) 低減容量タップに就き簡単に説明せよ。
- (30) 變壓器の極性を試験する方法を説明せよ。
- (31) 變壓器の絶縁耐力試験を行ふ場合、試験電圧を調整する爲に試験變壓器の一次側に可變抵抗を挿入することの得失を述べよ。
- (32) 變壓器の絶縁耐力試験として最近衝擊電壓試験の行はれ始めた理由を説明せよ。
- (33) 變壓器の二次側を開放したる場合と短絡したる場合に於て、一次側に流入する電流は何によつて定まるかを説明せよ。
- (34) 同一の單相變壓器 2 箇あり、之に實際に負荷することなく温度上昇試験を行はんとす。その方法を説明せよ。
- (35) 變壓器の巻線に於て各種冷却方式の許容温度を記せ。
- (36) 規格の制定理由を説明せよ。
- (37) 既設の變壓器を過負荷運轉する場合、その過負荷耐量に影響を及ぼす事項を挙げよ。
- (38) 變壓器の日常の保守心得を記し、絶縁抵抗が著しく低下したる時の處置方法を説明せよ。
- (39) 油入變壓器油の保守に關し次の諸問に答へよ。
 - (イ) 油が水分を含有せるや否やの試験方法、及びその試験により水分が含まれてゐることを見出したる時の處置
 - (ロ) 温度上昇のため油が變質せる時如何なる害を起すや、之れを除去する爲に採るべき處置如何。

14. 誘導電動機

- (1) 誘導電動機の原理、並に構造を簡単に説明せよ。
- (2) 下記の術語を説明せよ。

(イ) 滑り

(ロ) 同期速度

(ハ) 籠形回轉子

(ニ) 直入型誘導電動機

- (3) 誘導電動機は之れを負荷せる時滑りを生ずる理由を説明せよ。
- (4) 誘導電動機の固定子巻線に周波数 f サイクルの交流電圧を加へたる場合、回轉子巻線に誘起する電壓の周波数は滑りによつて如何に變化するや。
- (5) 下記の術語を説明せよ。
- (イ) 同期ワット (ロ) 比例推移
- (6) 三相誘導電動機あり、一定トルクを要する負荷を擔へる時、その二次抵抗を ρ 倍とすれば滑りも ρ 倍となる理由を説明せよ。
- (7) 籠形誘導電動機の起動方法 2 種を挙げ、その得失を比較せよ。
- (8) 巻線型誘導電動機に使用する起動抵抗の作用を説明せよ。
- (9) 三相誘導電動機の速度を制御する方法 3 種を挙げよ。
- (10) 誘導電動機は廣範圍に速度制御を行ふに不適當なる理由を説明せよ。
- (11) 巻線型誘導電動機に於て、最近一般に採用される速度制御法の 1 種に就き説明せよ。
- (12) 誘導電動機のトルク曲線に於て、運轉の安定なる部分と不安定なる部分のある理由を説明せよ。
- (13) 下記を簡単に説明せよ。
- (イ) 次同期運轉 (ロ) ゲルゲス現象 (ハ) ブラツキング
- (14) 直流電動機と誘導電動機に於て回轉方向を反對にする方法の相違せる点を説明せよ。
- (15) 誘導電動機に於て、制動法の種類 2 種を挙げ、その得失を述べよ。
- (16) 二重籠形電動機の構造を説明し、その作用を述べよ。
- (17) 深溝電動機の特長、並に用途を記せ。
- (18) 下記に就き簡単に説明せよ。
- (イ) アルミ籠形電動機 (ロ) 誘導電動機の Z 規格
- (19) 誘導電動機に於て導体にアルミニウムを採用する場合、一般に籠形回轉子にのみ使用せられ、巻線型回轉子及び固定子巻線には使用せられざる理由を説明せよ。
- (20) 誘導電動機の拘束試験について述べよ。
- (21) 誘導電動機の無負荷試験に於て流入電流及び消費電力は夫々何を表すかを述べよ。
- (22) 誘導電動機に於ける制動試験の目的を述べよ。
- (23) 誘導電動機の鐵損、銅損及び滑りを測定するには如何なる方法によるやを説明せよ。
- (24) 誘導電動機を實際に負荷することなく、その温度上昇試験を行ふ方法に就いて説明

