

始



540
D58
(2)

997
173

540
D58
2

結 言

本書を端的に云ふと、電氣技術に對する常識書である。然し、從來、刊行されて來たやうな機械技術者に對する電氣工學通論の類とは全くその意圖も内容も異つて居る。

即ち、本書は初級電氣技術者として立つべき人の常識書であるから、各項に亘つてその根本理念を説き、直ちに、日常業務の面に及んでゐる。

學校出にせよ、短期受講者にせよ、將又、純然たる獨學出にせよ、今日の電氣技術者として大なる一つの缺点是、電氣工學全般に對する確固たる識見、即ち技術者としての常識の乏しいことであつて、之れが業務の圓滿なる遂行を妨げて居ることは、蓋し想像以上である。過去に於て、餘りにも分科的教育に失したのが其の主要な原因であらう。

電氣工學は他の工學に比して、誕生の歴史は淺いが、生産增強の動脈として、通信神經として、一瞬時もゆるがせに出來ない。然も、其の應用分野は日進月歩の感があり、愈々益々多岐に亘らうとして居る。此の時に於て、我々の職場が如何に局限された分野にあるにせよ、電氣技術一般に對する常識の要は一層に切實なものがある。本書は此の渴望を十二分に遂し、指導書としての權威を充分に有することを卒直に申上げ、序に代へたい。

昭和廿一年六月

電氣技術研究會

電氣工學新書

第一部 目次

1. 理論

1.1 基本理論..... 1	(2) 電流の受ける電磁力 (フレミング左手の法則).....14
(1) 拘束電子と自由電子..... 1	(3) 電磁誘導 (フレミング右手の法則).....15
(2) 電氣諸單位..... 2	
靜電單位, 電磁單位, 實用單位	
1.2 靜電現象..... 5	(4) 交流の發生, 周波數, 實効値 平均值, 波形率.....16
(1) 靜電誘導, 電界..... 5	(5) 自己誘導.....18
(2) 電氣力線..... 6	(6) 相互誘導.....20
(3) フアラデー管, 等電位面..... 7	(7) 渦 流.....21
(4) 電氣力線の應用..... 8	(8) 透 磁.....21
(5) 靜電容量, 誘電率..... 8	(9) 鐵の磁化現象.....22
1.3 磁氣現象..... 9	1.5 電氣化學.....24
(1) 磁極, 磁界..... 9	(1) 一次電池.....24
(2) 磁力線.....10	(2) 二次電池 (鉛蓄電池)25
(3) 磁位, 等磁位面.....11	(3) 電氣分解.....26
(4) 磁氣誘導, 磁化, 磁化度 導磁率, 磁化率.....11	1.6 特殊電氣現象..... 27
(5) 磁性體, 非磁性體, 正磁性體 逆磁性體, 強磁性體.....12	(1) 電氣の熱作用, 熱電現象.....27
(6) 磁氣モーメント.....12	(2) 壓 電 氣.....28
1.4 電磁現象.....13	(3) 光電効果.....28
(1) 電流の作る磁界.....13	(4) 熱電子と二極真空管.....29
	(5) 三極真空管.....29

2. 計 測

2.1 一 般.....30	(3) 電氣計器の動作原理による分類...33 直流専用計器, 交直兩用計器, 交流専用計器
(1) 一次標準器..... 30	(4) 電氣計器の用途による分類...35
(2) 二次標準器..... 30	(5) 各種指示計器の得失35
(3) 電氣計器の具備條件..... 31	(6) 電氣計器の選擇.....36
(4) 電氣計器の動作による分類...31	(7) 倍率器と分流器.....37
2.2 指示計器.....31	(8) 變流器と電位變成器.....37
(1) 電氣計器の主要要素..... 31	
(2) 電氣計器に生ずる誤差の原因...32	

2.3 特殊指示計器.....39

- 熱電型計器 整流器型計器
- 架線電流計 真空管電壓計
- 波高電壓計 周波計
- 同期檢定器 力率計
- 檢漏器 檢電器

2.4 積算計器.....41

- (1) 積算計器の用途による分類.....42
- (2) 輕負荷補償裝置.....42
- (3) 位相補償裝置.....43

2.5 檢流計.....43

- (1) 直流檢流計の種類.....43
- (2) 交流檢流計の種類.....44
- (3) 檢流計の感度.....44
- (4) 補償及萬能分流器.....45

2.6 電壓測定.....45

- (1) 直流電壓の測定方法.....45
- (2) 交流電壓の測定方法.....46

3. 機 械

3.1 一 般.....57

- (1) 電氣機器の分類.....57
- (2) 回轉電氣機器の諸損失.....59
- (3) 電氣機器の規約能率.....59
- (4) 定格容量, 其他.....59
- (5) 電氣機械の冷却方式.....60

3.2 直流發電機一般.....61

- (1) 原理一般.....61
- (2) 電機子反作用.....61
- (3) 無火花整流.....61
- (4) 補 極.....62
- (5) 補償巻線.....63
- (6) 均 壓 環.....63
- (7) 特性曲線.....63
- (8) 電壓調整.....64
- (9) 直流發電機の用途、型式の撰定.....65

3.3 直流電動機一般.....65

2.7 電流測定.....47

- (1) 直流電流の測定方法.....47
- (2) 交流電流の測定方法.....47

2.8 電力測定.....48

- (1) 直流電力の測定方法.....48
- (2) 交流電力及力率の測定方法.....48

2.9 抵抗測定.....49

- (1) 各種抵抗の測定法.....49

2.10 特殊測定.....51

- 直流電位差計
- ホイートストン・ブリッジ
- 火花間隙 クリフノグラフ
- オシログラフ オーム計
- メ、ガ 相回轉表示器
- 磁束計 蒼鉛渦條
- エプスタイン法 電氣回轉計
- ストロボスコープ
- 電氣溫度計 遠隔測定器

- (1) 原理一般.....65
- (2) 特性曲線.....65
- (3) 速度制御法.....66
- (4) 直流電動機の運轉と取扱法.....67
- (5) 起 動 器.....68
- (6) 各種直流電動機の特徴及用途.....68

3.4 交流同期發電機一般.....69

- (1) 原理一般.....69
- (2) 同期機の型式による分類.....70
- (3) 同期機の原動機による分類.....71
- (4) 勵磁方式.....71
- (5) 副勵磁機.....71
- (6) 同期機の電機子反作用.....72
- (7) 同期インピーダンス.....73
- (8) 同期發電機の特性曲線.....73
- (9) 同期發電機の電壓變動率.....74
- (10) 同期發電機の電壓調整.....74

- (11) 同期發電機の自己勵磁作用.....75
- (12) 同期發電機の短絡現象.....75
- (13) 軸 電 流.....75
- (14) 同期機の保護裝置.....76

3.5 同期電動機一般.....76

- (1) 原理一般.....76
- (2) 亂調と防止法.....77
- (3) 同期電動機の特性曲線.....78
- (4) 同期電動機の起動法.....79
- (5) 特殊同期電動機.....79

3.6 直流發電機の並行運轉.....80

3.7 交流同期發電機の並行運轉.....80

3.8 變 壓 器.....83

- (1) 原理一般.....83
- (2) 等價回路.....84
- (3) 電壓變動率.....85
- (4) 鐵損と銅損.....86
- (5) 能率, 全日能率.....87
- (6) 冷却方式.....87
- (7) 變壓器油.....88
- (8) コンサベータ.....89
- (9) 定格容量及Z規格.....89
- (10) 變壓器の三相結線法.....89
- (11) 並列運轉の條件.....91
- (12) 低減容量タップ.....92
- (13) 變壓器に依る相數變換.....92
- (14) 變壓器の返還負荷法.....93
- (15) 差動繼電器による變壓器の保護.....93
- (16) 特殊變壓器.....94
 - アルミ變壓器 單巻變壓器
 - 三相變壓器 三巻線變壓器
 - 漏波變壓器 負荷時調整變壓器
 - 試験用變壓器 不變電流變成器
 - 非共振變壓器
- (17) 變壓器の周波數特性.....96

3.9 誘 導 機.....96

- (1) 原理一般と滑り.....96
- (2) 等價回路.....97
- (3) 比例推察.....98
- (4) 起 動 法.....98
- (5) 速度制御法.....99
- (6) 各種交流電動機の特性と用途.....100
- (7) 三相誘導電動機の電壓及周波數特性.....100
- (8) 特殊誘導電動機.....101
 - 直入電動機 深溝電動機
 - 二重籠形電動機 アルミ電動機
- (9) 誘導電動機の力率改善.....102
- (10) 誘導電動機のZ規格.....103
- (11) 單相誘導電壓調整器.....103
- (12) 三相誘導電壓調整器.....103

3.10 特殊機器.....104

- (1) 回轉變流機の原理と構造.....104
- (2) 同起動法.....105
- (3) 單相水銀整流器.....105
- (4) 三相水銀整流器.....105
- (5) 電力用靜電蓄電器.....106
- (6) 酸化銅整流器.....107

3.11 電氣機器の試験項目.....107

- (1) 絶緣抵抗及絶緣耐力試験.....107
- (2) 溫度試験.....108
- (3) 其の他の試験.....108

3.12 仕様書の記載事項.....109

3.13 銘板の記載事項.....109

3.14 電氣機器の故障と対策.....110

- (1) 直流機の故障と対策.....110
- (2) 交流同期機の故障と対策.....111
- (3) 誘導機の故障と対策.....111

3.15 電氣機器の運轉と取扱法.....111

第二部 目次

4. 發電

4.1 發電一般	1	4.7 試驗運轉	18
(1) 發電より電力消費まで	1	(1) 落成試験	18
(2) 發電一般	3	(2) 運轉と保守	18
(3) 電力消費一般	3	(3) 特殊火力發電所	19
(4) 負荷率の向上策	5	①低落差發電所 ②自動發電所	
(5) 力率の向上策	6	③揚水發電所	
4.2 水力發電	7	4.8 火力發電	20
(1) 流域面積	7	(1) 火力發電所の運轉特性	20
(2) 各種流量	7	(2) 火力發電所一般	21
(3) 流量曲線	8	4.9 燃料及燃焼	24
(4) 流量の測定法	8	(1) 發電用燃料	24
4.3 發電計畫	9	(2) 石炭の種類	25
(1) 使用水量	9	(3) 燃焼方式	25
(2) 發電方式	9	(4) 燈粉炭燃焼方式の得失	25
(3) 落差及有効落差	10	(5) 燃焼率	26
(4) 貯水池	10	(6) 燃焼器	26
(5) 調整池	10	(7) 機械通風	26
4.4 水路施設	10	(8) 分函強制通風	27
取入口 導水路 調整池 沈砂池		(9) 集塵裝置	27
餘水吐 水槽 調壓水槽 水壓管		4.10 汽機設備	27
水車 吸出管		(1) 水冷凝機	27
4.5 水車	14	(2) 過熱器	27
(1) 水車の種類	14	(3) 節炭器	28
(2) ベルトン水車と		(4) 空氣豫熱器	28
フランシス水車	14	(5) 安全瓣	29
(3) フランシス水車の		(6) 水準器	29
横軸型と縦軸型	15	(7) 汽機給水	29
(4) 特有速度	15	(8) 蒸發器	29
(5) 調速機	15	(9) 空氣分離器	29
(6) 無拘束速度	15	4.11 蒸汽タービン	30
4.6 電氣設備	16	(1) タービンの分類	30
(1) 發電所の		(2) 反動タービンと衝動タービン	30
電線接續圖と電氣設備	16	(3) 特殊タービン	30

(4) 蒸氣タービンの設備	31	(2) 試験と検査	35
(5) 蒸氣タービンのバッキング	31	4.14 補説	36
(6) ダンミ・ピストン	32	(1) 火力發電所の進歩	36
(7) タービンランド	32	(2) タービン發電機の調相機化	36
(8) 非常調速機	32	(3) 發電所熱勘定	
4.12 復水設備	32	(ヒートバランス)	36
(1) 復水器の種類	32	(4) 蒸汽貯藏器	37
(2) 冷却塔	33	(5) 發電所に於ける資材節約	37
(3) 復水器用ポンプ	33	(6) 水火併用に依る利益	37
4.13 火力發電所の運轉と試験	34	(7) 尖頭負荷發電所の具備條件	38
(1) 運轉と保守	34		

5. 配電

5.1 一般	39	(10) 屋外用低壓導子の種類	49
(1) 配電一般	39	(11) 屋外用高壓導子の種類	49
(2) 配電線の具備條件	39	(12) 各種支持物の比較	49
(3) 配電方式一般	39	(13) 注入柱	50
(4) 樹枝式と環状式	41	(14) 組立木柱	51
(5) 低壓配電網	41	(15) 支線	51
(6) 三相自動切換配電法	42	(16) 電線の高さ及他物との間隔	52
(7) 各種配電方式の比較	42	(17) 建柱工事上の注意	52
(8) 配電施設一般	43	(18) 電線の接續方法とその得失	53
(9) 電線路の線路常設	44	(19) 裝柱	53
(10) 電線路の電壓降下	45	(20) 柱上變壓器の取付場所及方法	54
(11) 線路能率	45	(21) 柱上開閉器の使用目的	54
(12) コロナ損	45	(22) 柱上開閉器の取付場所	55
5.2 設計建設	46	5.3 施設保守	55
(1) 需用率	46	(1) 配電線の電壓調整法	55
(2) 不等率	46	(2) 昇壓器	56
(3) 配電線負荷容量の算定	46	(3) 高壓配電線の保安施設	57
(4) 配電線太さの決定	47	(4) 柱上變壓器の保安施設	57
(5) 電線路の線道地帯選定	47	(5) 低壓配電線の保安施設	58
(6) 架空電線の具備條件	47	(6) 檢漏器	59
(7) アルミ線を架空配電線に		(7) 避雷器	59
使用するときの心得	47	(8) 高壓電路の保安用火花間隙	59
(8) 弛度の決定	48	(9) 地線工事	60
(9) 導子の具備すべき條件	48		

- (10) 接地施設に対する
地線工事の種類……60
- (11) 地線工事を省略してよい場合……61
- (12) 架空共同地線……61
- (13) 架空地線……61
- (14) 保護線及保護網……62
- (15) ラインスペーサ……62
- (16) 配電線の力率改善……62
- (17) 配電線の巡視……63
- (18) 配電線の試験……64

5.4 地下電線路……65

- (1) 地下電線路と
架空電線路の比較……65
- (2) ケーブルの布設法……65
- (3) 人 穴……66
- (4) 變 壓 塔……67
- (5) 分 岐 函……67
- (6) ケーブルの鉛被損……67

5.5 屋内工事……67

- (1) 各種屋内配線工事方法……67
- (2) 屋内配線器材の代用品……68
- (3) 電線接続圖の一例……69
- (4) 配線圖の一例……70

5.6 配電用變電所……71

- (1) 配電用變電所の電線接続圖……71
- (2) 配電盤一般……75
- (3) 配電盤の種類とその比較……76
- (4) 配電盤の操作方式……76
- (5) 裝甲配電盤……77
- (6) 車台型配電盤……77
- (7) 線路降下補償器……77
- (8) オートバルブ遮断器……78
- (9) オキサイドフィルム遮断器……78
- (10) ベレット遮断器……79
- (11) 瞬時抵抗遮断器……79

5.7 蓄電池……79

- (1) 蓄電池の構造……79

- (2) 蓄電池の特長及び用途……79
- (3) 蓄電池の能率……80
- (4) 蓄電池の容量……80
- (5) 成語作用……80
- (6) 減極及減極劑……80
- (7) 自己放電……80
- (8) 化 成……80
- (9) 蓄電池の用途……81
- (10) 蓄電池の充電……81
- (11) 蓄電池の使用法……82

5.8 工 規……82

[1] 機械及器具の施設

- (1) 電壓の區別……82
- (2) 電氣機器の絶縁耐力……82
- (3) 非包装可熔片の仕様……83
- (4) 高電圧電用屋外變壓器の施設……83
- (5) 電氣諸機械器具の
外面接合の接地……83
- (6) 弧光發生器具の施設方法……84

[2] 電線路及附屬設備の工事(その1)

- (1) 絶縁電線……84
- (2) 可撓紐線……84
- (3) 絶縁電線の安全電流……85
- (4) 檢漏器の裝置……85
- (5) 避雷器の裝置……85

[3] 電線路及附屬設備の工事(その2)

- (1) 自動遮断器を
裝置してはならない箇所……86
- (2) 電路及附屬器具の絶縁耐力……86
- (3) 高壓低壓混觸防裝置……86
- (4) 特高と高壓の混觸防裝置……87

[4] 電線路及附屬設備の工事(その3)

- (1) 特高と低壓の混觸防裝置……87
- (2) 電路中性点の接地抵抗の制限……87
- (3) 地線工事の種類……88
- (4) 地線工事の方法……88

[5] 低壓及高壓架空電線路(その1)

- (1) 市街道路の外側に電線路を
建設する場合の制限……89
- (2) 市街地の道路上に
電線路を建設する場合……89
- (3) 弱電線路の誘導障害の防止……89
- (4) 電線路の種類及太さ……89
- (5) 市街地に施設する高壓架空
配電線に5mmの裸硬銅線
を使用する場合の制限……90

[6] 低壓及高壓架空電線路(その2)

- (1) 低壓架空配電線に裸線を
使用する場合の制限……90
- (2) 電線地表上の高さ
及造管物との間隔……90
- (3) 腕木の離隔……91
- (4) 木柱の根入及根枷……91
- (5) 他の高圧線路との交叉
接近及平行距離……91
- (6) 高低電線と弱電線との
交叉及接近距離……91
- (7) 高低電線と弱電線との交叉
接近並に並行の工事方法……91
- (8) 高壓架空線路の區分開閉器……91
- (9) 低壓電線路の絶縁抵抗……62
- (10) 高壓電線路の絶縁耐力……92

[7] 屋内工事(その1)

- (1) 屋内に供給する電壓……92
- (2) 高壓碍子引工事……92
- (3) 屋内配線に
裸電線を使用する場合……93
- (4) 屋内配線の太さ……93
- (5) 引込開閉器及
自動遮断器の裝置……93
- (6) 屋内線の分岐回路の制限……93

[8] 屋内工事(その2)

- (1) 屋内工事の種類……93
- (2) 各種の工事方法……94

- (3) 隠蔽工事の電線相互間及
電線と造管材間の距離……94
- (4) 金屬管及金屬線繩工事……94
- (5) 同一屋内に施設する
異なる事業者の配線……95
- (6) 屋内線と弱電線、水道管
ガス管等の離隔距離……95

[9] 屋内工事(その3)

- (1) 可撓紐線の種類……95
- (2) 屋内電線、可撓紐線
屋内電氣器具相互の接続……96
- (3) 濕氣ある場所の工事……96
- (4) 塵埃ある場所の工事……96
- (5) 腐蝕場所の工事……97

[10] 屋内工事(その4)

- (1) 爆發性危険物のある
場所の工事……97
- (2) 興業場の工事……97
- (3) 屋内線の絶縁抵抗……98
- (4) 飾室内の工事……98

[11] 屋外工事

- (1) 高低電線引込線及
低電線接続引込線……98
- (2) 屋外電燈の引下線工事……99
- (3) 家屋外面の工事……99
- (4) ネオン管燈工事……100
- (5) 電壓 150V 以下の屋外
照明用架空電線路工事……100

[12] 臨時工事

- (1) 使用期間の區別……100
- (2) 屋内臨時工事……101
- (3) 屋外臨時工事……101
- (4) 樹木、鐵門、
裝飾塔の臨時工事……101

[13] 隧道、坑内、その他

- 之れに類する場所の工事
- (1) 工事一般……101

- (2) 坑内使用の電球線及
移動用電線……………102

6. 電 燈

6.1 輻 射……………103

- (1) 電 磁 波……………103
- (2) 光の發生……………103
- (3) 光源の明さ、光束とルーメン…104
- (4) 照度と輝度……………104
- (5) 露 出……………104
- (6) 光 量……………104
- (7) 反 射……………104
- (8) 完全擴散面……………105
- (9) 反射率、透過率、吸收率……105

6.2 光 源……………106

- (1) 配光曲線……………106
- (2) ルーソー線圖……………106
- (3) 光源の光度……………107
- (4) 球面換算率……………107

[1] 白熱電球

- (1) ガス入
タングステン電球の構造……107
- (2) 點消電球……………108
- (3) 熟 成……………108
- (4) 働 程……………109
- (5) 電球の黒化……………109
- (6) 壽 命……………109
- (7) 電球の特性……………110
- (8) 電球の能率……………110
- (9) 二重コイル鐵條電球……110

[2] 特殊電球

- (1) 晝光電球……………110
- (2) 管型電球……………111
- (3) カナリヤ電球……………111
- (4) サイン電球……………111
- (5) 水冷式電球……………111
- (6) バイタライト電球……112

- (3) 弱電線、水管との離隔距離……102
- (4) 絶縁抵抗及絶縁耐力試験……102

[3] アーク燈

- (1) 炭素アーク燈……………112
- (2) タングステンアーク燈……112
- (3) 水 銀 燈……………113

[4] 放電燈

- (1) ネオン電球……………113
- (2) ナトリウム燈……………114
- (3) 高壓水銀燈……………114
- (4) 螢光放電燈……………114

6.3 照明設計……………115

[1] 照明器具

- (1) 笠及反射笠……………115
- (2) 反 射 皿……………115
- (3) 明視スタンド……………115

[2] 照明設計の基礎

- (1) 各種の照度……………116
- (2) 眩 輝……………116

[3] 照明設計

- (1)(2)各種照明方式の比較……117
- (3) 建築化照明……………118
- (4) 溢光照明……………118
- (5) 電氣サイン……………118
- (6) 晝光照明……………119
- (7) 照 明 率……………119
- (8) 減光補償率……………120
- (9) 燈火管制……………120

6.4 測 光……………120

- (1) ルクス計……………120
- (2) 層層光電池……………120
- (3) 光 電 管……………121
- (4) 球形光束計……………121

6.5 電 熱……………121

[1] 電熱用發熱体

- (1) 電熱用發熱体の
種類と使用溫度……………121
- (2) 金屬發熱体と
非金屬發熱体の比較……122
- (3) シーズ線……………122
- (4) 發熱体の具備すべき條件……122

[2] 電氣暖房器

- (1) 輻射型暖房器……………123
- (2) 對流型暖房器……………123
- (3) 兩型の比較……………123

[3] 家庭用電熱器

- (1) 家庭用電熱器の
具備すべき條件……………123

- (2) 家庭用電熱器の實例……124
- (3) 恒 溫 器……………124

[4] 農業電熱……………

[5] 電氣熔接

- (1) 直流電氣熔接と
交流電氣熔接の比較……125
- (2) 電氣熔接の種類……………126

[6] 電氣ボイラ

- (1) 種 類……………126
- (2) 電氣ボイラの特長……127

[7] 電氣爐

- (1) 電氣爐の種類……………127
- (2) 低周波誘導爐……………127

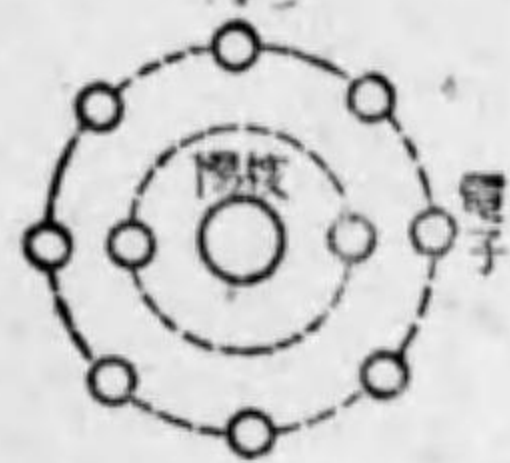
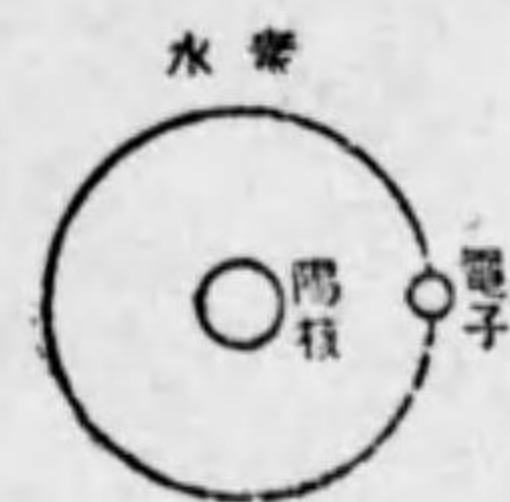
第一部

[1. 理論]

1.1 基本理論

(1) 拘束電子と自由電子

あらゆる物質を構成してゐるのが原子である。原子の構造を見ると、正の電氣



を帯びた中心核と、負の電氣を持つて其の中心核の周囲の一定の輪道上を高速度で回轉する電子から成つてゐる (註) 中心核を陽核とも原子核とも云ふ。

例へば、圖示のやうに、水素原子は陽核と1箇の電子より成り、ネオン原子は陽核と10箇の電子から成つて居る。然して、此の正負の電氣は、普通の状態では全く電氣的に中和の状態にある。(正負電氣量は互ひに相等しい) 斯様に原子を構成してゐる電子を拘束電子と云ひ此の電子を移動したり、追放すると、原子が破壊せられ或は他の原子に變る。然し、現在の處、之れは實用上、殆

んど不可能で、原子を構成する電子は全く拘束された状態にある。

之れに對して、自由電子と云つて、負の電氣を帯び、物質内を自由に移動する電子がある。之れが、吾々の取扱ふ電氣現象の立役者となるものである。

例へば、或る物体 A に若干の自由電子を與へると、其の物体は負の充電 (電荷とも帯電とも云ふ) となり、同じく或る物体 B より自由電子を取り去ると正に充電する。之は自由電子自体が、一定量の負の充電を有して居るからである。



斯く正負に充電せられた兩物体 A B を金屬線で結ぶと自由電子は、夫が與へられた負の帯電体 B より、取り去られた正の帯電体 A へと移動する。此の場合、吾々

は正の電氣が正の帯電体 A より負の帯電体 B に流れるものと假想して、電流は正より負に流れると稱する。又、A B を結ぶのに、硝子とかゴムであると、電流は流れないのであつて、此の種のを絶縁体といひ、電流を流す事の出来る金屬線、炭素棒等を導体と云ふ。要するに、導体となる物質は、其の内部に多数の(1立方耗に約 10^{22} 箇程度) 自由電子を有し、之れが自由に運動し得るものであり、絶縁体は殆んど自由電子を有しないもので、電氣を通じない。

次に、此の地球に就て考へると、之には自由電子が澤山あるのだが、何しろ、物体が大きいので、負の充電ともならず、勿論正の充電でもない。従つて、總ての物体の充電の程度は此の大地を基準として考へるのであつて、斯く大地を基準として考へられた物体の充電の程度を其の物体の電位と云ふ。又、正の帯電体 A は大地に對し正の電位を有し、負の帯電体 B は負の電位を有するのであつて、此の兩者の電位の差を電壓と云ふ。

此の二者 A B を導体で結んだ場合、移動する自由電子の單位時間に於ける量即ち電流は A B の電位差即ち電壓に比例する。又、兩者を結んだのは導体であつたが、導体必しも、自由電子の運動に無障害とは云へないのであつて、矢張り大なり小なり抵抗する。此の抵抗の値は導体の種類に依つて異なる。

結局、A B 間に流れる電流は兩者間の電壓に比例し、兩者を結んだ導体の抵抗に反比例する事になる。之を「オーム」の法則と云ふ事は既に御理解のことであらう。此の法則は極めて特殊な場合（溫度が吾々の想像もつかないやうな低い値の時）の外は一般に成立するのであつて、あらゆる電氣回路の問題は之を基本として解くと云つて過言ではない。

(註) 以上は嚴密な電子論ではないが、初學者の理解を計る爲めに、此の程度に止めた。

(2) 電氣諸單位

① 靜電單位: 前項の帯電体 A B を導体で結ぶと以上のような現象を生じたが、結ばずに置くとどう云ふ現象を生ずるか云ふに A の電氣量(取り去られた自由電子の数)を Q_1 、B の電氣量(與へられた自由電子の数)を Q_2 とすると

$$\text{兩者の間には } = \frac{Q_1 Q_2}{kd^2} \text{ 但し、 } k \text{ は常數、 } d \text{ は A B 間の距離}$$

f にて示される様な吸引力 (Q_1 も Q_2 も正或は負の電氣量なら反撥力) が働くのであつて、之をクローンの法則と云ふ。 $Q_1=Q_2=Q$ で、空氣中 ($k=1$) にて $d=1$ 厘の時、 f が 1 ダイン (1 互の物体に働いて毎秒 1 厘の加速度を生ずる力を云ふ) である Q を、C.G.S 靜電單位に於ける一單位の電氣量と云ひ、之れ

【問題】 原子の構造を説明せよ。

【問題】 自由電子と拘束電子の相違を述べ、自由電子に依る導電現象を説明せよ。

より次の如く定められた。電流、電壓、抵抗は總て C.G.S 靜電單位に於ける値である。

一秒間に一單位の電氣量を運ぶ電流の強さを單位電流とする。一單位の電氣量を A より B に運ぶのに要する仕事は 1 エルグ (1 ダインの力が或る物体に働いて 1 厘を移動させるに要する仕事) なる時、A B 間の電壓を 1 單位の電壓とする。1 單位の電流を通ずるに 1 單位の電壓を要する導体の抵抗を 1 單位の抵抗と云ふ。一併、電氣諸量を測るのに、上述の C.G.S 靜電單位と、次に述べる C.G.S 電磁單位とがある。早い話が、同じ長さを表すにも尺と呎があるやうなものである。併して、あらゆる單位は、長さ、質量、時間の 3 つから導かれるので、之を 3 基本單位と云ひ、長さに厘 (C)、質量に瓦 (G)、時間に秒 (S) を用ひて測つたものを C.G.S 單位と云ふ。上述のものは之れが用ひられ、然も靜電的現象から割出されて居るので C.G.S 靜電單位と云ふ。

② 電磁單位: C.G.S 電磁單位とは、相等しい強さの磁極を空氣中で 1 厘の距離に置いた時、其の間に働く力が 1 ダインであると、各磁極の強さを 1 單位とする。此の單位磁極に働く力が 1 ダインである磁界の強さを 1 單位と云ふ。次に、長さ 1 厘の導線を半徑 1 厘の圓弧状に曲げ、之れに流れる電流に依つて其の弧の中心点に生ずる磁界の強さが 1 なる時、其の電流の強さを 1 單位とする。又 1 單位の電流に依り、1 秒間に運ばれる電氣量を 1 單位の電氣量と云ひ電壓、抵抗は靜電單位の場合と同様に定める。斯く電磁現象を基本として定められたものが C.G.S 電磁單位である。

③ 實用單位: 上の兩單位共に學理上は極めて好都合であるが、吾々が日常取扱ふ電氣的諸量の測定に對しては、極めて不便なものである。譬へば、藥劑師に取つて必要なのは瓦か匁であつて、鯨や象の薬を調合するならいざ知らず、薊 (1000 疋) や貫と云ふ單位は大き過ぎる。又、鐵材商に取つては何匁の鐵材を呉れとは云つて來ないから、匁と云ふ單位は小さ過ぎる。と同様に C.G.S 電氣單位で表した或るものは吾人が平常取扱ふ電氣量に對し大に失し、或るものは小に過ぎるので、平素の取扱ひに便利なやうに實用單位と云ふものを定めて居る。斯く定められた抵抗をオーム、電流をアンペア、電壓をボルト、電力をワットと云

ふのであつて、1 オームとは、氷の融解温度に於て質量 14.4521 瓦、長さ 106.300 種にて均一なる切斷面積を有する水銀柱の不変電流に對する電気抵抗を云ふ。アンペアは硝酸銀の水溶液を通過し、毎秒 0.00111800 瓦の銀を分離する不変電流(一定値の直流)を云ふ。ボルトは 1 オームの電気抵抗を有する導体に 1 アンペアの不変電流を發生させる爲めに要する不変電圧を云ふ。ワットは 1 ボルトの電壓に於て、1 アンペアの不変電流に依り毎秒消費される電気勢力を云ふ。又、1 アンペアの電流に依つて 1 秒間に運ばれる電氣量を 1 クーロンと云ふ。1 ワットの電力が 1 秒間に爲す仕事を 1 ジュール又は 1 ワット秒と稱する。

以上で、不変電流とか不変電圧と云つたが、之は一定値の直流の事で、交流の場合は其の瞬時値の自乗の平均の平方根を以て不変電流又は電圧と同値であると認め、之を實効値と云ふ。

靜電容量は、1 ボルトの電圧を加へた時、1 クーロンの電氣量が蓄へられると 1 ファラドの容量があると云ふ。又毎秒 1 アンペアの割合で變化する電流に依つて 1 ボルトの電圧を誘導するやうな線輪の自己誘導係数を 1 ヘンリと云ひ、一方の線輪の上記割合の電流變化が他方の線輪に 1 ボルト電圧を誘導すれば、兩線輪間の相互誘導係数を 1 ヘンリと定むる。

是等の實用單位は必しも實用的でないので、場合場合に依つては更に此の分數或は倍數を單位とする。例へば、低抵抗の導体のみを取扱ふ處は 1 オームの 10、萬分の 1 を以て 1 マイクロオーム、絶縁抵抗のやうな高抵抗に對しては 100 萬倍してメガオームを單位とする。電流でも微小電流に對しては、1000 分の 1 アンペアをミリアンペア、ワットの 1000 倍をキロワット、1 ファラドの 100 萬分の 1 を 1 マイクロファラド、1 ワット秒の 360 萬倍を 1 キロワット時、電壓でも 1 ボルトの 1000 倍を 1 キロボルト、1000 分の 1 を 1 ミリボルト、1 ヘンリの 1000 分の 1 を 1 ミリヘンリと稱する。

是等の實用單位と前述の C.G.S 單位との間には確然たる關係がある。

【問題】 C.G.S 靜電單位及 C.G.S 電磁單位を説明せよ。

【問題】 電氣的諸量の實用單位がアンペア、オームより定められる理由を記せ。

(註) 上記の單位を表はすのに、次の記號を用ひる。

アンペア...A, ボルト...V, ワット...W, ワット時...WH, オーム... Ω , ファラド...F, ヘンリ...H, 尙, キロ...k, ミリ...m, メガ...M, マイクロ... μ を冠する。例へば、2 萬ボルトを 20 kV, 10 ミリアンペアを 10 mA, 5 メガオームを 5 M Ω 等と表はす。

1.2 靜電現象

(1) 靜電誘導、電界

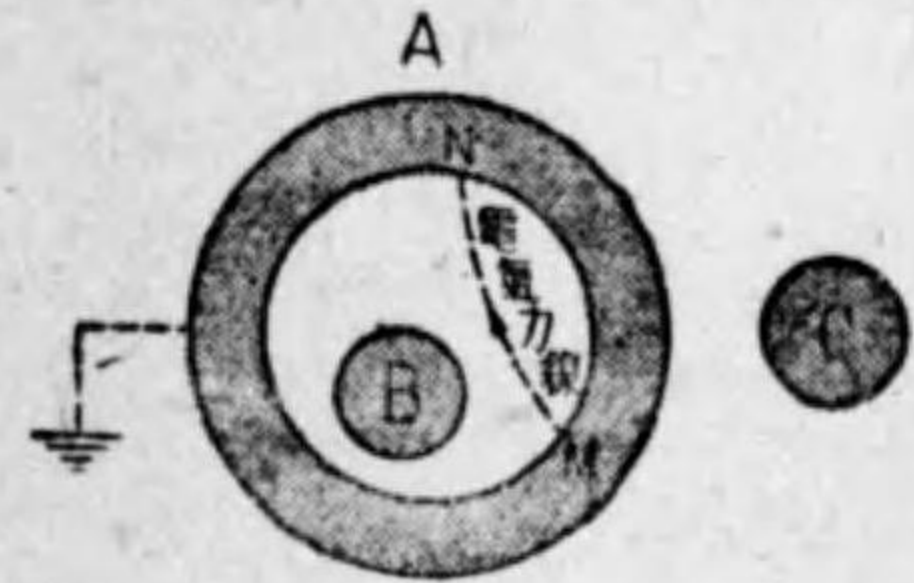
充電と云ふ現象が、自由電子に依つて生ずることは前に述べた通りであつて、自由電子を球狀とすると、其の半径は 1.8×10^{-14} 種 (水素の 1/1500) 質量は 9.00×10^{-28} 瓦、その有する負の電荷は靜電單位で 4.770×10^{-10} である。



又、前述したやうに、A なる物体に正の帯電体 B を接近させると、A の B に面する方には負の電荷が現れ反対側には正の電荷を生ずる。若し B が負の帯電体であると逆になる。之は A のみが存在する場合は自由電子が球内一面に散在し、中性体である。然し B を接近させると負の電荷を有する自由電子は B の正電荷に吸引されて A の右側に集り、此の側は負の充電を呈する。然して A の左側は其の中にあつた自由電子が右側へ移動した結果として正の充電となる。此の現象を靜電誘導と云ふ。此の儘 B を取り去ると、A の自由電子は左側の + に引かれて舊に復して元の中性体となる。然し B を取り去る前に A を点線の様接地すると、大地の自由電子が + に引かれて止つて来て + と中和する。此の時、接地線を外して B を取り去ると、A は負の帯電体となつて残るのである。扱、此の A の近くへ点狀帯電体(点狀電荷とも云はれ点と見做し得る如き帯電体)を持つて來ると、之れと A との間に吸引力或は反撥力が作用する。斯様に点狀電荷に或る力が作用する空間を電界と云ふ。何故点狀電荷にしたかと云ふと、大きさを有する電荷では其の中の何處かの部分には力が働き、何處かの部分には力が作用してゐないかも知れぬ。従つて、此の電荷の占むる空間の總てが電界であるとは云へないからである。

此の電界内にて電荷の受くる力を電氣力と云ひ、其の大きさは、先のクーロンの法則に依ると、A の電荷を Q_1 , B の電荷を Q_2 , 兩者の距離を r として、前掲の f の式のやうに示される。今 $Q_2=1$ なる電荷とし、 $k=1$ に撰定すると、

$f = \frac{Q_1}{r^2}$ であつて、此の力は Q_1 と Q_2 を結ぶ直線上に働く。之を電界の強度と云ふ。換言すると、電界の強度は電界内に置れた單位の正電荷に作用する電気力の強さ及方向を以て表される。

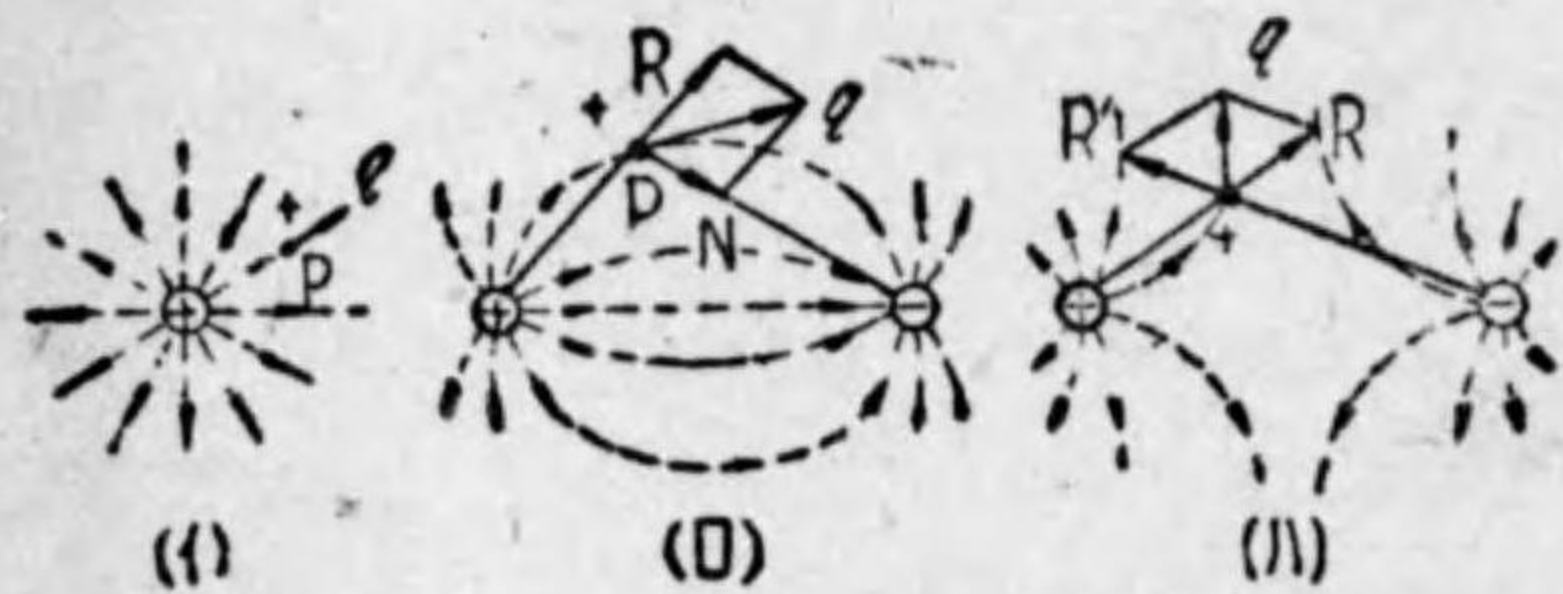


(註) 遮電(静電遮蔽) 静電誘導作用を無くすること、圓のやうに絶縁導体 B を中空導体 A で包み、之を接地すると、例へば C に電荷を與へても A は常に零電位(大地電位)であるから、A の誘起電荷は直ちに大地に逃れ去つて、B には電荷を誘導しない。即ち B は静電遮蔽されたことにな

る。計器や交流ブリッジ等は静電遮蔽を行ふため、金屬函に入れるか、或は木製外函に錫箔を張つて之を接地してゐる。

(2) 電気力線

此の電界の方向を好都合に表したものが電気力線であつて、次圖に其の3例を示す。



(イ)は正電荷より生ずる電気力線、(ロ)は正負の電荷によつて生ずる電気力線。(ハ)は相等しい2つの正電荷より生ずる電気力線で、(イ)及(ハ)

に於て負電荷であると曲線は内方に向くのみで形は同様である。今、此の曲線上に單位の正電荷 P を持つて來ると、如何なる力を受くるかと云ふに、P の置れた点に於て此の曲線に引いた切線の方法となる。例へば (イ) に於て、+ と P を結ぶと直線の延長 Pq 方向に受けるが、此の Pq は + を中心とした放射線と

- 【問題】 静電誘導及遮電を説明せよ。
- 【問題】 電界の定義、電界の方向及強さの表はし方を説明せよ。
- 【問題】 電気力線の表はし方を實例の二三に就て述べよ。

一致し、又放射線の切線は矢張り此の放射線であるから、放射線即ち電気力線の切線方向にある。(ロ)では + と P は PR 方向に、P と - は PN の方向従つて P の受くる力は此のベクトル和 Pq 方向となり、之は電気力線上の P 点に引いた切線の方法である。(ハ)に於ても同様に云へる。以上の事を反對に云ふと、電界内に於て電荷或は電荷の間を結ぶ曲線を想像し、曲線上の各点に引かれた此の曲線の切線の方法が此の点に於ける電界の方法(單位の正電荷の力を受くる方向)を表す時、是等の曲線を電気力線と云ふ。従つて、前圖で示すやうに電気力線が描かれるのであつて、常に正電荷より發して負電荷に終り、電界内の1点に於て2本の電気力線が交叉するやうな事はない。何故なら、交叉すると、此の点に於て、兩電気力線に引ける切線は2つあつて、單位の正電荷の受ける力の方向に二様あると云ふ矛盾を生ずる。後述するやうに、磁極及磁極間に於ける磁力線も之れと同様にして考へられる。

(3) ファラデー管、等電位面

電気力線の分布状態に對して、ファラデーは次のやうな假説を與へてゐる。

電気力線は其の長さの方向には張力が働き、其の長さを最短にせんとし、相隣れる電気力線相互間には反撥力が働いて相遠ざからんとする。以上では電気力線に依つて電界の方向を表はす事を説いたが、電気力線と直角に單位面積を取り、其の中に含まれる電気力線の數を以つて、其の点の電界の強さを表す。又此の電気力線の一束、即ち正電荷を有する物体の表面の微小面積を取り、其の周邊より發射される電気力線に依つて構成される管を電力管と云ひ、正負の單位電荷を結ぶ電力管を單位管(或はファラデー管)と稱する。電気力線上にて相等しい電位の点を結ぶ線或は面を等電位線、或は等電位面と云ふ。

但し、ある点の電位とは、單位の正電荷を電荷の作用しない無限の遠方より、その点迄運ぶに要する仕事で表す。

(註) 静電放電: 先端の尖つた導体に電荷を與へると、電荷は先端部に密集する。従つてこの部分から電荷が溢れて周圍の空氣に傳はり、空氣は同種の電荷を得て反撥せられ、先端に風を生ずる。これを静電放電と云ふ。静電放電によつて生ずる風をイオン風と云ひ、イオン風電圧計はこのイオン風を利用したものである。

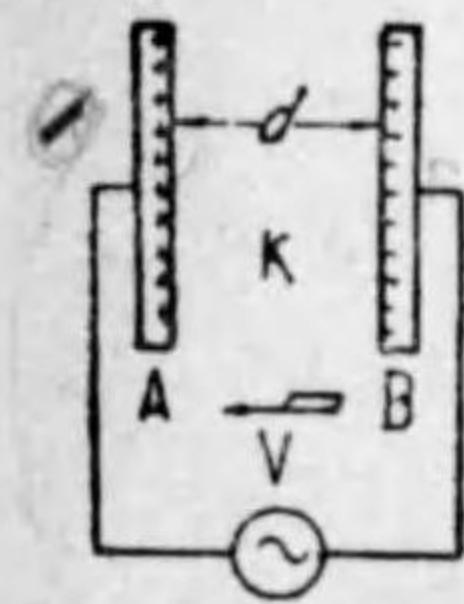
(4) 電気力線の應用



左圖に示すのはピン型碍子の一種で、其の頂上の溝に A の様に導体を置き、下に足を附して之を支へる。今導体 A より足に至る電気力線を假想すると、碍子の a なる部分は等電位面に一致させ、b なる部分は電気力線と同一の方向とする。斯く碍子の形を定めると、電氣的に最も強い碍子となるのであつて、電気力線の應用の一例と云へやう。

(5) 静電容量, 誘電率

茲に 2 つの平行金屬板 A B が或る距離 d を以つて相對して居る。今之れに



或る電壓 V を加へると如何になるかと云ふに、電壓を加へると云ふ事は、其の + 側の自由電子を取り去り、其の - 側に自由電子を與ふると云ふ事であるから、A には正の電荷が、B には負の電荷が現はれる此の電氣量は勿論加へられた電壓の強さに比例するが、電壓を一定とすると、距離 d が短い程、板の面積 S が大なる程、

大きいのである。何故なら、距離が短いと、一方の板に生じた + は、他の板の - を引出さんとする力が強い。又板の面積が大きいと矢張り互に +, - の作用する力が強くなる。更らに又、兩板に現はれる電氣量 Q は兩板間にある物質に依つて異なるので、之れに依る係数を K とすると

$$Q = \frac{KS}{4\pi d} V \quad C = \frac{KS}{4\pi d} \quad S = \text{平方糎} \quad d = \text{糎} \quad \pi = 3.14$$

なる關係があつて、此の C を静電容量、K を誘電率と云ひ、同一の構造の平行板で、板間が空気の場合を 1 とし、他の場合は之に對する倍數としたものである。之はクーロンの法則に於ける K とも同一の事柄であつて、時に電媒常數とも云

【問題】 電気力線の應用を説明せよ。

【問題】 平行板蓄電器の静電容量は、板間距離、板面積に依り如何に變化するかを述べよ

【問題】 次を略説せよ。

- (イ) ファラデー管 (ロ) 等電位面 (ハ) 誘電率 (ニ) 接地容量 (ホ) 相互容量

はれる。普通の物質の K の値を示すと

エポナイト...2.0~3.5 硝子...5~10 ゴム...2.1~2.3 マイカ...5.7~7

陶器...4.0~6.8 パラフィン油...4.8~9.6 純水の水...76 紙...1.2~2.6

K の値の大きいと云ふ事は、兩板間に通ずる電気力線に對する抵抗が少ないと云ふ事にもなる。此の種の静電作用の媒介をする絶縁物を誘電体と稱する。

$$Q = CV \quad C = \frac{Q}{V} \quad V = \frac{Q}{C}$$

之をオームの法則と比較すると、C は抵抗の逆數に、V は電壓、電氣量 Q は電流に相當すると云へる。但し、電氣量は電流の蓄積と考へてよい。此の法則は大切であるから暗記して置いて欲しい。但し、單位は Q=クーロン、V=ボルト とすると、C=ファラドである。

空气中に一つの充電体を置くと、これは Q を有し、又大地に對し電位差即ち電壓 V を有するから當然大地に對して静電容量を持つ事となる。之を接地容量 (又は對地静電容量) と云ふ。又 2 つの相異なる帯電体を置くと、兩者間に電氣量の相違 (正負或は値の相違) があつて、電位差を生ずるから、兩帯電体間に静電容量がある。之を相互容量と云ふ。例へば架空送電線は之れと同様で、線間静電容量と各對地静電容量を有する。一般に架空線は d が大きいし K=1 であるし S も大きくないから C は小さいが、地下線は d が小で K が 1 より大きく、S は少々大きいから、静電容量は地下線の方がはるかに大きくなる。

1.3 磁氣現象

(1) 磁極, 磁界

電磁現象は前述の静電現象と類似する處が多いから、2 つの現象を同時に理解せられるのが便利である。説明も煩を厭はず、此の主旨に依らう。

一つの帯電体に於て、正負の電荷の現れる處を電極と云ふやうに、磁石の N, S 極の現れる處を磁極と云ふ。又、異種の電荷は相吸引し、同種のものが相反撥し、其の間にクーロンの法則が成立したやうに、異種の磁極 (N と S) は相吸引し、同種の磁極 (N と N 又は S と S) は相反撥し、其の間に働く力は兩者の距離を d とすると、矢張りクーロンの法則に従つて

$$f = k \frac{m_1 m_2}{d^2} \quad m_1 m_2 \text{ は各磁極の強さ, } k \text{ は常数}$$

となるのであつて、今 $d=1$ 種なる空気中で $m_1=m_2=m$ なる時、 $f=1$ ダインとなるやうな m を以て磁極の単位とする。之より C.G.S 電磁単位の導出されることは既に述べた。空間に於て点状電荷がある力を受ける時、此の空間を電界と云つたやうに、空間に置かれた点状磁極に或る力が作用すれば、此の空間を磁界と云ふ。又、点状磁極を単位の正磁極に撰定すると、之れに働く力の大きさを以て磁界の強さとする事が出来る。然して、此の力が 1 ダインである時の磁界の強さを単位とし、之れを 1 エルステッドの磁界と云ふ。

(註) 磁束密度 B (ガウス) と磁界の強さ H (エルステッド) は空気中 ($\mu=1$) の時は数値的に全く相等的い。

(2) 磁力線

電界内に於て、多数の曲線を想像し、此の曲線上のあらゆる点の切線が其の点の電界の方向を表はすとき、此の曲線を電氣力線と云つた。同様に磁界内に於て多数の曲線を仮想して、是等の曲線上の任意点の切線が其の点の磁界の方向を示す時、此の曲線を磁力線と云ふ。此の事に就いては先に圖示した電氣力線の 3 つの圖に於て、+, = の代りに N, S を置き、P を単位磁極とすると、全く同一の説明となる。又、電氣力線に関する夫れ以下の事柄は、其の儘磁力線の場合にも適用せられる。即ち、磁力線は N 極より出發し S 極に終り、引張られたゴム糸の如くに其長さを最短とし、相隣れる磁力線間には反撥力が働いて相遠ざけんとする事等の性質がある。今、一枚の蠟引きの紙に鐵粉を散布し、2 つの磁極の相對する上に持つて來て、軽く紙を搖ると紙上の鐵粉は磁力線狀に整列する。此の紙を其の儘静かに火の上にかざすと、蠟が溶けて鐵粉が融着する。之を冷却すると磁力線の形狀が長く保存出来る。

夫は扱て置き、電氣力線の數で電界の強さを表したやうに、磁力線を以て磁界の方向のみならず、磁界の強さを表す事が出来る。即ち、磁界の方向に直角な單

【問題】 磁極並磁界の強さの表はし方を記せ。

【問題】 磁力線の性質を説明し、同名極及異名極の棒狀磁石が相對して置かれた時の磁束分布を畫け。

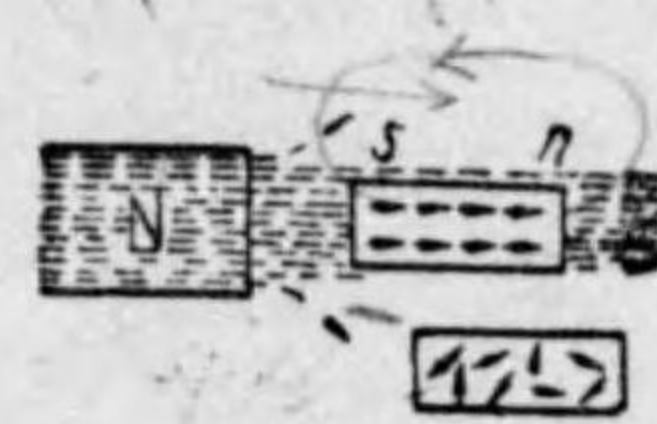
位面積を通ずる磁力線の數を以て磁界の強さとするのであつて、1 エルステッドの磁界には此の 1 平方徑に 1 本の磁力線があるものと定める。然して、 m なる磁極よりは $N=4\pi m$ なる磁力線を生ずる。何となれば、 m を中心とし半徑 r なる球を考へ其の面上に單位磁極を置くと、之に働く力はクーロンの法則に従つて $f = \frac{m}{r^2}$ であつて、之は換言すると、此の面上 1 平方徑に f 本の磁力線があると云ふ事だから (前述参照) 面上全部では、球の表面積が $4\pi r^2$ であり、 $4\pi r^2 \times f = 4\pi m$ 本となる。然かも此の球で m を全部蔽ふて居るから $4\pi m$ は m より出づる總磁力線數となる。

(3) 磁位、等磁位面

靜電現象に於て電位があつたやうに、磁界内の一点に於て、單位の N 極を無限大の彼方から、磁界の作用に逆つて此處迄持つて來るに要する力を指して、磁位と云ふのであつて、 m なる磁極より d なる距離にある点の磁位は m/d である。此の磁位の等しい点を連ねた面を等磁位面と云ふ。

(4) 磁氣誘導、磁化、磁化度、導磁率、磁化率

或る電荷を有する物体に他の中性体を接近させると、中性体に電荷を誘導する。之を靜電誘導作用と云つた。同様に磁極の近くに鐵片を持つて行くと此の鐵片は



左圖のやうに s, n なる磁極 (S 極の近くに持つて行くと n, s) が表れる。之を磁氣誘導或は磁化作用と云ふ。一般に磁化せられる物質は磁氣分子より構成せられ、磁極を表さないのは、此の磁氣分子が下圖のやうに亂雑な

配列をして居る爲めである。然し、一度び之を磁界内に入れると、磁力線の作用に依つて上圖の如くに磁氣分子が整然と配列せられて、磁極を表すに至る。表れる磁極が強いと云ふ事は、より一層強力な磁界に於て、より多くの磁氣分子が其の配列を整へると云ふに歸着する。然して、此の鐵片の斷面積を取つて之に通過する磁束を考へると、磁化せられる以前は此の磁界の強さ H に相當する磁力線が通じて居るが、一度び磁化されると、自ら磁極を生じ、己れの磁極に依り、 n, s 間に磁力線を通じ、従つて、之が己の体内を通るから、鐵片斷面の磁力線は増加する。此の時の磁力線の數を B とすると、 $B-H$ は鐵片が磁化した爲めに増

した磁力線数で、一般に之を 4π で除し

$$I = \frac{B-H}{4\pi} \quad \text{又} \quad B=H+4\pi I$$

の I を以て磁化度と云ふ。又後式の兩邊を H で除して

$$\frac{B}{H} = 1 + \frac{4\pi I}{H} \quad \mu = 1 + 4\pi k$$

此の $\frac{B}{H} = \mu$ を導磁率, $\frac{I}{H} = k$ を磁化率と稱する。導磁率と云ふのは、前式で示したやうに、磁界 H 内に置れたものが磁化せられた結果、其の体内に増加する磁束密度 (磁力線を一束とし、其の單位面積當りの數) の割合であつて、空氣の場合、即ち磁界内に置かれた空氣は $\mu=1$ で何等の増減もないが、軟鐵にあつては $\mu=10,000$ にも及ぶ。

(5) 磁性体, 非磁性体, 正磁性体, 逆磁性体, 強磁性体

磁化される物質を磁性体と云ひ、磁化されないものを非磁性体と云ふ。

次に、磁化率 k であるが、之が正で一定値のものを正磁性体と云ひ、空氣, 白金, マンガン等が之に屬する。次に此の値が正であつて大なる値を有し H の大小に依つて甚しく變化するものを強磁性体と云ひ、鐵, ニッケル, コバルト等が之に屬する。最後に k の値は大きくないが一定で、奇妙にも其の値が負となるもの、即ち、前圖で N に面する方に n が生じ、他方が s になるやうなものを逆磁性体と云ふのであつて、水銀, 銅, 鉛, 蒼鉛, 亞鉛等が之に屬する。 k の値は、鐵で $500\sim 1000$, ニッケル 30 , コバルト 20 であつて、他の正及逆磁性体は遙かに小さく、例へば蒼鉛で 25×10^{-7} に過ぎない。従つて、磁化せらるゝもの即ち磁性体としては普通は強磁性体しか認めない。

(6) 磁気モーメント

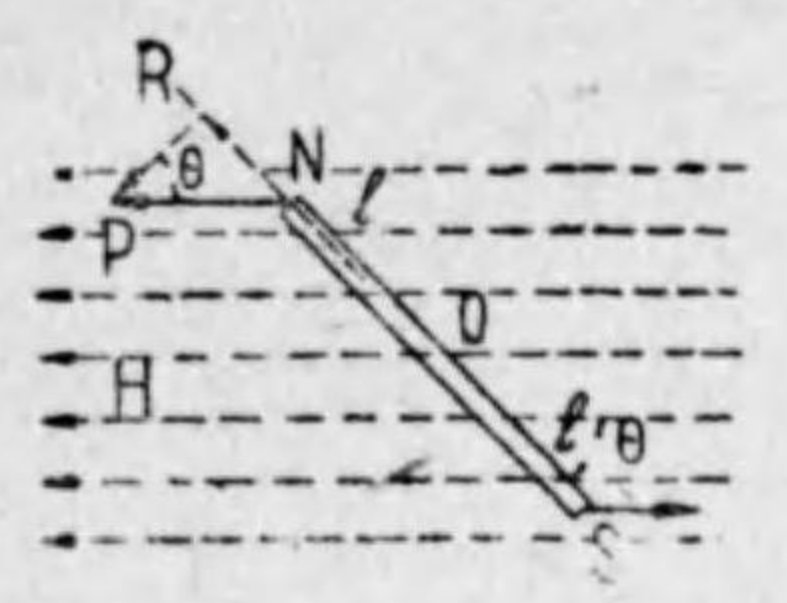
次に、磁界内に一つの棒状磁石を持つて來る。其の磁極の強さを m とし、全

【問題】 電位と磁位, 等電位面と等磁位面を比較説明せよ。

【問題】 次の各項を説明せよ。

- (イ) 磁気誘導 (ロ) 磁化 (ハ) 磁化度 (ニ) 導磁率 (ホ) 磁性体 3 種
- (ヘ) 磁気モーメント

長を $2l$ とし、 H なる強さの磁界内に θ 角を爲して置く。

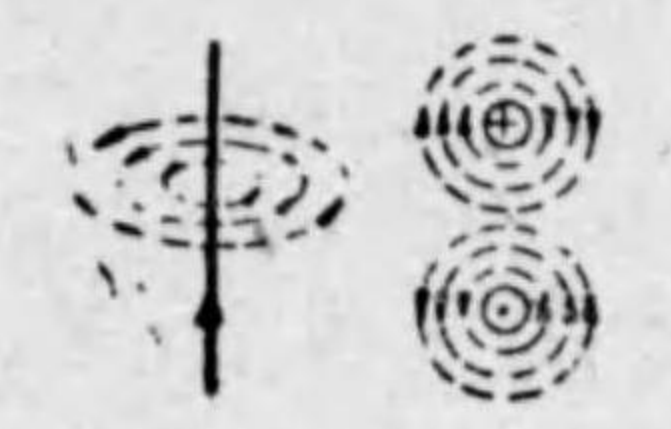


今、 N, S の中点 O を中心として考へると、 N, S は H の方向に回轉し、 H と同方向にならうとする圖のやうな力を受ける。即ち N 極のみに就て考へると、 NP なる力は mH であつて、 N, S を回轉させやうとする力は PR で (NP を圖の如く N と R とに分解すると、 NR は NS を引張る力となる) $mH \sin\theta$ で、之に長さ ON を乗ずる。即ち $mHl \sin\theta$ となり、 S 極も同様であるから、棒状磁石全体としては $2mHl \sin\theta$ である。今、 $\theta=90^\circ$ 即ち棒状磁石が磁界と直角方向にある場合に $\sin\theta=1$ で $2l=L$ (全長)、又 $H=1$ とすれば、回轉力 $F=mL$ となる。此の F を磁石の磁気モーメントと云ふ。

1.4 電磁現象

(1) 電流の作る磁界

電氣工學の華かなる一面は、此の電氣の磁氣作用に依つて代表せられて居ると云つても良い。發電機然り、電動機然り、總て電磁作用應用の一端である。茲に



一つの直線狀の導体があつて、之れに電流を通ずる時は大地に對し電位を有するから、電氣力線を生ずるは勿論此の電流に依つて磁力線を生ずる。磁力線の方角は、右廻しねらの進行方向が電流の方向に、螺子の回轉方向が磁力線の方角となる。圖は此の關係を示して居るのであ

つて、 \oplus は $+$ が矢尻を示し、電流が紙面より向うに向つて流れて居る。 \odot は \cdot が矢の頭を表し、電流が紙面より此方向に向つて流れて居る。然して、此の導体より d 距離離れた点の磁界の強さ (即ち、此の点に於て磁力線の方角と直角方向の斷面に通る磁力線の數) は電流を i アンペアとすると $H = \frac{2i}{10d}$ エルステツドである。又、半径 r 級の圓形にせられた n 巻きの線輪に電流 i アンペアが流れた時、其の中心に生ずる磁界の強さは $H = \frac{2ni}{10R}$ エルステツドとなる。

圓筒狀に巻かれた線輪をソレノイドと云ふのであつて、之に電流 i を通ずると

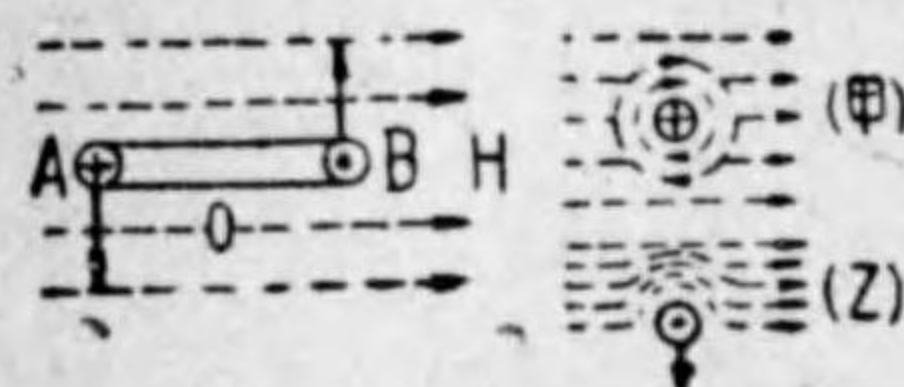
其の内部に生ずる磁界は $H = \frac{4\pi ni}{10}$ であつて、 n は長さ 1 極宛の巻数である



然して、之に依る磁力線の分布は左圖の様になり、宛かも N, S なる棒状磁石があるのと同様である。斯様にソレノイドの代りに磁石として考へたるものを等価磁石と云ふ。

(2) 電流の受ける電磁力 (フレミング左手の法則)

以上と逆に、棒状磁石は電流を通ずるソレノイドとも考へられるのであつて、先に磁界内に磁石を持つて来た時、之が回轉力を受けたやうに、磁界内に電流を通ずる線輪を置くと、力の作用を受ける。或は又、2 つの磁石が相作用したやう



に、電流を通ずる 2 つの導体間には其の電磁作用に依り力が働く。左圖のやうに、磁界内に断面が A, B で表はされた矩形導体を置き之れに電流を通ずると、導体 A, B には圖示の方向に力が働く。其の理由は右圖の (甲)

に示す如く、導体に生ずる磁力線は上は H と同方向で相加はり、下は H と反対方向で打ち消し合ふ。其の結果、磁力線は (乙) 圖に示すやうに、上に密に、下に粗となり、斯様に歪曲された磁力線に依つて、導体は下方に押し下げられる。

同様に、右の \odot は上方に押し上げられ、矩形線輪は O を中心として反時計式方向に回轉する。之が電動機の原理である。斯様に、磁界



H , 電流 i , 受くる力 M の 3 つは互ひに直角の方向にあつて、此の間の關係を示すのに、拇指、人差指、中指の 3 つを互ひに圖のやうに直角に曲げ、人差指が磁界 H , 中指が電流 i の各方向を示すやうにすると、拇指は導体の受ける力 M の方向を表はす。之をフレミングの左手の法則と云ふ。

【問題】 ソレノイドに電流を通ずると棒状磁石と同様の働きをすることを説明せよ。

【問題】 フレミング左手の法則に依り、電流を通ずる導体間に働く力の方向を示せ。

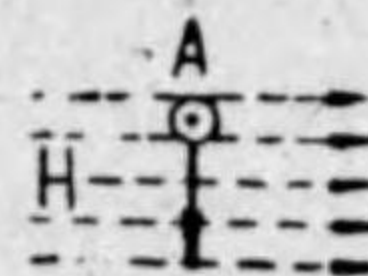
記憶の方法は拇指は母 (Mother) で M , 人差指は (Hitosashi) で H , 残りの中指は i と定めやう。

以上の矩形線輪が磁界と直角の位置に回轉すると、此の位置では M の方向が軸心の方向と一致するので回轉しない。此の現象を目してマクスウェルは「矩形導体は最も多くの磁力線を其の面と直角方向に通ずるやうな位置に向つて回轉するものである」と云つた。之をマクスウェルの法則と云ふ。

(3) 電磁誘導 (フレミング右手の法則)

今、一つの線輪に通ずる磁力線の数を變化させると、此の線輪には起電力を生ずる、之れを電磁誘導と云ふ。此の電磁誘導に依つて一つの線輪に誘起される起電力は、線輪の面を直角に通過する磁力線の總数が時間に對し變化する割合に比例する、線輪に電磁誘導に依る起電力を誘起させるには、2 つの方法がある。即ち其の線輪を磁界内で運動させるか (逆に線輪を静止させて磁界を運動させても同様である) 其の線輪の近くに他の線輪を持つて来て之に通ずる電流の大きさを變化する。従つて、之れに依り第一の線輪に通ずる磁力線の数を變化させる。前の方法が發電機の原理であり、後の方法は變壓器の原理である。尙、磁界内に數多くの導体が並べられ、此の表面に軟鐵片を移動させて磁束分布を變化し、導体に起電力を誘起させる方法もある。之は一般に實用されてゐないが、無線用の高周波發電機として應用せられ、誘導子型交流發電機と云はれて居るものである。次に先の 2 つの場合に就て説明しやう。

“導体を磁界内に於て回轉させる。” 今 H なる磁界と直角方向に置かれた直線



状導体 A を取り、之を左圖のやうに下方に動かしたとすると (A を静止して磁界を動かしても同様) 導体は磁力線を切り、換言すると、導体内を通ずる磁力線が變化して此の導体に誘起起電力を生ずる。其の値は C.G.S 單位

で $e = Hlv$ を以て表される、但し、 H はエルステッドを以て表した磁力線で H の方向と直角な断面の單位面積當りに H 本の磁力線の通ずることを意味する。

l は導体の長さ (極), v は導体が毎秒進む距離である。従つて、 Hlv は此の導体が 1 秒間に切つた磁力線數と云ふ事になり e を實用單位で表すと $e = Hlv \times 10^{-9}$

ボルトとなる。故に $e=1$ ボルトとするには $H/v=10^8$ とならねばならぬ。此の事より、毎秒 10^8 本の磁力線を切る導体は 1 ボルトを誘導すると云ふ事が解らう。扱、此の誘起される起電力の方向はどうかと云ふと、磁界 H の方向、運動 M の方向、起電力 e の方向の 3 つは互ひに直角方向にあり、先の H, M, i 間の左手の法則と同様に、右手三指の法則が成立するのであつて、矢張り之をフレミング右手の法則と云ふ。即ち、圖のやうに、拇指を M の方向、人指指を H の方向とすると、中指が e の方向となり、前圖に於て、導体 A には紙面より此方に向く起電力が誘起される。此の法則の記憶の方法は、左手の場合と同様で、唯、左手で運動の方向を、右手で誘起起電力を求める事を間違はないやうに記憶されたい。例へば、短氣な人はどうしても右手が発動し易い。だから電氣を起す時は右手が発動する等と。



次に、 H なる磁界内に A, B なる断面で表される矩形線輪が毎秒 n 回轉し

(4) 交流の発生、周波数、実効値、平均値、波形率

今、左圖の如く H と直角な X, Y より θ 角を爲す位置にあるとする。此の時、線輪に誘起される起電力を考へやう。 A, B 導体の長さ (H と直角方向の) を l とし、其の中 (H と平行に) を b とする。此の導体が毎秒 v 纏の速度で運動すると、 A 導体の v は A, B 線輪と直角な AM の方向となる。然して、 AM は H と直角な AN と平行な NM に分解して考へる事が出来る。即ち、1 秒間に導体 A が A より M に達するやうな速度は、1 秒間に導体 A が A より N に至り、更に M に至る速度と考へて宜い。此處で實際に磁力線を切るのは AN 間のみであつて、之は $AM=v$ とすると $AN=v \sin \theta$ となる。従つて、導体 A が此の位置に於て切る實際の磁力線の数は、 l なる長さで A より N に移つた、即ち AN 間に含れる磁束で其の面積は $l \times AN = lv \sin \theta$ である。然るに、單位面積に付き H 本の磁力線であるか

【問題】 フレミング右手の法則に依つて發電機及變壓器の原理を説明せよ。

ら、磁力線の總数は $lvH \sin \theta$ であつて、 B 導体も之れと同数の磁力線を切り A, B の起電力は重り合ふ。又、1 秒間に 10^8 本切ると、1 ボルトであるから

$$\text{線輪の全誘起起電力 } e \text{ は } e = 2lvH \sin \theta \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

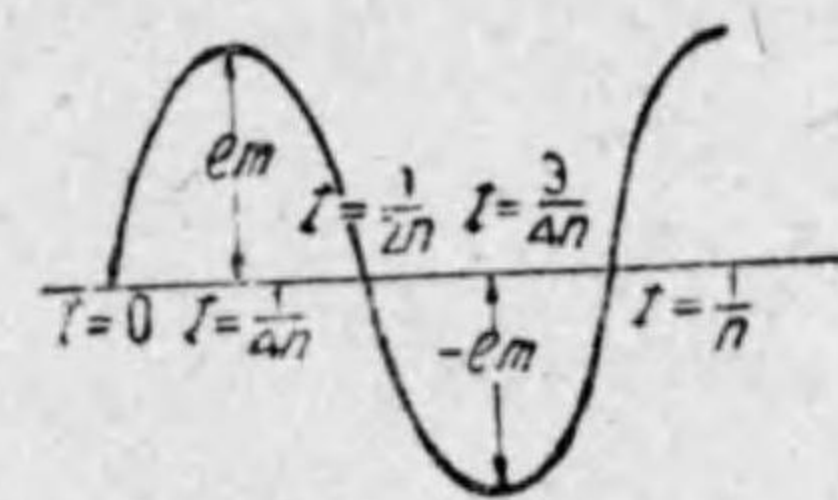
今、 A, B が X, Y と重つた瞬時を時間の基点として、 θ 角回轉するのに t 秒を要したとする。1 回轉するには $1/n$ 秒要し、 2π 回轉する (圓周上、半徑と等しい長さの弧の張る角を 1 ラヂアンとすると、全圓周では $2\pi r \div r = 2\pi$ ラヂアンである) 又、 t 秒で θ であるから

$$\frac{1}{n} : 2\pi = t : \theta \quad \theta = 2\pi nt$$

又、1 回轉すると $1/n$ 秒で、 πb 纏 (1 圓周) 回轉するから 1 秒間には、即ち速度 v は

$$v = \pi b \div \frac{1}{n} = \pi bn$$

以上の二式を前式に代入すると $e = 2\pi n^2 lbH \sin 2\pi nt \times 10^{-8}$ となり、時間 t と共に、如何に起電力が變化するかが明瞭に觀察される。之を圖示すると、左圖のやうになり、 $t=0$ では、 $e=0$ となり、 $\sin 2\pi nt$ の最大は $\sin 2\pi nt = 1$ の時、即ち $2\pi nt = \frac{\pi}{2}$ 、 $t = \frac{1}{4n}$ で $e = e_m = 2\pi n^2 lbH \times 10^{-8}$ 、 $t = \frac{1}{2n}$ で $\sin \pi$ となり $e = 0$ 、 $t = \frac{3}{4n}$ で $\sin 1.5\pi$ となり $e = -e_m$ で、 $t = \frac{1}{n}$ で $\sin 2\pi$ となり $e = 0$ で、之よりは同様な變化をする。此の $t=0$ より $t = \frac{1}{n}$ 間で 1 回起電力の波形が完成するので、之を 1 サイクルと云ふ。斯様に起電力は正弦波形的に變化するので、之を交番起電力或は略して交流と云ふ。然して、1 秒間に此の波形が何サイクルするかを交流の周波数と云ひ f で表す。即ち、1 サイクルに $1/n$ 秒を要するから、1 秒間には $1 \div \frac{1}{n} = n$ サイクルであつて、前式の n は f と一致し、一般に $2\pi n = 2\pi f = \omega$ を以て表す。此の ω は 1 秒間に回轉する回轉角であるから



より、 $t = \frac{1}{4n}$ で $\sin 1.5\pi$ となり $e = -e_m$ で、 $t = \frac{1}{n}$ で $\sin 2\pi$ となり $e = 0$ で、之よりは同様な變化をする。此の $t=0$ より $t = \frac{1}{n}$ 間で 1 回起電力の波形が完成するので、之を 1 サイクルと云ふ。斯様に起電力は正弦波形的に變化するので、之を交番起電力或は略して交流と云ふ。然して、1 秒間に此の波形が何サイクルするかを交流の周波数と云ひ f で表す。即ち、1 サイクルに $1/n$ 秒を要するから、1 秒間には $1 \div \frac{1}{n} = n$ サイクルであつて、前式の n は f と一致し、一般に $2\pi n = 2\pi f = \omega$ を以て表す。此の ω は 1 秒間に回轉する回轉角であるから

之を角速度と云ふ。又、1 サイクルに要する時間を一周期と云ふ。即ち、一周期 $T = \frac{1}{n} = \frac{1}{f}$ 又、 $\omega = 2\pi f$ より $T = \frac{2\pi}{\omega}$ で示す事も $f = \frac{1}{T}$ と表す事も出来る。

之に依り前式を書き直すと $e = \omega l b H \sin \omega t \times 10^{-8}$ ボルト

此の瞬時式の示す最大値を $E_m = \omega l b H \times 10^{-8}$ ボルトとすると、交流用電圧計の指示する電圧 E は $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ となり、之を實効値と云ひ、 e の平均値 E_e は $E_e = \frac{2E_m}{\pi}$ となり、實効値と平均値の比 $\frac{E}{E_e}$ を波形率と云ふ。正弦波に於ては上記の数字より波形率が 1.11 となる事が分る。此の波形率は平均値が分つた場合、例へば交流を可動線輪型計器で測定すると計器の構造上平均値を示す。此の平均値に波形率を乗すると容易に實効値が判明する。

$$\text{波形率}(F) = \frac{\text{實効値}(E)}{\text{平均値}(M)}$$

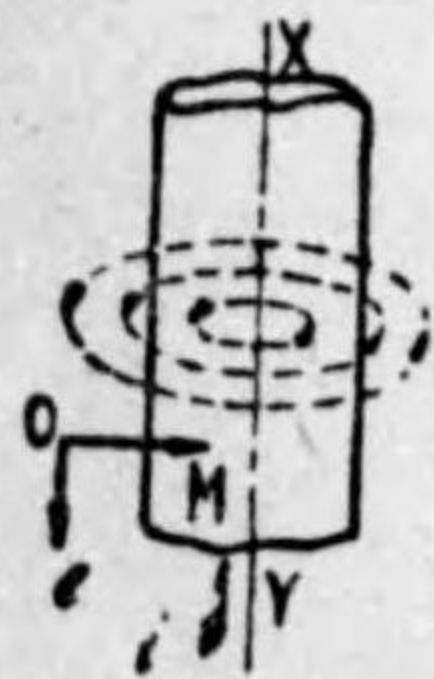
簡記は $F = \frac{E}{M}$ とすると、アルファベット順で F は E と M の間にあるから斯様に示すのだと記憶されよ。

上述に交流用電圧計(電流計も同じ)と云つたのは、交流の實効値を示すもので、例へば、電流力型、誘導型、熱線型等である。

(5) 自己誘導

前述の方法で誘起した誘起起電力を抵抗 R の回路に流すと、

$$\text{流れる電流の瞬時値 } i \text{ は } i = \frac{e}{R} = \frac{e_m}{R} \sin \omega t$$

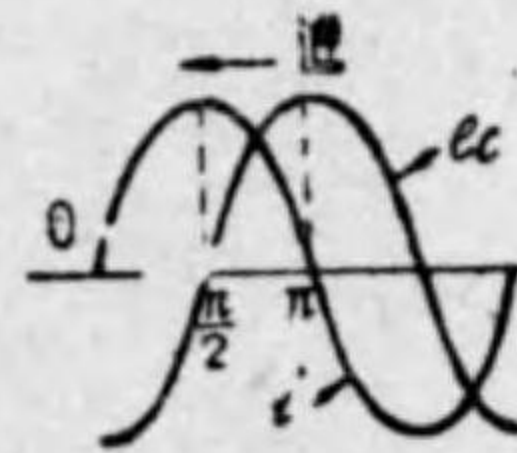


となり、電流 i も亦正弦波形になる。斯様な電流が流れてゐる導体を取つて考えると、其處に流れる電流は各瞬時に於て、其の値のみならず方向も正弦波形的に変化する、圖に於て、電流が下より上に向ふものとし、漸次増加の過程にあるとする。磁力線は、導体を中心とした圓形になり、其の方向は、右ねぢの法則に依つて圖の如く

【問題】 正弦波起電力を発生さす方法、其の實効値、波形率を説明せよ。

に定められる。電流を増すと磁力線は増加するのであつて、圓形磁力線が増加すると云ふ事は、導体の中心の一点から磁力線が圓形に追々と生れて行くと考えられる。丁度、静かな水面に一石を投ずると、漸次其の波紋が擴大して行くのと同様である。何故? 斯様な考へ方をせねばならぬかと云ふに、磁力線は閉鎖して始めて生命があるので、何處かに切目があると云ふやうなものでない。生れた時から死ぬ時迄、閉鎖曲線、此の場合なら圓形を爲して居る。扱、電流が圖の方向に、漸次増加して行くと、磁力線は、中心から外方に追々成長して行く。と云ふのは、導体の左半分(X, Y を中心とし、紙面と直角の方向に切つた)は磁力線に依り、右から左へと切られる。と云ふのは、磁力線が静止して居つて、導体が左から右へと運動して磁力線を切つた事と同様である。又、磁力線の方向は、此の部分では紙面から此方に向いて居る。従つて、此の磁力線の變化に依り生ずる右半分の導体の誘起起電力は右手三指の法則に依つて上より下へ向く。右半分に於ては導体運動の方向を右より左と考ふべく、磁力線の方向は紙面より向うに向くから、其の誘起起電力は上より下に向く。従つて、此の場合は總体として電流の方向と反對にあつて、電流の増加を妨げる方向に誘起起電力を生ずると云へる

次に電流は此の方向であるが、其の値が漸次減少する場合は、磁力線の方向は其の儘であるが、磁力線は圓形の儘に漸次其の半径を小として中心に消え込み、電流の減少と共に其の数を減じて行くから、導体が運動すると考へる方向は前と反對となり、誘起起電力は下より上に向ふ。即ち電流の減少を妨げる方向にある電流の方向が反對方向となつても之れと同様であつて、常に電流の變化を妨げやうとして居る。然して、其の値は磁力線の變化、即ち電流の變化に依つて生ずるのであるから、電流が正弦波形となれば、此の逆起電力も亦、正弦波形的に変化しやう。



此の有様は左圖の如く圖示する事が出来る。即ち、電流 i の 0 より $\pi/2$ 間は電流が増すから、誘起起電力 e_c は i と反對方向にあつて電流の増加を妨げ、 $\pi/2$ より π 迄の間では電流の減少を阻止する爲めに e_c は i と同方向に……と考へて行くと e_c の曲線を得る。即ち、 e_c は i より $90^\circ (\pi/2)$

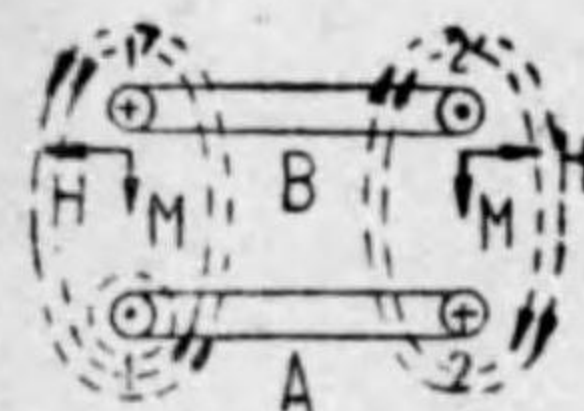
遅れた正弦波となる。斯様に自己に流れる電流に依つて生ずる導体の誘起起電力を自己誘導起電力と云ひ、此の作用を自己誘導作用と云ふ。

以上を約言すると、自己誘導作用に依る自己誘導起電力は電流より 90° 遅れ、常に電流の變化を妨げる。即ち、電流の流れを阻止しやうとする。直流を導体に通ずる場合は、之に抵抗するものは單に抵抗作用のみであつたが、交流に於ては自己誘導作用が新たに加つて来る。

直線状導体では、此の自己誘導起電力が大きくないが、ソレノイドでは、生ずる磁力線の数が重なり合ふので大きくなり、ソレノイドの内部に鐵心を有すると益々大きくなる。此の度合を示すものを自己誘導係數と云ひ、先に單位の項で述べたやうに、毎秒 1 アンペアの電流變化をする時 1 ボルトの自己誘導起電力が生ずると 1 ヘンリの自己誘導係數と云ふ。

(6) 相互誘導

A, B の線輪が圖のやうに置かれ、A 線輪にのみ圖示の方向に電流を流すと、



此の電流に依つて生ずる磁力線は、線輪 A のみと鎖交するもの、A, B 兩方と鎖交するものに分つて考へられる。自己のみと鎖交するものは前述の自己誘導作用となるのであつて、茲には兩者間を鎖交する磁力線の作用に就て考へる。

電流が圖示の方向に漸次其の値を増加すると云ふ事は、A 線輪の 1, 2 導体の中心より磁力線が波紋のやうに生じ、其の半径を擴大して B 線輪の 1', 2' 導体を切ると考へられる。従つて B 線輪に誘起せられる起電力は右手三指の法則を用ひて圖の如くに定められる。此の起電力は明かに A 線輪と反對方向にあつて鎖交する磁力線を打ち消そうとする。電流が減ずる場合、電流の方向が反轉する時も、之れと同様に考察される。線輪 A に毎秒 1 アンペアの電流變化を與へた時 B に誘起せられる起電力が 1 ボルトであると、線輪 B に同様な電流變化を

【問題】 相互誘導作用を説明せよ。

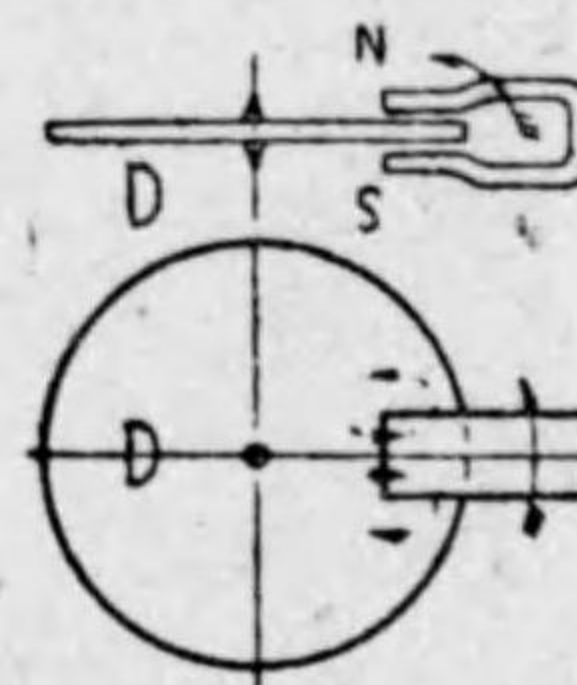
【問題】 自己誘導に依つて誘起起電力の生ずる所以を説明し、L ヘンリの自己誘導係數を有する線輪に f サイクルの交流 I アンペアを流した時の自己誘起起電力を求めよ。

$$I = I_m \sin \omega t \quad e = \frac{I_m}{2\pi f L} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

與へると、線輪 A にも矢張り 1 ボルトの誘起起電力を生ずる。此の場合の相互誘導係數を 1 ヘンリと云ふ。一般電氣機器は勿論、送配電線にも矢張り此の自己誘導作用及相互誘導作用がある。

(7) 渦流

D なる銅の圓板を其の中心に於て支持し、此の周邊を馬蹄形磁石 N, S で挟み



N, S を圖のやうに反時計式に回轉する。と云ふ事は銅板が時計式方向に磁束を切つたのと同一である。

従つて銅板に起電力が誘起せられる筈であり、其の方向は、右手の法則に依ると (H は紙面に向ひ、M は上より) 銅板起電力の方向は左より右に向ひ、之に依つて流れる電流は磁極の下では左より右に、之が磁極外の部分で右より左へ歸る。こうなると磁力

線 N, S 下に電流の流れた導体を有する事となり、此の導体即ち圓板は力を受ける。其の方向は左手の法則に依り (H は紙面に向ひ、i は左より右従つて M は下より上に) 反時計式であつて、銅板は N, S の回轉方向に追隨して回轉しやうとする。此の回轉力は圓板が磁束を切る間、即ち N, S の回轉に追ひ附かない以上は持續する。以上に於て、圓板内に誘導せられた電流を渦流と云ふ。一般に渦流は導体と磁力線が相對的運動をする時 (上記の例に於て N, S を靜止し、圓板を回轉しても渦流を生ずる) 或は、導体内の磁力線が變化する時 (自己誘導作用の説明を考へよ) に導体内に生ずる。

發電機、電動機、變壓器の導体内或は鐵心内には之が常に生じ、無用の損失を來す。此の渦流通路の抵抗を大とし、其の値を極限して損失を避ける目的で作られたのが成層薄鐵板である。と云ふと、渦流は有害な様に考へられるが、ものは利用一つで、上記の例で圓板が磁極に追隨して回轉した (之をアラゴーの圓板とも云ふ)。之れを利用し、交流で回轉磁界を作り、導体よりなる回轉子を回轉させたのが電動機界の花形、誘導電動機である。

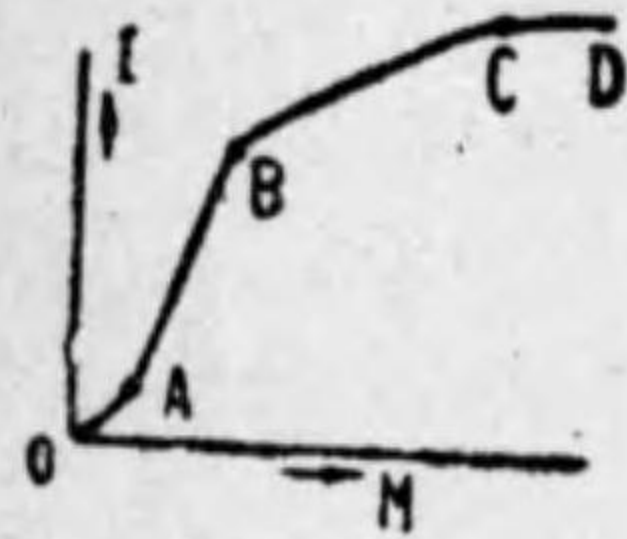
(8) 遮磁

計器等の動作部分が外部磁界の影響を受けないやうにするには、導磁率の大き

い鐵函等に納める。こうすると、外部磁界の磁力線は殆んど此の鐵壁内を通つて内部に迄及ばない。前の遮電と全く同様な原理である。此の方法は磁界の強さが一定な、例へば地球磁界に對しても、或は交番磁界に對しても有効である。尙、交番磁界に對しては銅の網又は銅板で包んでも、外部磁界の變化に應じて銅板に渦流が生じ、之れが外部磁界に反對する磁界を生じて、外部磁界を打消して遮磁の目的を達する。此の方法は高周波磁界に對する程有効である。

(9) 鐵の磁化現象

磁氣作用一般の項で磁化率を説明した。之れを平たく云ふと、或る物に外部から磁束を與へて磁化する場合、磁化せられた爲め其の物体内に増加した磁束と加へた磁束の割合を云ふのであつて、鐵のやうなものは著しく高い磁化率 K を有し



然も、夫れが加へられた磁束に依つて甚しく相違する。外部より加へる磁束、即ち磁界の強さ H を種々の値に變化し、夫れに對應する磁化率 I (或は鐵心内の磁界密度 B)の値を曲線にして示したものが鐵の磁化曲線である。鐵の磁化曲線は大體圖のやうな形を取る。 H を零より増加して行くと I は徐々

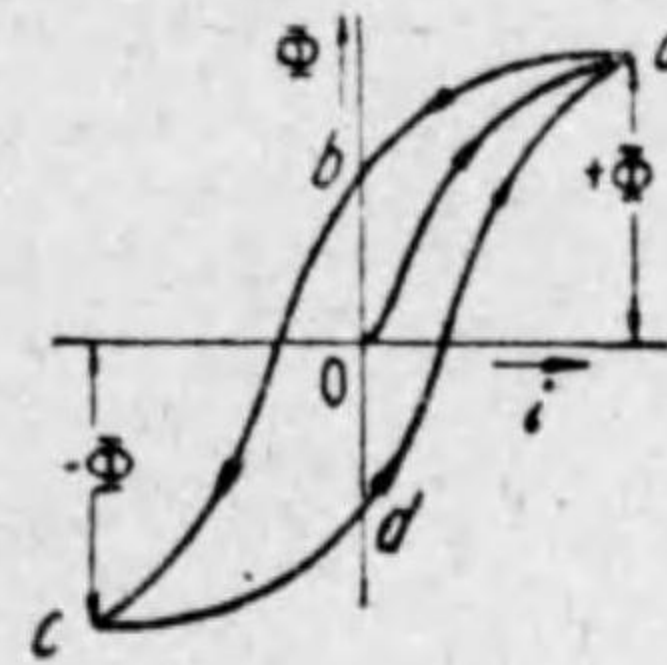
に増加して OA のやうになり、之より H を大とすると急激に I が増加して AB の様になる。更に H を増加すると、今度は I の増加は微々となり、更に H を増加しても略々 I の一定な極限 CD に達する。斯様な状態を鐵の磁氣飽和と云ふ。以上の磁化曲線は吾々に馴染が薄いが、今、發電機の界磁巻線を取つて之に流れる電流を i とすると、之は H に相當する。又其の結果、磁極より生ずる磁束 ϕ は B に、従つて I に相當するから、 H の代りに i を横軸とし、 I の代りに ϕ を縦軸として i を變化して ϕ の値を記録すると、上圖と良く似た磁化曲線が得られる。(圖では H を M で示した)