せよ。

(85) 現今、一般工場に於ける電動機として誘導電動機が最も普通に採用されてゐる理由を説明せよ。

(86) 誘導電動機と直流分巻電動機の類似せる点を挙げ、其の理由を説明せよ。

(87) 60 サイクルに設計せられたる三相誘導電動機を 50 サイクルの同一電壓の下に使用する時、下記各項につきその増減を述べ且つ簡単に理由を附記せよ。

(イ) 無負荷電流 (ロ) 温度上昇 (ハ) 速度

(88) 三相誘導電動機に於て鐵板に記載すべき事項を列挙せよ。

(89) 誘導電動機の購入に當り仕様書に記載すべき主要事項を記せ。

(90) 誘導電動機の起動状態が不良なる場合その原因を挙げよ。

15. 特殊誘導機

(1) 一定電壓の電源にて運轉せる誘導電動機あり、この電動機の見極子を外部より同相速度以上に回轉せば流入電流は如何に變化するや。

(2) 巻線型誘導電動機を周波数變換機として使用し得る理由を説明せよ。

(3) 単相電動機の起動装置 2 種を挙げ、その 1 種に就いて説明せよ。

(4) セルシン電機機の構造を簡単に圖示し、その原理並に用途を略述せよ。

16. 誘導電壓調整器

(1) 単相誘導電壓調整器の原理を説明せよ。

(2) 単相誘導電壓調整器に於ける短絡巻線の作用を説明せよ。

(3) 三相誘導電壓調整器の構造及び原理を説明し、その用途を記せ。

(4) 三相誘導電壓調整器によつて電壓を調整する場合、負荷側電壓の位相も同時に變化する理由を説明せよ。

(5) 単相誘導電壓調整器と三相誘導電壓調整器に於て相違せる点を挙げこれを説明せよ。

17. 整流機器

(1) 交流を直流に變成する整流機器の種類 4 種を挙げ、その主なる用途を記せ。

(2) ガラス製水銀整流器の構造の 1 例を圖示し、各部の名稱を記せ。

(3) 水銀整流器の原理を簡単に説明し、その用途を述べよ。

(4) 単相全波整流用水銀整流器の簡易なる接線圖を示し、其の動作原理を説明せよ。

(5) 下記に就き簡単に説明せよ。

- (イ) 格子制御 (ロ) 逆弧(水銀整流器の)
- (ハ) イグニトロン(浸漬点原子型放電管)
- (6) 水銀整流器を分解修理後に組立てたる場合、これが使用に先立つて化成を行ふことの必要なる理由を説明せよ。
- (7) 水銀整流器を使用して蓄電池を充電するに際し、整流側の直流電圧を調整する方法2種を挙げ、その原理を説明せよ。
- (8) タンガ整流器の主なる用途を問ふ。
- (9) 乾式整流器(堆層整流器)の一般的の特長を列記し、その種類2種を挙げよ。
- (10) 酸化銅整流器の構造を示して、これを説明せよ。
- (11) 単相交流電源より全波整流電圧を得る整流回路2種を圖示し、その得失を比較せよ。



出協承認番號 3234

電氣機器新書

定價 13 圓

昭和21年5月20日 印刷
 昭和21年5月30日 發行
 (500部)

著者 電氣技術研究會
 發行人 田中增吉
 印刷人 丸山武
 印刷所 電氣書院印刷所
 製本所 電氣書院製本所

會員番號 A119005

發行所 電氣書院

京都市東山區今熊野劍ノ宮33
 振替大阪46157番
 電話 祇園827番

配給元 日本出版配給統制株式會社
 東京都神田區淡路町二丁目九番地

542
D582
2

電氣書院刊

終