【問題】 回轉圓板を馬蹄形磁石に依つて挟むと制動力の生ずることを説明せよ。

【問題】 遮磁の2つの方法を述べよ。

【問題】 鐵の磁化曲線が4部分から成ることを説明せよ。

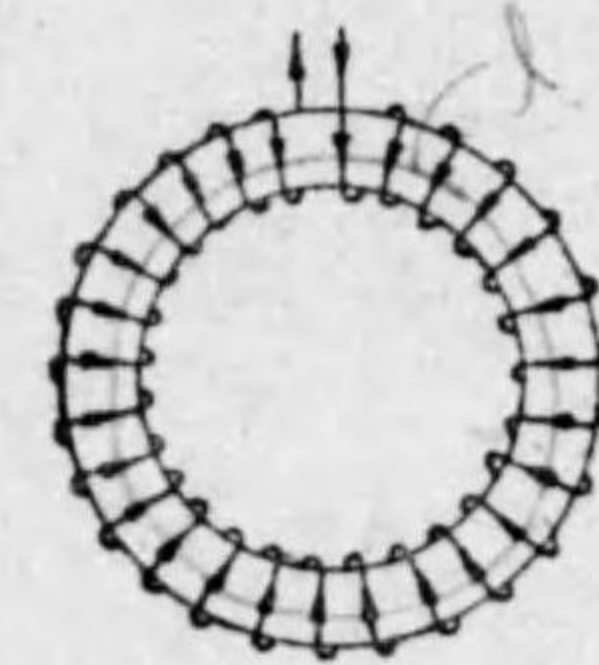
次に、巻線に交流を通じたやうな場合、例へば、變壓器の鐵心内の磁束は、如何に變化するであらうか、此の間の状況を明らかにしやう。電流 $i=0$ で、 $\phi=0$



より出發する i を増加すると ϕ は前述の $0a$ のやうになる。 ϕ が $+\phi$ の値となつた時電流を減ずると ϕ は來た道を戻らずに、 ab の様になり、電流が零になつても Ob の磁束が残る、之れを残留磁氣と云ふ。引き続き i を負の方向に増加すると、 bc の経路を通り、前と同じ電流で $-\phi$ に達する。次に此の電流を漸減して零とすると cd を通つて残留

磁氣 Od を残す。更に電流を正の方向に増加すると、 da の経路を通る。斯様に磁化曲線は交流に依ると一つの環線を描く。之をヒステリシス環線と云ふ。此のループに包まれた面積が損失となるのであから、 bd が接近する様な、即ち細長い形となるループを有する鐵程、損失が少ないのであつて、之をヒステリシス損失と云ひ、スタインメッツは此の損失が磁束密度の1.6乗に比例すると實驗して居る。鐵損は此のヒステリシス損と前述の渦流損より成り、渦流損は磁束密度の自乗に比例する。

鐵の磁化を説明したから、電磁線輪も述べて置く。下圖の様に細長い鐵環があつて、其の切斷面積 S 平方糎、其の平均長さ l 糎とし、捲かれた線輪の全巻數



を N とする。鐵の導磁率を μ として、線輪に i アンペアの電流を通じたとすると、何程の磁力線を生ずるかと云ふに

$$\text{全磁束數 } \phi = \frac{4\pi Ni \mu S}{10l} \quad \phi = \frac{4\pi Ni}{l/\mu S}$$

となるので、 $\frac{4\pi ni}{10}$ を起磁力、 $\frac{l}{\mu S}$ を磁氣抵抗と云ふ

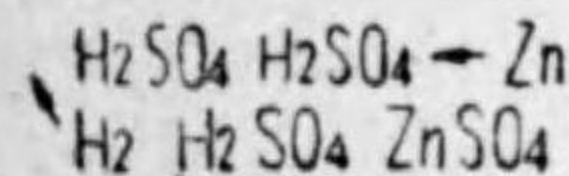
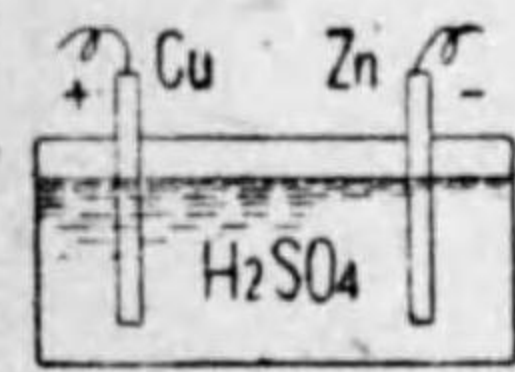
之れはオームの法則に於ける(電流=電壓÷抵抗)の關係と似て居る。従つて、 $\frac{l}{\mu S} = \frac{1}{\mu} \times \frac{l}{S}$ とすると、 $\frac{1}{\mu}$ を特有磁氣抵抗と云へる。又、 Ni 即ち巻線數と電流の積をアンペア回數と云ふ。幾つかの斯様な磁路が直列或は並列にあ

る場合も電氣回路の抵抗の合成と同様に考へる事が出来る。

1.5 電氣化學

(1) 一次電池

最も古くからあるのが所謂ボルタの電池として現在では原始的存在となつて居るものである。本電池は銅板 (Cu) と亜鉛板 (Zn) を稀硫酸 (H_2SO_4) 中に浸したものである。



斯くすると、兩板間に起電力を生じ、之を導線で外部に導くと、電流を通ずる。此の2枚の金属板を電極と云ひ、電流の流出する Cu を陽極、流入する Zn を陰極と云ふ。何故に起電力が生ずるか云ふと、稀硫酸に Zn も Cu も溶け込んで行かうとするが、唯の Zn や Cu として溶け込むのではなく、正電荷を持つた亜鉛イオン及銅イオンと云はれる一種特別の分子状を爲して行く。然して、此の溶け込もうとする力は Zn の方が強いので、先づ Zn が H_2SO_4 液中に入り、 SO_4 と化合して $ZnSO_4$ となる。従つて、 H_2 は隣りの H_2SO_4 の SO_4 を取り H_2SO_4 となり、斯くて上圖のやうにして最後の H_2 は行き場がなく、Cu 板に附着する。

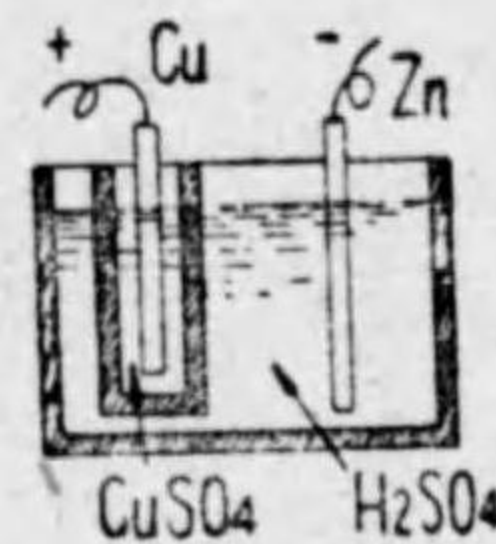
此の水素イオン H_2 は正電荷を有し、Cu に正電荷を與へて唯の水素となつて電極面から上に現れて来る。従つて Cu は正電荷が與へられるので溶液よりも電位を高め、Zn 極は Zn が Zn イオンとして正電荷を持つて出るので、負電位で溶液より電圧を低め、斯くて電極間に電位差が現れる。電流が流れても同様で、正電荷は陰極より Zn に乗つて液中に入り、 H_2 に乗り換へて陽極に現れ、外部に出で再び陰極に歸る。

斯く電流を取出すと、陽極板上に水素イオンが集つて来て、直ちに正電荷を陽極に與へるが、與へてしまつた唯の水素は極板から容易に放出されないで、陽極板の周圍に水素の層を作る。之は抵抗が甚だ高いので、此の部分に於ける電壓

【問題】 下記事項を説明せよ。

- (イ) 磁氣飽和 (ロ) 残留磁氣 (ハ) ヒステリシス環線とヒステリシス損
- (ニ) 起磁力 (ホ) 磁氣抵抗 (ヘ) 特有磁氣抵抗 (ト) アンペア回數

降下を大とし、起電力は著しく削減せられる。従つて、起電力は急激に降下するのであつて、此の現象を成極作用と云ふ。此の成極作用を防止するには、電液の種類を適當に撰定して、陽極板に正電荷を與ふる物質を陽極と同一のものにする。此の一例は電池として廣く用ひられるダニエル電池である。其の構造は圖のやうに、稀硫酸液中に銅板 (Cu) と亜鉛板 (Zn) を入れ、尙、Cu 板は素焼圓筒に硫酸銅 ($CuSO_4$) を入れたものに挿入する。



此の電池に電流を通ずると、正電荷は陰極より Zn に乗つて液中に乗出し、液の H_2 に肩替りして (液は $ZnSO_4$ となる) H_2 に乗じて素焼圓筒内に入り、再び Cu に乗換へて ($CuSO_4$ は H_2SO_4 となる) 陽極板に至り、正電荷を之れに渡し、唯の Cu となる。之は陽極材料と同一で何等悪作用もしない。以上の説明で断つて置き度いのは、液が $ZnSO_4$ に、素焼内が總て H_2SO_4 とはならないことで、其の一部が以上の如くに變化する。段々使用して行くと、 H_2SO_4 は素焼から補給されるが、素焼内の $CuSO_4$ と、陰極の Zn は共に消耗し壽命が来る。又素焼圓筒を用ひたのは多孔質であるから、イオンが其の間隙を自由に出入し得る爲めである。此のダニエル電池の起電力は約1ボルトである。

次に、亜鉛板が純粹のものでないと、其の表面にある他の不純物、例へば、鐵とか銅とかの間で、即ち陰極板の局部で局部電池を形成して、電流を取り出さないので亜鉛がどしどし液中に溶解される。此の現象を電池の局部作用と云ふ。之を防止するには、亜鉛板に水銀鍍金を施したりする。

電壓測定標準として用ひられるウェストン標準電池は、其の起電力が約1.018ボルトとされて居る。以上は起電力を自ら有するもので、之を總稱して一次電池と云ふ。然し之に反し電氣エネルギーを一旦化學的に蓄へる必要に應じて再び電氣エネルギーとして取出すものを二次電池と云ひ、此の代表的のものが鉛蓄電池である。

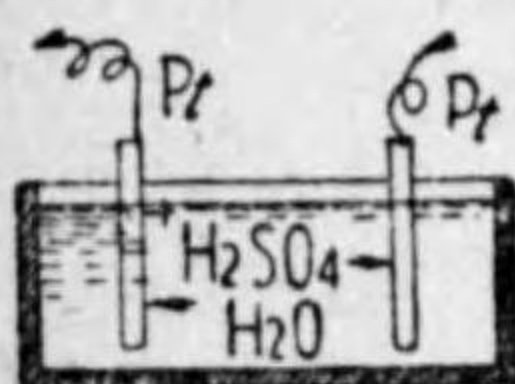
(2) 二次電池 (鉛蓄電池)

鉛蓄電池は陰極として海綿狀鉛 (Pb) を用ひ、陽極として過酸化鉛 (PbO_2) を用ふる。之を充電する (電池の陽極を +、陰極を - とし、ある電圧を加ふる) と、陰極、陽極共に硫酸鉛となり、之を放電する (外部に電流を取り出す)

と元の状態になる。其の電圧は普通 2.1 V 前後で、放電の終りは約 1.8 V、充電の終りには約 2.8 V (充電を止めると 2.1 V に急降下する) である。蓄電池を放電する場合、過度に行ふと多量の硫酸鉛を生じ、之が白色の結晶に變形して電池の内部抵抗を増加し、寿命がなくなるので 1.8 V 位迄しか放電出来ない。又、長い時間放電する時と、短い時間で放電する時とでは、取り出す電流量 (電流×時間) アンペア時が相違する。故に、10 時間で放電する場合の電流量を以て其の電池のアンペア時容量と云ふ。又、充電する場合でも、過度にすると電液が濃くなり (比重が重くなる) 陰極を侵すやうになるので、2.8 V 位の充電電圧に止める。蓄電池にも、電池の局部作用と同様に、其の内部に不純物を含有する時は、勝手に放電するに至る。之を自己放電と云ふ。陰陽各極板の電液に対する電圧を見るには、カドミウム電極を液中に入れて測定する。エチソン電池と云はれるものは、陽極として過酸化ニッケル (NiO₂)、陰極として鐵の粉末を練つたものを用ひ、電液としては、水酸化カリウム (KOH) を採用する。其の電圧は約 1.36 V で、重量は鉛蓄電池より幾分軽く、特殊の用途に使用される事がある。

(3) 電氣分解

以上の電池に於てもそうであつたやうに、電流の通過に依つて、化學的に分解される溶液を電解液と云ひ、此の現象を電氣分解又は電解と稱する。其の一例として水の電氣分解を説明しやう。純粹の水は電氣分解が出来ないので、極く少量の稀硫酸を加へ、2 枚の白金板を之に入れて電流を通ずる。此の電解液 H₂SO₄ は正電荷を有し、陽イオンと稱せられる水素イオンと負電荷を有し、陰イオンと稱せられる硫酸イオンとに分離して存在する。然し、是等の分子は總ての方向に不規則な運動をして居るので、全体として少しも電流作用を示さないのであるが、外部より電圧を加へると、SO₄ イオン



して水の電氣分解を説明しやう。純粹の水は電氣分解が出来ないので、極く少量の稀硫酸を加へ、2 枚の白金板を之に入れて電流を通ずる。此の電解液 H₂SO₄ は正電荷を有し、陽イオンと稱せられる水素イオンと負電荷を有し、陰イオンと稱せられる硫酸イオンとに分離して存在する。然し、是等の分子は總ての方向に不規則な運動をして居るので、全体として少しも電流作用を示さないのであるが、外部より電圧を加へると、SO₄ イオン

【問題】 一次電池に於て、如何にして起電力が生ずるかを説明せよ。

【問題】 次の事項を述べよ。

(イ) 成極作用と其の防止方法 (ロ) 局部作用と其の防止方法

【問題】 鉛蓄電池の原理を説明し、其の電圧の變化を述べよ。

は陽極に、H₂ イオンは陰極へと各々の電荷の性別上、吸引せられて、茲に電流を通ずる。斯様に物質分子が電荷を以て分子的に分離するのをイオン化と云ふ。扱て 陰極に來た H₂ イオンは、其の電荷を陰極に與へ、唯の水素となり、陰極より氣泡となつて放出する。陽極に來た SO₄ イオンは電荷を陽極に與へ、唯の SO₄ となり、附近の水と化合して H₂SO₄ となり、H₂O の残された酸素 O は陽極より放出する。結局、稀硫酸の量には變化なく、水が酸素と水素に分解せられるのみで、之が水の電氣分解である。云ひ忘れたが、陽極には正電荷が來るから液中より負電荷を送つて之れと中和し、陰極には正電荷を送つて其の負電荷と中和する結果、外部より見ると電流は陽極より入つて陰極に出るやうに見える。此の電流の爲めに分解せられる物質の量は、通過した電流の總量と其の物質の化學當量に比例する。従つて、1 クーロンの電氣量に依つて電解せられる物質の量は物質に特有のもので、之を電氣化學當量と云ふ。

1.6 特殊電氣現象

(1) 電氣の熱作用及熱電現象

1 本の抵抗線に電流を通ずると發熱する。之を利用したものが電熱器であつて何程の電氣に依り何程の熱が発生するかと云ふに、R オームの抵抗に I アンペアが t 秒間通じた時は $H=0.24I^2Rt$ カロリの熱量を發生する。1 カロリと云ふのは 15°C に於ける水 1 瓦を 1°C だけ上げるのに要する熱量である。此の計算を進めると 1 キロワット時は 860 珎カロリに相當する事となる。

或は又、反對に熱的現象から直接に發電する事もある。例へば半分宛銅と鐵からなる環で、銅と鐵と二つの接續点の溫度を相違させると電流を通ずる。斯様な装置を熱電對と云ひ、流るゝ電流を熱電流と云ふ。

或は又、蒼鉛とアンチモニーの組合せに於ても同様である。然し、此の電流は溫度差が高くないと著しくないで、數多くを直列として、其の作用を顯著としてゐる。之を、熱電堆と云ふ。然して、此の熱電流は、溫度差と一定の關係にあるから此の電流から逆に溫度差を知る事が出来る。普通の水銀寒暖計では指示に時間を要するが、此の熱電對に依ると溫度の變化は直ちに電流變化となつて、其の溫度を瞬間的に然も精密に測定する事が出来る。電氣機械製作の際に豫め之を

鐵心又は捲線の各部分に配置して置くと、機械内部の溫度を測定し得る。

又、此の蒼鉛とアンチモニーとの接續点に於て、アンチモニーより蒼鉛に電流を流すと、其の接續点に於て發熱し、電流の方向を反對にすると接續点に熱が吸收される。之は其の他の異種金屬接觸面に於ても成立するのであつて、此の現象をベルチエ効果と云ふ。

(2) 壓電氣

水晶等の結晶体より平板を裁り出し、この板の両面に壓力を加へると、他の相對した面に正と負の電氣を生ずる。又この反對に、結晶体を電界内に置くと結晶体は歪む。この現象を壓電氣現象と云ひ、電氣の量及び歪力の大きさは、夫々加へた力及び電界の強さに比例する。

(註) 壓電氣現象を生ずる結晶体は、水晶、電氣石、ロツシエル鹽等である。これらは水晶發振器等に用ひられる。

(3) 光電効果

真空中又は低氣壓のガス中に置いたセシウム又はカリウム等の表面に光を當てると、その表面より電子を放出する。(之を光電子放射と云ふ)。又、導体の電氣抵抗が變化したり、起電力を發生する場合がある。是等を總稱して光電効果と云ふ。

光電子放射は、光電管に利用せられ、光を電流に變へて照度測定、寫真電送、トーカー等に應用せられてゐる。又、光による起電力の發生は、酸化銅堰層光電池、セシウム堰層光電池等に利用せられ、照度の測定に用ひられてゐる。

【問題】 下記の術語を説明せよ。

(イ) 蓄電池の自己放電 (ロ) 電解 (ハ) 陽イオン, 陰イオン

(ニ) イオン化 (ホ) 電氣化學當量

【問題】 電流の發熱作用を説明し、1kWh が 860 疋カロリに相當することを證明せよ。

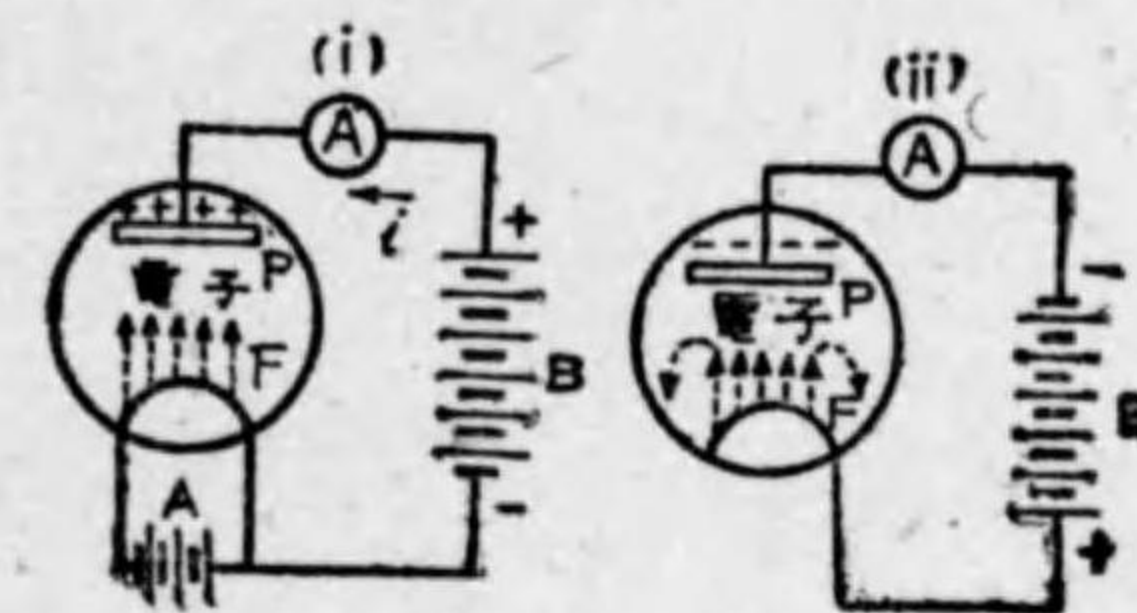
【問題】 下記術語を説明せよ。

(イ) 熱電對と熱電堆 (ロ) 壓電氣 (ハ) 光電効果

(4) 熱電子と二極真空管

導体を熱すると導体内の自由電子の運動が旺盛となつて、導体外に飛出す。丁度、水を熱すると水が蒸發するのと同様であつて、上記のやうな状態で飛出した自由電子を特に熱電子と云ふ。此の作用を巧みに利用したのが二極真空管であつて真空ガラス管内に熱電子を放出する陰極と、此の熱電子を吸收する陽極を納めてゐる。

圖は其の構造を示したもので、陰極 F は金屬織條で、之れに A 電池から電



流を流して加熱する。陽極は P で表はされ、B 電池は之れと F の一端に結ばれてゐる。斯くして F を加熱すると、F から - の電荷を有する熱電子が点線の矢のやうに放出される。従つて、P を B 電源の + に接續すると

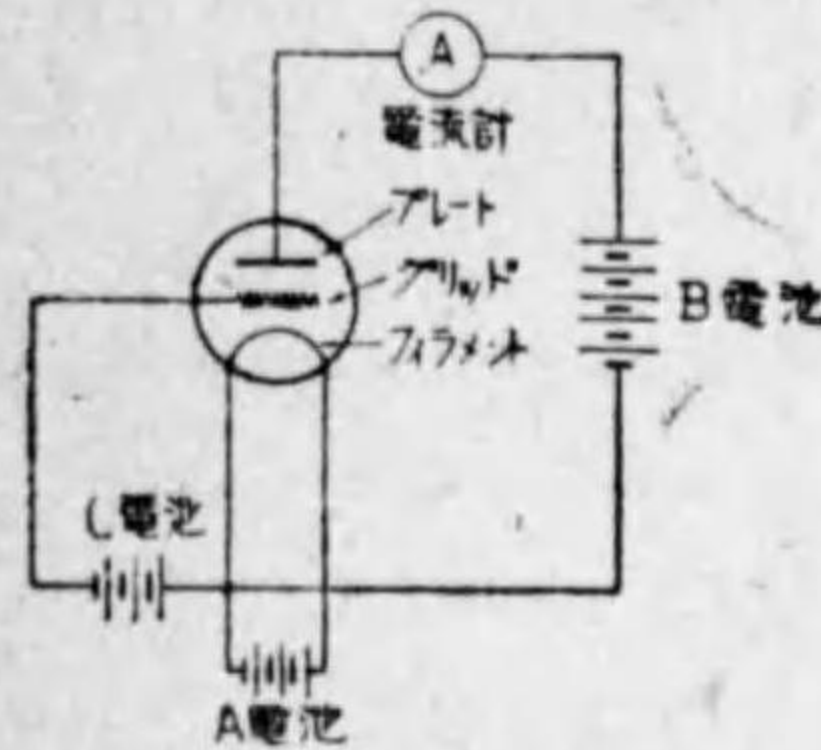
此の - 電子は P に引かれて、F より P, B を經て元の F に歸る。即ち、斯様に - 電子が回路に流れると云ふことは、電流が $P \rightarrow F \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow P$ と流れるのと同様で、圖の \vec{i} は之を示した。此の回路を陽極回路と云ひ、電流 i を陽極電流と云ふ。然るに、B 電池の - を P に接續すると、P は負電位となるから、F より - 電子は之れに反撥されて、管内で F の近くに浮遊し、F から放出される後の電子を押へて放出させない。即ち、陽極電流は零である。

故に、此の二極管の B 電池の代りに、交流を加へると、A には P が + に充電された時だけ電流が流れる。即ち、交流の正の半波だけの電流が流れるので一定方向の電流が得られる。之れが二極管の整流作用である。

(5) 三極真空管

次圖のやうに、二極真空管の陽極と陰極との間に、今一つの網目を持つた格子電極を入れる。之れを圖のやうに接續して、格子と陰極の間に電池を結び、格子に電壓を加へる。此の電壓が正であると、陰極より放出される電子を吸引し、負であると電子を反撥する作用を有する。斯様に格子は陽極電流を調整する扉と同様な働きをする。

此の三極真空管に依つて, 發振回路, 増幅回路, 變調回路, 檢波回路, 繼電回路等が形成され, 其の應用は實に廣い。



〔2. 計測〕 2.1 一般

(1) 一次標準器

實用單位である抵抗オーム, 電流アンペアの値を國際的に定めたものを抵抗原器, 電流原器と云ひ, 之等を一次標準器と總稱する。

〔抵抗原器としての水銀標準抵抗器〕 氷の融解溫度に於て, 質量 14.4521 g, 長さ 106.300 cm にして均一な切斷面積を有する水銀柱の不變電流に對する電氣抵抗を以て 1 オームとしてゐる。

〔電流原器としての銀分離器〕 硝酸銀の水溶液を通過し, 毎秒 0.00111800 g の銀を分離する不變電流を 1 アンペアとする。

(註) 一次標準器は絶對測定法の進歩した今日, 早晚, 廢止されやう。

(2) 二次標準器

一次標準器は取扱が極めて面倒であり, 複製が困難であるから, 常用標準器としては, 一次標準器と比較較正された次の二次標準器を用ふる。

〔マンガン線標準抵抗器〕 銅 84%, ニッケル 4%, マンガン 12% より成る一定値の抵抗を有するマンガン線を金屬筒内に收め, その表面にシセラックを塗つて酸化を防いだものである。抵抗標準器として必要な條件は

- ① 溫度係数の小さいこと。
- ② 固有抵抗の大きいこと。
- ③ 抵抗値が長く變らないこと。

等である。マンガン線は此の條件を具備してゐる。

〔ウェストン標準電池〕 H 型の硝子容器の一方に水銀を入れて陽極とし, 他方にカドミウムアマルガムを入れて陰極とする。又, 電解液として硫酸カドミウム

〔問題〕 二極真空管の整流作用を説明せよ。

〔問題〕 三極真空管に於ける格子の働きを説明せよ。

〔問題〕 一次標準器は常用標準器として不適當なる理由を述べよ。

の飽和溶液を満したもので, 起電力は 20°C にて 1.01827 V である。

標準電池としての條件も前と同様で, 溫度に依る影響が少く, 起電力の常に一定なことが望ましい。ウェストン標準電池は此の條件を具備する。

(註) 未知抵抗は, 例へば, ホイトストーン・ブリッジに於て, 標準抵抗と比較して測定され, 未知電圧は電位差計に依つて, 標準電池の起電力と比較して測定される。その他, 自己インダクタンス, 相互インダクタンスの標準器もある (其等のヘンリ値は計算に依つて定められる)

(3) 電氣計器の具備すべき條件

- ① 指示が正確で見易く, 外部の影響が少いこと。
- ② 構造が丈夫で耐久性があり, 取扱に便利なこと。
- ③ 指示が測定値の變化に速に應ずること。
- ④ 過負荷耐量が大きく, 絶緣抵抗及絶緣耐力が良好なこと。

(註) 配電盤用としては, 堅牢で廉價なこと, 實驗所用としては精密なことが特に重視される。斯様に用途に依つて具備條件に輕重がある。

(4) 電氣計器の動作上よりの分類

名稱	動作
指示計器	一般の電圧計, 電流計等の様に, 指針によつて常に測定値を指示する計器である。
積算計器	積算電力計等の様に, 測定値を計量して行く計器である。積算電流計, 積算無効電力計等もある。
記録計器	時間と共に變化する測定値を, ペンと時計仕掛によつて, 帶狀又は圓形の圖紙に記録して行く計器である。記録電圧計, 記録電流計, 記録電力計, 記録周波計等がある。
遠隔計器	測定値に比例した電流, 電圧又は周波數を發生し, 之を遠方に傳送して, 遠方で指示させるものである。

2.2 指示計器

(1) 電氣計器の主要要素

電氣計器の構成部分を大別すると次の 3 部分となる。

〔動作装置〕 動作装置は、測定値に比例した駆動トルクを発生する部分と、その駆動トルクを受けて指針を動かす可動部分より成る。

〔制御装置〕 指針が駆動トルクに依つて無闇に偏れるやうでは、駆動トルクの大小、従つて測定量の大小が分らない。其處で指針の偏れに應じて適當な制御トルクを與へて駆動トルクと平衡させる。此の制御力を與へる部分が制御装置であつて、彈條制御と重力制御がある。前者は指針が偏れると渦巻狀の磷銅線を捲き後者は重錘を引き上げることに依つて制御トルクを発生させる。

(註) 彈條制御は携帯用計器等に用ひ、重力制御は主に配電盤用に用ふる。

〔制動装置〕 指針の偏れを速に測定値に相當する指示に落付かせる(之を速指と云ふ)爲に制動装置を設ける。之には、① 制動函内に指針と連結された回轉羽根を設けた空氣制動、② 空氣制動の函内に液体を滿した液体制動(空氣又は液体

を壓して制動力を発生させる) ③ 圖の如く耐久磁石内に指針と連結された金屬圓板 D を置き、D が回轉した時之に渦流を發生して、渦流と磁力線の間を生ずる制動回轉力を利用した電磁制動の3つがある。

(註) 空氣制動は最も簡單で、交流計器に廣く用ひられる。液体制動は普通用ひられない。又、電磁制動は積算電力計の制御装置としても用ひられる(積算計器には制動装置を要しない)

〔指示装置〕 之には目盛と指針があり、目盛には、平等目盛、不平等目盛、二重目盛、對角線目盛等がある。又、指針には、槍形指針、双形指針、織條指針、棒型指針等がある。

(註) 指針の偏れが計測量の自乗に比例する計器では、目盛が自乘目盛とせられるから、指示は計測量に比例する。又、精密級計器には對角線目盛並に双形以下の指針を用ふる。

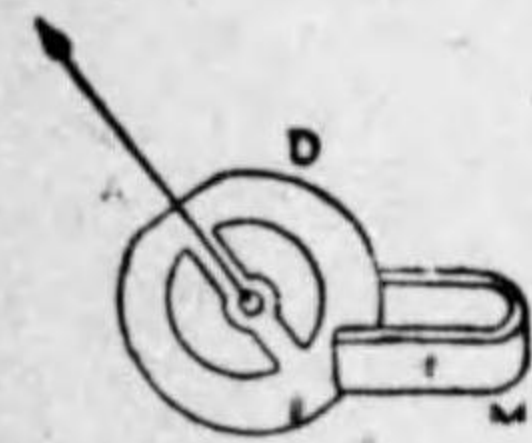
(2) 電氣計器に生ずる誤差の原因

① 計器の機械的不良; 軸受の摩擦による誤差、指針の歪み、彈條の永久歪み、計器の可動部の不平衡等により誤差がある。

② 外部温度の影響による誤差; 外部温度が上昇すると、耐久磁石及制御彈

【問題】 電氣計器の具備すべき條件を列挙せよ。

【問題】 二次標準器に就き知れる所を記せ。



條の強さが減少し、一方導体を電氣抵抗が増加するので誤差を生ずる。


③ 外部磁界及び靜電界の影響; 計器の近くに大電流の流れてゐる導体があると、この電流による磁界によつて誤差を生ずる。又、高電壓用の計器では、固定部と可動部との間の靜電力により誤差を生ずる。

④ 交流計器では、交流の周波數及び波形の變化により誤差を生ずる。


(註) 是等の影響の大きなのは、誘導型、可動鐵片型、整流型(但し、これは波形の影響のみ)等である。

(3) 電氣計器の動作原理による分類

① 直流専用計器

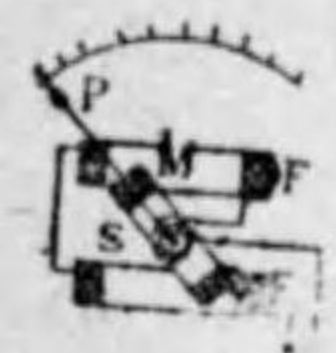
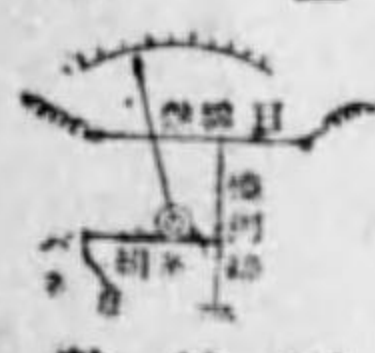

計器の名稱	動作原理	適用
可動線輪型 	耐久磁石 N, S の磁界内に可動線輪 M を置き、線輪に流れる測定電流と磁束の間に働く回轉力で、指針 P を偏らせる。此の偏れの角は測定電流に比例する。	電 壓 計 電 流 計
電 解 型	電解液に直流を流して電氣分解を行ふと、それによつて生ずる析出物は通過した電流及びその總量に比例する。故に析出物の量を測つて逆に電流の値を知る。	銀分離器等の特 殊なものゝ外は 用ひられぬ。

② 交直兩用計器

可動鐵片型 	固定線輪 F の中に可動鐵片 M を置き、固定線輪に測定電流を流すと之れに依る磁界と可動鐵片の間に回轉力が發生し、可動鐵片に附せられた指針が偏れる。此の偏れの角は測定電流の自乗に比例する。(但し、直流に用ふると、ヒステリシスの爲め誤差を生ずる) 圖の外に反撥型、傾斜線輪型等がある。	電 壓 計 電 流 計 周 波 計
--	---	-------------------------

計測〔指示計器〕

電氣計器の動作原理による分類、交流両用計器

電流力型 	固定線輪 F と可動線輪 M に測定電流を通じ、その間に働く電流相互間の回轉力（電流の自乗に比例する）で、指針 P を偏らせる。 (交流直流兩用の標準計器に用ふる)	電 壓 計 電 流 計 電 力 計
熱 型  熱線型 (熱電型は後記)	熱線型は、熱線 H に測定電流を流して、之れに依る發熱で熱線の膨脹するのを利用する。 熱電對型は上記の發熱で熱電對を加熱して其の熱起電力を利用する。(後述)	電 壓 計 電 流 計
靜電型 	固定金屬板 F と可動金屬板 M の間に測定電圧を加へ、その間に働く吸引力又は反撥力（電圧の自乗に比例する）を利用する。 (高電圧で電源容量の微小な時に適する)	電 壓 計 檢 漏 器
整流器型 (後 述)	酸化銅整流器又は三極真空管を用ひて、測定交流を直流に整流し、直流計器で測る。	電 壓 計 電 流 計 周 波 計
真空管型 (後 述)	三極真空管の格子に測定電圧を加へ、その内部抵抗の變化及び増幅作用を利用する。	電 壓 計 特 殊 用 途

【問題】 電氣計器の 3 要素を挙げよ。

【問題】 計器の制動装置 3 種を挙げ之を簡単に説明せよ。

【問題】 電氣計器に於て外部磁界の影響を説明し、その受くる影響の大なるものを記せ。
尚、地球磁界の影響を除くには如何にすべきや。

【問題】 電氣計器に應用される電氣現象を挙げよ。

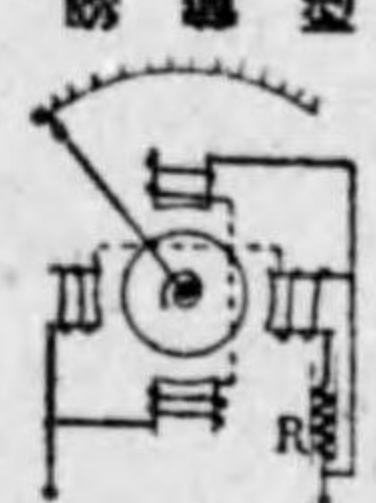
【問題】 電流計は如何にして電圧計として用ひられるや、又兩者に共用し得ざるものを挙げよ。尚、電流力型、誘導型を電力計として用ふる場合を説明せよ。

【問題】 交流計器の指針の偏れは、測定量の自乗に比例せねばならない理由を述べ、交流両用計器の 3 種を挙げよ。

計測〔指示計器〕

交流専用計器、電氣計器の用途による分類
各種指示計器の得失

④ 交流専用計器

誘導型 	測定電流で回轉磁界を作り、或は限取線輪によつて移動磁界を作つて、その中に置いた金屬片の受ける回轉力を利用する。圖は回轉磁界型、他に移動磁界型及變成器型がある。	電 壓 計 電 流 計 電 力 計 周 波 計 積 算 電 力 計
振動片型 (後 述)	交流で多數の振動片を勵磁し、共振を起した振動片より交流の周波数を知る。	周 波 計

(4) 電氣計器の用途による分類

分 類	用 途	特 徴
配電盤用	直流及び交流の配電盤に取付けて使用する。	確度は餘り高くなくてよいが、目盛が読み易く、又外部磁界、靜電界、振動等の影響が少いこと。
携帶用	現場に携行して使用する。	携帶に便利で、運搬によつて狂ひを生じないこと。
實驗所用	實驗所に於て、精密測定を行ふのに使用する。	確度が非常に高いこと。主に据置型である。

(5) 各種指示計器の得失

	特 長	缺 点
可動線輪型	①耐久磁石の強さは任意に強められ又可動部分が軽いので微小電流に對しても感度がよい。 ②平等目盛で測定範圍が容易に變へられる。 ③強力な耐久磁石を用ひるので、外部磁界の影響並に消費電力が小さい。	可動線輪に電流を通ずるので、大電流用には分流器を用ひねばならぬ。
可動鐵片型	①構造が堅牢で直接大きな電流が測られる。 ②構造が簡單で價格が安い。 (上記の特長により配電盤用に適する)	①溫度、外部磁界の影響が大きい。 ②ヒステリシス及び渦流のため、周波数並に波形の影響が大きい。



計測〔指示計器〕 各種指示計器の得失、電氣計器の選擇

電流力型	①マンガニンの高抵抗を直列にするので、温度の影響が少い。 ②周波数及び波形の影響が少い。	①構造が複雑である。 ②外部磁界の影響が大きい。 ③直接大電流を測る事が困難である。
熱型	①周波数並に波形の影響が極めて少い。 ②外部磁界の影響が小さい。 (高周波用計器に賞用される)	①外部温度の影響が大きい。 ②過負荷耐量が小さい。 ③指示に遅れがある。
電圧型	①消費電流及電力が極めて小さい。 ②外部磁界、温度の影響が小さい。 ③周波数、波形の影響がない。 ④直接高電圧を測定し得る。 ⑤交流の場合は直列蓄電器で測定範囲が擴大される。	①計器の駆動トルクが小さい。 ②低電圧の測定並に電流計としては用ひられない。 ③静電界の影響を受け易い。 ④直流の場合は直列蓄電器が用ひられぬ。
誘導型	①構造が簡單で堅牢である。 ②自己磁界が強く、外部磁界の影響が小さい。 ③駆動トルクが大きく、又回轉角に拘らず一定で長い目盛が得られる	①周波数及び波形の影響が著しい。 ②ヒステリシス損、渦流損等の影響が大きく、確度が低い。
整流器型	①微小交流が測られる。 ②消費電力が小さい。 ③目盛が平等である。 ④商用周波では周波数の影響が少い	①波形の影響が著しい。 ②約 100°C 以上になると酸化銅整流器が劣化する。 ③温度の影響が大きい。

(6) 電氣計器の選擇

用途	指示計器の種類	備考
直流發電機	電圧計及電流計	蓄電池充電用の電流計は零中心目盛とする。

【問題】 配電盤用計器と携帯用計器の相違を述べよ。

【問題】 下記計器の得失を略述せよ。

(イ) 可動線輪型 (ロ) 可動薄片型 (ハ) 熱型

計測〔測定範囲の擴大〕 電氣計器の選擇、倍率器と分流器、變流器と電位變成器

交流發電機	電圧計、電流計、指示電力計、力率計、直流電圧計及電流計	尚同期檢定用母線に同期檢定器を設ける。周波計は共用とし、母線用電圧計を別に設ける。
變壓器一次 (送配電線)	電流計、指示電力計	電流計は1箇で切換開閉器付とすることが多い。
同 二 次	電流計、電圧計	時として、周波計、電力計、力率計を設けることもある。
誘導電動機	電流計	指示電力計を設けることもある。
連絡線	電流計、電圧計、指示電力計	電力計は零中心目盛とすることがある。周波計、無効電力計、力率計同期檢定器を設けることもある。

(7) 倍率器と分流器

電圧計も電流計も動作原理は全く同様であつて、電流計は回路電流が流れるから、動作線輪を太くし、巻数を少くして居る。電圧計はマンガニンの直列抵抗を入れて電流を小さくし、巻数を多くしてゐる。

(註) アンペア回数さへ同一なら、回轉力は同一である。電流計では其の内部抵抗を小さくし、電圧計では大きくして居るのは、計器の電力損失を少くし、測定回路に與へる影響を限定する爲めである。

此の電圧計の直列抵抗を倍率器と云ひ、其の抵抗値を大きくすると、同一計器で測定範囲が擴大される。即ち、同一許容電流に於ける、計測電圧を大とする。

電流計の場合は、分流器として電流計と並列に低抵抗の分路を作る。斯くて回路電流の一部を電流計に導き、測定範囲を擴大する。

$$\frac{\text{回路の測定電流}}{\text{電流計の電流}} = \frac{(\text{分流器の抵抗} + \text{電流計の抵抗})}{(\text{分流器の抵抗})}$$

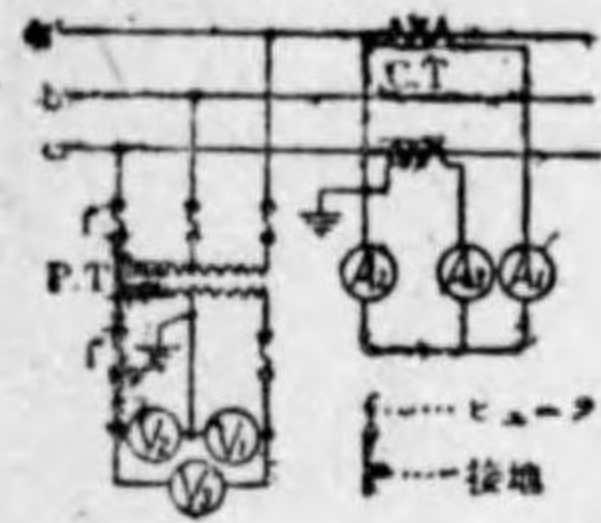
を分流器の倍率と云ふ。

(8) 變流器 (C.T) と電位變成器 (P.T)

交流の場合には抵抗にインダクタンスを伴ひ、其の値は不定であるから、倍率器、分流器を用ふることが出来ない。其處で C.T 及 P.T を用ふる。何れも特殊の變壓器である。

變流器は一次線輪の巻数が少く、二次線輪の巻数が多い。一次側を測定回路に

直列に結び、二次側を計器に結ぶ。此の一次電流と二次電流の比は二次と一次の巻数比(變流比と云ふ)の逆となるから、一次の巻数を少く、二次を多くすると測定回路の何分の1かの電流を電流計に導くことが出来る。従つて、其の目盛を變流比倍すると、計器は測定回路の電流を指示する。



故に、變流比を随意に選定することに依つて、同一電流計で自由に測定範囲が變へられる。

(註) 變流器の使用上注意しなければならないのは、使用中に其の二次回路を開いてはならないことである。電流計を取り去るなら、先づ端子を短絡してから行ふ。何故なら、常時は一次と二次の電流が打ち消し合つて、鐵心内の磁束密度は低いから、二次を

開くと二次電流は消失し、一次電流は回路の負荷電流だから消失しない。(普通の變壓器なら同時に一次負荷電流も消失する)従つて、鐵心内の磁束密度が大となり、鐵損を増加し、鐵心の温度を著しく高めて、線輪を焼損する。或は二次誘起電圧が大となり、絶縁を破壊することがある。

變流器の二次電流は5Aとせられる。三相回路に對しては、一般にC.T.2箇を圖の如くに接続する。従つて、 A_1 はa線、 A_2 はb線、 A_3 はc線の電流を指示する。

計器用變成器は普通の變壓器と同様で、二次電圧は110Vとせられる。負荷は計器で電流は微小であるから、各巻線共に細い。

三相回路に對してはP.T.2台を圖の如くV接続とする。 V_1 はab間、 V_2 はbc間、 V_3 はac間の電圧を指示する。




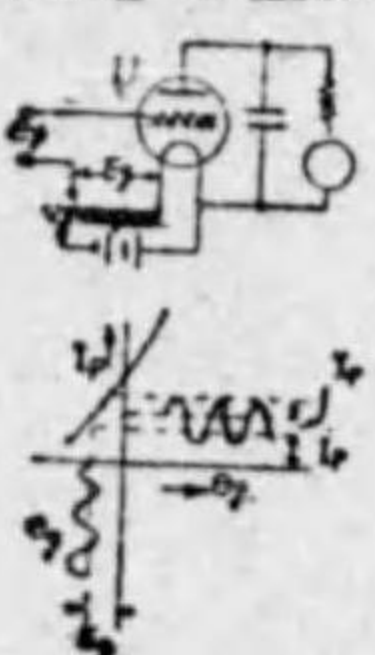
(註) C.T.にせよP.T.にせよ、計器回路は全く測定回路から絶縁せられるので、計器回路の絶縁は容易となり、取扱ひに危険がない。但し、二次回路には保安接地工事を行ふ。

【問題】 各型電氣計器の得失と夫々の用途並選擇につき説明せよ。

【問題】 交流回路特に高電圧回路の電圧、電流の測定に於て、倍率器及分流器を用ひざる理由を述べよ。

【問題】 P.T.の一次及二次側にフューズを用ふる理由、C.T.の二次側には之れを用ひざる理由を説明せよ。

2.3 特殊指示計器

名 稱	原 理	用 途
熱電型計器  (ダツデル型)	N, S は耐久磁石, I は鐵心, C は可動線輪, T は蒼鉛とアンチモニーの熱電對, H は電熱線である。Hに電流を流すとTが熱せられて熱起電力を生じ、熱電流がCに流れて之れが偏れる。	左記は傍熱型であるが、HとTが接觸した接觸型、Tに直接電流を流す自己加熱型がある。何れも主として高周波用に用ふる。
整流器型計器 	4箇の整流器Kをブリッジ状に結び、其の對角間に可動線輪型電流計Aを接続したものである。此の回路に交流を加へると、計器には全波整流電流が流れるから、正弦波の場合はこの指示を1.11(波形率=實効値/平均値)倍したものが實効値になる。	普通③の目盛は直流の場合の1.11倍としてゐるから、直接交流の實効値を指示する。主として微小交流の測定に用ふる。
架線電流計 	U字型鐵心に線輪Sを捲き、之れと直列に直流ミリボルト計A及酸化銅整流器を結んだものである。U字鐵心内に電流を通じつゝある導体Cを入れると、その交番磁界によつてSに電圧を誘起し、Aが偏れる。此の偏れより電流を知る。	此の計器に依ると、電路を開くことなく架空線等の電流が測定せられる。
真空管電圧計  (陽極整流型)	三種真空管Uと直流檢流計Gを圖の如く接続する。始め真空管の格子回路を短絡して E_g の抵抗を調整し、Gの偏れを零にする。次に格子回路を開いて之に測定電圧 e_g を加へると、陽極電流 I_p は ΔI_p だけ増加する。此の ΔI_p は e_g に比例するから、Gの讀みの増加より e_g が求められる。 (註) 之れと同様な方法で、格子回路に格子抵抗及格子差電器を挿入し、更にGと直列に電池を結んだものが格子整流型である。	此の電圧計は周波数の影響が少く、高周波電圧の測定に適する。測定範囲は0.5~3V位である。

波高電圧計	周波計 (共振型)	周波計 (指針型)
<p>図の K はケノトン整流管 (此の二極真空管に於て, 電流は陽極 P より他の電源により加熱された極線 F の方向にのみ流れる) C は静電蓄電器, S.V. は静電電圧計である. スイッチ S を入れると S.V. は測定電圧の實効値を示す. S を開くと C は整流された電圧で充電され, C の充電電圧は A, B 間の電圧の最大値に比例するから S.V. は C の電圧即ち測定電圧の最大値を示す.</p>	<p>固有振動数の異なる幾つかの振動片 V を測定交流を流す電磁石 M の近くに置くと, 交流の周波数と一致する固有振動数を有する振動片の振幅が最も大きい. 此ことより逆に測定交流の周波数を知る</p>	<p>図に於て E₁, E₂ は勵磁線巻, C₁, C₂ は鐵心, S₁, S₂ は同士の限取線巻, D は同轉圓板であつて, E₁ には抵抗 R が, E₂ にはインダクタンス L が直列に接続されてゐる. S₁, S₂ の作用に依つて移動磁界を生じ, D には其の大きき相等しく方向反對の回轉力が生ずる. E₁ の電流は周波数に無関係であるが, E₂ の電流はリアクタンス $2\pi fL$ が周波数に比例するので f に反比例する. 従つて, E₂ の作る回轉力は周波数に反比例し, 圓板の平衡位置従つて指針の位置が周波数に依つて相違するので, 周波数を指示させることが出来る.</p>
<p>波高率 = $\frac{\text{最大値}}{\text{實効値}}$</p> <p>であるから, S を開閉して交流の波高率が求められる.</p>	<p>装置が簡單であるから, 配電盤用等に廣く用ひられる.</p>	<p>振動型に比し, 複雑で高價となる. 然し指示が連続的である</p>

【問題】 微小交流の測定に整流器型計器を用ふる事の適當なる理由を説明せよ.

【問題】 下記のものゝ原理及用途を問ふ.

- (イ) 梁線電流計 (ロ) 熱電型計器
(ハ) 真空管電圧計 (ニ) 波高電圧計

【問題】 共振型及誘導周波計の原理と用途を説明せよ.

【問題】 同期検定器の或る種のものは力率計としても使用し得ることを述べよ.

【問題】 検漏器と検電器の用途を説明せよ.

名 稱	原 理	用 途
同期検定器	<p>同期とは兩機の波形が全く重なり合ふ状態を云ふ. 単相には電燈 2 箇, 三相には電燈 3 箇を用ひて同期状態を検出することも出来る.</p>	<p>交流發電機を並行運轉するには, ①周波数, ②電圧, ③位相が一致しなくてはならない. 是等が一致しないと, 兩機間に横流が流れて満足な並行運轉が出来ない. 本器は此の同期状態を検するものである. 以上の外に波形の一致も必要であるが, 實際の發電機の波形は殆んど一致してゐる.</p>
力率計	<p>構造は上記の同期検定器と全く同一である. 即ち A₂ を回路に直列として回路電流を流し A₁ を回路に並列に接続して回路電圧を加へる. 斯くすると前の説明から明かなやうに, 指針は回路の力率を指示するやうになる.</p>	<p>単相及三相回路の力率を指示する (他の方法に依つても力率は求められる)</p>
検漏器 (イ)	<p>図の (イ) は單相回路用, (ロ) は三相回路用である. (イ) の A, B, C, D は固定板, V はその中に吊した可動板である. a 及 b 線の絶縁が健全であると, A と V 及 B と V 間の吸引力が相等しく V は圖の位置に静止してゐるが, 何れか一線の絶縁が下ると其の間の引力が減じて, 指針はその方向に偏れる. 三相の場合も同様である.</p>	<p>線路の絶縁程度を示す電圧計式 (電磁式) の方が正確で最近廣く用ひられる (後述, 接地警報器の項を参照)</p>
検電器 (ロ)	<p>(静電型)</p>	<p>線路が充電されてゐるか否かを指示.</p>

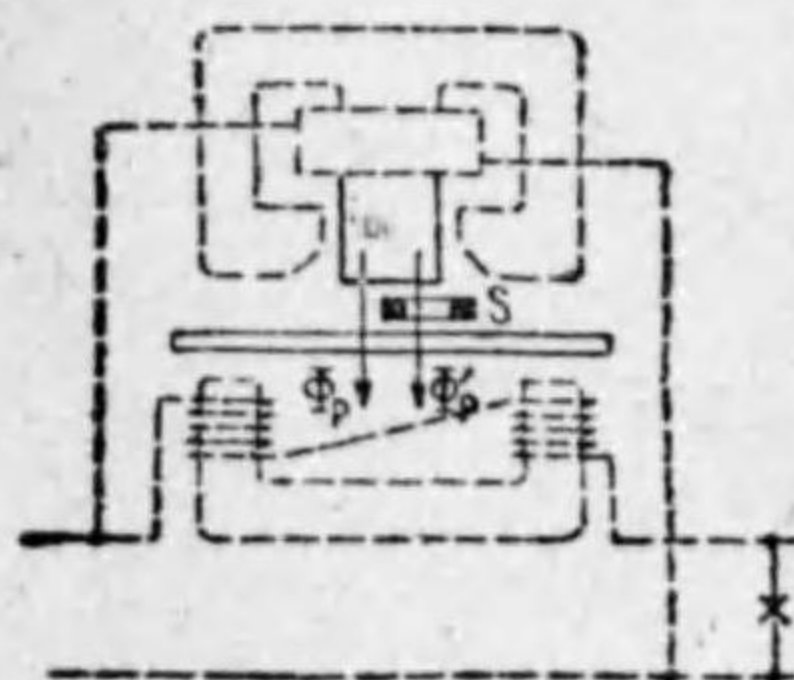
(1) 積算計器の用途による分類

名 稱	原 理 及 び 用 途	備 考
積算電流計	或る時間中に流れた電流を積算するもので、電気化学工業や蓄電池の充放電のやうな、主として直流の場合に用ふる。但し電車等では積算電力計を用ふる。	目盛はアンペア時である。
積算電力計	或る時間中の電力 ($EI\cos\phi$) を積算する計器で、一般需用家の電力の取引に用ふる。	目盛はキロワット時である。
積算無効電力計 (積算皮相電力計—kVAh—と云ふものもある)	無効電力 ($EI\sin\phi$) を計測する計器で、電気料金に力率を加味する場合、無効電力量により料金の増減を行ふ。	大電力低力率の需用家に用ふる。
最大需用表示器 附積算電力計	積算電力計に電力を指示する特殊指針を設け、この指針を15分又は30分間毎の電力量で偏らせて、或る期間内の最大電力(15分又は30分の平均)を示す。	最大需用電力を契約する大口需用家に用ふる。
二種料金制用積算電力計 (二種料金計器)	2箇の電力計と時計スイッチを用ひ、尖頭負荷時と軽負荷時の電力量を別々に計量して、その料金の単価を變へる。	需用家の負荷率を改善する爲に用ふる。
料金前拂積算電力計 (前拂計器)	積算電力計に前拂装置を設け、之れに貨幣を入れると、スイッチが閉ち、或る電力量が使用出来るやうになつてゐる。	アパート、旅館等に用ふる。

(註) 小口需用家に対して、一定値以上の電力を使用せしめない爲めには電流制限器を用ふる。

(2) 軽負荷補償装置

積算電力計の回轉部分には摩擦があるから、軽負荷の時には大きい誤差を生ずる。之を防ぐために圖の如く、電壓線輪磁極の下に銅環 S をすまして置く。S には ϕ_P より 90° 遅れた電流が流れ、この電流によつて ϕ_P より 90° 遅れた磁束を生ずる。其處で S の下部の磁束 $\phi_{P'}$ は ϕ_P より遅れて移動磁束を生じ、圓板に回轉力が發生して摩擦回轉力を補償する。



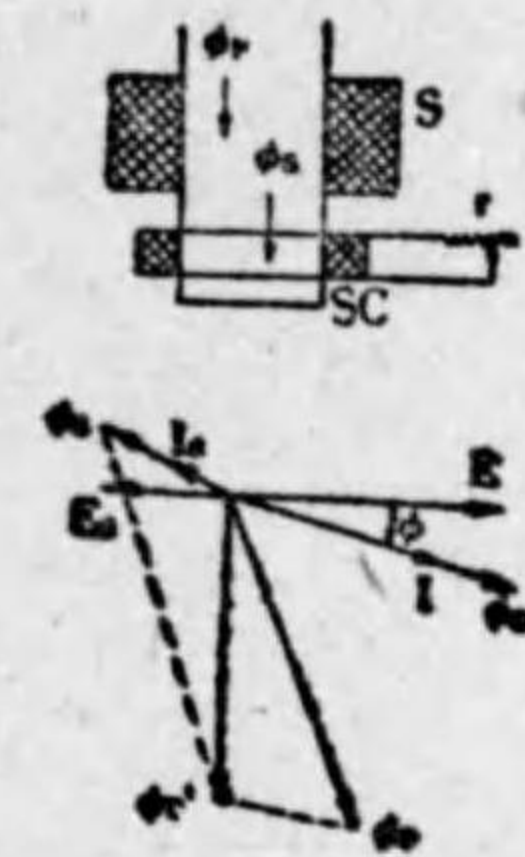
(註) 然し、この回轉力が大き過ぎると、軽負荷でも圓板

【問題】 交流積算電力計として誘導型の用ひられる理由を説明せよ。

【問題】 積算無効電力計に就いて略述せよ。

が回轉する。之を滑動 (クリーピング) と云ふ。此の滑動阻止装置として、回轉板に等間隔に 2 つか 3 つの穴をあけてゐるものもある。

(3) 位相補償装置



圓板の回轉速度が、電力に比例する爲には、電壓線輪 P.C の磁束 ϕ_P が電圧 E より丁度 90° 遅れてゐなければならない。然るに、實際は完全に 90° 遅れない。従つて、圖の如く、P.C 鐵心に短絡線輪 S.C を設ける。斯くすると、之に合成磁束 $\phi_{P'}$ より 90° 遅れた電圧を誘起し、この電圧より更に遅れて I_S の短絡電流が流れる。 I_S により ϕ_S の磁束を生じ、合成磁束は ϕ_P と ϕ_S の合成 $\phi_{P'}$ となるから、 $\phi_{P'}$ と E の相差を丁度 90° にすることが出来る。

(註) 以上の外に重負荷補償装置がある。之れは制御磁石の位置を任意に調整して、圓板が電力値に比例して正しく回轉するやうにする。

2.5 檢 流 計

(1) 直流檢流計の種類

名 稱	構 造 及 び 原 理	備 考
可動磁針檢流計	固定線輪 F の中に小磁針 m を吊したもので、線輪面を南北に向け、之に電流を通ずると電流に比例して指針が偏れる。	感度は良いが外部磁界の影響を受け易い
無定位檢流計	2箇の小磁針を反対極性にして上下に吊し、その各々に固定線輪を設け、夫々の固定線輪に電流を反対方向に流す。外部磁界は上下の小磁針に對し反対に作用するので全体として無影響となり感度が大きい	可動磁針型参照檢流計の感度が最もよい

可動線輪檢流計	可動線輪型直流計器と同様で, 耐久磁石の中に可動線輪を吊したものである。	外部磁界の影響が少い。
彈動檢流計	可動磁針(又は可動線輪)の慣性を大とし(軸に重錘を取付ける等)制御力の小さい糸で吊したものである。この檢流計に電流が短時間流れると, その最初の偏れは通過した全電氣量に比例する。	蓄電器の放電電量及び磁界強さの測定等に用ふる。反照型で最初の最大の偏れを彈動偏れ(又はキック)と云ふ。

(註) 反照型は可動部分に鏡を附し, 之れに光線を當て, 其の反射光線の偏れを擴大して讀む。

(2) 交流檢流計の種類

名 稱	構 造 及 び 原 理	備 考
振動檢流計	可動線輪型の可動線輪をばねで引張つたもので, 之に交流を通ずると, 可動線輪は左右に振動する。…之を可動線輪の固有振動数と一致するやうに調整する…可動線輪に反射鏡を取付け之に光を當てると, 光帯を生ずるから, 之より交流の最大値を知る。	交流用の檢流計に用ふる。測定し得る周波数は25~1000サイクル位である。
熱電檢流計	熱電計器と全く同様で, 熱電對を測定電流で熱して熱起電力により可動線輪が偏れる。	測定電流をインダクタンスの小さい發熱体に流すので, 高周波用に適する。
電話受話器	普通の電話受話器と同様で, 交流のみならず, 斷續電流の有無も検することが出来る。感度がよく取扱が簡便であるから, 交流電位差計やブリッジ等に廣く用ひられる。	ブリッジ等の檢出用として最も廣く用ひられる。

〔問題〕 積算電力計に於ける下記のもの、作用を簡単に説明せよ。

(イ) 位相補償装置 (ロ) 輕負荷補償装置

〔問題〕 檢流計は計測よりも檢出を目的とすることを説明せよ。

〔問題〕 交流用檢流計の種類を列挙し, 電話受話器が最も廣く用ひられる理由を述べよ。

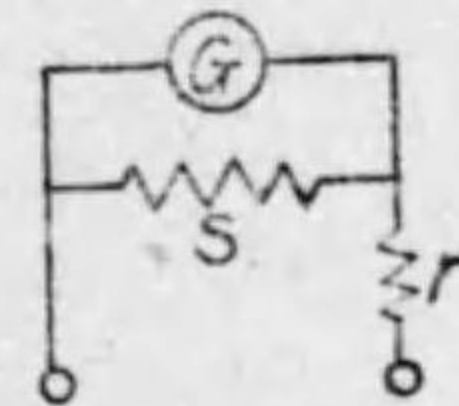
〔問題〕 下記に就き略述せよ。

(イ) 彈動檢流計 (ロ) 補償分流器 (ハ) 無定位檢流計

(3) 檢流計の感度

電壓(又は電流)感度: 檢流計の反射鏡と尺度の距離を1mにし, 檢流計に1 μ V(又は1 μ A)を加へた時, 尺度上に於ける反射光線の偏れの長さ(mm)を以て, 電壓感度(又は電流感度)とする。

(4) 補償及萬能分流器



普通分流器は分流器の倍率を變へると, 檢流計と分流器の合成抵抗が變り, 回路状態が變化する。補償分流器はこの合成抵抗を常に一定に保つため, 倍率を變へると同時に直列抵抗 r を調整する様にされてゐる。

(註) 分流器の抵抗が變化せられ, 従つもの倍率が得られるのを萬能分流器と云ふ。

2.6 電 壓 測 定

(1) 直流電壓の測定方法

	名 稱	測 定 方 法	適 用
微 小 電 壓	真空管增幅型	2 管の抵抗 R_1 R_2 及三極真空管 V_1 V_2 と檢流計 G を電橋回路に接続し, 真空管の格子に測定電壓を加へるとその内部抵抗が變化し檢流計は測定電壓に比例して偏れる。	10 ⁻⁵ V 級の測定が出来る
	直流檢流計 直流電位差計	可動磁針型と可動線輪型がある。 低抵抗型と高抵抗型がある。	可動磁針型が最も感度がよい。 低抵抗型が感度がよい。
電 池 起 電 力	直流電位差計 真空管電壓計	電池より電流を取らない(成極作用の影響がないので)精密である	電位差計に於て起電力はウェストン標準電池の起電力(1.01827V)と比較する。
	置換法 等備法	標準電池と置換へ, 兩場合の檢流計の偏れの比より, 又は抵抗を直列に結び, 兩場合の檢流計の偏れを等しくし, 抵抗の比より起電力を求める。	乾電池, 鉛蓄電池の起電力を測定するのに用ひる

計測〔電圧測定〕 交流電圧の測定方法

中位電圧	電位差計 一般電圧計	電位差計に抵抗分圧器を用ふる。 可動線輪型、電流力型、静電型、熱型等がある。	電圧計の更正等にも用ふる。 測定範囲を變へるには、 抵抗倍率器を用ふる。
高電圧	静電電圧計	測定範囲の擴大には、抵抗分圧器 を用ふる。	直流の場合、容量分圧器 は用ひられぬ。

(2) 交流電圧の測定方法

名 稱	測 定 方 法	適 用	
微小電圧	交流用檢流計 整流器型計器 交流電位差計	振動檢流計、單線檢流計、反照檢流計、熱電檢流計等がある。 交流を整流して、直流檢流計又はミリボルト計を用ひて測る。 極座標式と直角座標式がある。	主に電圧の検出用である。 整流器には酸化銅整流器又は真空管を用ふる。 取扱が面倒で、餘り用ひられぬ。
中位電圧	一般の交流用電圧計	可動鐵片型、電流力型、熱型、静電型等がある。	測定範囲の擴大には計器用變壓器を用ふる。
高電圧	一般の電圧計 静電電圧計	特殊型の計器用變壓器を用ふる。 測定範囲を變へるには、兩電極間の距離を變へるか、或は容量分圧器を用ふる。	指針型は 10~100kV、反照型は 20~200kV の測定が出来る。
波高値(最大値)	火花間隙(交直) クリドノグラフ(後述) その他(交直)	針端間隙と球間隙がある(後述) 2つの電極間に乾板を挟み、衝擊電流を加へて乾板を現像すると、乾板に樹枝狀の圖を得る。 波高電圧計、回轉電圧計、イオン風電圧計、コロナ電圧計等がある。	針端間隙は 10~50kV 級、球間隙は 50kV 級以上に用ふる。 圓形の直徑より電圧の波高値を知る。陰極線オシログラフで波形を觀測してもよい。 クリドノグラフは衝擊電圧の最大値を測る。

【問題】 下記の測定に適する測定法を挙げよ。

- (イ) 交流及直流微小電圧電流
- (ロ) 交流 22kV 及 3.3kV 回路の電圧電流
- (ハ) 直流 600V 及 1500V 回路の電圧電流
- (ニ) 數万 V の電圧波高値
- (ホ) 熱電對の起電力
- (ヘ) 直流過渡電圧波形及交流波形の撮影

計測〔電流測定〕 直流電流の測定方法、交流電流の測定方法

電壓波形	オシログラフ 波形分析器	電磁型、静電型、陰極線型がある 取扱が簡便である。	電磁型と静電型は 20,000~5000 サイクル以下に、陰極線は高周波又は衝擊電圧の測定に用ふる。
高周波電圧	真空管電圧計 その他	真空管の格子に電圧を加へて陽極の電流變化を讀む。 電位計、白熱電球法等がある。又陰極線オシログラフで波形を觀測する。	陽極型は周波數の影響が少く無線周波迄用ひられる。 電位計は固定電極と吊線の間の静電力で吊線が偏れる。

2.7 電 流 測 定

(1) 直流電流の測定方法

名 稱	測 定 方 法	適 用	
微小電流	真空管増幅型 直流檢流計 その他	直流微小電圧の項と同一 可動線輪型、可動磁針型、反照型等がある。 直流電位差計、可動線輪型ミリアンペア計等がある。	10 ⁻¹⁴ A 級迄測られる。 反照可動磁針型は 10 ⁻¹³ A 級迄測られる。
中位電流	電位差計 一般の電流計	標準抵抗に於ける電壓降下を測り電流を求めぬ。 可動線輪型、電流力型、熱型等がある。	電流計の更正等にも用ふる。 測定範囲を擴大するには分流器を用ふる。
大電流	直流變流器	測定電流の作る磁界を小型發電機の電流で打消して測る。	數萬アンペアの測定に用ふる。
閉電路の電流	電 壓 計 電 流 計 法	電流計、ミリボルト計、電池を用ふる方法、2箇の電圧計を用ふる方法等がある。	電車軌條の電流や、地中埋設金屬体等の電流測定に用ふる。

(2) 交流電流の測定方法

名 稱	測 定 方 法	適 用	
微小電流	交流用檢流計 整流器型計器	振動檢流計、單線檢流計、反照檢流計、熱電檢流計、電話受話器等がある。 交流を整流して直流檢流計又はミリアンペア計で測る。	主に検出用で、振動檢流計は 10 ⁻⁸ A 級、電流力型は 10 ⁻¹⁰ A 級、電話受話器は 10 ⁻⁸ A 級迄測られる。 真空管整流器型は 10 ⁻⁹ A 級、酸化銅整流器型は 10 ⁻⁴ A 級迄測られる。

中位電流	一般の交流電流計	中位交流電圧の項に同じ、計器用変流器を用ふる。	抵抗分渉器は一般に交流回路には用ひない
大電流	一般の交流電流計	特殊型の計器用変流器を用ふる。	
衝撃電流	波高電流計(透鏡片)	銅鏡片を測定電流で磁化し、その残留磁気より電流を知る。	主に送電線に取付け、雷電流を測定する。
高周波電流	熱電型	熱電計を高周波電流で熱し、その熱起電力を電圧計で測る。	真空管型熱電電流計は0.5mA~1A 級迄の測定が出来る。
	光電管法	電球に測定電流を流し、電球の光度を光電池等で測り電流を知る。	主に実験室用である。
	その他	真空管型及び酸化銅整流器型計器がある。	酸化銅整流器型計器は、静電容量のため1000 サイクル以上には用ひられない。

2.8 電力測定

(1) 直流電力の測定方法

	名 稱	測 定 方 法	適 用
微小電力	電位差計法	電圧と電流を別々に測つて求める	精密測定用に供する。
	象限電位計	単相検測器と同様の構造である。	高電圧の微小電力を測るのに適当する。
中位電力	電圧計法	電圧計と電流計を同一回路に結び電圧と電流を別々に読み(電圧×電流)より電力を求める。	低電圧の時は電圧計を負荷側に高電圧の時は電流計を負荷側に結びと精度がよい。
	電力計法	電流力型、熱型等がある。	主として電流力型を用ふる。
大電力	電力計法	倍率器と分流器を併用する。	
	電圧計法 電流計法	上記と同様で、高電圧の時には静電電圧計を用ふる。	静電電圧計は電流を取らないから誤差が少ない。

【問題】 下記の測定に適する測定器の名稱を挙げよ。

- (イ) 直流、交流の微小電流 (ロ) 500A 級の直流 (1500V~600V)
 (ハ) 3kV 及 22kV 交流回路の電流及交流低圧の大電流
 (ニ) 数万サイクルの電流 (ホ) 数万アンペアの直流大電流
 (ヘ) 地中埋設体の電流 (ト) 送電線の雷電流

(2) 交流電力及び力率の測定方法

	名 稱	測 定 方 法	適 用
微小電力	ブリッジ法	誘電体損を測定する方法で、測定誘電体をブリッジの一辺に入れて求める。	シエリングブリッジが最も広く用ひられる。
	その他	交流電位差計法、象限電位計法、電力計法等がある。	主に誘電体損の測定に用ふる。
単相電力	単相電力計	高電圧回路では、計器用変圧器(P.T)と変流器(C.T)を併用する。	P.T及C.Tを用いた時は、變壓比と變流比を夫々の指示に乘ずる。
	その他	三電圧計法、三電流計法、電圧計電流計法等がある。	何れも電力損失が大きく、好ましくない。
三相電力	三相電力計法	平衡回路の時に用ひ、1相の電力を測つて之れより全三相電力を求める。	
	二電力計法	2箇の電力計の電流線輪を2線に入れ、電圧線輪をその線と他の線の間に結んで各電力計の讀みの和(W ₁ +W ₂)を取る。	不平衡回路でも誤差を生じない
	三相電力計法	二電力計法と同一原理である。即ち2つの電力計要素の回轉力が共通軸に働くやうになつてゐる。	大電力の時には、計器用變成器を併用する。
n相電力	n相電力の測定法	(n-1)箇の電力計を用ひ、各電力計の電圧線輪は、その線と電力計の入つてゐない一線との間に結ぶ	之がブロンデルの定理である。(前項の二電力計法も此の一例である)
	無効電力	無効電力計法 電力計法 力率計法	平衡三相回路では1箇の単相電力計を用ひて測る。 力率計の讀みより tanφ を求め、之を電力計の讀みにかける。
電力積算	積算電力計	単相用、平衡三相用、不平衡三相用等がある。	直流回路で一定電圧の場合は、積算電流計を用ひてもよい。
	積算無効電力計	無効電力を積算する方法で平衡回路では積算電力計を用ひて測定す	
力率の測定	力率計	単相力率計、平衡三相用力率計、不平衡用三相力率計等がある。	力率計は指針型同期檢定器と同一構造である。
	電圧計電流計電力計法	電圧と電流及び電力を別々に測つて力率を求める。	低力率の時には無効電力計を用ふる。
高周波電力		熱電對法、白熱電球法、熱量計法等がある。	

2.9 抵抗測定

(1) 各種抵抗の測定法

	名 稱	測 定 方 法	適 用
低 抵 抗	電位差計法 電圧比較法 ケルビンダブルブリッジ法 その他	標準抵抗と未知抵抗を直列にしてその電圧降下を比較して求める。 導線の抵抗、接觸抵抗等の影響が殆どなく、最も廣く用ひられる。 ホイートストンブリッジ法、ダクター等がある。	電位差計法は精密測定に適する 0.0001Ω 級迄測られる。 ダクターは 5~10μΩ 級の直讀が出来る。
	ホイートストンブリッジ法 (後述) 電圧計法 その他	PO型、変型、摺動線型等がある取扱が簡單で相當精密に測られるので最も廣く用ひられる。 抵抗の電圧降下とその電流を測つて抵抗値を求める。 電位差計法、オーム計法等がある	測定範圍は 0.1~1000Ω である 簡單で實用的の方法であるが、精密な測定は出来ない。
	直偏法 その他 絶縁抵抗	未知抵抗と標準抵抗を置換へて、その電流比を知り、未知抵抗の値を求める。 漏洩法、電圧計法等がある。 直偏法、メガ等を用ふる。	大体 10 ¹² Ω 位迄測られる。 電圧計法は高抵抗になると、誤差が大きくなる。
電 解 液 の 抵 抗	コールラウシュブリッジ法 その他 接地抵抗	ホイートストンブリッジの電源に交流を用ひて成極作用を防ぐ。 ヘンダーソンブリッジ法等がある コールラウシュブリッジ法、接地抵抗測定器等を用ひて測る。	電源には 100~1000 サイクルの交流を用ひ、檢流計には電話受話器を用ふる。 接地抵抗の測定には別に 2 箇の補助地線を設ける。

【問題】 下記の測定に適する測定器を挙げよ。

- (イ) 直流微小電力 (ロ) 直流 600V 又は 1500V 回路の電力
(ハ) ケーブルの誘電体損失 (ニ) 三相平衡回路の電力、力率及無効電力
(ホ) 単相回路の電力及力率(電力計を用ひず) (ヘ) 數萬サイクルの微小電力

【問題】 電解液の抵抗測定に直流を用ふることの不適當なる理由を説明し、之が測定に適する測定器を挙げよ。

檢流計抵抗	半偏法 ケルビン法	被測定檢流計に抵抗を直列にし、抵抗を變へて被測定檢流計の偏れより求める。 ホイートストンブリッジの一邊に被測定檢流計を結んで求める。	檢流計の抵抗は可動線盤型 1~700Ω, 可動磁針型 1~3500Ω である。 半偏法、等偏法、ケルビン法共に被測定檢流計 1 箇のみを用ひて測る。
	半偏法 コールラウシュブリッジ法 その他	被測定電池と可變抵抗を直列にしてその抵抗を變へ、檢流計の偏れを前の半分にする。この抵抗の變化値より求める。 電池の成極作用を防ぐため、交流を用ひて測る。 マンズ法、電圧計法、電圧降下法等がある。	電池に電流が流れると成極作用によつて内部抵抗が變るから、抵抗を大きくして電流を極力小さくする。 電池の内部抵抗は、乾電池 0.1~0.3Ω, 濕電池 0.3~4Ω, 鉛電池 0.005~0.5Ω 位である。
その他	抵抗の校正 導電率 ボンド抵抗	ケリーフォスタブリッジを用ふる 導電率ブリッジを用ふる。 軌條ボンド測定器を用ふる。	ケリーフォスタブリッジは相似抵抗の比較に用ふる。

(註) 茲に云ふ低抵抗は 0.1Ω 以下を、中位抵抗は 0.1~10 萬 Ω を、又高抵抗は 1 萬~10 萬 Ω 以上を指す。

2.10 特殊測定

特殊測定の原理と用途

名 稱	原 理	用 途
直流電位差計	<p>r₁ は ac 間抵抗、 r₂ は ad 間抵抗、 摺動線上に目盛がある。之れより、ad/ac が直ちに讀める。</p>	電圧、電流及抵抗の精密測定、或は計器の更正等を用ふる。

圖の a, b は抵抗線、q は摺動子、B は蓄電池、Es は標準電池、E は供試電池、R は可變抵抗、G は檢流計、S は切換開閉器である。先づ S を Es 側に入れ、摺動子を動かして c 点で G の偏れが零になつたとする。次に S を E 側に切換へたとき、d 点で再び G の偏れが零になつたとすると

$$E = E_s \frac{r_2}{r_1} = E_s \frac{ad}{ac}$$

ホイートストンブリッジ



P及Qを比例邊と云ふ。P,Q,Rの構造に依つて検流計ブリッジと摺動線型ブリッジがある

圖の如く被測定抵抗 X と 3 つの抵抗 P, Q, R の 4 つをブリッジ状に接続する。然して 2 つの對角間に検流計 G を、他の對角間に電池を接続し、K₁ を閉じてから K₂ を閉じた時、検流計が偏れないやうに P, Q, R を調整すると

$$X = R \frac{Q}{P} \quad (PX = RQ \text{ 對應邊の抵抗の積は相等しい})$$

之れを平衡状態と云ふ。

最も廣く實用されてゐる抵抗測定器である。

スイッチを閉じる時は K₂ を先きに、K₁ を後とする。以上の順序を反對とすると平衡状態でも一時的に G に電流が流れる。

火花間隙

針端間隙は高電圧になると火花放電の前にコロナ放電を起して誤差を生ずるから、50 kV 以下に用ひられる

空気中で相對する 2 つの金屬電極間に電圧を加へると、電極の形、大小、空氣の状態等で定つた放電電圧を有する。故に放電した金屬間の距離から大体加へられた電圧の最大値が判明する。此の電極が針頭のを針端間隙、球状のものを球間隙と云ふ。

絶縁耐力試験等、高電圧の最高値を測定するのに用ひられる。

針端間隙
50 kV 以下
球間隙
50 kV 以上

クリドノグラフ



平面金屬電極 Q の上に寫眞乾板 F を置き其の上に棒狀電極 P を當てる。P, Q 間に電圧を加へた後、乾板を現像すると、乾板に放射狀の圖形が得られる。此の圖形をリヒテンヘルと圖形と云ひ、圖形の直徑を測つて電圧の最大値を知る。

主として雷電壓の測定に用ひられ、乾板の代りにフィルムを用ひ、之れを時計仕掛によつて移動すると、雷電圧の雷電壓が記録される。

【問題】 下記の測定に適する測定器の名稱を挙げよ。

- (イ) 長さ 1m の太い裸銅線 (ロ) 絶縁電線の絶縁抵抗
 (ハ) 断路器の接觸抵抗 (ニ) 變壓器の各巻線抵抗
 (ホ) 白熱電燈の線抵抗 (ヘ) 鉛蓄電池の内部抵抗
 (ト) 検流計、電圧計、電流計、變壓器の内部抵抗

【問題】 ホイートストンブリッジの原理と取扱上の注意事項を記せ。

【問題】 下記を説明せよ。

- (イ) 電位差計 (ロ) 火花間隙
 (ハ) クリドノグラフ (ニ) オシログラフ

オシログラフ



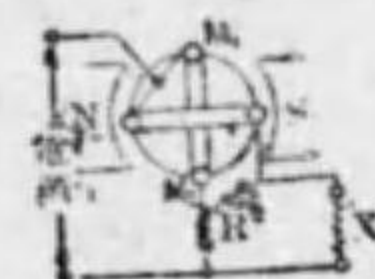
(電磁型)

圖は電磁オシログラフを示したもので、其の構造及原理は振動検流計と同一である。耐久磁石 N, S 間に横青銅の可動線輪を吊し、その下端を滑車に捲いて、ばね S により引張つてゐる。可動線輪に測定電流を流すと、電流と磁石間に働く電磁力は、電流の大小及方向によつて變化するから、線輪は左右に振動する。従つて鏡の反射光を定速度で落下する寫眞フィルムに當てると、電流波形を撮影することが出来る。

交流電壓、電流の波形を撮影する。雷のやうな衝撃電壓を撮影するには電子流の方向を變移させる陰極線オシログラフを用ふる。

オーム計

メガ



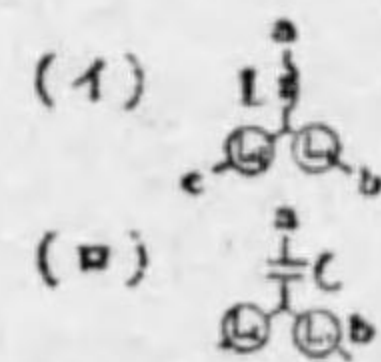
原理

兩者共に原理は同様であつて、耐久磁石 N, S の相對する磁極間に、2 つの線輪を組合した可動線輪 M₁, M₂ を置き、一方の線輪 M₁ に電源電圧 (メガの時は手廻し發電機) の電圧を加へ、他方の線輪 M₂ には同一電源に結ばれた未知抵抗の電流を流す。斯くすると指示の回轉角度は …… 電圧/電流 = 未知抵抗 …… に比例することになり、指針の指示から抵抗の値が直讀される。

用途

オーム計は中位抵抗の測定に、メガは高抵抗 (絶縁抵抗) の測定に用ひられる。メガと同様な構造で低抵抗測定用として作られたものが「ダクター」である

相回轉表示器



(イ) は 1 箇の自己インダクタンス L と 2 箇の電燈 L₁, L₂ を星形としたものである。相回轉が a, b, c の順であると、電燈 L₂ の方が明る、相回轉が a, c, b であると L₁ の方が明るい。同様に L の代りに静電容量を結んでもよく、此の方が明暗の差が大きい。

三相回路の相回轉の順序を示す。現場で急造するには L として、變壓器の巻線を利用する。携帯用は C を用ひてゐる。

計測〔特殊測定〕

ホイートストーンブリッジ、火花間隙、クリドノグラフ

ホイートストーンブリッジ



P及Qを比例邊と云ふ。P,Q,Rの構造に依つて線型ブリッジと摺動線型ブリッジがある

圖の如く被測定抵抗 X と 3 つの抵抗 P, Q, R の 4 つをブリッジ状に接続する。然して 2 つの對角間に検流計 G を、他の對角間に電池を接続し、K₁ を閉じてから K₂ を閉じた時、検流計が偏れないやうに P, Q, R を調整すると

$$X = R \frac{Q}{P} \quad (PX = RQ \text{ 對應邊の抵抗の積は相等しい})$$

之れを平衡状態と云ふ。

最も廣く實用されてゐる抵抗測定器である。

スイッチを閉じる時は K₂ を先きに、K₁ を後とする。以上の順序を反對とすると平衡状態でも一時的に G に電流が流れる。

火花間隙

針端間隙は高電圧になると火花放電の前にコロナ放電を起して誤差を生ずるから、50 kV 以下に用ひられる

空氣中で相對する 2 つの金屬電極間に電圧を加へると、電極の形、大小、空氣の状態等で定つた放電電圧を有する。故に放電した金屬間の距離から大体加へられた電圧の最大値が判明する。此の電極が針頭のを針端間隙、球狀のを球間隙と云ふ。

絶縁耐力試験等、高電圧の波高値を測定するのに用ひられる。

針端間隙 50 kV 以下
球間隙 50 kV 以上

クリドノグラフ



平面金屬電極 Q の上に寫眞乾板 F を置き其の上に棒狀電極 P を當てる。P, Q 間に電圧を加へた後、乾板を現像すると、乾板に放射狀の圖形が得られる。此の圖形をリヒテンベルヒ圖形と云ひ、圖形の直徑を測つて電圧の最大値を知る。

主として雷電壓の測定に用ひられ、乾板の代りにフィルムを用ひ、之れを時計仕掛によつて移動すると、雷電壓の雷電壓が記録される。

【問題】 下記の測定に適する測定器の名稱を挙げよ。

- | | |
|--------------------------|---------------|
| (イ) 長さ 1m の太い裸銅線 | (ロ) 絶縁電線の絶縁抵抗 |
| (ハ) 断路器の接觸抵抗 | (ニ) 變壓器の各巻線抵抗 |
| (ホ) 自熱電燈の縱線抵抗 | (ヘ) 鉛蓄電池の内部抵抗 |
| (ト) 検流計、電圧計、電流計、變電器の内部抵抗 | |

【問題】 ホイートストーンブリッジの原理と取扱上の注意事項を記せ。

【問題】 下記を説明せよ。

- | | |
|-------------|------------|
| (イ) 電位差計 | (ロ) 火花間隙 |
| (ハ) クリドノグラフ | (ニ) オシログラフ |

配電〔設計、建設〕

建柱工事上の注意 電線の接続法 裝柱

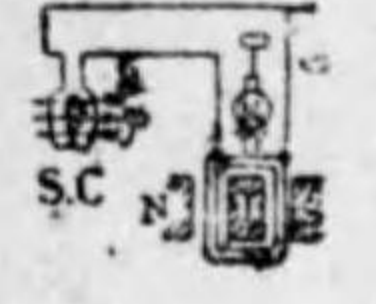
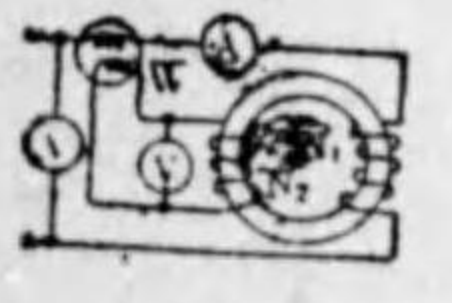
- ② 歩道車道の區別のある道路は歩道の車道側に建柱すること。
- ③ 他の架空電線路又は弱電流線路を貫通して建柱しないこと。
- ④ 道路の 1 側に弱電流線路がある時は、反對側に建てること。
- ⑤ 電線路の幅は 2.7m を超へないこと。
- ⑥ 市街地の道路に沿つて建てる時は、道路より 2.5m 以内に入らないこと。

(18) 電線の接続方法とその得失

	捻り接続	巻付接続	スリーブ接続	壓縮接続
接続方法	電線の被覆を約 10cm 宛剥ぎ取り、中央にて 2 回捻り合せた後、両端を 5 回巻付ける	電線を重ね合せその上を 1.6mm の裸銅線で 5~15cm 巻付け、更に両端を 5 回巻く	ダルマ製の引抜鋼管に両端より電線を挿し込み、捻回器にて 2~3 回捻回する	鋳製の引抜アルミ管又は引抜鋼管に両端より電線を突合せ、壓縮器にて壓縮する
得失及び適用	比較的簡單である。直徑 2.6mm 以下位の單線と張力のかゝらない所に用ふ	接続が面倒である。張力のかゝらぬ所で、太い電線の接続に用ふる	最も簡單で、所要時間が短く、且つ接続部の抵抗が少く、張力が大きい最も廣く用ひられる	引張力が大きく電氣抵抗の増加も少い。アルミ電線及び鋼心アルミ線に用ふる


(19) 装柱

- ① 笠金; 木柱の頂部に取付けて、雨露の浸入に依る電柱の腐蝕を防ぐ。
- ② アームタイ; 腕木を補強し或は傾斜を防ぐ爲に、腕木相互間又は腕木と電柱の間に斜に取付ける。
- ③ 足場釘; 電柱の昇降に便利な様、電柱の兩側に千鳥型に取付ける。
- ④ 電柱札; 電柱の地表上約 3m の位置に取付け、線路名、事業者名、電柱番號等を記入する。

名 称	原 理	用 途
磁束計	 <p>其の構造は可動線輪型検流計と同様である。可動線輪は制御回轉力の極めて小さい絹糸で耐久磁石 N, S の間に吊し、之に搜索線輪 S.C. を直列にする。搜索線輪を磁界内に置き、之を 1 回轉すると、線輪には磁束密度に比例した誘起起電力を生ずるから、磁束計の偏れより磁束密度が求められる。</p>	磁界の磁束密度を測定するのに用ひる。
蒼鉛渦巻 (ビスマス スパイラル)	<p>蒼鉛を扁平な螺旋状に捲き、之を雲母板で保護し、柄をつけたものである。蒼鉛は磁界内に入ると、磁界の強さに比例して抵抗が増すから、此の抵抗をホイートストン・ブリッジで測定して、磁界の強さを求める。</p>	電氣機械の空隙のやうに狭い場所の磁束密度を測るのに適する。
エプスタイン法	 <p>鐵板を交番磁界内に置くと、鐵損 (ヒステリシス損と渦流損) を生ずる。エプスタイン法は此の鐵損を測定する方法で、圖の如く鐵板を環状に打抜いて積重ね……棒型とすることも有る……之に一次巻線 N_1 及二次巻線 N_2 を捲く。又電力計 W を圖の如く結んで W の讀みより鐵損を求める。</p>	電氣機械用薄鐵板の鐵損を測定する等。

【問題】 下記の測定器及測定方法を説明せよ。

- (イ) ダクタ, オーム計, メガ
- (ロ) 三相同路の相同轉
- (ハ) 電器機械の空隙に於ける磁束分布
- (ニ) 變壓器鐵板の鐵損
- (ホ) 誘導電動機の滑り

名 称	原 理	用 途
電氣回轉計	<p>回轉機の軸と小型發電機の軸を連結すると發電機は起電力を發生する。此の起電力は軸の回轉數に比例するから、直結電壓計の目盛を速度目盛として置くと、速度が直讀される。</p>	大型回轉機械の回轉數の測定に用ふる。
ストロブスコープ	 <p>圖の如くに、圓板を扇形に区切つて黒白に塗る。之れを回轉軸に取付け、ネオン燈で照す。此のネオン燈の点滅の周期と回轉數が同一であると、扇形は静止して見へるが回轉數の方が遅いとネオン燈が次に点燈した時、圓板の扇形は前の位置迄回轉してゐないから、回轉方向と反對の方向に緩かに回轉するやうに見える。其處でネオン燈に加へると周期を變へて、扇形を静止させると、回轉体の周期と一致して回轉數を知ることが出来る。</p>	回轉數, 滑り, 同期を求める場合に用ふる。(例へば、誘導電動機の滑りの測定には好都合である)
電氣溫度計	<p>電氣的現象を利用した溫度計には抵抗溫度計と熱電溫度計がある。抵抗溫度計は金屬線、例へば、白金線の抵抗が溫度上昇に比例して増加する現象を利用し、抵抗變化より遂に溫度を測定するものである。熱電溫度計は、例へば、白金と白金イリジウム又はクロメルとアルメルの接合部を加熱すると起電力を生ずる。此の裝置が熱電對であり、斯くて生ずる起電力が熱起電力であつた。其の値は加熱溫度に比例する。其處で遂に熱起電力の値より溫度を知る。</p>	電氣機器の内部溫度、電氣爐の溫度等を測定するのに用ひられる。

遠隔測定器	これは一つの場所の電氣的諸量を、之れより離れた處で再現させる装置であつて、變電所で引出線の電流を配電盤で讀むのも云はば一種の遠隔測定であるが、一般に云ふ遠隔測定方式は、之れよりはるかに距離の離れた場合である。従つて、計測諸量を其のまま送ることが出来ない。其處で、例へば、計測値に比例した高周波電流を送つて之れを再び元の計測諸量に變へて計器に與へ、計測値を再現させる。	例へば、各變電所開閉所に於ける電氣的諸量を配給司令所で指示させる
--------------	---	----------------------------------

【問題】 下記の測定法を説明せよ。

- (イ) 誘導電動機の滑り
- (ロ) 電氣機器の負荷試験に於ける温度上昇
- (ハ) 遠隔測定法

〔3. 機械〕 3.1 一般

(1) 電氣機器の分類

大 別	分 類		目 的 及 び 用 途
	電氣勢力上より	構造上より	
回 電 機	直 流 發 電 機 	直巻、分巻、複巻 直 流 均 壓 機 ローゼンベルヒダイナモ 直 流 昇 壓 機	一般直流電源用、蓄電池充電用、勵磁用、電氣化學用等 直流三線式配電に用ふる。 電弧熔接用、自動車蓄電池充電用等 直流配電線の電壓の調整用等
	交 流 發 電 機 	單相同期發電機 三相同期發電機 正 弦 波 發 電 機 誘導子型發電機	特殊用(電氣鐵道、電氣化學、電熱工業等) 一般の電燈電力用交流電源に用ふる。 試験用電源等として純正弦波を發生するやうに製作されてゐる。 高周波用電源に用ふる。
電 動 機	直 流 電 動 機 	直 卷 電 動 機 分 卷 電 動 機 複 卷 電 動 機	電車用電動機、起重機用、卷上機用等 工作機用、ポンプ用、送風機用等 起重機、工作機、船舶用等
	交 流 電 動 機 	誘 導 電 動 機 同 期 電 動 機 特 殊 籠 形 同 期 電 動 機 同 期 誘 導 電 動 機 超 同 期 電 動 機	一般の電動機に最も廣く用ひられる 船舶推進用、壓縮機用、壓延機用等(一定速度用、低回轉數用等) 直入用同期電動機に用ふる。 同期調相機の起動用、低速のシメントミル用等 シメントミル用等の全負荷起動用に用ふる。
	交 流 一 直 流 變 換 	回 轉 變 流 機 そ の 他	電氣化學工業用、電鐵用等に用ふる 整流變流機、電動變流機等がある

變換機	周波数變換	定比周波数變換	周波数の比が常に一定のもので、周波数の異なる送電系統の連絡用等に用ふる。
		可變比周波数變換	周波数の比が變化するもので、可變周波電源用、送電系統の連絡用等に用ふる。
調相機	位相調整	同期調相機	送電系統の力率改善用に用ふる。
		非同期調相機	誘導機に進相機を組合せたもので同期調相機より起動並に運轉が容易である。
變壓器	主に電壓及び電流の變成	单相變壓器	最も廣く用ひられる。
		三相變壓器	单相變壓器3箇用ふるより經濟的である。
		三巻線變壓器	三次巻線には調相機等を結ぶ、又二種電壓の送受電等にも用ふる。
		單巻變壓器	配電線の昇壓器起動補償器等に用ふる。
		特殊變壓器	P.T及C.T絶縁耐壓試験用、負荷時電壓調整用等の各種のものがある。
誘導調整電器	電壓調整	单相誘導電壓調整器	单相試験用電源の電壓調整等
		三相誘導電壓調整器	配電線の電壓調整等に用ふる。
整流器	交流—直流變換	水銀整流器	ガラス製と磁槽製がある。電機用電氣化學用等に用ふる。
		乾式整流器	蓄電池の小型充電装置等に用ふる。
		真空管整流器	主に電氣通信用に用ふる。
靜蓄電器	力率及び電壓の調整	並列蓄電器	電力系統の力率を改善する。
		直列蓄電器	線路に直列に入れて、電壓降下の軽減、送電電力の増大等を計る。

(註) 本表は最も一般的なものを示した。此の内でも直流分巻(複巻)發電機、同直巻電動機、三相同期發電機及び電動機、變壓器(单相、三相)誘導電動機、三相誘導電壓調整器、水銀整流器、酸化銅整流器等は日常取扱ふことが最も多いから、是等の理論、特性は一通り心得て置かねばならない。

【問題】 發電所より需用家の電力負荷に至る迄に設置せらるゝ電氣機器の名稱を列記し、其の用途を附記せよ。

(2) 回轉電氣機械の諸損失

損失の分類	実用上精確に測定し得るもの	近似的に測定し得るもの
界磁回路の損失	界磁抵抗の I ² R 損 界磁抵抗器の I ² R 損	磁子の電氣損(刷子及び接觸抵抗の I ² R 損)
一定と見做す損失	鐵損(ヒステリシス損及び渦流損) 軸受摩擦損 刷子摩擦損 全風損	絶縁物中の誘電体損
負荷損	電機子巻線の I ² R 損 直巻界磁巻線の I ² R 損	鐵中の漂遊負荷損 導体中の漂遊負荷損

【無負荷損と負荷損】 負荷電流の大小に拘らず一定のもの、例へば、鐵損、機械損、分巻界磁銅損、誘電体損等の和を無負荷損と云ひ、電機子銅損のやうに負荷電流の自乗に比例するものを負荷損と稱する。

【漂遊負荷損】 電氣機器の損失に於て、計算も測定も出来ない、極めて小さい損失を一括して漂遊負荷損と云ふ。其の大きさは全損失の 1% 以下である。

(註) 漂遊負荷損には、例へば、電機子導体及び端板に生ずる渦流損、整流時に刷子によつて短絡された線路に流れる短絡電流による損失、電機子反作用のため、磁束の偏りによる鐵損の増加等がある。

(3) 電氣機械の規約能率

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \dots \times 100 (\%)$$

發電機では入力、電動機では出力が夫々機械力になるので、之を實測することは困難である。従つて、入力或は出力のみ測り、損失を計算によつて求めて能率を定める。これを規約能率と云ふ。

(註) これに對し、入力及び出力を夫々實測して求めた能率を實測能率と稱する。

(4) 定格容量、その他

電氣機器に於ける損失は熱となつて、機器の溫度を上昇させる。特に負荷が大きくなると、銅損を増して溫度が高くなる。然るに、絶縁物其の他の壽命は此の

温度上昇に依つて左右されるので、機器の容量は温度上昇に依つて制限される。

(註) 許容最高温度は油中に浸さない銅、木綿等で 90°C、油中浸したもので 105°C、巻線等では 125°C である。

此の許容温度以内に温度上昇を止めるには、機器の出力に制限を附さねばならない。此の出力を定格出力又は定格容量と云ひ、定格出力を出す電圧、電流、速度を定格電圧、定格電流、定格速度と云ふ。

(註) 例へば直流機の場合に於て、温度上昇がまだ高くないのに之れ以上に負荷すると、熱流状態が悪くなると云ふやうな、温度上昇以外の事項から容量の制限を受けることもある。

(5) 回轉電氣機械の冷却方式

(i) 自己通風冷却式; 回轉子に通風扇を取付け、之により内部の温められた空気が外部の冷い空気を入れ替へて自己通風を行ふ。

(註) 開放型と閉鎖型があり、最も簡単であるから小型機に廣く用ひられるが、冷却能率が悪く、大型機には主に閉鎖通風方式が採用される。

(ii) 外被通風式; 外被を二重にして、その間に通風を行ひ、冷却する。

(註) この方式は中容量の閉鎖型に用ひられる。

(iii) 他力通風方式; 別に通風機を置いて、それにより冷却された空気を強制的に内部に送り込む。

(註) この方式は水力発電所等の大型機に用ひられる。

(iv) 閉鎖通風方式; 密閉型の機械に空気が冷却器を設け、別に設けた通風機によりその中に空気を循環させる。

(註) 塵埃の被害がなく、大型機に用ひられる。

(v) 通水冷却方式; 機械の固定部分、例へば、固定子鐵心に冷却管を設け、之れに冷却水を循環させて冷却する。又は閉鎖型電機の上部に水タンクを設置して、其の水を循環するやうにしたもの、或は軸受に冷却管を設け、冷却水を循環させたもの等がある。冷却媒体としては油を用ふることが多い。

【問題】 次の事項を簡単に説明せよ。

- (イ) 負荷損、無負荷損
- (ロ) 逆送負荷損
- (ハ) 規約能率、實測能率

【問題】 電氣機器の通風方式を挙げ得失を記せ。

(vi) 水素冷却方式; 閉鎖通風方式の空気の代りに水素を用ひたもので、冷却効果が大きい。

(註) 水素の比重は空気の 7% であるから、風損も 7% になり、熱傳導率は空気の 7 倍で能率よく冷却効果も大きい。且つ酸素がないので燃焼の心配がない。但し、空気より軽いので漏洩の心配があり、酸素と混合すると爆発の虞がある。大型高速機特に軸の貫通のない同期調相機の冷却方式に適する。

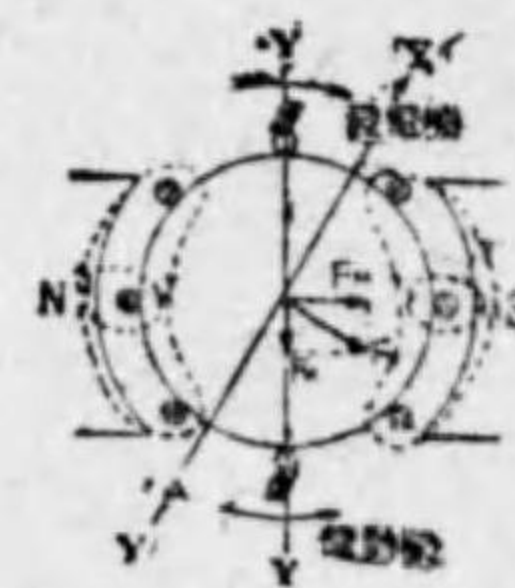
3.2 直流發電機一般

(1) 原理一般

磁極の作る磁界内を線輪が回轉して磁力線を切り、之れに誘起起電力を發生する。此の線輪の誘起起電力は正弦波交流であるから、整流子を通じて直流として外部に引出す。整流子面から外部に電流を導くものを刷子と云ふ。

(註) 線輪は電機子鐵心(厚さ 0.5~1.0mm の固有抵抗の大きな圓形薄鐵板に絶縁ワニス塗つて積重ねたもの)に溝を作つて納められて居る。鐵心を断線にすると、鐵心内の渦流損を減じ、夫れに依る温度上昇も低い。同様の理由で界磁線輪の巻かれる鐵心も成層鐵心から成る。各線輪に發生する誘起起電力の位相が異なるから、夫々を整流子で脈流としたものを合成すると、各瞬時に於て略々一定値の直流が得られる。

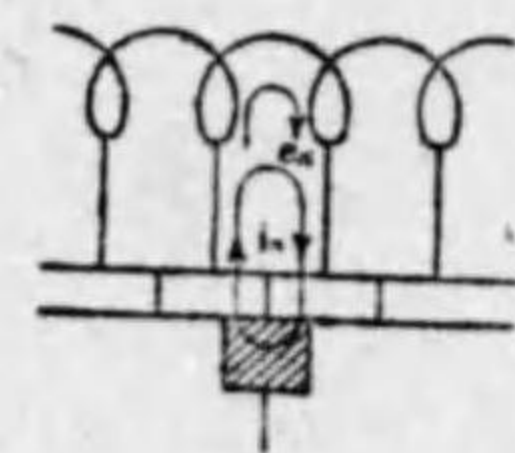
(2) 電機子反作用



電機子に負荷電流が流れると、此の電流に依つて圖のやうに磁力線を生ずる。之れを反作用磁界と云ひ、 F_A のやうに、主磁界(磁極の作る磁界) F_M と 90° の角度差がある。其の結果、合成磁界は F_0 のやうに歪められる。

(3) 無火花整流

直流機に於ては、整流子に結ばれた 1 箇の電機子線輪が一極から他極に移る際、刷子に依つて其の中を通ずる電流の方向が反轉せられる。之れを整流作用と云ひ、整流せられる線輪を整流線輪と稱する。此の整流線輪の



起電力を零としないと、刷子を通じて大きな短絡電流が之れに流れ、火花を発生する。無負荷に於て、刷子を中性軸 YY 上に置くと、此の点の磁界は零で線輪には起電力を生じない。従つて無火花整流が得られるが、電機子線輪に負荷電流が流れると反作用磁界 F_A が生じ、合成磁界は E_0 のやうに歪むので、刷子を YY 軸上に置いたのでは整流線輪に誘起起電力を生じ、刷子に火花を発生する。従つて無火花整流を行ふ爲めには、刷子を F_0 と直角な $Y'Y'$ 軸上に移さねばならない。即ち、刷子を回轉方向に進めることになる。又整流線輪の電流は反轉せられるのであるから、其の自己誘導起電力の爲めに電流が流れる。其處で火花無き整流を行ふ爲めには、整流線輪の起電力を零とするだけでなく、進んで此の自己誘導起電力に打ち勝つ起電力を與へねばならない。

〔註〕 YY を幾何學的中性軸、 $Y'Y'$ を電氣的中性軸とも云ふ。

斯様にして、火花無き整流を行ふ爲めには、刷子を電氣的中性軸より更に進めるか、補極を設ける。

(4) 補 極

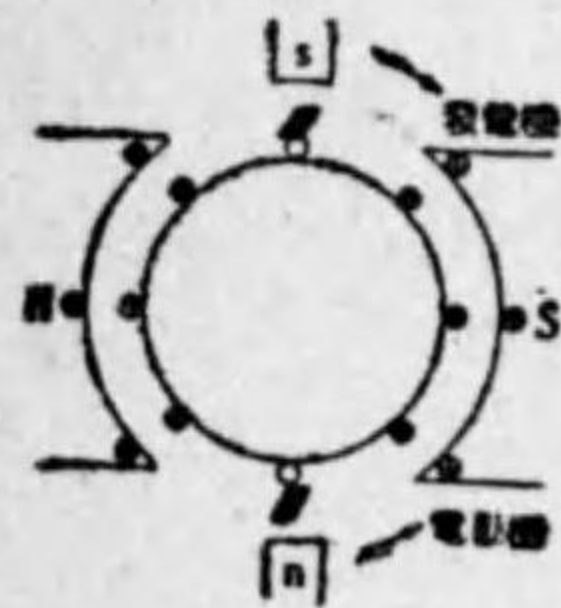
刷子を回轉方向（電動機の場合は回轉と反對方向）に移動して、刷子下の整流線輪には上述の起電力に反する起電力が既に誘導せられて居るやうにするか、或は圖の如くに主磁極 N, S 間に別の小磁極 n, s を置いて刷子を移動する代りに、一步前の磁極の出張所とする。之れを補極と云ふ。従つて補極は線輪が之れから入らうとする磁極と同性（電動機の場合は異性）で、斯くて整流線輪に反對起電力を與へて無火花整流とする。

〔註〕 補極の受持つ役目を分つと、①中性軸上の反作用磁界を打ち消す。②短絡線輪の自己誘導起電力を打ち消す。③更らに進んで整流線輪の電流反轉を助ける方向に働く。整流起電力を與へる。の3つとなる。刷子の移動は②③の作用をするが①の作用はない。

〔問題〕 發電機と電動機に於て、補極の極性を如何に定むるや。

〔問題〕 補極と補償巻線の作用の相違する点を説明せよ。

〔問題〕 電機子反作用が刷子の移動により減磁作用と交叉磁化作用をすることを説明せよ。



(5) 補償巻線

補極を設けても電機子線輪の作る磁力線が全圓周に亘つて打ち消される譯でないから、空際に沿ふ磁束分布は不均一なものとなり、整流子片間の電圧分布も不齊となり、著しく電位差の高い整流子片間から火花が起り、遂に刷子間を閃絡し易い。特に負荷變動の激しいものに此の閃絡が発生する。其處で前圖のやうに電機子線輪に相對して磁極の全面に亘つて巻線を設け、電機子線輪と反對方向に電流を流すと、電機子の作る磁力線は全面的に打ち消される。斯様な目的で磁極面に設けられた巻線を補償巻線と云ふ。補極にせよ補償巻線にせよ、電機子線輪と直列に接続せられるから、負荷電流が流れ、電機子電流の作る磁力線を自動的に打ち消す。

〔註〕 補極は負荷の激變する發電機、速度を廣範圍に變へ或は常に回轉方向を變へる電動機に用ふる。補償巻線も同様であるが、特に速度及容量の大きいものに採用する。

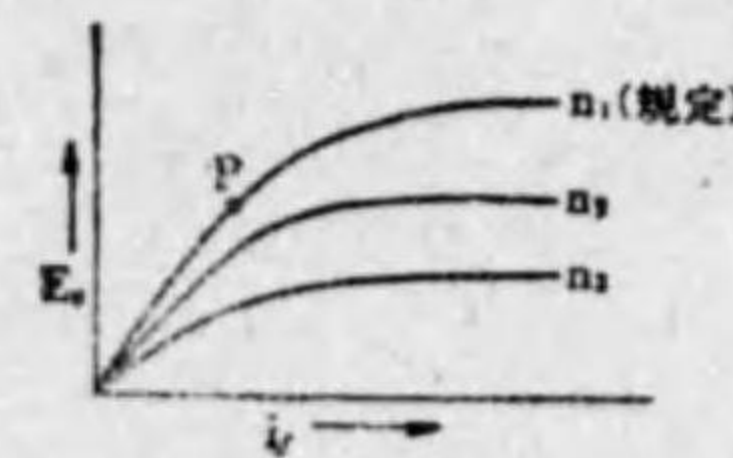
(6) 均壓環

並列巻の電機子では刷子間に幾つかの巻線が並列となつてゐる。然るに、空際（電機子と界磁極間の間隙）には多少の不同があり、磁路抵抗等も異なるので、各並列巻線の起電力が相違する。従つて、電機子が外部の電路に負荷電流を供給してゐないのに、各並列巻線間に循環電流が流れて整流を不良とし、線輪を無用に熱し、夫れだけ負荷耐量を小とする。故に、此の循環電流を防止する爲めに、同性の磁極の下で同一の電位にある巻線の諸点を、整流子と反對側にて銅帶で接続する。之れを均壓環と云ふ。（循環電流は各均壓環に小さく分流する）

(7) 特性曲線

直流發電機の誘起起電力 E_0 は $E_0 = K\phi n$

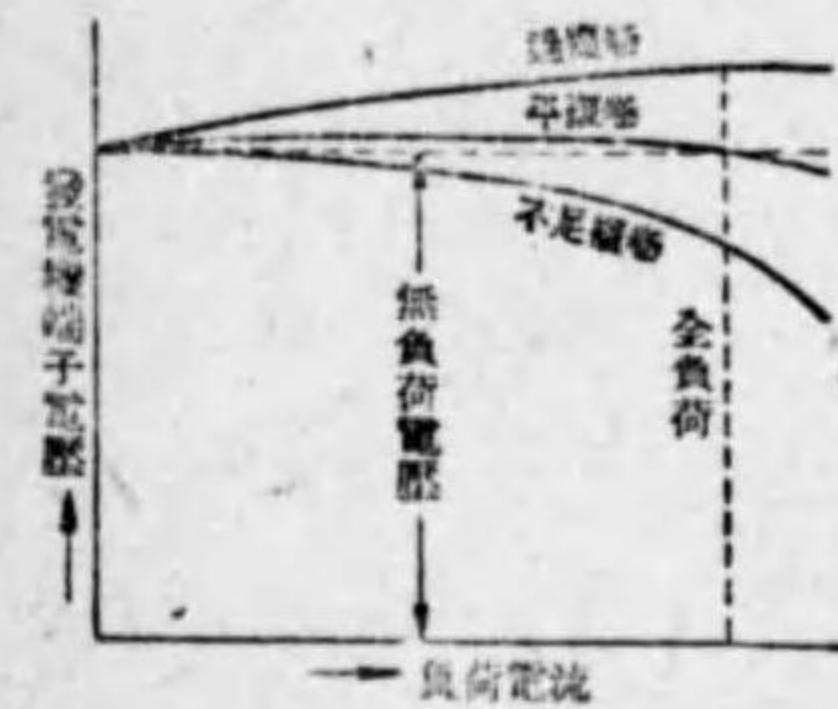
K = 常數 ϕ = 磁極磁束 n = 電機子回轉數



従つて、 E_0 は ϕ に比例する。今、 n を一定とし、勵磁電流 i_f を横軸に取つて、漸次其の値を増すと、縦軸に取つた E_0 の値も増すが（ P 点迄）、磁極の飽和の爲めに、鐵の磁化曲線と同様に、増加の割合が減じて遂に一定値となる。此の状況を表はした曲線を無負

荷飽和曲線と云ふ。

次に, 発電機に負荷をかけて負荷電流を取ると, 其の端子電圧 E_t は $E_t = E_0 - I_a R_a$ (但し I_a は電機子負荷電流, R_a は電機子抵抗) となり, I_a の増加と共に,



E_t が降下する。斯様に ϕ 及 n (即ち E_0) を一定とし, I_a を横軸に E_t を縦軸に取つた曲線を外部特性曲線と稱する。今, 全負荷の規定端子電圧を E , 之れに應ずる無負荷端子電圧 (誘起起電力) を E_0 とすると

$$\text{電圧変動率} = \frac{E_0 - E}{E} \times 100 (\%)$$

(註) 直巻界磁と分巻界磁の併用されたものが複

巻発電機である。其の中で, 負荷の如何に拘らず略々電圧が一定となるやうに設計されたものが平復巻であり, 直巻界磁の効果を大きくして, 負荷が大になると共に電圧の多少上昇するやうにしたものが過復巻であり, 直巻界磁の効果の小さいものが不足復巻である。

(8) 電圧調整

E_t を調整しやうとすれば E_0 を従つて ϕ か n を調整する。 ϕ を調整する爲めに界磁回路に加減抵抗器を設け, 之れを調整して界磁電流を加減する。之れを界磁抵抗器又は界磁調整器と稱する。又, n を調整するには原動機を速度を加減すればよいのだが, 一般に面倒だから電動機を原動機とするもの以外には採用されない。上記の界磁抵抗器の調整を手動で行はず, 自動的に行つて, 常に発電機の端子電圧を一定値に保つ自動電圧調整器もある。

(註) 直巻発電機では直巻界磁巻線に分路を設け, 此の抵抗を加減して勵磁電流を調整する。直巻機は回転数が一定なら, 負荷電流が大となる程 E_0 の値を増すので, 直巻昇壓機として採用される。

- 【問題】 速度を廣範圍に調整する電動機に起極及補償巻線を必要とする理由を説明せよ。
- 【問題】 相當の互長を有する配電線を纏て電燈に供給する直流発電機として, 過復巻の適當なる理由を説明せよ。
- 【問題】 下記を説明せよ。
 - (イ) 均壓環 (ロ) 無負荷飽和曲線 (ハ) 外部特性曲線
 - (ニ) 自動電圧調整器 (ホ) 電弧熔接用電源

(9) 直流発電機の用途と型式の撰定

用途	型式	備考
化学工業用	他勵式(100V以下が普通)	大容量大電流(100V以上)には回轉變流機, 水銀整流器が一般に用ひられる。
電機用	平復巻又は過復巻	分巻を有利とすることもある。
電気鍍金用	他勵式(復巻も用ひる)	小容量 電圧 3~12V 大電流用
勵磁機	平復巻又分巻	廣範圍の電圧調整には分巻がよい。
蓄電池充電用	分巻	電圧変動率の大きいものがよい。
加減壓機	直巻	電流と共に電圧が上昇する。
電弧熔接	差動復巻(電機子回路に抵抗を入れた複巻又は普通の平復巻も用ひる)	負荷電流の増加に應じ, 急激に電圧を低下するもので, 電弧熔接に適する。此の目的にローゼンベルヒダイナモも用ひる
直流高壓試験電源用	他勵式	一般にケノトロンを用ふる。
ワードレオナード方式の電源	他勵式	電圧を廣範圍に調整する。

3.3 直流電動機一般

(1) 原理一般

磁界内に電流の通じてる導体を置くと, 此の導体は力を受ける。直流発電機を見ると, 丁度, 此の状態にある。其處で, 直流発電機を別の電源に結んで, 之れに電流を流すと, 原動機を取り外しても電機子は上記の力を受けて回転する。……此の關係は右手及左手の法則から明かである……之れが直流電動機であつて其の構造も発電機と全く同様で, 一機を何れに用ふることも出来る。

(註) 發電機の處で述べた電機子反作用, 整流刷子の移動, 補磁, 補償巻線の諸作用を電動機として再考せられたい。

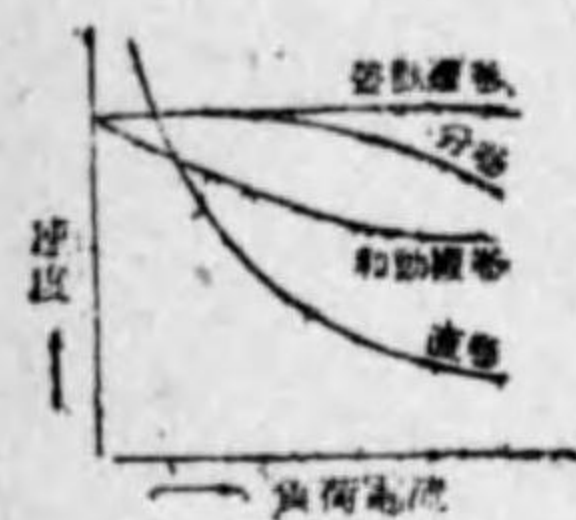
(2) 特性曲線

直流電動機に加へられる端子電圧を E_t , 電機子線輪の誘起起電力を E_0 , 電機子電流を I_a , 同抵抗を R_a とすると

$$E_t = E_0 + I_a R_a = K \phi n + I_a R_a \quad \therefore n = \frac{E_t - I_a R_a}{K \phi} = \frac{E_t}{K \phi}$$

但し, k は常數, ϕ は界磁束, n は回転數

今 E_a を同一とし、電動機の負荷（運轉せられる仕事の量）を大とすると、其



の回轉力が大とならねばならない。然るに、回轉力 $\tau = K\phi I_a$ で示されるから、 I_a が大とならねばならぬ。 I_a が大きくなると上式に於て $I_a R_a$ が大となつて、 n は小となる。即ち、負荷の増加と共に回轉數が低下する（但し、上記の説明では ϕ を一定とした。）此の状況を負荷電流

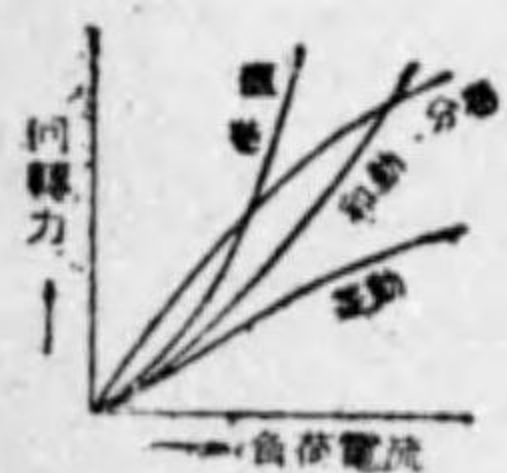
を横軸に、速度を縦軸に取つて表はしたのが速度特性曲線である。

（註）電機子反作用磁界は負荷電流と共に増加し、主磁界を弱めるので、逆に速度を上昇させる傾向がある。然し $I_a R_a$ の影響の方が大きい。

直巻機は $n \propto E_a / K I_a$ となるので、負荷電流に逆比例して n が低下する。分巻機は $I_a R_a$ が大となり n が多少低下する。和動複巻は直巻界磁と分巻界磁の磁力線が加はり合ふものであり、差動複巻は両者が相反する方向を取るものである。

今、全負荷時の定格速度を N とし、之れを無負荷としたときの速度を N_0 とすると

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



次に負荷電流に対する回轉力の状況を表はしたのが回轉力特性曲線であつて、 $\tau = K\phi I_a$ より明かなやうに、直巻機の τ は略々 I_a の自乗に比例し、分巻機は I_a に比例する。

(3) 速度制御法

電動機を所望の速度とするには、前の R の式より明かなやうに

(イ) 電機子回路に直列抵抗を入れて R_a を大とする。

(ロ) 界磁束 ϕ を調整する爲めに、界磁回路に抵抗器を入れて勵磁電流を

【問題】 差動複巻電動機は速度は負荷に拘らず略々一定なることを説明せよ。

【問題】 直巻、分巻、和動及差動複巻の速度（横軸）、回轉力（縦軸）曲線を書け。

【問題】 直流電動機の各種速度制御法の得失を記せ。

【問題】 直流電動機の速度を零より最大値迄圓滑に調整し、更に自由に逆轉運轉を行はんとす。之に適する方法を説明せよ。

加減する。

(ハ) 電動機への端子電圧を加減する。

型式	制御法	得	失
分巻機	(イ)及(ロ)	(イ)は電力損失、速度變動率共に大きく、抵抗器も大型となるので一般に(ロ)を用ふる。稀に(ハ)も用ひる。但し此の場合は特別の電源を要する。	
直巻機	(イ)(ロ)(ハ)	(ロ)は直巻界磁にタップを設ける。(ハ)としては、電車等で2台の電動機を直列又は並列に接続換へする。	

（註）分巻機に(ロ)の方法を用ひ、餘り界磁束を小とすると電機子反作用の影響が大きくなり、整流を害するので自から限度がある。但し補極のあるものは此の方法で相當廣範圍の速度制御が出来る。

【レオナード方式】 (ハ)の方法の一種であつて、補助電動機で發電機を運轉し、此の發電機で運轉すべき主電動機に電壓を與へる。發電機の界磁を調整、或は其の極性を反對として電動機は速度が廣範圍に然かも其の回轉方向も自由に制御される。但し、補助電動機並發電機及主電動機の界磁回路は同一電源に接続されてゐる。

【イルグナ方式】 之れは補助電動機に三相誘導電動機を用ひ、此の電動機と發電機の直軸軸にはサミ車を取付けて、主電動機の負荷が激變しても、誘導電動機の入力に大きな變化を與へないやうにしたものである。

(4) 直流電動機の運轉と取扱法

【分巻電動機】 無負荷では一定速度を有するが、全負荷となると $I_a R_a$ が大となり、速度は數%低下する。界磁抵抗器の抵抗を大として i_f 即ち ϕ を小として速度を大とし得るが、勵磁電流 i_f を餘り小とすると整流作用が悪化する（補極のあるものは此の点が緩和される）然かも、起動回轉力が小さいので可變速度用には適さない。

運轉中、界磁回路を開くと、 ϕ が零に近くなり、速度の上昇が著しく、電機子線輪が遠心力の爲めに溝から飛び出し、火花の破裂したやうになるから、界磁回路にヒューズを入れたり、不用意に開路してはならぬ。

【直巻電動機】 速度は電機子電流に反比例し、回轉力は其の自乗に比例する。無負荷で起動すると電機子電流が少く、速度が著しく高まる。丁度、分巻機の界磁回路の開放と同様である。斯様な速度を無拘束速度と云ふ。故に、直巻電動機

は起動の初めから負荷と結合して起動する。(一般に齒車で負荷に連結する)

本機は負荷に依つて速度が異なるので、定速度用としては不適當であつて、電车用、起重機用等に適する。

【複巻電動機】 和動複巻は起動回轉力の大きい分巻機と見做し得る。主として粉砕機、ローリングミル用のやうに負荷が急に加はり、終ると無負荷となるやうなものに用ひられる。又、差動複巻は一定速度用に適する。

(5) 起動器

電動機を起動する際に、直ちに全電壓を加へると、電機子電流 $I_a = \frac{E_a - E_0}{R_a}$

に於て、電機子の誘起起電力は速度が零であるから零であり、 R_a は小さいので莫大な I_a が流入して、電機子線輪を焼損する。其處で電機子回路に抵抗器を挿入し、線路電壓を之れで降下させて電機子に加へ、速度が上昇して E_0 が大となると共に、抵抗器の抵抗を減じて行く。此の操作を起動電流に依つて自動的に行ふ自動起動器もある。尚、起動器には2つの安全装置がある。夫れは無電壓開放器と過負荷解放器であつて、前者は停電等で電壓が無くなつた時、自動的に起動器のハンドルを起動の位置に復歸させるもので、之れがないと次に電壓が急に來ると電動機が全電壓で起動されることになる。後者は電動機が過負荷すると、回路を自動的に遮断するものである。

(6) 各種直流電動機の特徴及び用途

種類	特徴	適當なる負荷
直巻電動機	①起動回轉力が大きい。②負荷が増すと速度が下る。③負荷の変動による入力の変化が少い。	電车用電動機、起重機、巻上機、プロペラ-通風機、船舶用通風機等
分巻電動機	①速度の変動が少い。②速度の調整が容易である。③無負荷でも高速度にならない。	工作機用(旋盤、金屬鋸等)ポンプ用、送風機用、船舶のポンプ類等

- 【問題】 分巻電動機の界磁回路にヒューズを挿入してはならない理由を述べよ。
- 【問題】 直巻電動機に依るベルト運轉は危険なりと云ふ。其の理由を説明せよ。
- 【問題】 直流電動機の起動方法を説明せよ。
- 【問題】 各種直流電動機の特徴と用途を挙げよ。

複巻電動機	①直巻特性(和動)のものは直巻電動機に近く分巻特性(差動)のものは分巻電動機に近い。②無負荷でも高速度にならない。	起重機、巻上機、往復ポンプ、工作機、空氣壓縮機、揚揚機等
-------	---	------------------------------

(参考) 電動機一般に就て負荷の性質に依つて要求せられる速度特性を示すと、次の如くである。

速度特性	實例	適當な電動機
定速度 負荷の量が變化してもなるべく一定速度を要するもの	機械工場における旋盤等の工作機を運轉する主軸用(之れを集團運轉と云ひ各工作機は主軸とベルトで連結される)其他ポンプ用、印刷機用等	直流分巻電動機(同差動複巻)籠形誘導電動機
可變速度 相當廣範圍に速度調整の出来るもの	電车用電動機、起重機用電動機(何れも起動回轉力の大きなることを要求する)	直流直巻電動機 巻線型誘導電動機
特殊速度	嚴重な一定速度を要求する測定器用等、相當範圍の變速度を要求し一度が其の速度に調整されたたら其の後は速度を餘り變化しないもの、例へば紡織工場其他工作機の各個運轉用	同期電動機、直流分巻電動機、巻線型誘導電動機、交流整流子電動機

(註) 各個運轉では1台の工作機に1台の電動機が專屬して居るので、工作能率が自在に發揮される。近代的工場では各個運轉が多く集團運轉は少い。

3.4 交流同期發電機一般

(1) 原理一般

直流發電機の電機子線輪に誘起せられる起電力は正弦波交流であるから、整流子の代りに集電環を通じて、之れを其のまま外部に引出すと交流が得られる。直流機では整流子が電機子線輪と共に回轉しなければ直流が得られなかつた。従つて磁極が静止して電機子が回轉する。然るに、交流機では線輪の電壓を其のまま引出せばよいので、電機子が静止して磁極が回轉してもよい。此の場合、磁極への電流は集電環を通じて供給される。

界磁巻線の電壓は、例へば 100 V とか 200 V の低い直流電壓であり、電機子線輪の電壓は 12,000 V にも及ぶ高い電壓であるから、電機子線輪を静止して置いた方が絶縁が容易である。其處で普通の交流發電機は回轉界磁型とせられる。之れに反して、直流發電機のやうなものを回轉電機子型と云ふ。

元來、線輪が N 極から S 極に至る間に誘起起電力の波形が 1 回變るのであるから、1 圓周に磁極總數が P 極あると、P/2 回波形が變る。これが 1 分間に N 回轉 (1 秒間に N/60 回轉) すると、1 秒間に變る波形の回数

$$\text{即ち、周波數 } f \text{ は } f = \frac{P}{2} \times \frac{N}{60} = \frac{PN}{120} \quad N = \frac{120f}{P} \quad P = \frac{120f}{N}$$

(註) 此の周波數は關東地方は 50 サイクル、關西地方は 60 サイクルとなつて居るので東西に於ける電力の融通上、機器の都合上、種々不便なことが多い。大東亞共榮圈の標準周波數としては 50 サイクルが調定されて居るから、近い將來に於て之等は統一されやう。昔は 50 サイクルの回轉變流機が製作困難だったので、電機方面には 25 サイクルの用ひられたこともあり、交流式電氣鐵道用として伊國等では 16 1/3 サイクルが採用された。周波數が餘り低いと電燈の光がちらつくやうなことにもなる。

交流發電機の回轉數 N は、之を動かす原動機に依つて定り、所定の周波數を得るやうに極數を撰定する。一般に高速度の方が所要資材が少く廉價である。電機子線輪は磁極の周邊の固定子に捲かれ 120° 宛の角度差に配置されて三相交流電壓を得て居る。現在電力供給用としては廣く三相が用ひられて居る。要するに交流發電機を並行運轉するには各々の周波數、從つて回轉數を一定値に保たねばならない。これが同期發電機と云はれる所以である。

(2) 同期機の型式による分類 (同期發電機、同期電動機共に同様である)

型式	構造	
回轉界磁型	内側磁極型 凸出磁極型	凸出した磁極を有するもので、風損が大きい、界磁巻線の冷却状態が悪い。
	内側磁極型 圓筒磁極型	圓筒型回轉子に界磁巻線を巻いたもので、風損が少く機械的に丈夫である。然し界磁巻線の冷却状態が悪い。
	外側磁極型	界磁極とした回轉子が固定し、外側の電機子が回轉するものである。はずみ車効果が大きく、微調整に用ひられる。
回轉電機子型	固定した界磁極が外側にあり、電機子を回轉子にしたものである。	
誘導子型	界磁巻線、電機子巻線の兩方が固定し、回轉鉄心 (誘導子) が回轉して界磁束が変動し高周波電壓を發生する。	

【問題】 交流發電機として 50 サイクル (又は 60 サイクル) 回轉界磁型三相發電機の一極に採用せられる理由を述べよ。

(3) 同期機の原動機による分類

分類	特 徴
水車發電機	低速度 (200~1000 R.P.M) であるから、回轉界磁凸出磁極型を用ふる。一般に堅軸型が多い。
タービン發電機	高速度 (1500~3600 R.P.M) であるから、圓筒磁極型を用ふる。又一般に横軸型である。
微調整發電機	低速度 (100~300 R.P.M) であり、特にはずみ車効果を大きくしなければならぬから、外側磁極型を用ふることもある。
電動發電機	同期電動機、誘導電動機又は直流電動機に直結して運轉するもので、高周波發電機等の特殊用途に用ふる。

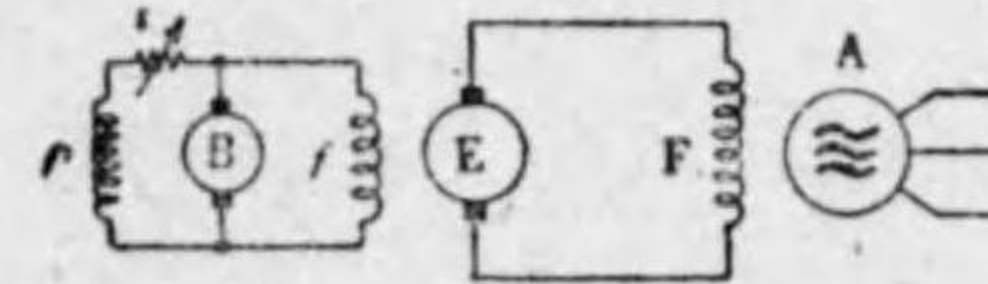
(4) 勵磁方式

直流發電機では自分の起す直流で勵磁する自勵式が普通であるが、交流發電機では自分の起す電氣は交流であるから、之れで自己の界磁を勵磁することが出来ない。其處で別に直流發電機を設けて之れから勵磁する。之れを他勵式と云ひ、此の目的に供する直流發電機を勵磁機と云ふ。

交流同期發電機の勵磁方式を示すと下表の如くである。(同期電動機の場合も之れと全く同様である)

勵磁方式	組合せ	得 失
各個勵磁方式 (1 機に 1 台の勵磁機を設ける)	一般に同期發電機と同軸に勵磁機を設ける (此の方法が最も廣く採用されてゐる)	据付、運轉が容易であり、信頼度も高く安價である。但し原動機が低速であると大型高價となる。原動機の速度が低下すると同期發電機の電壓は二重に影響せられて低下する。
中央勵磁方式 (1 台の勵磁機で何機かを勵磁する)	一般に同期發電機と同一母線に接続された交流電動機で運轉せられるものと、別の電源で同期機を運轉するとか別の原動機で勵磁機を運轉する。	速度を自由に調整し得るので、能率高く電壓上昇率も大で價格も安い。上記では原動機の速度の低下は二重に影響するが、本方式では全く左様なことはない。

(5) 副勵磁機



圖の如く、勵磁機 E の界磁 f を更に小型の勵磁機 B によつて勵磁する方式である。一般に E 及 B は同期發電機 A と同一軸に設けられ、電壓の調整は B の界磁 f' を調整して行ふ。

(註) 副勵磁機は主勵磁機の容量が著しく大きい場合、或は發電機の電壓上昇を速にする

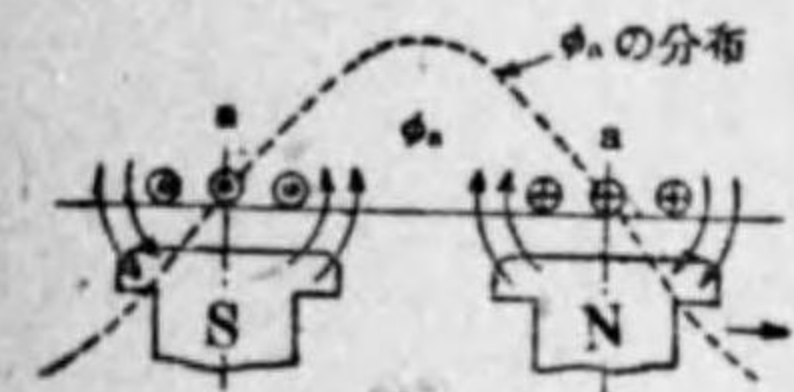
ため主界磁 F を整齊の並列回路に分割した場合等の如く、 f の励磁電流が大きくなると之れを調整するのが難しくなるので、更らに副励磁機を用ふる。

(6) 同期機の電機子反作用

電機子巻線に負荷電流が流れると、之によつて磁力線を生ずる。この磁力線の中、巻線自身と交叉するものを電機子漏洩磁束と云ひ、巻線の漏洩リアクタンス ($x=2\pi fL$) になる。又、界磁束に作用するものが電機子反作用を行ふ。

① 同期発電機の電機子反作用

(i) 電流が誘起起電力と同相の場合(負荷ノ力率が 1 ノ場合); 誘起起電力



即ち電流の値は磁極上の線輪が最大であるから、主磁界の中間に ϕ_a のやうに反作用磁界を生じ、主磁束を歪める交叉磁化作用をする。(1 磁極の 1 側を強め、他側を弱めるので全体としての減磁作用は殆んどない)

(ii) 電流が誘起起電力より 90° 遅レル場合; 電流が誘起起電力より 90° 遅れるので、 ϕ_a も圖の位置より 90° 遅れ主磁界を打消す方向即ち減磁作用をする

(iii) 電流が誘起起電力より 90° 進ム場合; (ii) と反對に ϕ_a が圖の位置より 90° 進み磁化作用をする。

(iv) 任意力率 ($\cos\phi$) ノ場合; 起電力と同相分 $I\cos\phi$ は交叉磁化作用、起電力に直角分 $I\sin\phi$ は減磁(遅れ力率)又は磁化(進み電流)作用をする。

故に、端子電圧を一定値を保つ爲めには、(i) の場合は少しく励磁電流を増し(ii) の場合は相當に強め、(iii) の場合には逆に減ずる。

② 電動機の電機子反作用

電流の進退は発電機の場合の誘起起電力と丁度 180° の位相差にある電源電圧に對して云ふから、電機子反作用は、力率 1 のとき交叉磁化作用、遅電流のとき磁化作用、進電流のとき減磁作用を行ふ。

- 【問題】 水車用発電機とタービン発電機の相違点を挙げよ。
- 【問題】 同期機の励磁方式を挙げ其の得失を述べよ。
- 【問題】 容量の大なる同期機に副励磁機を必要とする理由を説明せよ。
- 【問題】 交流同期発電機と直流発電機の電機子反作用の相違点を説明せよ。

(註) 電機子反作用は直流機の場合と相違し、負荷力率に依つて其の状況が異なる。これは丁度、直流機で刷毛を移動した場合に相當する。即ち無誘導負荷(純抵抗負荷)と誘導負荷或は無負荷の送電線を充電する場合……此の時は線路の形成する蓄電器を充電することになる……に依つて、交叉磁化作用、減磁作用、磁化作用を行ふ。然し交流機の場合は直流機のやうに整流と云ふことがないから、補極だけの補償巻線は要しない(補償巻線によく似たものが磁極面にあるが、これは別の作用をする制動巻線と云ふものである)

(7) 同期インピーダンス

自己誘導リアクタンスに依る電圧降下は電流より 90° 遅れる。従つて、同期機に於て漏洩リアクタンスに依る電圧降下は電機子電流よりも 90° 遅れるので、ベクトル圖を畫くと明かなやうに、同期発電機に於て無誘導負荷の時は端子電圧の位相を變へ、 90° 遅相の場合は端子電圧を低下し、 90° 進相の場合は端子電圧を高める。(同期電動機の場合は之れに反する) 結局、電機子反作用と結果に於て全く同一の働きをするので、兩者を合して同期リアクタンスと稱する。

即ち、同期リアクタンス

$$x_s = \text{漏洩リアクタンス} + \text{電機子反作用をリアクタンスと考へたもの}$$

又、之れと電機子線輪の實効抵抗を合成したものを同期インピーダンスと云ふ

$$\text{即ち、同期インピーダンス } Z_s = \sqrt{(\text{實効抵抗 } R)^2 + x_s^2}$$

(註) I を定格全負荷電流、E を定格線間電圧とすると、次のやうにも表はされる。

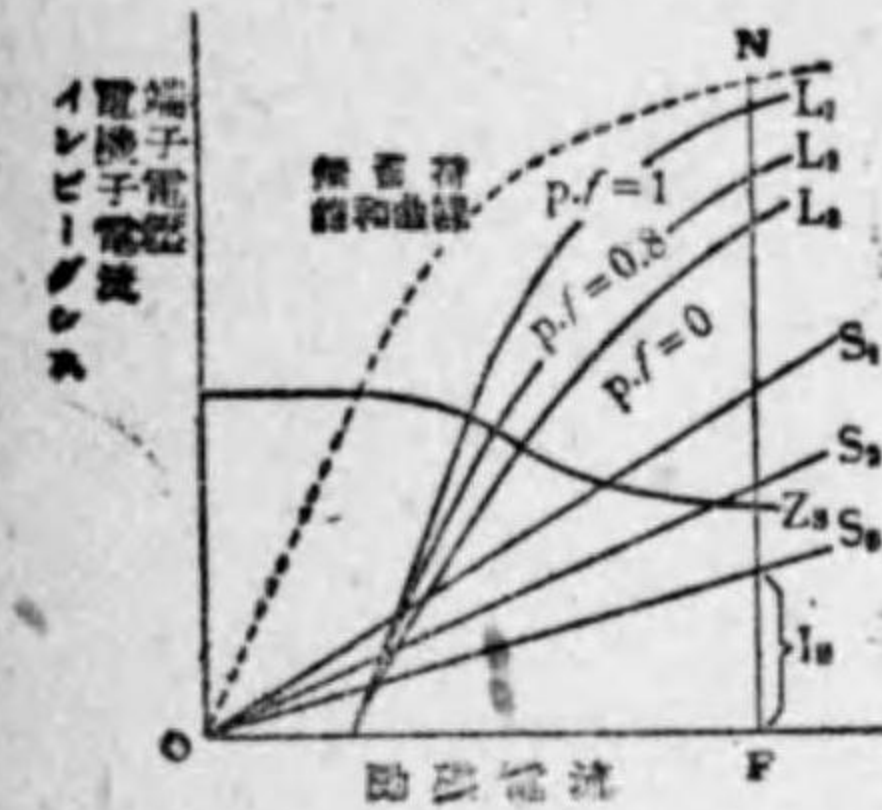
$$\% \text{同期インピーダンス } \% Z_s = \frac{IZ_s}{E/\sqrt{3}} \times 100 = \frac{\sqrt{3}IZ_s}{E} \times 100$$

(8) 同期発電機の特性曲線

〔無負荷飽和曲線〕 発電機を無負荷にて定格速度で運轉し、励磁電流を次第に増した時の端子電圧の上昇を曲線に表したものである。(直流機の場合と全く同様になる)

〔負荷特性曲線〕 発電機を定格速度で運轉し、一定力率の全負荷電流を流す様に負荷を調整して、励磁電流を次第に増した時の端子電圧の變化を圖示したものである。

(註) 負荷特性曲線(L)と無負荷飽和曲線(N)と比較すると、負荷時には同期インピーダンスに依る電圧降下だけ低い値にある。



又電機子巻線の端子を短絡し、定格速度で運轉した場合、励磁電流を次第に増加して之れに應ずる電機子巻線の電流を記録したのが短絡特性曲線 (S) であり種々な励磁電流に於ける同期インピーダンス

$$Z_s = \frac{E_0}{\sqrt{3} I_s} = \frac{NF}{\sqrt{3} I_s}$$

\$\phi\$ 値を示したのが、同期インピーダンス曲線である

(9) 同期発電機の電圧変動率

発電機を定格速度で運轉し、定格力率の定格負荷をかけた場合、端子電圧が定格値 \$E_t\$ になる様に励磁電流を調整し、之を一定に保つて無負荷にした場合の電圧を \$E_0\$ とすると

$$\% \text{電圧変動率 } \% \text{Reg} = \frac{E_0 - E_t}{E_t} \times 100$$

この値は \$\cos\phi=1\$ で 15~20%, 力率 0.8 で 25~40% 位である。

(註) 電圧変動率の値を小さくするには、電機子反作用及び漏洩リアクタンスを小さくすればよいが、機械が高價になる。又、短絡電流も大きくなる。

(10) 同期発電機の電圧調整

同期発電機は周波数が一定であるから、電圧を調整するには界磁束を変へて行ふ。これには次の 2 つの方法がある。

- ① 励磁機の端子電圧を一定に保ち同期発電機の界磁抵抗を加減して行ふ方法
 - ② 同期発電機の界磁抵抗は一定とし、励磁機の端子電圧を加減して行ふ方法
- ②の方法は電力損失が小さいので、端子電圧を自動的に一定値に保つ自動電圧調整法 (例へばチリル調整器) に用ひられる。

(註) 直流発電機の誘起起電力 $E = \frac{Z}{a} P \phi \frac{n}{60} \times 10^{-8}$ ヲルト

Z = 電機子の導体總數 a = 電機子巻線の回路數 P = 磁極の總數
 ϕ = 毎極の有効磁束數(マクスウエル) n = 電機子の毎分の回轉數

交流同期発電機の誘起起電力 $E = 4.44 K_w Z f \phi \times 10^{-8}$ ヲルト/毎相 又 $f = \frac{Pn}{120}$

K_w = 巻線係數 $Z=1$ 相直列巻回数 f = 周波數 ϕ = 同前

【問題】 同期インピーダンスの意義及び實測法を説明せよ。

【問題】 同期発電機の電圧変動率並電圧調整法を述べよ。

(11) 同期発電機の自己励磁作用

受電端で開放された無負荷の送電線に同期発電機を結ぶと、電機子に流れる電流は、電線と大地との間に形成される静電蓄電器を充電する電流となり、電圧より 90° も位相が進むので、電機子反作用は磁極を強めて端子電圧を上昇させる。此の現象を自己励磁作用と云ひ、送電線の絶縁試験等では屢々危険な高電圧となることがある。之れを防止するには線路を幾つかに區切つて充電するか、線路に變壓器を結ぶとか、受電端の同期調相機に遅れ電流を取らす等する。

(12) 同期発電機の短絡現象

同期発電機が運轉中、端子に短絡事故を生ずると瞬間的に定格電流の 15~20 倍もの短絡電流が流れる。之れを過渡短絡電流と云ふ。然して 5~15 秒の後には定格電圧を同期インピーダンスで除した値となる。之れを持続短絡電流と稱し、其の値は定格電流の 2.5~3 倍である。

直流発電機では短絡電流が時間と共に増加するから、短絡が起つたなら出来るだけ速かに之れを遮斷する方が、遮斷器の容量も少なくて都合がよい。然るに同期発電機では上述のやうに短絡電流が却つて減少するから、或る時間を経てから短絡電流を遮斷する方が遮斷器の遮斷容量が小さくてよい。

(註) 短絡比と云ふ言葉があるが、之れは

$$\text{短絡比} = \frac{\text{無負荷定格電圧を発生する励磁電流}}{\text{定格全負荷電流に等しい三相短絡電流を流す励磁電流}}$$

此の値の大きいものの過渡短絡電流は小さい。之れは其の他の特性の目安ともなる。

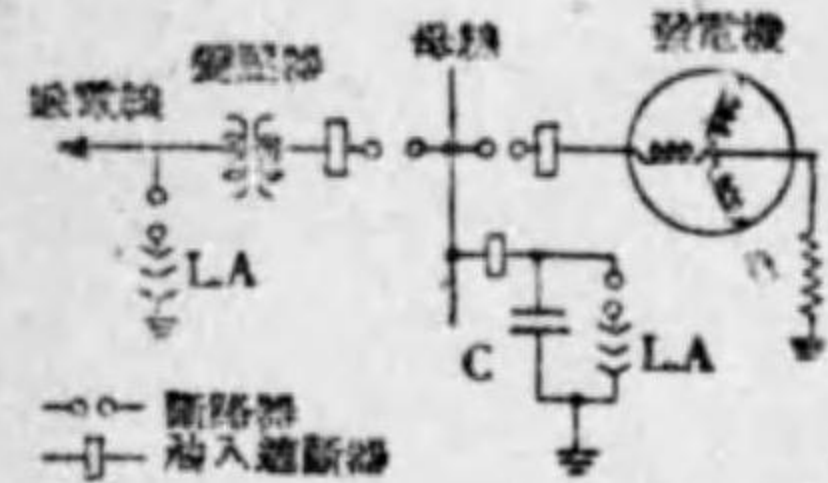
(13) 軸電流

大型の電気機械は、一般に製作上並に運搬上便利な様に、電機子鐵心及び枠を數箇に分割する。従つて各磁路の磁氣抵抗が不均一になり、磁束の回轉により生ずる各部の誘起起電力に差を生じて、軸、軸受及び鐵合を通じて電流が流れる。この電流を軸電流と云ふ。軸受面を損傷して運轉に支障を來す。

(註) 軸電流を防ぐには、例へば鐵合と軸受台の間に絶縁物を挟んで相互に絶縁を施す等する。

(14) 同期機の保護装置

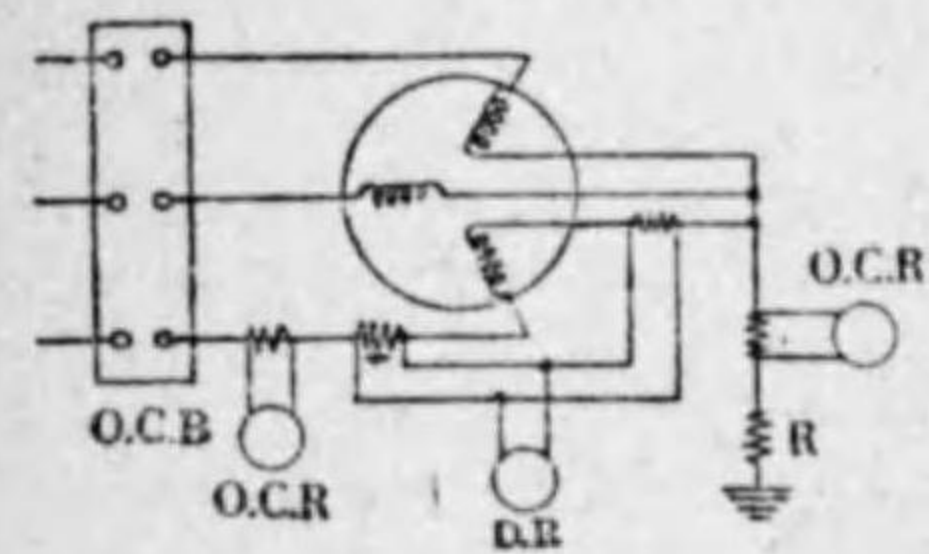
同期機に対する保護を分つと、外部より来る異常高電圧に対する防護と其の内部故障に対する防護となる。圖は第一の防護



に対する避雷装置を示したものであつて、送電線より来る雷電圧は、変圧器入口の避雷器(L.A)で放電され、これが変圧器以下に侵入して其の絶縁破壊することを防止する。

又、所内で何等かの原因で発生した異常高電圧は母線に結ばれた避雷器(L.A)で放電される。尙、之れと並列にある静電蓄電器Cは異常高電圧の緩度を緩和する目的のものである。

次に第二の機械の内部故障に対する保護装置を示すと圖の如くである。



圖に於て O.C.B は油入遮断器、O.C.R は過電流繼電器、D.R は差動繼電器、R は中性点接地抵抗であつて、一般に発電機は星形接続とされ、斯様に中性点が接地されて保護

に便する。入口の O.C.R は発電機が過負荷又は外部回路に短絡を生じた時 D.R は機内で相間短絡を生じた時、R の O.C.R は巻線内部の絶縁が破れた時に夫々働き O.C.B を開く。

(註) 尙、其の他、温度警報装置、消火装置、軸受保護装置等がある。他の電氣機械に於ても以上と同様である。

3.5 同期電動機一般

(1) 原理一般

同期電動機は同期発電機に外部から電圧を加へ、電氣力を機械力に変換するも

【問題】 同期発電機の自己勵磁及短絡現象を説明せよ。

【問題】 同期機の保護装置を挙げよ。

のであつて、構造は全く同一である。

三相同期発電機の固定子即ち電機子巻線に三相電圧を與へると、回轉磁界を生ずる。此の回轉磁界は N 極と S 極が向ひ合つて居る状態で 1 圓周上をぐるぐると廻ると同一であるから、其の内部にある回轉子磁極の NS は先の S に此の N が、先きの N に此の S が吸引されてついて廻る。従つて回轉子の回轉は回轉磁界の回轉數と同一で、之れより遅れると、兩者の吸引力は距離の自乗に反比例して減少するから、回轉をつよけることが出来ない。

故に、三相同期発電機を電動機として廻した三相同期電動機は常に一定で、先に示した $N=120f/P$ なる値となる。之れを同期速度とも、同期回轉數とも云ふ。元來、同期電動機は餘り用ひられてゐない。と云ふのは、勵磁の爲めに直流電源を要すること、起動トルクが小さく起動に手数を要すること、電壓周波數及び負荷の變動に依つて亂調を生じ、脱調の虞のあること等が其の理由である。然し力率が良好で、勵磁電流を調整すると力率を 100%、更らに進んで進み力率とも出来る。

又、空路が大きいので運轉操作が容易である。以上の如くであるから、一般の小口需用家の動力として不適當であるが大容量になると上記の特長が活きて来る

(註) 機械的には無負荷とし、勵磁電流を強めて進相電流を線路に供給するやうにせられたのが同期調相機である。

(2) 亂調と防止法(制動巻線)

上記の同期電動機に負荷したとき、負荷が急増(運轉される仕事の量が急に増加)したとすると、瞬間的に回轉磁界に対する磁極の位置がずれる。従つて、電機子巻線の誘起起電力の位相が端子電圧よりも遅れるので、餘分の電力が流入して来る。其の結果、電動機は加速せられて、磁極の位置が進む。其の結果、誘起起電力の位相が進み、電動機への入力が減じ、磁極の位置が又ずれる。次で入力を増し、磁極の位置が進むと云ふやうに、適正な位置の前後に磁極が振動する。……吊下された重錘の振幅が次第に減少して、遂に垂直の位置に停止する状況と似て居る……此の現象を亂調と云ひ、之れが甚だしいと遂には同期の位置から踏み外して停止するやうなことになる。之れを同期外れ又は脱調とも云ふ。



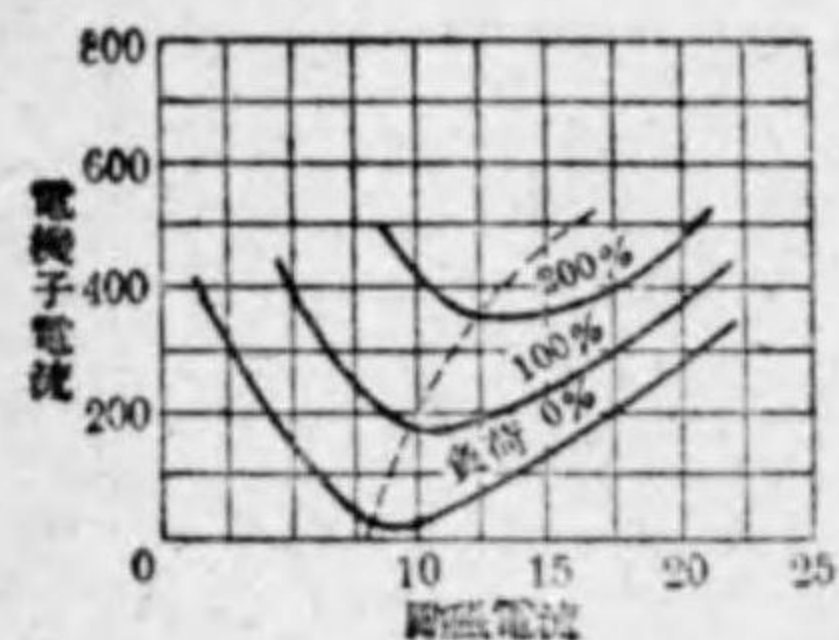
之れを防止する爲めに、磁極面に溝を作つて、之れに短絡された銅環を入れる（籠形誘導電動機の間轉子と全く同様）斯様にして置くと、圖より明かなやうに、回轉子磁極が回轉磁束より遅れると、右手の法則より銅環には⊕の方向に電流が流れる。其の結果、左手の法則より磁極を加速する方向に回轉力の生ずることが分る。同様に考えると、回轉子磁極が回轉磁束より進むと減速する方向に回轉力を生ずる。斯様にして亂調の振幅を減するのであつて、此の銅環群を制動巻線と稱する。

〔註〕同期發電機の場合にも並行運轉に於ける亂調を防止する爲めに、此の制動巻線が設けられる。尙、同期電動機を交流側より起動する場合にも此の巻線を利用する。

(3) 同期電動機の特性曲線

〔負荷特性曲線〕同期電動機の端子電壓及界磁電流を一定に保つたとき、出力と電機子電流の關係及出力と力率の關係を圖示したものである。

〔位相特性曲線〕同期電動機の端子電壓及負荷を一定に保つて、勵磁電流を變化した時、之れに應ずる電機子電流の變化を



圖示したものである。圖より明かなやうに、勵磁電流を次第に増加すると、過力率から力率が向上して、次第に1に近づくと同時に、電機子電流の値も減少して力率1で最小となる。更らに勵磁電流を増加すると進力率となり、再び力率は低下し、電機子電流の値も次第に増加する。此の曲線の形はVの字に似て居ることから同期電動機のV曲線と稱する。同期調相機は此の特性を利用したものであつて、送電線路の力率改善に使用される。

【問題】同期電動機の電動機としての得失を記せ。

【問題】亂調現象を説明し、制動巻線の効用を述べよ。

【問題】同期電動機のV曲線を説明せよ。

〔註〕上記の理由を考へるに、端子電壓、回轉數が一定であるから、界磁束も一定量でなくてはならぬ。勵磁電流を強めると電動機に進み電流が流入し、電機子反作用、減磁作用で増加した界磁束を減ずる。勵磁電流を小とすると電動機に遅れ電流が流入し磁化作用で界磁束を捕ひ、界磁束を一定量即ち端子電壓を一定値に保持する。上述の電流の進退は端子電壓に對して云つて居る。

(4) 同期電動機の起動法

同期電動機は起動トルクが甚だ小さく、自起動が困難である。起動法として一般に用ひられて居るのは次表の如くである。

起動法	操 作	備 考
自起動	起動電流を制御する爲め起動補償器(單巻變壓器)で線路電壓の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ を加へ制動巻線に依り籠形誘導電動機として起動する。十分に速度が高くなつた時直流勵磁を與へ全電壓を加へて同期に引ずり込む。	簡便であるが起動電流が大きく大容量に適さない。起動當初に界磁巻線に高電壓が誘起されるから抵抗で之れを一先づ短絡して置く。
他起動	同期電動機より一對だけ極數の少い起動用小誘導電動機を用ひ、同期速度以上に運轉し、起動用小誘導電動機の電流を絶つて減速し、同期となつた時に電源に結ぶ。	起動用電動機には同期誘導電動機を用ふこともある。同期檢定器を用ふること發電機の並行運轉の場合と同様である。

(5) 特殊同期電動機

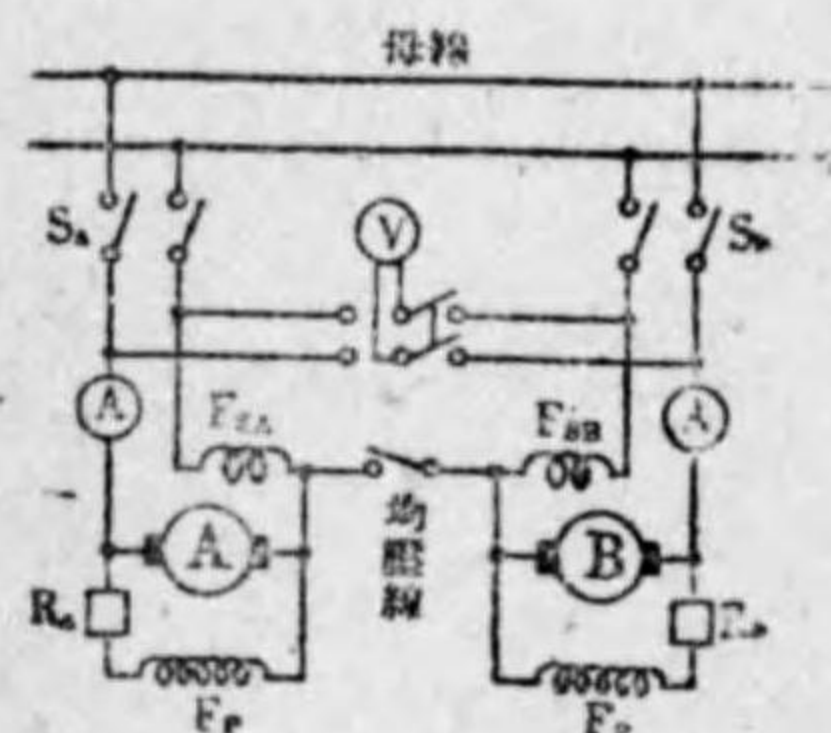
名 稱	構 造	得 失
特殊籠形同期電動機	制動巻線の構造を特殊籠形誘導電動機の間轉子と同様に深溝形及二重籠形としたものである。	起動電流を小に、起動トルクを大とする。
同期誘導電動機	巻線型誘導電動機の間轉子巻線に直流勵磁機を結んだもので、巻線型誘導電動機として起動し、同期電動機として運轉する。	誘導機の起動特性と同期機の運轉特性を有し高速度大容量機に用ひられる。
超同期電動機	軸受を二重にし固定子と回轉子が同時に回轉するやうにしたもので、回轉子は負荷に直結してあるから、始め負荷の軽い固定子が反對方向に回轉し同期速度の近くになる。此の時直流勵磁を與へて同期に引入れる。次に固定子を制動すると回轉子の速度が上昇し、遂に固定子を停止すると同期速度になる。	全負荷トルクで起動することが出来るが、高價で取扱に不便である。

〔註〕その他、二速度同期電動機、圓筒型高速度同期電動機等がある。

3.6 直流発電機の並行運転

並行運転の目的は負荷に応じて運転台数を加減し、総合効率を最高とするやうにする。

〔条件〕 並行運転ノ条件ハ、①極性ノ等シイコト、②電圧ノ等シイコト、③垂下特性(負荷電流ガ増スト端子電圧ノ降下スル特性)デアルコト、④の3つである



〔操作〕 圖は複巻発電機の場合を示したもので、A機が運転してゐる場合、之にB機を並行運転させるには、B機の電圧を母線電圧よりやゝ高く(1%位)して並列に入れる次にA機の界磁抵抗器 R_A を増し、B機の界磁抵抗器 R_B を減じて負荷をB機よりA機に移す。即ち、界磁抵抗器のみによつて負荷分擔が随意に變へられる。

〔注〕 並行運転中、A機の負荷が増すと、直巻界磁 F_{SA} の電流が増して、誘起起電力が大となる。従つて、負荷電流は更に増す。一方B機は負荷が減じ、誘起起電力が低下して更に電流が減少する……斯様にして遂にB機は電動機となり、A機は過負荷するに至る。均壓線は圖の様に兩機の直巻界磁巻線 F_{SA} と F_{SB} を並列に結んだもので、負荷電流は常に F_{SA} と F_{SB} に一定の割合で分流するから、上記のやうなことは起らない。尚、均壓線側の電流は各機の負荷電流を示さないから、電流計は均壓線のない側に入れる。但し、分巻機の場合は均壓線を要しない。

3.7 交流同期発電機の並行運転

〔条件〕 直流機では、兩機の極性と電圧値が一致すれば並列に出来た。然し、交流機では2つの発電機の電圧波形が各瞬時に於て同一、即ち、兩機の電圧波形が全く重なり合はねばならない。夫れには

〔問題〕 同期電動機の起動法2種を擧げて説明せよ。

〔問題〕 各種特殊同期電動機の共通の目標とする所を説明せよ。

(イ) 兩機ノ波形ガ等シク正弦波デアルコト。(形ガ等シイコト)

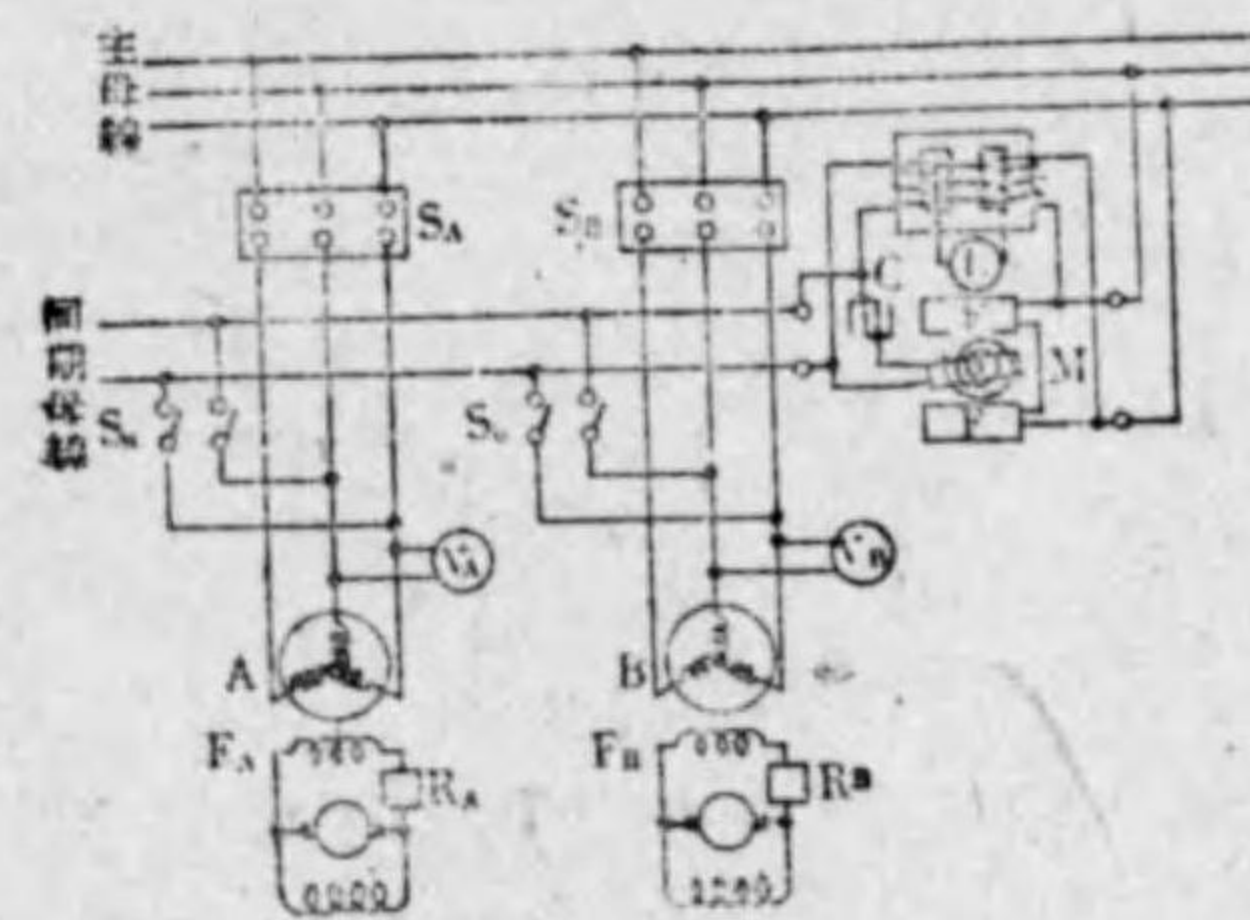
(ロ) 周波數ガ等シイコト。(波形ノ長サガ等シイコト)

(ハ) 誘起起電力ガ同相ニアルコト。(波形ノ出發点ガ一致スルコト)

(ニ) 端子電壓ガ等シイコト。(波形ノ高サガ等シイコト)

④の4つに分解して考へることが出来る。(イ)は普通、正弦波電圧を發生するやうに設計製作されて居るから、實際上は問題でなく、以下の3條件が眼目となる(ロ)(ハ)は同期檢定器に依つて(ニ)は電壓計に依つて夫々一致してゐるかどうかを見る。

〔操作〕 A機が運転中、B機を起動して母線に入れる操作を説明する。



原動機に依つてB機を徐々に起動し、略々規定の速度とする。次に R_B を減じて V_B を母線電圧 V_A より少し高い目にする。次に、 S_A 、 S_B を入れて同期檢定器を接続する。原動機の調速機を調整し、瓣の開きを減じて同期に近づける。檢定器指針Mの回轉が極めて緩徐になつた時、指針が同期を示す垂直の位置になつた其の瞬間に遮断器 S_B を入れる。

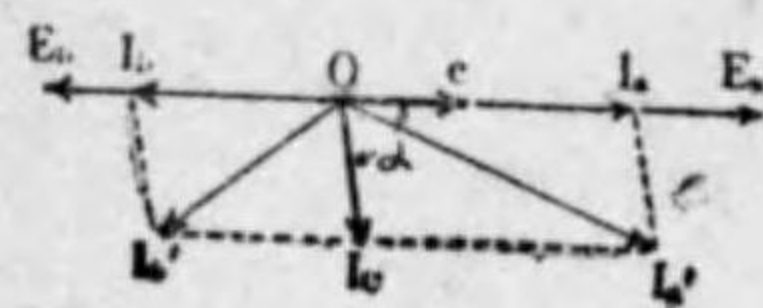
失敗すると大きな横流が流れ、過電流繼電器が働いて遮断器 S_B を開くからやり直す。同期に入つてから適當な負荷(電力計の指示)とする爲めに、原動機の調速機を調整する。負荷電流及發電機の力率は勵磁で調整するが、之れを行ふと又電力計の指示が異なるので、再び原動機の調速機を調整して所望の電力分擔とする斯様に調速機、勵磁と交互に調整しなければ所期する電力、力率が得られない。

〔操作上の注意〕 直流機では、單に勵磁調整のみで負荷の分擔が變へられたが交流機では原動機の調速機を調整し、原動機への入力(水量又は蒸氣量)を加減する瓣の開きを調整しなくてはならない。

次に並行運転をしてゐる B 発電機を停止するには、調速機で其の出力を減じ分擔負荷電流を殆んど零に近くし、主遮断器 S_B を開き、原動機を停止し、勵磁回路の抵抗 R_B を増加して之れを開き、機械各部を一通り点検掃除する。

同期に入れる時には、電圧は前述のやうに電圧計を見て勵磁を加減して一致させることが出来る。周波数は周波計があれば之れを見て原動機の回転数を調整して一致させる。同期検定器が遅れ (Slow) の方に行くと、位相が遅れてゐるのだから調速機の開きを増す。進み (Fast) なら之れと反対に操作して位相を一致させる。是等は何れも相聯繫する。即ち、調速機の開きを増すと回転数が大となり周波数が増加し、誘起起電力が大となる。従つて、調速機、勵磁を相聯繫して周波数、位相、電圧を一致させる必要があり、相當の熟練を要し、直流機のやうに簡単ではない。

〔並行運転の条件が一致しない場合〕此の場合、兩機を並列に入れると、次のやうな現象を生ずる。



① 電圧ノ大サガ違フトキ; 兩機の起電力 E_a 及 E_b の位相が一致して、一方 E_a が E_b より大きい時は、その差 $e = E_a - E_b$ によつて兩機間に循環電流 I_c が流れる。普通電機子抵抗はリアクタンス

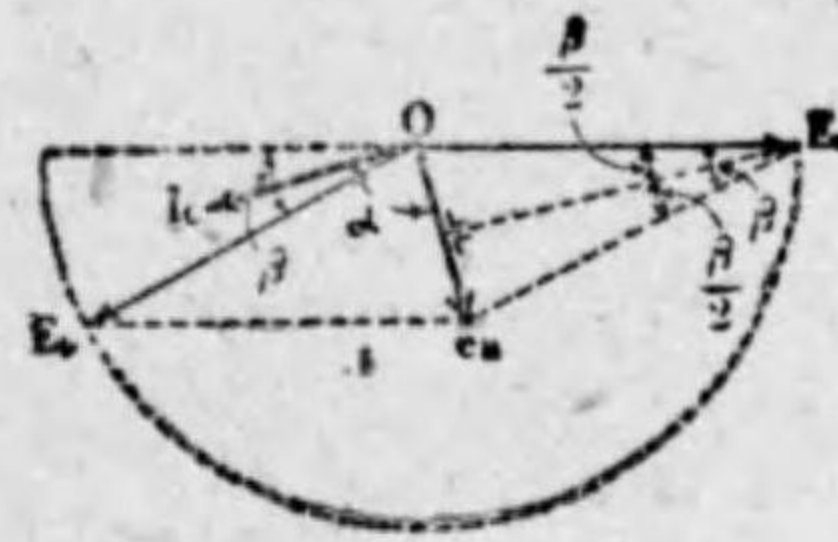
に比し甚だ小さく、 I_c は e より略 90° に近く μ だけ遅れる。即ち、 I_c は A 機では遅れ電流、B 機では進み電流になるので、A 機では減磁作用、B 機では磁化作用を行ひ、兩機の端子電圧を等しくする様に働く。この様な循環電流を無効横流と云ふ。

② 電圧ノ位相ガ違フトキ; B 機の電圧 E_b が β だけ進むと、兩機間には $e_R = \dot{E}_a + \dot{E}_b$ の電圧が働き、 I_c の循環電流が流れる。この電流は E_b に略同相で

【問題】 直流発電機及交流同期発電機の並行運転に於ける必要條件を挙げ、夫々の操作順序を述べよ。

【問題】 下記発電機の並行運転に於て一機の勵磁電流を増加せば如何なる結果を生ずるかその差異を簡単に説明せよ。但し発電機の回転数は變動せざるものとす。

(イ) 直流分巻発電機 (ロ) 同期交流発電機



あるから、B 機では発電機としての負荷を増し、A 機では之れを同期電動機として加速しやうとし、発電機としての負荷を減ずる。従つて、B 機の回転数が下り、A 機の回転数が上つて、兩機の負荷分擔を同一にする様に働く。この循環電流を有効横流と云ふ。

③ 周波数ガ違フトキ; 兩電圧の位相が刻々と變ると考へられるので、循環電流の大きさ並に位相も刻々變化し、同期電動機の處で述べた亂調の現象を生ずる

(註) 電圧の波形が違ふ時は高調波電流が流れる。

尚、並行運転中に於て

④ 各機ノ力率ヲ變ヘルニハ; 勵磁電流を調整する。

(註) 例へば、A 機の勵磁を増すか、又は B 機の勵磁を減ずると、A 機の力率は悪く、B 機の力率はよくなる。

⑤ 各機ノ負荷分擔ヲ變ヘルニハ; 調速機によつて原動機の入力を加減する

(註) 例へば、A 機の入力を増すか、B 機の入力を減ずると、負荷は B 機より A 機に移る。

3.8 變 壓 器

(1) 原理一般

變壓器は電磁相互誘導作用を利用したものであつて、圖のやうに鐵心の上に 2 つの別々の線輪を捲き、一方の線輪 ① を交流電源に結ぶと、線輪に勵磁電流が流れて鐵心内に磁束を生ずる。此の磁束は加へられた交流電圧が正弦波的に時々刻々と變化すれば、夫れより 90° 遅れるが、矢張り正弦波的に變化する。此の變化する磁束が一方の線輪 ② を切つて之れに誘起電圧

を生ずる。以上に於て ① を一次巻線、② を二次巻線と稱する。

此の二次巻線に負荷を結ぶと、之れに負荷電流が流れ、此の負荷電流に依つて

二次巻線は鐵心内に別の磁束を作る。此の磁束が一次巻線と鎖交して別の誘起電圧を作る筈であるが、一次側に結れた交流電源の電圧は一つよりないから、斯様な誘起電圧を作る譯には行かない。其處で、一次側よりは別の電流が流入して此の二次負荷電流の作った磁束を打消す。之れを一次負荷電流と云ふ。従つて、鐵心内には矢張り交流電源の電圧に相應する前の勵磁電流に依る磁束のみが存在する。

之れを別の面から見ると、一次側の電力が磁束となり、鐵心を経て二次側で電力となるやうに傳達せられると云ふ事になる。然して一次と二次の電圧の比は一次巻線と二次巻線の巻數比に比例する。

電流は勵磁電流が極く僅かであるから、之れを閉却すると負荷電流のみとなり兩者の作る磁束が打ち消し合ふ爲には、兩者のアンペア回數が相等しきを要する其の結果、一次と二次の電流の比は巻數比の逆比となる。以上の事情を數式で示すと、

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

但し、 E_1 =一次電壓、 E_2 =二次電壓、 I_1 =一次電流、 I_2 =二次電流、 N_1 =一次巻線の巻數、 N_2 =二次巻線の巻數。

故に N_1 と N_2 の撰定一つで、高い電壓から低い電壓を、或は低い電壓から高い電壓が自由に得られる。

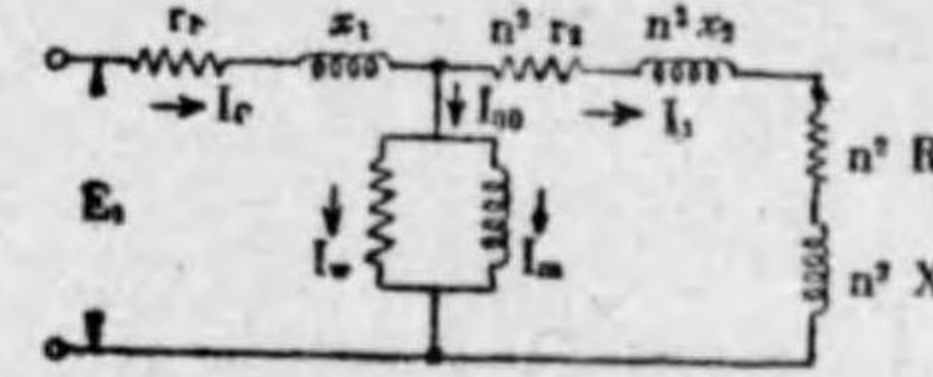
(註) 今日、交流電氣萬能となつたのは、交流では此の變壓器が利用出来ると云ふ点に大きな理由がある。即ち、同一電力を送るのに電壓を高くすると線路電力損失は、電壓の自乗に比例して減少し、同一線路損失とすると電線の所要太さを電壓の自乗に反比例して減少し得る。然るに交流に依る送電電では電壓を適當の大きさに變壓器で昇降して送り、需用地近くで變壓器で更に低壓に選降して用ふるから、送電電線の電線量は著しく節約せられる。

(2) 等價回路

變壓器が電路中にあると云ふことは電壓、電流が變成せられると云ふ以外は、

【問答】 變壓器の等價回路を説明し、二次側を短絡した時の一次及二次の短絡電流の値を表はす式を示せ。

變壓器巻線の抵抗と誘導リアクタンスが直列にあるのと何の相違もない。斯く電



- E_1 =一次電壓 I_{00} =勵磁電流
- I_m =その無効分
- I_w =その有效分(鐵損電流)
- I_1 =一次負荷電流
- r_1 =一次巻線抵抗
- x_1 =一次巻線リアクタンス
- r_2 =二次巻線抵抗
- x_2 =二次巻線リアクタンス
- R =負荷の抵抗分
- X =負荷のリアクタンス分

流電壓の變成と云ふ事は記憶に止めて、線路に抵抗とリアクタンスが直列にあるとして、線路の電圧降下の計算を行ふことがある。變壓器を斯様な抵抗とリアクタンスで代表した回路を變壓器の等價回路と云ふ。

一次側から見た等價回路を示すと左圖の如くである。圖より明かなやうに、二次側回路にある抵抗及リアクタンスは巻線比 $n=N_1/N_2=E_1/E_2$ の自乗倍として一次側に換算されてゐる。斯様に換算す

ると一次側に E_1 の電壓を加へたとき、之れに流入する電流 I_1 は

$$I_1 = \frac{E_1}{\sqrt{(r_1 + n^2 r_2 + n^2 R)^2 + (x_1 + n^2 x_2 + n^2 X)^2}}$$

と求められ、實際の變壓器の流入電流と同一になり、電力其の他にも變りがない又、二次側に換算するには n^2 で r_2 及 x_2 を除して二次側に移す、

(註) 上記の正しいことの證明は「最新初等電氣講座第七卷」を参照されたい。

(3) 電壓變動率

變壓器が無負荷(二次側開放)の場合の二次端子電壓は即ち二次誘起電壓であつて、勵磁電流に依る電圧降下は僅少であるから、之れを無視して考へると、電源電壓を變壓比 $n=N_1/N_2$ (巻數比) で除したものとなる。然るに、負荷電流が流れると、前記のやうに變壓器巻線には抵抗とリアクタンスがあるから、一次巻線の誘起電壓は電源電壓より一次負荷電流に依る一次巻線のインピーダンス降下を差し引いたものとなる。二次誘起電壓は之れを變壓比で除したものとなり、其の端子電壓は更に之より二次負荷電流に依る二次巻線のインピーダンス降下を差し引いたものとなる。此の無負荷と負荷時の端子電壓の變動の割合を示したのが電壓變動率である。

即ち、電壓變動率

$$= \frac{\text{無負荷時の二次端子電圧} - \text{定格負荷時の二次端子電圧}}{\text{定格負荷時の二次端子電圧}} \times 100\%$$

此の値は負荷電流の位相即ち負荷の力率に依つて相違するので、力率何%に於ける電壓變動率何程と表はさねばならない。

(註) 電壓變動率の値は力率 100% にて、小容量で約 2~3%、50kVA 位で約 1.5% 位リアクタンス分が大きいと、力率が不良となる程著しく電壓變動率が大きくなる。

(4) 鐵損と銅損

今、變壓器の二次側を開放して一次側に定格周波数の規定電圧を加へると、一次側には單に勵磁電流のみが流れ、之れに依る銅損 I^2R は甚だ小さいから殆んど考へる必要がなく、一次側の入力即ち一次側に結ばれた電力計の指示は、鐵損であると考へられる。之れを變壓器の無負荷試験と云ふ。

次に變壓器の二次側を電流計で短絡して一次側に低い電圧を加へ、二次側電流計の指示が二次全負荷電流を示すやうにすると、一次側の加電圧は變壓器のインピーダンス電圧低下さへ與ふればよいのであるから、甚だ小さく、之れに依る鐵損は無視し得る程小さい。故に、此の場合の一次側入力(一次側電力計の指示)は一次二次負荷電流の IR 損即ち銅損である。之れを變壓器の負荷試験又は短絡試験と云ふ。變壓器の損失は此の鐵損と銅損の和となる。

(註) 鐵損はヒステリシス損と渦流損より成り、前者は供給電圧の 1.6 乗に、後者は 2 乗に比例するから、供給電圧が少しでも大きくなると鐵損は著しく増加する。又、周波數に依る影響はヒステリシス損が周波數の 0.6 乗に反比例し、周波數が多くなる程減少する。渦流損は周波數に關係なく一定である。一般の變壓器ではヒステリシス損の方が大きく、渦流損

【問題】 變壓器の電壓變動率が負荷力率に依つて著しく相違することをベクトル圖に依つて説明せよ。

【問題】 變壓器を定格周波數(60 サイクル)より低い周波數(50 サイクル)にて使用したる場合の特性變化を述べよ。

【問題】 晝夜間線に結ばれる定額制電燈専用變壓器と、從量制電燈電力共用變壓器の全日能率を最高とするには、鐵損と銅損の割合を夫々如何に擷定すべきや。

との割合は大体 4:1 位であるから、結局は周波數の低い回路で變壓器を用ふると、鐵損が増加することになる。例へば、60 サイクル用のものを 50 サイクルの回路に用ひると鐵損に依る溫度上昇が大となつて、定格容量を下げて用ひねばならなくなる。

但し、鐵心内の磁束密度は電圧に比例し、勵磁電流は勿論、磁束に比例する。

(5) 能率、全日能率

鐵損 W_i は負荷に拘らず一定であるが、銅損 W_c は負荷電流の自乗に比例する。今、變壓器の能率を示す式を作ると、

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100 = \frac{E_2 I_2 \cos \theta_2}{E_2 I_2 \cos \theta_2 + W_c + W_i} \times 100\%$$

但し、 $E_2 I_2$ は二次端子電圧及電流、 $\cos \theta_2$ は其の力率である。

$$\text{又、銅損 } W_c = I_1^2 r_1 + I_2^2 (r_2 + R) = I_1^2 \{r_1 + n^2 (r_2 + R)\}$$

上式より明かなやうに、變壓器の能率は負荷の力率 $\cos \theta_2$ に依つて影響せられるので、力率の悪い程、能率が低下する。

更らに負荷電流に依つて能率が異り、能率の最高となるのは鐵損と銅損が等しくなる時である。従つて、其の變壓器が使用せられる平均負荷で鐵損と銅損が等しくなるやうに、鐵心の斷面積と巻線回數を適當に設計すると有利である。

又、柱上變壓器のやうに、一日中電路に結れるものは一日中の總計した能率を全日能率と云ふ言葉で表はし、此の良好なことが望まれてゐる。

$$\text{即ち、全日能率} = \frac{\text{變壓器 1 日中の供給電力量(kWH)}}{\text{變壓器 1 日中の受電電力量(kWH)}} \times 100\%$$

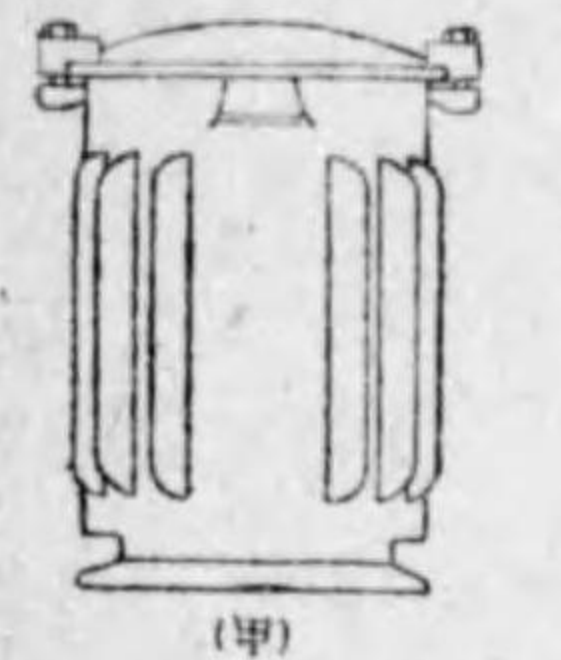
(註) 全日能率を向上するには、輕負荷時の長いものは鐵損の小さいものが、重負荷時の長いものは銅損の小さいものが有利である。普通のは 75% 負荷で鐵損=銅損となり、能率が最高となるやうに設計されてゐる。

(6) 冷却方式

回轉電氣機械では發熱部が回轉に依る通風で冷却されたが、靜止器である變壓器には其の便がない。従つて、鐵損や銅損で發熱する鐵心及巻線の冷却方法を考へねばならない。之れを大別すると次の 3 種となる。

〔油入自冷式〕油を入れた外函内に變壓器の本体を入れたものであつて、此の方式のものが最も廣く用ひられてゐる。油中に變壓器の本体を入れると、油は空

氣よりも比熱が大きいので、熱をより多く吸収する。又、如何なる巻線の内部にも浸入して、絶縁耐力を増し、熱を吸収して来る。即ち、鐵心及巻線に依つて溫暖られた油は上昇し、外函に添つて冷却されながら流下し、下より再び鐵心及巻線



線の熱を吸収する爲めに之れに添つて上昇する。斯様に油の對流作用に依つて熱が放散せられる。従つて、なるべく冷却面の大きいことが望ましく、圖のやうに外函の冷却面積を廣くするために波形外函を用ひたり、或は放熱管として、多くのパイプ管で外函の上下を連絡する。此の種のものを放熱器付變壓器と稱する。

〔油入水冷式〕 之れには2つの方法があつて、變壓器外函の上部に冷却蛇管を設け、之れに冷却水を通じて變壓器上面の油を冷却するものと、油を外部にポンプで汲み出して油冷却器で冷却するものに分れる。前者を水冷變壓器、後者を送油變壓器とも云ふ。何れも此の冷却が止まると、50%の負荷をかけても温度上昇が大で使用が困難である。換言すると、夫れだけ水冷式は無理をして同一容量の自冷式より小型とされて居る譯である。従つて變壓器本体だけの價格なら水冷式が最も安く、自冷式が最も高價である。

〔送風冷却式〕 此の方式は外函に送風機で冷たい空気を吹きつけて冷却する方式であつて、送風變壓器と云はれて居る。

〔註〕 最近は資材節約の爲めに既設變壓器の過負荷使用が行はれてゐる。即ち、自冷式變壓器の放熱器に注水したり或は送風したりする試みが行はれつゝある。

(7) 變壓器油

變壓器油として具備すべき條件は、

- ① 絶縁耐力が大きいこと ② 粘度が小さいこと

〔問題〕 變壓器の冷却方式を挙げ、最近採用せられつゝある冷却方式を説明せよ。

〔問題〕 變壓器油の具備條件並コンサベータを説明せよ。

〔問題〕 Z規格の目的とする處を述べよ。

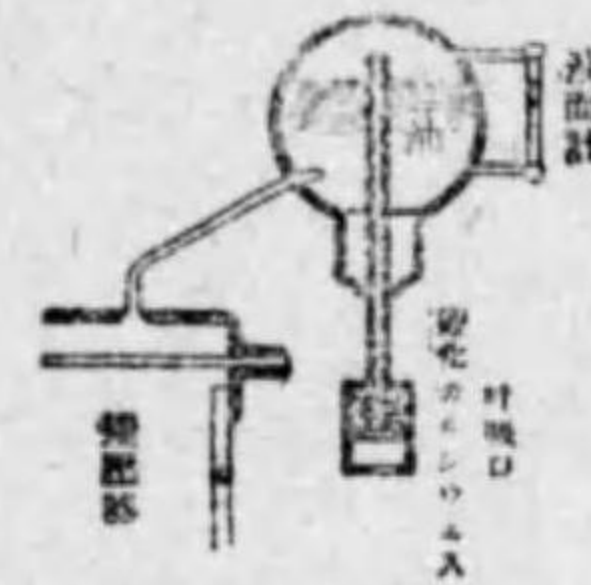
- ③ 發火点、引火点の高いこと ④ 永く變質しないこと

- ⑤ 硫黄、酸素の不純物を含まないこと ⑥ 水分を含まないこと

等である。一般に鐵油が使用されてゐるが、最近、大豆油等も試用せられてゐる
〔註〕 鐵油、大豆油等は爆発を生ずる危険があるので、ピラノール、フェノール等の不燃性絶縁油も研究せられてゐる。

(8) コンサベータ

變壓器は使用するに従ひ、空気中の酸素及び濕氣によつて次第に劣化する。従つて外函を氣密に保つが、温度の變化によつて油が膨脹収縮すると空気を吸入する。其處で圖の如きコンサベータを用ふる。この様にすると、油が収縮したとき呼吸口より空気を吸入するが、呼吸口の塩化カルシウム層により濕氣が除かれる。又、油と空気の接觸面積が小さいので、酸化による劣化が少い。



(9) 定格容量及 Z 規格

變壓器も他の電氣機械と同様に、温度上昇に依つて容量が制限せられるのであつて、絶縁物の壽命を保つ爲めに、温度上昇を限定する。此の許容温度上昇に相應する許容負荷電力が變壓器の銘板に記された定格容量である。

〔註〕 變壓器の温度は感温計に依つても測定されるが、之れは外面の温度であるから、温度に依る抵抗の變化から逆に其の温度を知る抵抗温度計法が用ひられる。

變壓器の所要資材、銅及鐵を節約する爲めに、温度上昇を前より大なる値に認める一方、周圍温度を低く規定したので Z 規格であつて、從來のものより 10°C 高く認められ、出力も既設のものなら 10% 大きくすることが出来る。

〔註〕 例へば、油入自冷式で温度上昇 55°C、許容温度 95°C であつたのが、夫々 65°C、100°C と規定された。

(10) 變壓器の三相結線法

三相結線法としては單相變壓器 2 台を用ひて行ふ V 結線、單相變壓器 3 台又は三相變壓器 1 台を用ひて行ふ、三角—三角、星形—星形、三角—星形及星形—三角結線がある。是等の結線法の得失を比較表示すると次の如くなる。

各種三相結線法の得失及用途表

各項	結線			
	V-V 結線	Δ-Δ 結線	Y-Y 結線	Δ-Y 結線 Y-Δ 結線
特長	① 所要單相變壓器が2台で簡便である。 ② 各變壓器の特性が異つても循環電流が流れない。	① 低電壓大電流の場合に適する。 ② 第三調波電壓を発生しない。 ③ 1台が焼損してもV結線として送電が繼續される。但し、電力は前の57.7%となる。	① 高電壓小電流の場合に適する。(變壓器相電壓が低く、絶縁が容易) ② 中性点が接地出来る。 ③ 變壓器の特性が異つても循環電流が流れない。	① 高い電壓側をYにすると、絶縁が容易である。 ② Y側の中性点が接地される。 ③ 第三調波電流がΔ内を循環して線路に流れない。
欠点	① 全電力として2台の單相變壓器の容量の和の86.6%しか利用出来ない。 ② 平衡負荷でも端子電壓が不平衡になる。	① 高い電壓となると絶縁が困難である。 ② 中性点を取り出し得ない。	① 第三調波電流が線路に流れる。(通信線に誘導障害を與へる) ② 中性点が不安定である。	① 三相電壓に角變位を生ずるので注意を要する。
用途	① 30kVA以下の小口動力需用家に用ひられる。	20kV級の送配電系統に用ひられる	送電線關係に極く稀に採用されるに過ぎない。	長距離送電用としてΔ-Yは昇昇用、Y-Δは過降用に採用される。尚、Δ-Yは三相四線式配電にも用ひられる

次に以上の各種接線法の電壓電流の關係を示すと次表の如くである。

各種三相結線法の電壓、電流の關係表

結線法	變壓器台數	側	線路電壓	變壓器の相電壓	線路電流	變壓器の相電流	變壓器の容量
V-V	2	一次	E_1	E_1	I_1	I_1	$E_1 I_1$
		二次	E_1/n	E_1/n	nI_1	nI_1	

【問題】 變壓器の各種三相結線法の得失、用途を表示せよ。

【問題】 單相變壓器と三相變壓器バンクに於て、並列運轉の條件の相違する点を述べよ。

【問題】 低減容量タップを説明せよ。

Δ-Δ	3	一次	E_1	E_1	I_1	$I_1/\sqrt{3}$	$\frac{E_1 I_1}{\sqrt{3}}$
		二次	E_1/n	E_1/n	nI_1	$nI_1/\sqrt{3}$	
Y-Y	3	一次	E_1	$E_1/\sqrt{3}$	I_1	I_1	$\frac{E_1 I_1}{\sqrt{3}}$
		二次	E_1/n	$E_1/n\sqrt{3}$	nI_1	nI_1	
Δ-Y	3	一次	E_1	E_1	I_1	$I_1/\sqrt{3}$	$\frac{E_1 I_1}{\sqrt{3}}$
		二次	$\sqrt{3} E_1/n$	E_1/n	$nI_1/\sqrt{3}$	$nI_1/\sqrt{3}$	
Y-Δ	3	一次	E_1	$E_1/\sqrt{3}$	I_1	I_1	$\frac{E_1 I_1}{\sqrt{3}}$
		二次	$E_1/n\sqrt{3}$	$E_1/n\sqrt{3}$	$\sqrt{3} nI_1$	nI_1	

但し、 n = 一次巻數/二次巻數 である。

(11) 並列運轉の條件

満足に並列運轉を行ふ爲めには、先づ並列に結ぶ各線間の電壓ベクトルが重なり合はねばならない。これが爲めには、其れ等の電壓が同相、同大でなくてはならぬ。即ち、

- ① 極性ノ一致スルコト……變壓器の一次二次共に同一方向に電壓が向くやうに接続する。(電池を並列とするとときと同様)
 - ② 定格電壓ト變壓比ガ相等シイコト。
- 又、各器が容量に比例して負荷を分擔する爲めには、
- ③ 各器ノ(リアクタンス)÷(抵抗)ガ相等シク。
 - ④ 各器ノインピーダンスノ比ガ容量ノ逆比トナルコト。

此の條件が満足されないと、變壓器の容量の和に相當する出力が得られない。(註) 此の條件を満足させる爲めに、わざわざ一方の變壓器に直列リアクタンスを挿入することがある。

尚、三相バンク間の並列運轉では、

- ① 並列トスベキ一次二次各端子ノ線間電壓ノ大キサ並位相ガ一致スルコト。
之レ=適スル變壓比ヲ有シ角變位ノ相等シイコト。
 - ② 相回轉ノ一致スルコト。
- 之れが單相の場合の ① ② であり、③ ④ は單相の時と同様。

(12) 低減容量タップ

變壓器のタップには、定格出力を掛け得るタップと、溫度上昇の点より定格出力を掛けられないタップがある。前者を全容量タップ、後者を低減容量タップと云ふ。

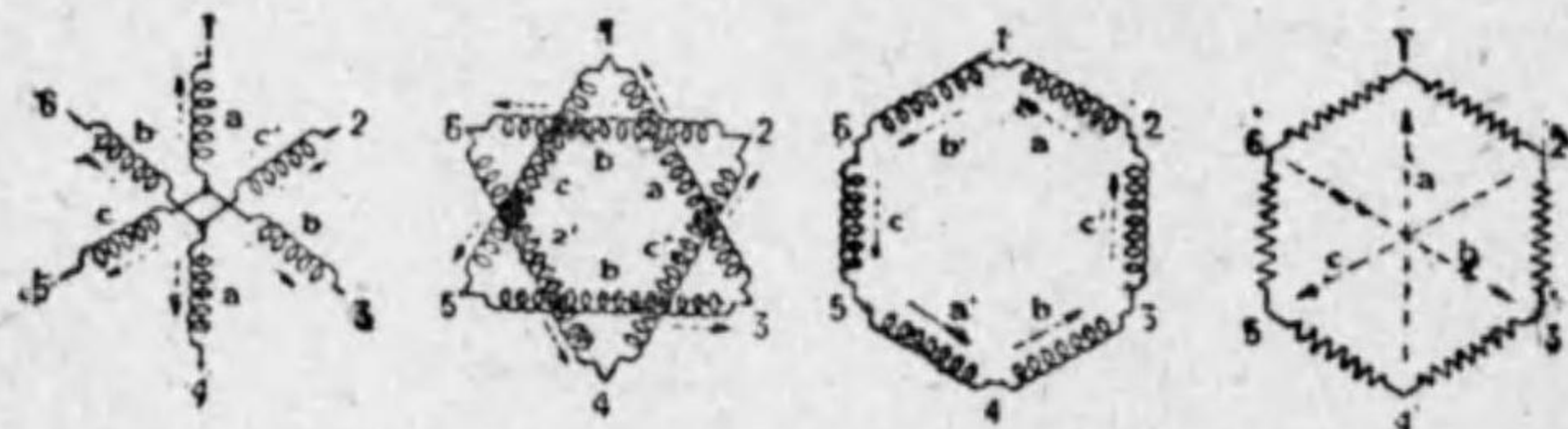
(註) 配電用柱上變壓器の全容量タップ電圧は、3150 V, 3300 V, 3450 V, 低減容量タップ電圧は 2850 V, 3000 V である。

(13) 變壓器に依る相數變換

① 三相二相間の變成: 圖は此の變成に用ひられる T 結線を示したものである。2 箇の單相變壓器を用ひ、一次側の 1 器の 1 端 W は全巻線の 86.6% の處より端子を出し、他の 1 端はもう 1 器の中央に結び、斯くて生じた 3 端子 U, V, W を三相電源に結ぶと、二次側 $u_1 v_1$ 及 $u_2 v_2$ 間には 90° の相差のある相等しい大きさの 2 相交流が得られる。各端子より 4 線を出すと二相四線式となり、 u_1 と u_2 を結んで 1 線を、 v_1 及 v_2 より夫々 2 線を引き出すと、二相三線式となる。

(註) 此の結線は三相回路より大容量の單相負荷(電氣爐等)を電源に不平衡を與へずに取り場合に採用される。

② 三相六相間の變成: (i) (ii) (iii) の結線では 3 箇の單相變壓器の各二



(i) 二重星形結線 (ii) 二重三角結線 (iii) 環狀結線 (iv) 對角結線

次側を 2 つの巻線部分 a と a', b と b' 及 c と c' に分つ。之れを夫々圖示の

【問題】 變壓器に依つて三相より二相、六相、及十二相を得る結線法各 1 種、説明せよ。

【問題】 變壓器を實際に負荷することなく負荷試験を行ふ方法を説明せよ。

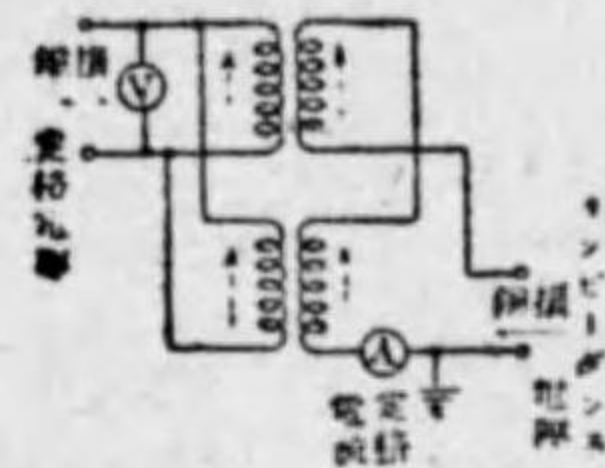
【問題】 小容量、中容量及大容量變壓器各々の保護方式を擧げよ。

やうに接続すると 1, 2, 3, 4, 5, 6 の端子から六相交流が得られる。(iv) は之れと異つて、負荷端子 1, 2, 3, 4, 5, 6 の 4, 1 間に a 相、6, 3 間に b 相、2, 5 間に c 相を接続する。

(註) 此の三相一六相變成は主として、水銀整流器、回轉變流機に用ひられる。

(14) 變壓器の返還負荷法

返還負荷法は負荷試験(溫度上昇試験)を行ふ場合、實際に負荷することなく定格電壓で全負荷電流を流す方法である。



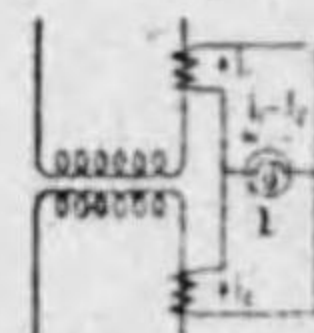
2 箇の變壓器を圖の様に接続し、一次側に定格電壓を加へる。一次側の電壓は打ち消し合つて、二次電流従つて一次電流も流れない。一次側からは勵磁電流のみが流入し、鐵損が供給される。次に、二次側より見た

變壓器のインピーダンス電壓の 2 倍の電壓を、別の電源により二次側に加へると、二次側及び一次側に全負荷電流が流れ、二次側から銅損が供給される。この様にして、全負荷状態に等しい全損失、(鐵損及銅損)のみを與へて、溫度上昇試験を行ふ。之れを返還負荷法と稱する。

(註) 返還負荷法にはこの外に兩變壓器の二次側のタップ差(約 5%)を利用して、二次回路にインピーダンス電壓に相當する電壓差を作り、全負荷電流を流す方法、一次側の電壓を抵抗器で下げて、二次側より供給する方法、等がある。

(15) 差動繼電器に依る變壓器の保護

變壓器の内部故障(巻線の地絡、層間短絡等)に對する保護である。



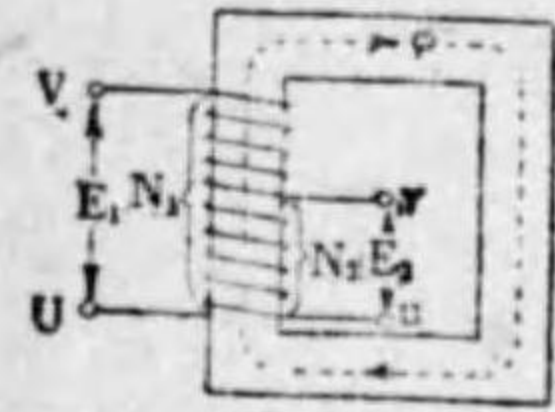
圖の如く一次側と二次側に變流器を結び、その二次側の一方を逆にして直列に結線する。變壓器の變壓比と兩變流器の變流比の比が等しいと、常時電流は兩變流器を循環して、差動繼電器

D には流れない。然し、變壓器内部の故障によつて、一次側と二次側の電流の比が常時と異つて來ると、差電流が繼電器に流れて、之れが働き一次側及二次側にある油入遮斷器を開放する。

(註) 此の保護方式は容量の大きいものに用ひられる。小容量のものは一次側の碍子開閉器に裝置される可熔片で保護する。又、中容量以上には熱繼電器の用ひられることもある。

(16) 特殊變壓器

① **アルミ變壓器:** アルミニウムを巻線導体として用いたものである。アルミは銅よりも抵抗が大きいので、同一寸法に於て同一温度上昇とするには、銅巻線の時の電流の 80% 位で使用するようになる。



② **單卷變壓器:** 單卷變壓器は U, V なる巻数 N_1 の一部の N_2 を取り、 N_1 を一次、 N_2 を二次としたもの、即ち一次二次の兩巻線が絶縁されずに共用されたものである。圖に於て、

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = n \quad \text{又、} \quad E_1 I_1 = E_2 I_2 \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{n}$$

單卷變壓器の容量

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

但し、 $W = E_1 I_1 = E_2 I_2$ は線路容量であり $(I_2 - I_1)$ は N_2 の巻線部分に流れる電流である。

單卷變壓器の特長は所要電線量が節約せられる (n が 1 に近い程著しい) 電線量が小さいと廉價であり、銅損は勿論、鐵損も小さく能率がよい。但し、一次と二次側が電氣的に絶縁されない不利がある。線路に於ける電壓降下の補償に、或は電動機の起動器等に採用される。

③ **三相變壓器:** 3 箇の單相變壓器の鐵心を結合して 1 つのものとしたもの

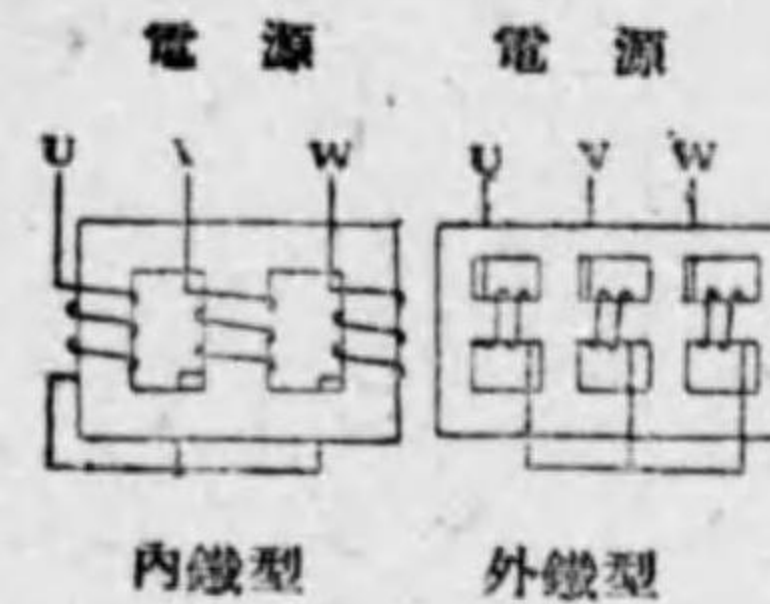
【問題】 單卷變壓器の特徴と用途を述べよ。

【問題】 單相變壓器に依る三相變成と三相變壓器の得失を記せ。

【問題】 下記の特殊變壓器を説明せよ。

- | | | |
|------------|-------------|--------------|
| (イ) 三巻線變壓器 | (ロ) 漏洩變壓器 | (ハ) 負荷時調整變壓器 |
| (ニ) 試験用變壓器 | (ホ) 不變電流變成器 | (ヘ) 非共振變壓器 |
| (ト) アルミ變壓器 | | |

【問題】 定番 50 サイクルの變壓器を 60 サイクルで使用すれば、特性は如何に変化するか



ので、内鐵型と外鐵型がある。圖は一次巻線のみを示したが、二次巻線は此の上に巻かれてゐる。これを單相變壓器 3 台と比較すると、鐵心が約 16% 節約され、kVA 當りの価格は 10~20% 安くなり、能率が 0.2~0.4% 向上し、絶縁油の量も少く、据付面積も少くてよいので、好都合である。

但し、豫備を置く時、 Δ 結線より Y 結線に変更するのに不利である。

(註) バック数の多い時は豫備の問題も緩和され、外鐵型なら Δ より Y に変更出来る。

④ **三巻線變壓器:** 三巻線變壓器は一次及二次巻線の外に、更らに第三の三次巻線を設けたもので、用途は、一次より受電し、二次及三次より異なる電圧で電力を供給する。或は三次巻線に調相機を結んで、線路の力率を改善する。

(註) 三次巻線を Δ 結線にすると、變壓器が Y-Y 結線の時でも、第三調波電流は三次巻線を循環して外部に表はれない。三次巻線は此の目的より生れたもので、上記の如くに送電線路に實用されてゐる。

⑤ **漏洩變壓器:** 變壓器鐵心の兩脚の中間に漏洩磁束回路を作つたものである。二次負荷が増して、一次及二次巻線の磁束が増加すると、漏洩磁束が増して二次誘起起電力が減じ、リアクタンス降下が急増する。従つて、二次端子電圧が下り、二次負荷電流を制限する。

(註) 此の變壓器をネオン管燈用變壓器、熔接用變壓器等の様に、負性抵抗を有する負荷に用ひると、流入電流の過大となることが防止される。

⑥ **負荷時調整變壓器:** 本器は負荷のかゝつた儘、タップの切換へが出来て電圧の調整が行へるやうにされてゐる。

⑦ **試験用變壓器:** 電氣機器又は絶縁耐力試験用電源として、高い電圧を發生する變壓器が試験用變壓器である。二次電圧は高いが、殆んど電流が流れないので kVA 容量は小さく、輕量で可搬式とされる。電圧の上昇と共に所要絶縁材料が激増して、400kV になると 1 箇の變壓器では高價となるので、2 箇以上の變壓器に分割して、高壓巻線を直列に接続する直列接続法を採用する。

◎ 不変電流変成器： 現在、殆んど用ひられてゐないが、二次線輪を可動構造として、二次負荷の如何に拘らず一定二次電流を供給する。

① 非共振変圧器、 変圧器巻線に雷電圧のやうな高周波電圧が侵入すると、其の電位分布は巻線間及巻線と大地間の静電容量の分布に依つて定まり、巻線端子の巻線層間に著しい高電圧が加はり絶縁破壊を來すことがある。これを防止する爲めに誘電遮蔽を行ひ雷に對する巻線の電位分布を一様としたものが、非共振變壓器であつて、線路に直接結ばれる高い電圧の變壓器に採用されることがある。

(17) 變壓器の周波数特性

例へば、60 サイクルの變壓器を 50 サイクルに用ひると、磁束密度が増加するので鐵損が増加し、其の結果、同一の溫度上昇に對して銅損を小とせねばならぬので、負荷電流が小となり、定格出力が減少する。然るに、鐵損と全負荷銅損の和には變りがないから能率が低下する。尙、最高能率は全負荷の方に移り、無誘導負荷に對する電壓變動率は小となる。又、鐵心溫度が増すので鐵板に枯れを生じ、特性を不良とする。之れを表示すると次の如くである。

場 合	勵磁電流	鐵 損	能 率	出 力
同一電壓で 60 サイクルのものを 50 サイクルに使用したとき	増加	増加	低下	減少
60 サイクルのものを 50 サイクルとすると同時に電壓を 50/60 としたとき	ほぼ不變	やゝ減少	低下	50/60

3.9 誘 導 電 動 機

(1) 原理一般と滑り

誘導電動機はアラゴ圓板の原理を應用したものである。唯、磁極を回轉する代りに、1 圓周上に 120° の相差を持つ 3 組の線輪を以て固定子とし、之れに

【問題】 誘導電動機の比例推移を説明せよ。

【問題】 下記に就き簡単に説明せよ。

- (イ) 同期速度 (ロ) 滑り (ハ) 等價回路

三相流電壓を與へる。斯くすると回轉磁界を生じ、此の中に導体を有する鐵心から成る回轉子を置くと、此の磁界に引張られて回轉し出す。此の回轉子に負荷をかけると、回轉速度が降下して、回轉磁界を切る分量が多くなり、回轉子導体の電流が大となつて、之れに依り回轉力が増加し、負荷を擔つて回轉する。勿論、此の時、回轉子の作る磁界を打ち消す爲めに負荷電流が流入する。

(註) 其の關係は變壓器の一次及二次負荷電流の關係に似て居る。即ち、固定子の供給電壓が一定である限り、之れに對抗する誘起電壓を作る固定子磁束は一定であるから、回轉子が磁束を作れば、之れを打ち消す固定子磁束(従つて固定子電流)が出来る譯である。

回轉磁界の速度を同期速度 N_s と云ひ、之れは同期電動機の場合と同様で

$$\text{同期速度 } N_s = \frac{120f}{P} \quad f = \text{供給電壓の周波数} \quad P = \text{固定子巻線の總極数}$$

回轉子は之れより幾分か遅れて回轉することになる。此の回轉子の速度を N とすると、

$$S = \frac{N_s - N}{N_s} \times 100 = \left(1 - \frac{N}{N_s}\right) \times 100 \quad N = N_s \left(1 - \frac{S}{100}\right)$$

此の S を誘導電動機の滑りと云ひ、約 5% 内外である。

回轉子には導体棒を鐵心の兩端で短絡した丁度籠のやうな籠形回轉子と、回轉子に巻線を施し、之れを外部に引出した巻線型の 2 種がある。

(2) 等價回路

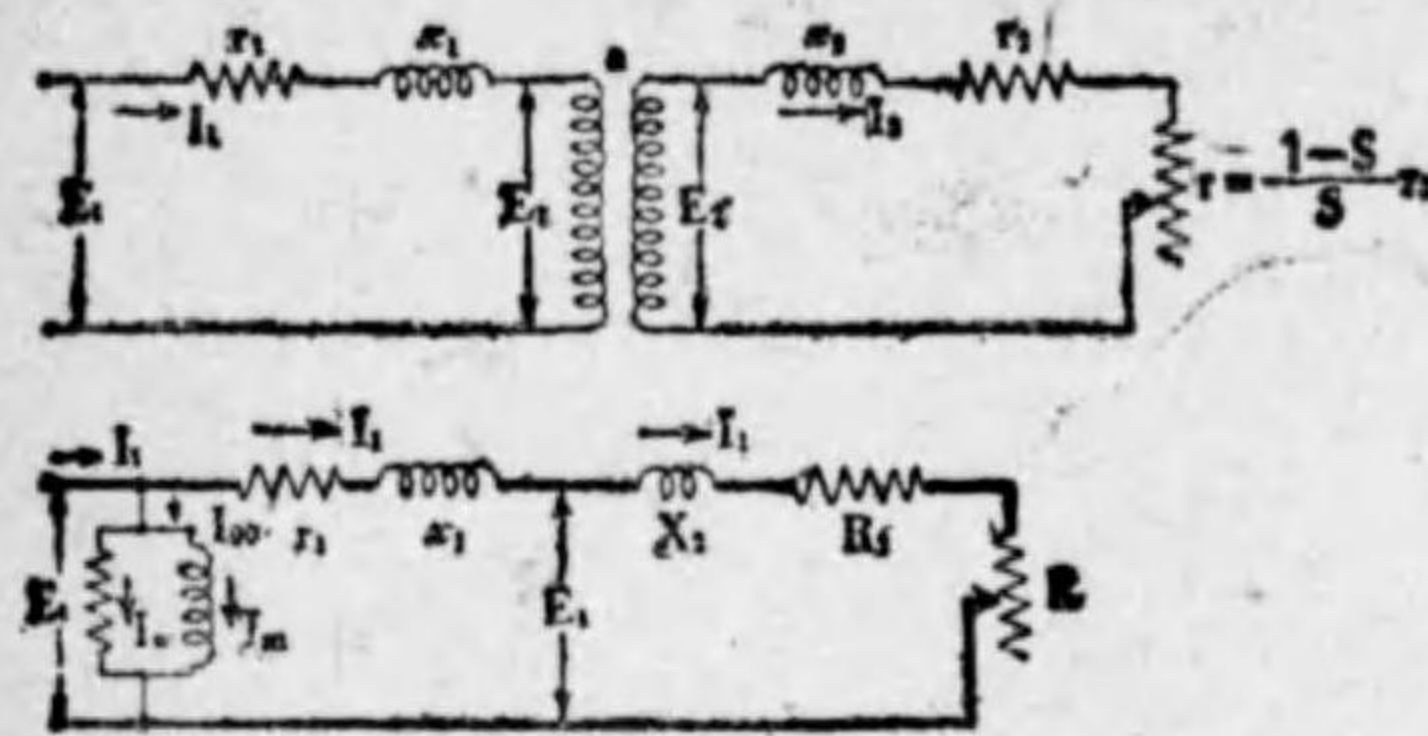
誘導電動機の固定子巻線に定格周波数の定格電壓を加へた時、回轉子に誘起する電壓及び周波数は速度の上昇即ち、滑りに比例して減少する。回轉子 1 相の抵抗を r_2 、リアクタンスを x_2 (定格周波数に對する値) 回轉子を停止した時の 1 相の誘起電壓を E_2 とすると

$$\text{滑り } S \text{ で回轉してゐる時の誘起電壓 } E_2' = SE_2$$

$$\text{回轉子電流 } I_2 = \frac{SE_2}{\sqrt{r_2^2 + (Sx_2)^2}} = \frac{E_2}{\left(\frac{r_2}{S}\right)^2 + x_2^2}$$

尙 r_2/S が一定な r_1 と可變抵抗 r より成るものとする、

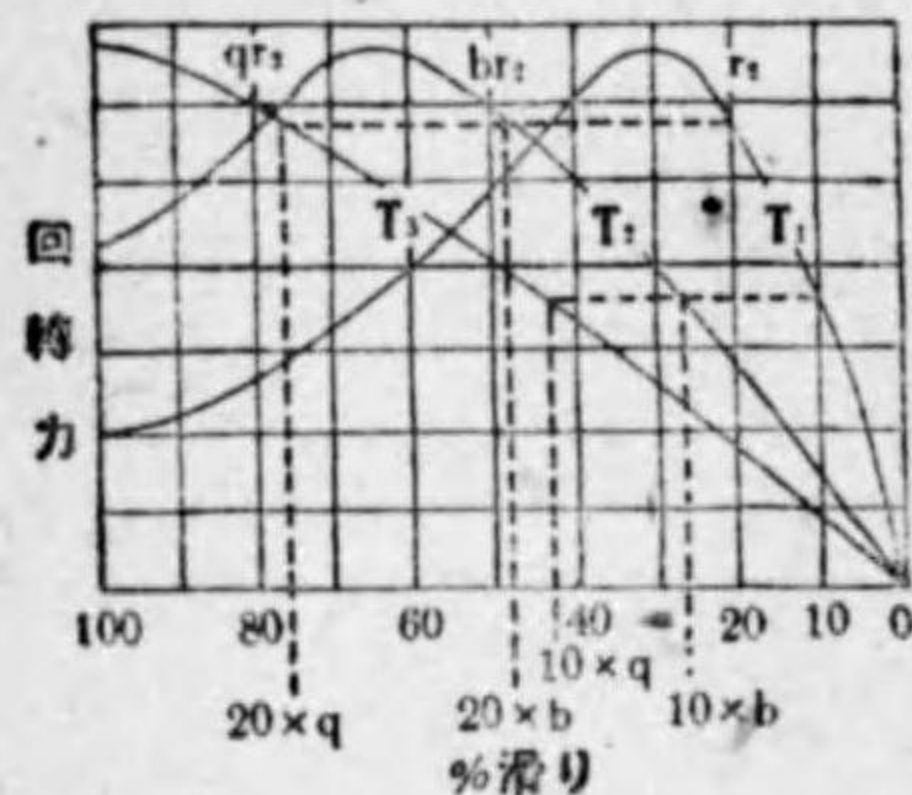
$$\frac{r_2}{S} = r_1 + r \quad \therefore r = \frac{r_2}{S} - r_1 = \frac{1-S}{S} r_1$$



即ち、誘導電動機を圖の
上のやうな回路に書き得る
この回路の抵抗及リアクタ
ンスを變壓器の場合と同様
に一方に換算すると、下の
やうな等價回路が得られる

(3) 比例推移

回轉子電流は r_2/S によつて變るので、 r_2 を b 倍すると、滑りが b 倍となつ



た處で前と同一電流が流れる。従つて $b \times S$
で一回轉力を生ずる。又 r_2 を q 倍する
と、 qS の滑りで同一回轉力を生ずる。この
様に回轉力曲線（又は二次電流曲線等）が二
次抵抗（回轉子抵抗）に比例して變化するこ
とを比例推移と云ふ。

(註) 比例推移の性質を利用して、回轉子回路に

抵抗を入れ、起動回轉力を大きくし、或は速度制御を行ふことが出来る。

(4) 起動法

誘導電動機に直接全電壓を加へて起動すると、回轉子に大きな電壓を誘起し、
大電流が流し、従つて固定子側からも莫大な電流が流入して、巻線を焼損する。
之を防ぐ爲に次の起動法を用ふる。

(註) 起動法としては起動電流を制限すると共に、起動回轉力の大きくなることが望ましい。

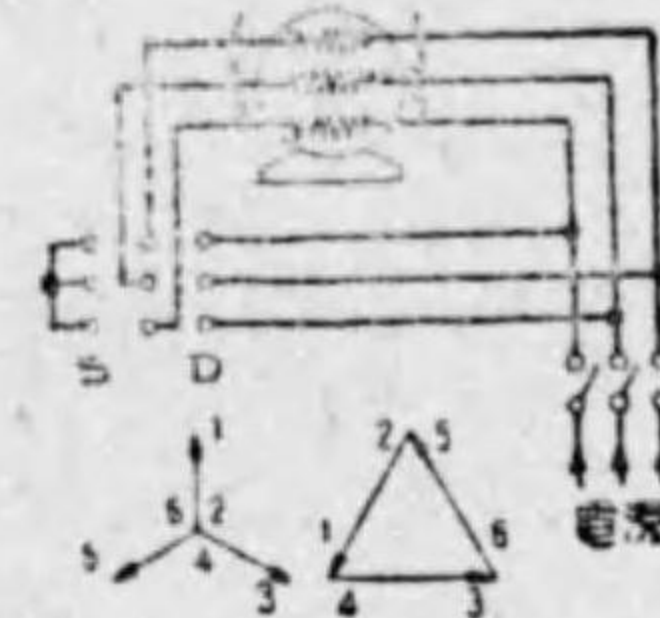
① 起動補償器法; 之れは單巻變壓器に數多くのタップを附けたもので、起
動時、低電壓（全電壓の 60% 位）のタップを用ひて、固定子に低い電壓を加へ
起動するに従つて高電壓のタップに切換へる。

(註) 此の方法は中～大容量の籠形電動機に用ひられる。

【問題】 三相誘導電動機に通常使用せらるゝ起動方式 3 種を挙げ、之を説明せよ。

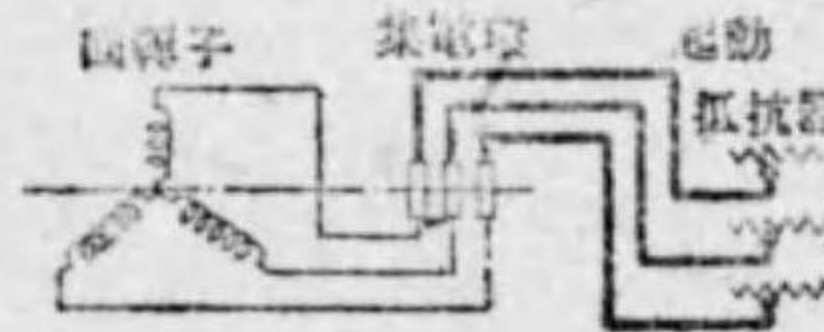
【問題】 三相誘導電動機の速度制御法を述べよ。

② Y-Δ 切換法; 起動時、電動機の固定子巻
線を星形結線とし、各相巻線に線間電壓の $1/\sqrt{3}$ を
加へ、起動後は巻線を三角結線に切換へて、全電壓
を加へる様にしたものである。圖はこの結線圖を示
したもので、S は起動側、D は運轉側である。



(註) この方法は 7.5~10 馬力位の籠形電動機に用ひら
れる。

③ 巻線型電動機の抵抗起動法; 巻線型回轉子の各相に集電環を徑て可變抵
抗を挿入する方法で、起動時抵抗を大きくして
起動電流を制限すると共に、比例推移によつて
起動回轉力を大きくする。起動するに従つて抵
抗を減じ、起動後は集電環の所で 3 線を短絡し



刷子を引上げて常時の摩擦損を防ぐ。

(5) 速度制御法

誘導電動機の速度は $N = N_s(1-S) = (120f/P)(1-S)$ であるから、 N を變
へるには滑り S か、周波數 f か、或は極數 P を變へねばならない。然し何れ
も簡便でない。

① 滑り調整法; 巻線型回轉子に抵抗を挿入して、比例推移により滑りを變
へる方法である。

(註) 最も簡便で圓滑に調整出来るが、抵抗損により能率が下る。

② 周波數調整法; 専用の發電機又は周波數變換機を用ひて周波數を換へ、
速度を制御する方法で、精密に廣範圍な制御出来るが、設備費が高價となるの
で、一般には用ひられない。

(註) この方法は、艦船の電氣推進用、及び人絹工場のポットモータ等に用ひられる。

③ 極數變換法; 固定子巻線の接續を變更して、極數を變へ速度を調整する
方法である。巻線型電動機では固定子の極數を變へると同時に、回轉子の極數も
變へねばならないから、一般に籠形電動機のみ用ひられる。

(6) 各種交流電動機の特性と用途

分類	得	失	用途
誘導電動機 籠形 巻線型	〔特長〕 構造が簡単で取扱が容易、負荷による速度の変動が小。 〔欠点〕 速度制御が困難、力率が不良。		機械工作用、ポンプ用、送風機、紡績用、起重機、昇降機、懸延機用等
同期電動機	〔特長〕 能率が良い、力率の調整が可能、速度が一定、低速度用に適する。 〔欠点〕 起動回轉力が小、速度制御が困難、直結勵磁機を要する。		送風機、セメントのミル用、粉碎機用等。
单相誘導電動機 分相起動 反接起動 反接誘導 限取線輪起動	〔特長〕 価格が安い、(蓄電器型は、能率、力率共に良好) 〔欠点〕 起動電流が大、起動回轉力が小。 〔特長〕 起動回轉力が大。 〔特長〕 起動回轉力が大。 〔特長〕 構造簡單、低回轉數用に適する。 〔欠点〕 回轉方向を反対に出来ない。		家庭用小動力用 負荷直結起動に適する。 天井扇
整流子機 直巻性 分巻性	〔特長〕 起動回轉力が大、速度の調整が容易。 〔特長〕 力率良好、速度の調整が容易。		紡績、製紙

(7) 三相誘導電動機の電圧及び周波数特性

特性	電 圧 変 化		周 波 数 変 化	
	上 昇	降 下	増 加	減 少
無負荷電流	増	減	減	増
全負荷電流	増	増	不 變	不 變

【問題】 6) サイクルに設計せられたる三相誘導電動機を同一電圧の下に50サイクルに使用するとき、下記各項につき、其の増減を述べ、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

起動回轉力	増	減	減	増
最大回轉力	増	減	減	増
全負荷滑り	減	増	不 變	不 變
力 率	減	増	増	減
能 率	※ (増)	※ (減)	増	減
温 度 上 昇	※ (増)	※ (減)	減	増

(註) ※印は電動機の鐵損と銅損の割合により一定でない。

① 供給電圧が定格値ヨリ上昇シタ時ノ特性;

(i) 磁束、電圧に比例して増す、従つて勵磁電流も増す。

(ii) 鐵損、ヒステリシス損は電圧の1.6乗、渦流損は電圧の2乗、に比例して増す。

(iii) 銅損、出力が一定であると、電流が小さくなるので、銅損は減少する。

(iv) 出力及び回轉力、電圧の自乗に比例して増す。

② 周波数が定格値ヨリ増加シタ時ノ特性;

(i) 磁束、周波数に反比例して減少する、従つて勵磁電流も減少する。

(ii) ヒステリシス損、周波数の0.6乗に反比例して減少する(渦流損は不變)

(iii) 銅損、勵磁電流が減少するため、幾分小さくなる。

(iv) 機械損、回轉數の低下により風損、摩擦損は減少する。

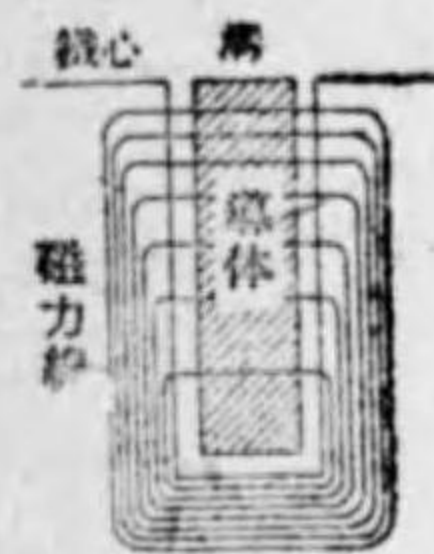
(v) 回轉力、回轉子ノアクタンスが増すため減少する。

(8) 特殊誘導電動機

① 直入電動機: 誘導電動機を起動する場合、全然起動装置を用ひずに直接線路に結んで起動する電動機を云ふ。普通の電動機をこの様にして起動すると莫大な起動電流が流れるから、起動電流を小さくするため、二重籠形、深溝型、高抵抗型等の特殊籠形誘導電動機が用ひられる。

(註) 直入電動機は起動が簡單であるから、小容量のものから相當容量のもの迄廣く用ひられて來た。

② 深溝電動機: 回轉子溝を深くして、偶平な導体を入れたもので、之に

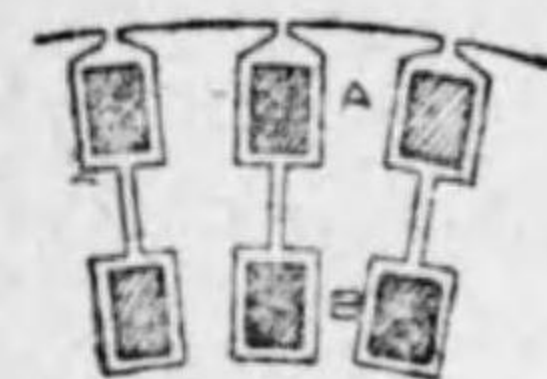


電流を流すと磁力線の分布は圖の様に深部程密になる。即ち導体の深部程インダクタンスが大きくなる。従つて起動時二次周波数が大きい時は、電流は主に導体表面に流れて導体の断面積が減じた様に働き、回轉子回路に抵抗を入れたのと同様になり、起動電流を制限する。然して、速度の上昇と共に電流は深部迄一様に流れる様になり、

回轉子回路の抵抗が自動的に抜かれて行くのと同様になる。

(註) この電動機は二重籠形に比べて、回轉子の熱放散がよい。

⑧ 二重籠形電動機: 深溝の作用を更らに顯著とする爲めに、表面と深部に導体を2分し、外側の導体Aを高抵抗、低リアクタンス内側の導体Bを低抵抗、高リアクタンスとしてゐる。起動時には二次周波数が大きいのでBの電流は小さく、Aに殆んどの電流が流れ、起動電流を小とし、起動回轉力を大とする(比例推移を参照)



起動後は二次周波数が小となるので、電流は遂次にBに移り、能率、力率を改善する。

⑨ アルミニウム電動機: 之れは導体として、銅の代りにアルミニウムを用いたもので、主として籠形回轉子をアルミニウム鋳造回轉子として居る。其の目的が銅の節約にあることは申す迄もない。

(9) 誘導電動機の力率改善

誘導電動機の缺点の一つである力率の不良を改善する爲めに、最も廣く採用されて居る方法は靜電電器を誘導電動機と並列に接続する方法である。或は大容量の巻線型に対しては、二次側に交流勵磁機を結んで二次側より勵磁し力率を改

【問題】 直入電動機の2種を挙げて説明せよ。

【問題】 小容量、中容量及大容量誘導電動機の力率改善法を略述せよ。

【問題】 下記に就て記せ。

- (イ) アルミ電動機
- (ロ) 誘導電動機のZ規格

善することもある。

(註) 誘導電動機の力率が不良なのは固定子側に流入する勵磁電流が、磁路に空隙のある爲め大きいことが原因である。

(10) 誘導電動機のZ規格

變壓器の場合と同様に、巻線の温度上昇限度を従來の値(65°C)より10°C高く許容して、銅、鐵の使用量の節約を計つたもので、戦時規格とも云ふ。能率は約1.5~5%、力率は約2.5~8%低下する。

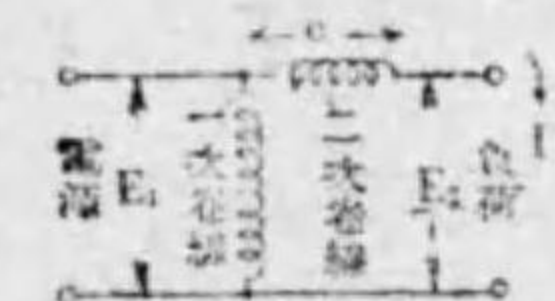
(11) 单相誘導電壓調整器

構造は巻線型誘導電動機と同様で、回轉子に一次巻線と短絡巻線を、互に直角



に捲き、固定子に二次巻線(線路に直列)を捲いてゐる

圖の位置では、一次巻線の磁束φが全部二次巻線内を通るので、二次巻線の誘起電壓は最大eであるが、回轉子をθだけ回轉すると、二次巻線内を通る磁束数はφcosθになり、誘起電壓はecosθとなる。



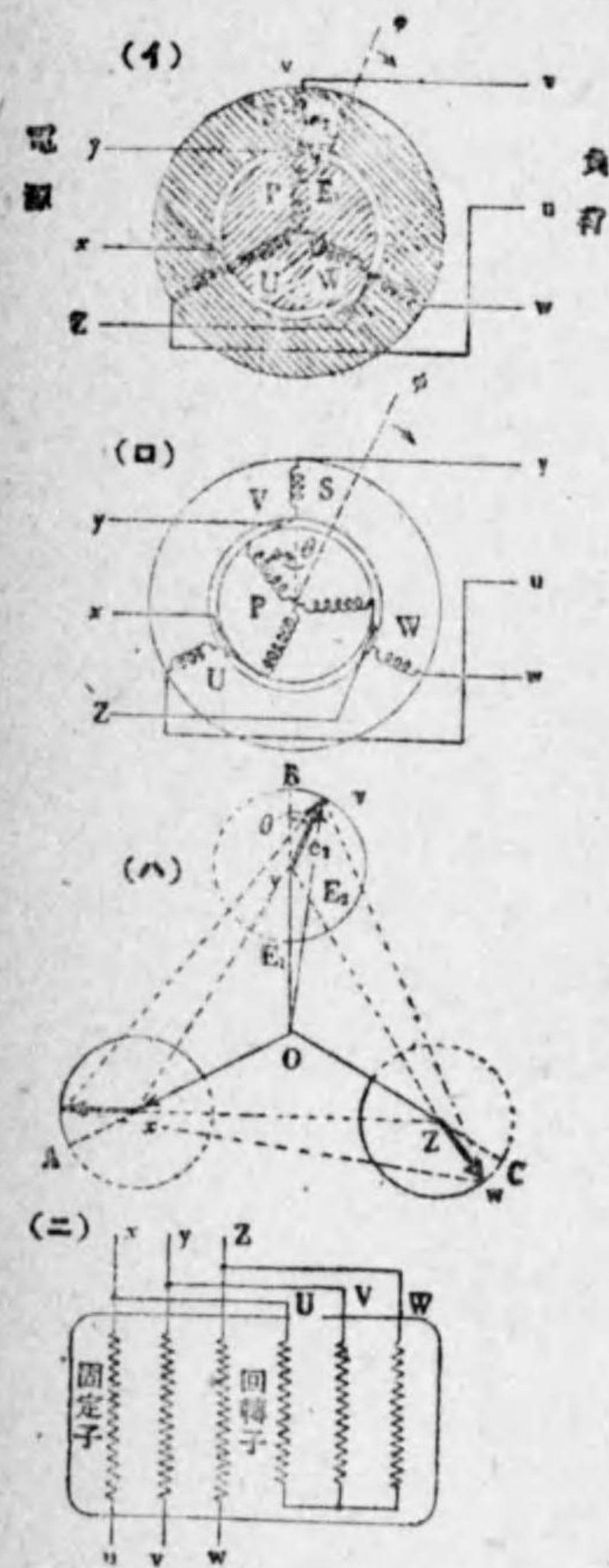
負荷側電壓 $E_2 = E_1 + e \cos \theta$ 但し、 E_1 は一次電壓
従つて、回轉子を右或は左に廻して負荷側の電壓を調整し得る。

(註) θが90°以上になると、 $e \cos \theta$ は負になる。即ち、電壓の調整範囲は $(E_1 - e)$ より $(E_1 + e)$ の間である。

尚、θが90°の時、二次巻線の磁束と一次巻線の磁束は打ち消し合はれないので、二次巻線に大きい電圧降下を生ずる。之を防ぐ爲に短絡巻線を設け、之れに短絡電流を流して二次巻線の磁束を打ち消す様にする。

(12) 三相誘導電壓調整器

本器は誘導電動機の回轉子を回轉しないやうにして、回轉子と固定子を單巻變壓器と同様に接続したものである。此の回轉子巻線を電源側に固定子巻線を負荷側に(イ)圖のやうに接続し、(ロ)圖の如くに回轉子を任意に廻して、(ハ)圖の如くに固定子側の誘起電壓 e_1 の位相を變へ、之れと電源電壓 E_1 とのベクト



ル和である負荷側の電圧 E_2 を調整する
 其の接続圖は (二) 圖の如くに表はされる。一次側は星形結線として電源側 x, y, z に接続され、二次固定子巻線は線路と直列に接続されて居る。

単相誘導電圧調整器は主として単相回路の電圧調整、例へば絶縁耐力試験用電源の電圧調整等に用ひられる。之れを3台使用すると三相回路の電圧を調整し得るが、聯動装置を要し高價となるので三相回路には三相誘導電圧調整器が採用される。例へば配電用變電所の三相給電線には本器が設けられてゐる。

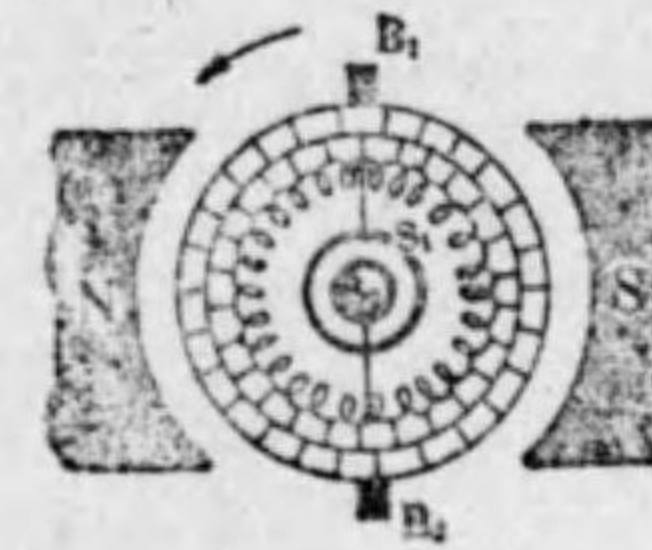
3.10 特殊機器

(1) 回轉變流機の原理と構造

構造は直流發電機と同様、唯、整流子の反対側に交流の相數に等しい集電環があつて、之れを電機子巻線に結び交流側として居る。尙、磁極面には制動巻線を設けて、交流側からの起動を容易にし、負荷の激變に對する亂調を防いでゐる。

(二) 回轉變流機は交流を直流に變へるもので、集電環側を交流電源に結ぶと、同期電動機と反對に電機子が同期速度で回轉する。従つて、電機子巻線が N, S 極の磁束を切り、刷子間に直流が得られる。

【問題】 単相誘導電圧調整器と三相誘導電圧調整器の原理、構造、用途に於て夫々相違せる点を説明せよ。



(2) 回轉變流機の起動法

① 直流側起動; 起動器を用ひて直流側より直流電動機として起動し、交流側に交流電圧を發生させる。回轉數が同期速度に近附いたとき、同期檢定器を用ひて、交流側を母線に並列に入れる。

② 交流側起動; 磁極面の制動巻線を利用して、交流側より誘導電動機として起動する方法である。起動電流を制限するため、起動補償器を用ひて、最初低い電壓を加へる。

③ 他起動法; 大容量のものは、起動電流が大きくなるので、起動用の誘導電動機又は誘導同期電動機を主機に直結して起動する。

(註) 誘導電動機は磁極數が一對だけ少いものを用ふる。

(3) 單相水銀整流器

圖は單相全波整流の場合を示したもので、 A_1, A_2 は陽極、(鐵又はグラフアイ



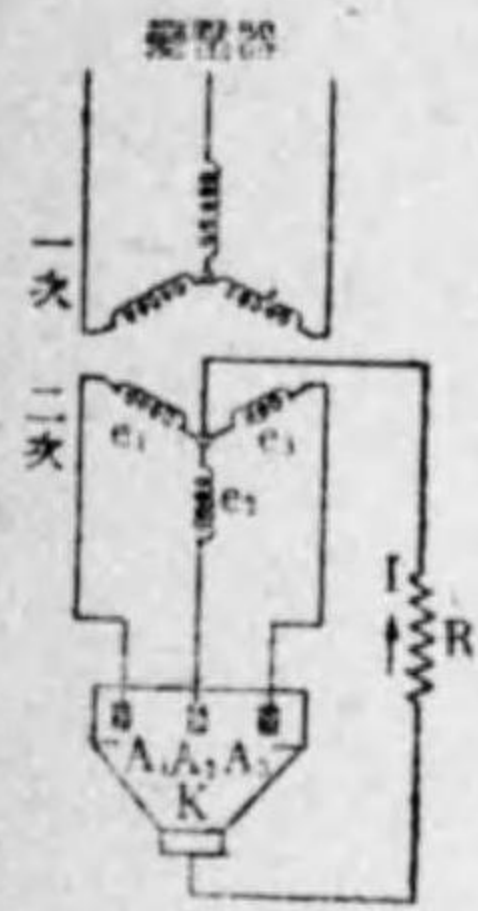
ト) K は陰極(水銀) t は点弧極、 R は負荷抵抗、 L は大きなインダクタンス線輪である。今、整流器を少し動搖させると、 t, K 間は、水銀によつて斷續し火花を生ずる。この火花によつて水銀蒸氣を發生し、熱電子を放出して KA 間に水銀電弧を生ずる。従つて水銀は益々熱せられ電弧を生じてゐる点(陰極点)の電流密度は $4000A/cm^2$ にも達する。この場合 A_1 又は A_2 が正の時は水銀面より放出した電子は之に吸引されて、電流は A_1 又は A_2 より K に向つて流れるが、 A_1, A_2 は殆ど電子を出さない、物質で作られてゐるから、 A_1 又は A_2

が負の時には K の吸引する電子が無く電流は流れない。

(註) L は負荷電流の變化を平滑にする爲に設ける。

(4) 三相水銀整流器

圖の如く變壓器二次各相の端子を、3箇の陽極 A_1, A_2 に接続し、變壓器の中

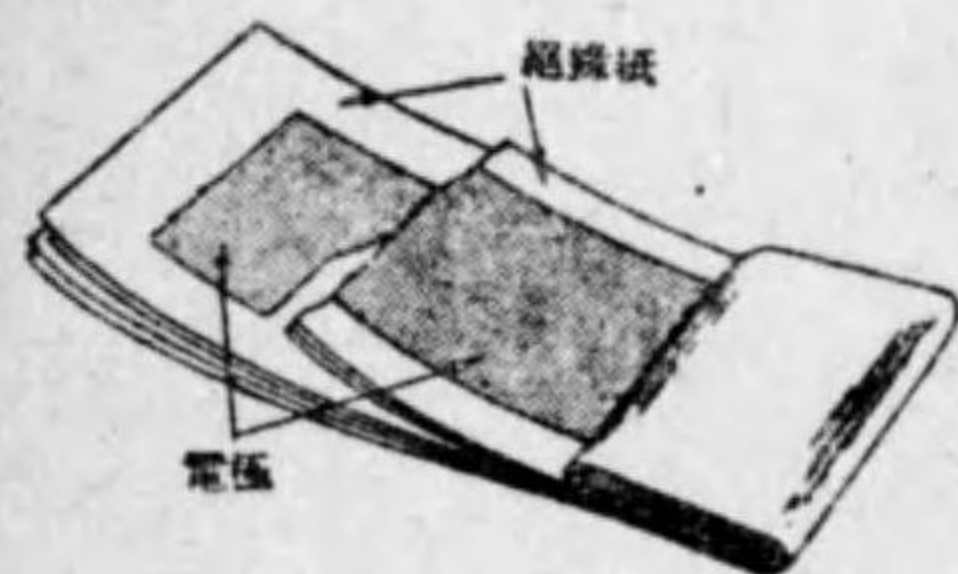


性点と整流器の陽極に負荷 R を結ぶ。

(註) 水銀整流器には硝子槽製のものと、鐵槽製のものがあり前者は小容量、後者は大容量に用ひられる。最近は主として資材銅、鐵の關係から、水銀整流器が電鐵、電氣化學方面に廣く用ひられつゝある。

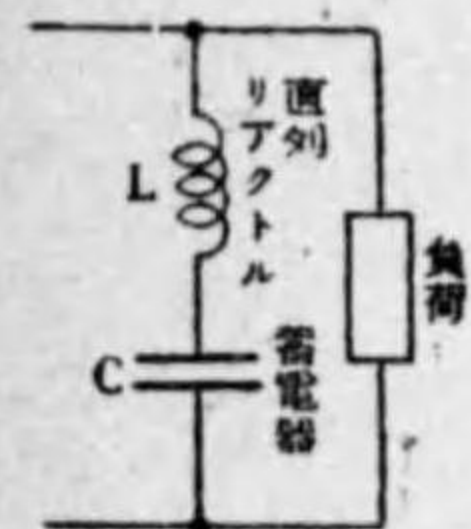
(5) 電力用静電蓄電器

① 構造: 絶縁材料には、厚さ 0.08~0.15mm のクラフト紙を數枚重ねたものを用ひ、之と 0.007~0.015mm 厚のアルミニウム箔の電極を交互に積重ねて捲上げる。



之を素体と云ひ、所要静電容量の値に応じて適當數だけ束ねて、兩端より締付け

② 直列リアクトル: 交流回路には變壓器、電壓調整器等によつて高調波電壓を生ずる。蓄電器の充電電流は $I_c = 2\pi fCE$ であるから、周波數の大きい高調波になる程大きな電流が流れて蓄電器の端



子に高調波電壓降下を生じ、負荷に加はる電壓波形を歪ませる。之を防ぐ爲に蓄電器と直列にインダクタンス線輪 L を入れ、…… f_n 高調波の周波數

$$2\pi f_n L = \frac{1}{2\pi f_n C} \quad L = \frac{1}{\omega^2 C} \quad \text{即ち、} f_n \text{ に對して直列共}$$

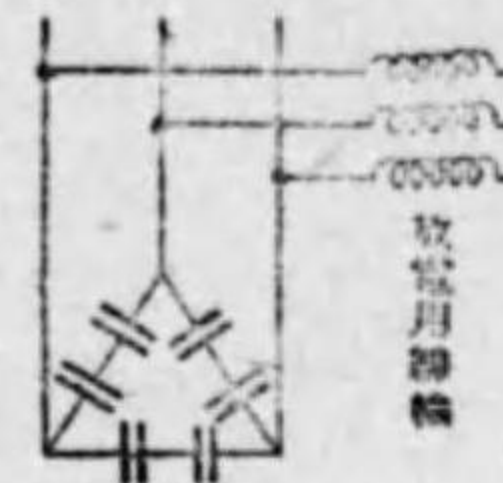
振になる様に L の値を定めると、合成インピーダンス

は零になり負荷端子高調波電壓は零になる。

(註) 高周波の中第三調波は變壓器の何れかの側の三角結線の流れを消失するので、第五調波 $f_n = 5f$ に共振させる。これ以上の高調波電壓は一般に小さい。

【問題】 回轉變流機の構造原理及用途を簡單に説明せよ。

【問題】 單相及三相水銀整流器の簡易なる接続圖を示し、之が動作原理を説明せよ。



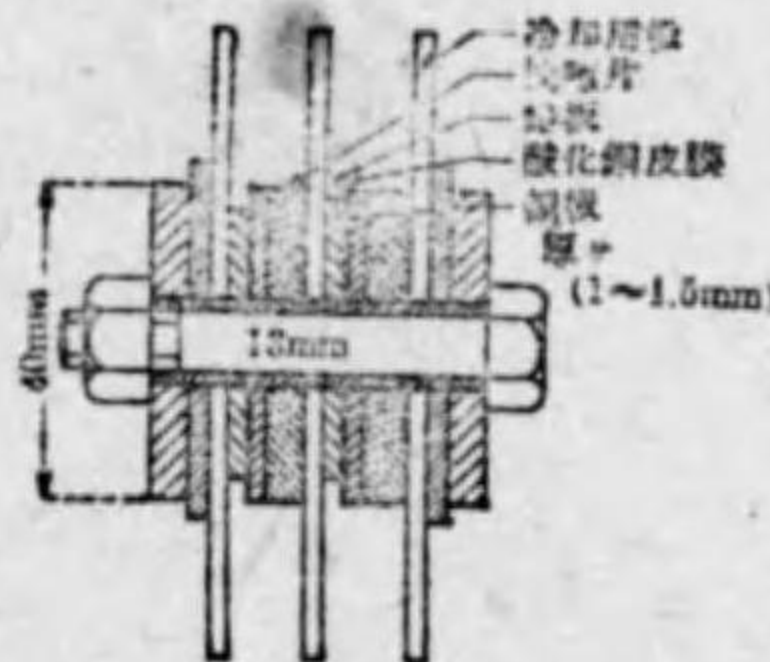
④ 放電用線輪: 蓄電器を回路より切離すと残留電荷が残り、長時間消失しないので取扱や保守等に危険である。之を防ぐ爲に鐵心入線輪を常時蓄電器に並列に結んで、之に電荷を放電させる。

(註) 放電用線輪に抵抗を用ふると、常時電力損失を生ずる尙、蓄電器が常に負荷(電動機等)と並列に接続されてゐる場

合は、残留電荷は負荷に放電するから、放電用線輪は設けなくてもよい。

(6) 酸化銅整流器

銅板を 1000°C 位に熱して表面を酸化し、次に 600°C 位迄冷却した後、水中



に入れて急冷すると、銅板の表面に亞酸化銅が結晶し、その上が酸化銅で覆はれる。この酸化銅の膜を剥き取り、鉛板を密着したものを、使用電壓に応じて適當數だけ積重ねたものが酸化銅整流器である。之に交流を加へると銅より亞銅化銅の方へは電流が流れるが、その反對には流れない。

(註) この定格は、電流密度が 0.05A/cm²、耐逆電壓が

1 素子で 4~7V、能率が 40~60%、力率が 100% である。

3.11 電氣機器の試験項目

極めて常識的に各種電氣機器の一般に運する諸点を述べる。

(1) 絶縁抵抗及絶縁耐力試験

絶縁抵抗はメガで測定し、大体、次の値以上を有さねばならぬ。

$$\text{所要絶縁抵抗基準値} > \frac{\text{定格電壓 (ボルト)}}{1,000 + \text{定格出力 (kW 又は kVA)}} \text{メガオーム}$$

此の絶縁抵抗試験は絶縁耐力試験の準備として行ふ。

(註) 電氣機器の容量が大きくなる程、導体の全表面積(漏洩電流の通路断面)が大となるから、絶縁抵抗は小さくなる。

絶縁耐力試験の試験電壓は直流電壓を用ふる外、100 サイクル以下の交流正弦波を用ふる。加壓時間(試験時間)は電壓を徐々に上昇し、規定電壓に達した時

から 1 分間とされてゐる。

(注) 此處で記するのは工場試験であつて、現場据付後、工規に依つて行ふ場合は配電の項に記する。

要するに、絶縁耐力試験の目的は電気機器が實際の使用状態及故障時の異常高電圧に對して、安全な絶縁耐力を有するか否かを見るにある。

(2) 温度試験

温度試験の主なる目的は、電気機器に所定の全負荷をかけたとき、其の終局の温度が著しく高くなり、電気機器の壽命を短縮したり、甚しい時は焼損するやうなことがないか否かを見る。

(注) 電気機器の温度上昇=(其の温度-周圍温度)従つて、或る制限された一定の温度上昇の機械でも、周圍温度(機器から 1~2m 離れた機器の高さの中程の点の温度)が低い寒地ではより多くの負荷がかけられる。之れに反して熱帯地では規定の全負荷をかけられないことすらある。

機器の各部の温度を測定するには、寒暖計(なるべくアルコール寒暖計)、を用ひ、或は抵抗法に依つたり、埋入温度計法に依る。

此の温度試験の際、機器の全損失を測定する。

電気機器の容量は温度上昇に依つて制限せられるのが普通であるが、其の他の特殊条件に依つても制限される。例へば、直流機では整流状態に依つて、負荷容量が制限させられることがある。

(3) 其の他の試験

上記の 2 つの試験で、大体その機器を實地の使用に供して差支へないか否かの根本が定る。其の他の試験項目は更らに機器の實用上から見て検討を要する点であつて、例へば、電圧變動率の試験(主として發電機)速度變動率の試験(主として電動機)、機械的強弱を見る試験、故障時の状態を見る試験等がある。

【問題】 過相用蓄電器を電力系統に設置する場合に於て、電流波形に著しき歪を生ずることあり、その理由を説明せよ。

【問題】 酸化銅整流器の用途を問ふ。

3.12 仕様書の記載事項

仕様書と云ふのは一種の注文書であつて、どのやうな機器が欲しいのかを要求する書付である。最近では資材の関係から機器の標準化が極端に行はれて居るので實際の使用上から来る特殊な要求に應ずるやうな機器の製作は困難であり、仕様書も標準化されつゝある。要するに、標準になるべく合し、如何にしても實際の使用上、要求せねばならない特殊な条件を詳述し、強調するのが仕様書の眼目である。一般の仕様書に記載する主な事項を挙げると、

① 定格出力(kW, 馬力, 又は kVA)と其の種別(連続定格, 短時間定格)

(注) 連続定格とは、連続動作し得る機器の出力であり、短時間定格とは、1 時間、30 分間、又は 15 分間動作し得る出力で、例へば電車用電動機のやうなものは此の短時間定格となる。

② 機器の型(開放型, 半閉型, 全閉型, 他力通風型, 自己通風型, 水冷型, 防滴型, 耐爆型等の別)

③ 定格電圧, 定格電流, 定格速度, 定格力率, 相數, 周波數, 勵磁方式, 起動法,(起動回轉力, 起動電流) 接續法, 電壓調整, 速度調整の範圍等。

④ 周圍温度 40°C 以上の場所で使用するものは其の最高周圍温度。

⑤ 海拔 1000m 以上の場所で使用するものは其の高さ。

⑥ 機器が種々の電圧, 電流, 周波數又は速度で使用せられる場合は是等の各々に相當する電圧, 電流, 周波數及速度。

⑦ 機器の用途, 例へば負荷の種類特に必要な場合には使用状況。

⑧ 機器の使用法, 例へば, 並行運轉を必要とする場合, 發電機の場合には原動機の種類等。

⑨ 其の他, 納期, 納入場所, 輸送法支拂方法。

3.13 銘板の記載事項

銘板には一般に周圍温度 40°C, 海拔 1000 m 以下の場合の連続定格を示し、次の各項を記載する。

- ① 日本電気機器標準規程の規程記號
- ② 製造者名
- ③ 製造番號
- ④ 定格の種類
- ⑤ 特殊使用條件
- ⑥ 定格出力、電壓、電流、極數、速度、周波數、相數、接續圖、勵磁電壓及電流、等。

要するに銘板には、機器を使用する際、使用上の基準となる事項を記載し、且つ製作者としての責任の所在を明示する。

3.14 電気機器の故障と対策

電気機器の故障を大別すると、電氣的の故障と機械的の故障になる。原因がその何れにあるにせよ、故障原因の探究は順を追つて、徹底的に行ひ、再び之れをくり返さぬやう抜本的な対策を構する。

諺に云ふやう、豫防に優る治療はないのだから、電気機器に対する平素の取扱い保守が第一である。

以下、各種電気機器の主なる故障に就て記する。

(1) 直流機の故障と対策

電氣的故障の第一は整流不良であつて、其の原因は設計工作の不適當、刷子壓力及刷子箱の不具合、刷子位置の不良、手入の不十分等である。其の他のものとしては、接續の誤り、電機子線輪の斷線、短絡、残留磁氣の消失、過熱、絶縁抵抗の低下等である。機械的故障としては、軸受の過熱、軸油の漏れ、軸の折損、電機子線輪の脱出、騒音の發生等がある。尙、之等に對する対策は自から明か

- 【問題】 電気機器に於ける絶縁抵抗及絶縁耐力試験の目的並其の實施方法を説明せよ。
- 【問題】 電気機器に於ける温度試験の目的を記し、實際に負荷することなく、温度試験を行ふ方法を、直流機、交流機、變壓器、誘導機に就て説明せよ。
- 【問題】 電気機器、仕様書に記載する一般的事項を挙げ、特に強調すべき点を明示せよ。
- 【問題】 電気機器の銘板に記入すべき事項を問ふ。
- 【問題】 電気機器に起る主なる故障を列挙せよ。
- 【問題】 各種電動機を逆轉する方法及制動する方法を説明せよ。

あるから省略する。

(2) 交流同期機の故障と対策

整流不良以外は直流機の場合と同様で、界磁回路の斷線、接續誤り等で發電しない場合、巻線の過熱、軸受の過熱、騒音の發生がある。

(3) 誘導機（主として誘導電動機）の故障と対策

起動時の故障が最も多い、之れには起動装置の接續誤り、斷線等の故障、軸受の摩滅、等が原因となり易い。運轉中の故障として巻線の斷線、一部の短縮、回轉子集電環装置の不良等の原因に基くことが多い。

（註）變壓器の故障は滅多にないが、過熱のまま運轉すると、層間短絡等を生じ易い。例へば、柱上變壓器で油漏れ、浸水等が過熱の原因となる。又、雷電壓に依つて巻線端子の一部絶縁が破れ層間短絡を生ずるやうなことがある。

3.15 電気機器の運轉と取扱い

之れに就ては、夫々の處で述べたから重ねて記さない。此處では二三の点を補足するに止める。

其の第一は電動機としての逆轉であるが、直流電動機を逆轉するには、左手三指の法則から明かなやうに、電機子か界磁か何れか一方の線輪の接續を反對とする。一般に電機子線輪の方がインダクタンスが小さいので、之れを切り換へる。2つ共、接續を變へると前のまゝ回轉する。同期電動機及誘導電動機では、固定子三相の何れか2相の接續をふり返へるとよい。斯くすると、回轉磁界の回轉方向が反對となつて逆轉する。

尙、電動機を制動（早く停止）するには、摩擦制動、渦流制動、ブラツキング發電制動法等を用ふる。

摩擦制動法としては、電動機軸に取り付けた車輪に制動靴又は制動帶を壓して制動する。渦流制動は電動機軸に取付けた銅板、又は鐵板を電磁石で挟み夫等に生じた渦流に依つて制動する。ブラツキングは交流電動機を逆轉させる接續とする。又、發電制動は電動機を停止する際に發電機に變じ、其の發生電力を抵抗で消費させて制動する方法である。

[4. 發電] 4.1 發電一般

(1) 發電より電力消費まで

現在、電氣の大量製産所としては水力發電所と火力發電所がある。水力發電所は、申す迄もなく多くは山間の河川に近く設けられ、水の有する位置エネルギーを利用して水車を回轉させ、之に依つて發電機を運轉して發電する。早い話が、村の米搗水車を近代的に利用したものである。だから水力發電所では運轉費とは機械の油代人件費位で、もともと無料の水を利用する譯である。然るに火力發電所では石炭を燃焼させて汽罐で蒸氣を作り、之れで蒸氣タービンを回轉し發電機を運轉するのであるから運轉費としては第一に石炭費を要する。従つて、火力發電所では 1kWH 當りの電氣の賣値が高くなつて、水力發電所にとても太刀打ちが出来ない、と一應は考へられるのであるが、水力發電所は其の水路工事に莫大な資本（發電所總建設費の 7 割以上）を要し、全体として 1kW 當りの建設費が約 600~2000 圓位にもつく、之に反して火力發電所は出力 1kW に對し大体 200 圓~600 圓見當であるから、ざつと 3 分の 1 に過ぎない。従つて建設費に對する金利だけの償却費、（購入機器價格の幾分を毎年積立て、置いて、其の機器の壽命が來た時には新しく購入出来るやうに貯金して置く事）が高くなつて、水力發電所に於て 1kWH の原價が火力發電所よりも高くつく場合すらある。然し石炭の價格は四時不變のものでなく、殊に内地には其の産出が少いのであるから、一旦事ある場合も豫想し、國策上よりも努めて水力を開發する事が奨励されて來つた。又我が國は此の水力に甚だ恵れてゐるのである。水力で發電した場合之を需要地に持つて來るには送電線を要する。之は山間の僻地から山越へ野越へ都會地に來るので、其の亘長は大となる。従つて送電々壓を高くする程經濟的に送電せられるので、多くは 100kV 以上であつて、我が國では 154~220kV が採用せられてゐる。發電所發電機の電壓は高くとも 12kV であるから、之を送電線に結ぶには變壓器で電壓を昇せねばならない。此の發電端變電所は水力發電所の建物内に設置される事もあるが、同一構内、或は之に近接した處で屋外變電所として

設けられるのが普通である。以上、云ひ忘れたが今日の電力系統は低圧電線を除くと、其の殆んど總てが交流三相三線式に統一されて居る。但、水力発電所の出力は其の河川1年間の最低水量に定めると発電所として不自由する事がない。然し斯くすると1年の大半は利用せられる水を無用に捨てる事となり、且つ出力が小さいので建設費が割高となる。故に補給用火力発電所を受電端の都會に近く設置し、水力発電所の出力は其の使用水量を最低水量の1.5倍~3倍位に取り、不足分は補給用火力発電所から補ふのであつて、此の方が総合的に考へても経済となる。之が水火併用であつて、火力発電所は1年間の渇水期間の3ヶ月が6ヶ月位しか運轉しない。或は更に一步を進めて、此の火力発電所を年中運轉する事も多い。火力発電所は蒸氣機器の進歩が著しく、すぐ時代遅れとなり、又壽命も短いから、なるべく早く有効に使用する事が望しい。従つて補給火力発電所の常用化は望しい事とならう。之に反し水力発電所は大部分が水路工事より成り、此の方面には大なる進歩がないので、古い発電所も新しい発電所も能率の上からは大した差異がない。然し之を常用しないと水を無用に流すから、矢張り水力発電所は基底負荷用として用ふべきである。

水力発電所から154kV程度の電壓で送られて來た電力は都會地の近郊にある受電端一次變電所に入り、154kVより77kV或は66kVに遞降せられる。此の線に、矢張り都市の近郊にあつて石炭の運搬に便利で、冷却水が豊富に得られ、敷地の廉價で地盤の良好な、従つて多くは海岸に近く設置された前述の火力発電所よりの電氣が加る。此の線は都市の周圍にある各受電端二次變電所に入り、約20kV乃至10kVに遞降せられ、地下ケーブルを以て市内の配電用變電所に入る。茲に20kVを3.3kVに遞降して高壓配電線として市中に出で、柱上變壓器で低壓とされて一般需用家の電燈、電熱動力に給電する低壓配電線となる。或は大口需用家に対しては高壓で配電し、需用家構内に設置された變壓器で低壓とされて電燈、動力に給電する事もある。或は20kVを變壓器で下げ、回轉變流機或は水

【問題】 発電方式として水火併用を行ふ理由を述べよ。

【問題】 水力発電所が多く海岸に設置せられる理由を説明せよ。

銀整流器に依つて之を1.5kV或は600Vの直流に變成して電氣鐵道、電車に給電する。

(2) 発電一般

現在廣く實用されてゐる発電方法は、前述のやうに、水の位置エネルギーを利用する水力発電と、石炭の有する熱エネルギーを利用する火力発電であつて、其等のエネルギーを電氣エネルギーに變換さす處が水力発電所であり、火力発電所であつた。其の能率は水力で約60~70%即ち流水エネルギーの60~70%が電氣エネルギーに變換される。之れに反して火力では石炭の有するエネルギーの10~30%位しか電氣エネルギーにならない。従つて、水力発電所には急激な進歩はないが、火力発電所は其の能率の向上に日進月歩の改良が施されつゝある。

以上の外に重油を燃料とするディーゼル機關発電所、或は潮力、太陽熱、地熱、風力、空中電氣を利用するもの、天然ガスを用ふるもの、都市にあつては塵埃焼却を利用し、下水處理の際に生ずるガスを用ひる等、絶えざる研究が續けられてゐるが、未だ一般的に利用される域に至つてゐない。故に、茲では水力発電と火力発電に就て記する。

水力発電所は河川流水の落差を利用するものであるから、なるべく水路が短距離で大きな落差の得られる山間の僻地にあり、此處で生じた電力を高い電壓(55kV~220kV)の送電線に依つて需用地迄持つて來る。

火力発電所は石炭の搬入に便であり、灰の處置が容易で、冷却水の豊富に得られ、石炭置場等に廣い敷地が廉價に容易に入手出来る、附近に人家のない都市近郊の海岸地に設置されるのが普通である。従つて、發生された電力は割合に低い電壓(11~77kV)で需用地の送電網に加はる。

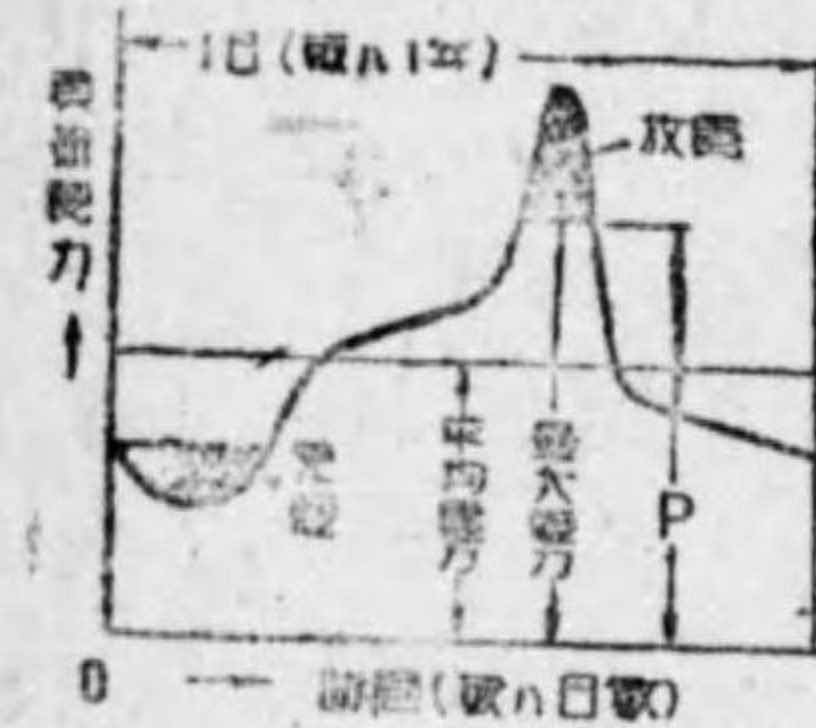
(註) 水力発電所は建設に長年月を要し、建設費が高いが壽命は長く、運轉費は少い。火力発電所は之れに反する。

(3) 電力消費一般

前項で発電に就て述べたから、以下電力消費に就て記する。

電力負荷は常に一定でない。例へば1日に就て云ふと、夜が明けると電燈が

消え、動力負荷がぼつぼつ増し、晝頃になつて略々一定となり、夫れから点燈時になると電燈負荷と動力負荷が重つて最大となり、夫れから動力は漸次減するが電燈は反對に増して午後十時頃から減じ出し、午前二時にもなると最低となる電燈負荷でも同様で朝夕の混雑時では最大となるが、他は概して低い。之れを1年間に就て考へても同様で、冬の十二月、一月、二月は電力需要が増加し、夏季は減少するのが普通である。斯様に1日又は1年を通じて負荷電力は大いに變化するのであつて、時間を横軸とし、負荷電力を縦軸に取つて表はしたものを負荷曲線と云ふ。此の曲線で、電力を平均したものを——曲線の平均高さ——を平均電力と云ふ。然して、發送電設備としては、曲線中の最大電力に對して設備しなければならない。然るに、1kWH 何錢と云つて電力を賣るのであるから、電力料金の収入は平均電力に時間數を乗じたものとなり、平均電力が大きい程



収入が多い譯である。従つて、電力供給事業としては最大電力が小さく、平均電力の大きい負荷程無駄がなく、利益となる。

$$\text{之れを式で表はすと、 電力会社の利益} \propto \frac{\text{平均電力}}{\text{最大電力}}$$

即ち、電力会社の利益は負荷の最大電力に逆比例し、平均電力に比例すると云へる。斯様な面倒なことを云はずとも、 $(\text{平均電力} \div \text{最大電力}) \times 100$ を % で表はして負荷率と名付けて置くと、電力会社の利益は負荷率に比例すると云へる。

(註) 1日中の負荷曲線の負荷率を日負荷率、1年中の負荷曲線の負荷率を年負荷率と云ふ。發送電設備は前述のやうに、負荷の最大電力に應ずるものとしなければならない。之れに、要する建設費の1年間に於ける利子、償却——機器の原價を其の壽命年數に分つて毎年積立て、機器が使へなくなった時に、此の積立金で新しいものを購入する——利益金、運轉費(火力の時は石炭費を含む)を合計したものを1年間の發生電力量で除すると1kWHの電氣を

【問題】 水力発電と火力発電の得失を比較せよ。

【問題】 負荷率の意義を説明し、之れが電力事業經營に影響する点を述べよ。

何程で買ればよいか分る。

最大電力を一定とすると、負荷率が大きとなつても建設費には影響しない、運轉費は増すが之れは負荷率が増したからとて其の割合に増さない。然るに1年間の發生電力量は(最大電力×負荷率×時間)となるから、負荷率に比例して大となる。其の結果、發電原價を廉價とすることが出来る。遂に電力料金を同一とすると、夫れだけ電力供給業者の利益が増すから當に負荷率の向上に努力せねばならない。

(4) 負荷率の向上策

負荷率の向上は上記のやうに重要であつて、之れが向上する方法として、電氣供給事業者の取るべき手段は、

- ① 負荷率を加味した電氣料金とする。
- ② 負荷曲線の相違した負荷を成るべく多く一緒にして給電する。
- ③ 蓄電池を併用する。
- ④ 揚水発電所或は蒸氣貯藏器を置く。

① は負荷率が良くなれば夫れに應じて電氣料金を安くして需用家の負荷率の向上を勧奨する、又は深夜電力を特に安くしたり或は最大負荷表示器を置いて、最大負荷の程度に應じて割増金を取つたり、電流制限器を設けて一定最大電力以上の電力消費を阻止したりする方法がある。

② は違つた負荷曲線のものを多く接続すれば夫れだけ負荷曲線は扁平となり負荷率が向上する。負荷曲線の尖頭部分で平均電力以上の部分を尖頭負荷と云ふ。

③ は先に掲げた負荷曲線に於て、蓄電池を併用して、負荷曲線の凹所でこれに充電し、尖頭時に放電する。斯くすると發電容量は P で良い事となる。然し蓄電池は能率壽命共に良くないし、價格も高く、大容量のものとしては餘程の尖頭負荷で著しく發電容量が削減されない限り經濟的なものと云へない。又直流交流の變成装置を要する。但し、④ ⑤ は負荷率の直接改善でなく、負荷曲線は其の儘として何とか他の方法で發電容量の削減に資する。

④ 揚水発電所と云ふのは、後述するが、例へば1台の發電機の兩側に水車とポンプが結れて居るもので、負荷曲線の凹所では發電機を電動機としてポンプを

以て水を上に汲み上げて負荷曲線の尖頭時には先に貯水した水で水車を回轉し、発電機より発電する方法である。

蒸氣貯藏器は負荷曲線の凹所で蒸氣を貯藏し之を尖頭時に用ふる方式である。

ともかく電氣は、之を經濟的に貯蓄して置く方法がないので、發生した瞬時に使はねばならない、之がガス料金等に対し電力料金が割高となる最大の原因である。従つて將來此の方面は大いに研究せられやう。

(5) 力率の向上策

発電機線輪に誘導される電壓は直流発電機でも交流であつて、之が整流子の働きに依つて外部に直流として導き出されるのであつた。一体今日交流が全盛である所以は、交流発電機には此の整流子がないから高電壓、大電流の發生が容易であり、加ふるに變壓器と云ふ簡便至極のもので隨時隨所で電壓を變成して廣い區域に經濟的に送配電が出來ると云ふ事と、電動機として取扱ひの簡単な交流誘導電動機が普及したと云ふ點に歸する。直流とて満更ら棄てたものでなく、第一電壓と電流の間に相差不い、即ちリアクタンスと云ふものがないから電壓降下等も少く、蓄電池を併用する事に依つて無停電を期し得る、或は特殊の負荷、電氣化學用とか電鐵用には直流でなければならぬ。

此の交流には力率と云ふものがあつて、発電機、變壓器、配電線の容量はkVA容量 (電壓×電流× 10^{-3} ……但し三相の時は此の $\sqrt{3}$ 倍) に相當した設備とせねばならない。然るに電氣料金はkW (電壓×電流×力率× 10^{-3}) に比例した収入となるから、力率が低下する程電氣供給事業者としては不利な譯である。又力率が悪化すると電壓降下も大となり、二重にも三重にも設備費を増す。之れに對し力率を向上する手段としては、

- ① 力率を加味した料金制とする。
- ② 進相機、靜電蓄電器を用ふる。
- ③ 高力率電動機の設置を奨励する。

【問題】 負荷率の改善方法を擧げ、得失を比較せよ。

【問題】 力率の意義を述べ、之れが改善法を説明せよ。

① は力率の良いもの程料金を安くして、力率の改善を計るものであり。② は受電端に同期或は非同期進相機を置いて系統全体としての力率の改善を策する。或は又需用家に靜電蓄電器を設置して進み電流を取つて力率の改善をする。③ は成るべく力率の高い交流整流子電動機或は同期誘導電動機を用ふる。

以上負荷の力率と云つて來たのは、負荷電壓と負荷電流の積 kVA で、負荷電力 (kW) を除したもので、或は負荷を一つのインピーダンスと考へると其のインピーダンスで抵抗分を除した値、要するに電壓と電流の位相角の餘弦である。電動機負荷ではこれが 40~80% であつて、電燈負荷では先づ 100% (97%~99%) と考へて良し。

(註) 電氣機器等の巻線数は電壓に比例したもの、大きさは電流に比例したものとされるから、給電其の容量は kVA 電力に比例する。然るに、電燈で光となり、電動機で機械力となるのは kW 電力に相當するものだから、力率は電力の有效な利用率を表はすものと云へる。従つて、力率の改善は負荷率の改善と共に重要で、最近、靜電蓄電器に依る力率改善が廣く普及されてゐる。

4.2 水 力 發 電

(1) 流域面積

雨や雪が降ると、その一部は地下水になり、他の一部は地表水になつて河川に流れる。河川の流量は、その上流に於て分水嶺に圍まれた面積内に降つた雨や雪である。この分水嶺に圍まれた面積を、その河川の流域面積と云ふ。流域面積に於ける雨量の 30~70% が河川流量となる。

(註) 分水嶺と云ふのは、雨雪が隣り合つた 2 つの河川に夫々分れて流れる、分れの境界線を云ふ。雨量は其の水深 (mm) を以て表はす。

(2) 各種流量

河川の流量は 1 秒間に流れる水の容積 (立方メートル) を以て表はし、何立方メートル/秒と云ひ、其の多少の程度を次のやうに云ひ表はす。

① 渴水量; 1 年 (365 日) の内、10 日を除いた 355 日間は、之れより下らない流量を云ふ。

㊦ 低水量; (9 箇月流量) 1 年の内 275 日間は、之れより下らない流量を云ふ。

㊧ 平水量; (6 箇月流量) 1 年の内 185 日間は、之れより下らない流量を云ふ。

㊨ 豊水量; 1 年の内 95 日間は、之れより下らない流量を云ふ。

(註) その他、高水量とは毎年 1~2 回起る出水時の流量を云ひ、平均湧水量とは数年間の湧水量を平均したものを云ふ。平水量及豊水量の湧水量に対する比は地方に依つて異なるが大体 2~2.5 及 3~4 位である。

(3) 流況曲線

1 年中の毎日の流量を大きさの順に配列したものである。従つて曲線圖上 355 日に相當する流量が湧水量、275 日に相當するのが低水量、185 日が平水量を表はす。此の曲線は発電所の使用水量を決定する場合に極めて重要であつて、長年に亘つて調査されねばならない。

(註) 水位と流量との關係を、流量を横軸に、水位を縦軸に取つて表はしたものを流量曲線圖と云ふ。1 年間に於ける毎日の水位と流量をぐらふに表はしたものが水位流量圖である。

(4) 流量の測定法

㊩ 流速計法; 水路の水流と直角に横斷線を設け、之れに依つて、水路の横斷面を作り、之を小部分に區切つて、各部分の流速を測定して、小斷面積×流速より、各部分の流量を求め、之を加算して全流量とする。

㊪ 浮子測定法; 浮子を流して平均流速を測り、之に水路の斷面積を乗じて流量を求める。

㊫ 食鹽速度法; 水路に或る距離を隔て、2 つの電極を浸し、水路の上流に食鹽水を噴射する。そうすると、食鹽水が電極の点に流下したとき電極間の抵抗が減じて電流の山形曲線が得られる。之れより 2 電極間の流速を求めること

【問題】 流況曲線に就き述べよ。

【問題】 下記の術語を説明せよ。

(イ) 流域面積 (ロ) 湧水量及平水量 (ハ) 流速計法

が出来る。従つて ㊦ と同様に流量が求められる。

(註) 其の他、堰測法、ピトー管法、ベンチユリー計法等がある。

4.3 發電計畫

(1) 使用水量

発電所の使用水量を毎秒 Q 立方米、有効落差 (後述) を H 米とすると、発電所の理論出力は $kW = 9.8 QH$ となり、實際の出力は之れに原動機と發電機の合成能率 (約 70~85%) を乗じたものになる。此の使用水量を湧水量以上に定めると、此の場合の発電所の出力は、一般の電燈、電力のやうに 1 年を通じて連続供給する定時需用電力に供給することが出来る。之れを発電所の常用出力と云ふ。然し、使用水量を湧水量以上に定めると、之れ以上の發生電力は何時停電しても差支へない、例へば特殊な電氣化學工業、肥料工業のやうな不定時需用電力にしか供給出来ない。電力料金も低廉である。之れを発電所の特殊出力と云ふ。然し、此の特殊出力に相當する火力発電所を設けるとか、貯水池を設置すると、特殊出力も常用化し得る。

水力発電所として、湧水量を使用水量としたのでは 1kW 當りの建設費が割高となり、發電原價も高く、河川流量の利用も十分でない。然し、使用水量を徒らに多くしても、建設費は割安となるが、價值の低い特殊出力のみが増す。其處で現在では使用水量を大きくすると同時に、補給火力発電所を設けて、特殊出力の常用化が計られてゐる。

(2) 發電方式

水力発電所は水の導き方に依つて次の 2 種に分れる。

㊬ 水路式發電所; 高所にある水を長い導水路に依つて、発電所の上部迄導き此處から水壓管で落水して發電する方式である。水路の勾配は極めて緩で通水に必要な程度に止め、利用落差の殆んどは水壓管の上下に生ずるやうにされて居る。

㊭ 堰堤式發電所; 河川を横斷して大堰堤を築造し、之れより上流の水を堰止め、其の水位を上昇する方式で、此の堰堤を境界として相當の大きな落差が得られる。此の落差を利用するには長い導水路を要せず、堰堤の下部に直ちに發電

所を建設することが出来る。

(註) 何れの方式に依るかは一に地形、地質に依る事であるが、堰堰式とすると、同時に巨大な貯水量の得られる利益がある。

(3) 落差及有効落差

水力発電所の總落差とは、取入口の水面と放水口の水面との高さの差を云ふ。又、有効落差とは總落差より取入口、水路、水槽及水壓管に於ける、落差損失を差引いたものを云ひ、水車を回轉するのに實際有効に働く落差である。

(註) 吸出管を有するものは其の有効水頭を有効落差に加へる。

(4) 貯水池

河川の流量は季節によつて著しく變化する。この河川流量を有効に利用するため、豊水期に餘水を貯水して、之を渴水期に使用する。この目的に設けたものが貯水池である。

(註) 河川の流量は、一般に冬期及び夏期に渴水し、4~6月及び9~10月頃に於て豊水する。

(5) 調整池

1日中の負荷變動に對して、負荷の大きい時に使用する爲に、負荷の小さい時に餘水を貯水するものを調整池と云ふ。

(註) 即ち、貯水池は季節的の河川流量の變化を調整するものであるが、調整池は毎日の負荷變動に對する使用水量の變化を調整するもので、容量は前者に比べて著しく小さい。従つて調整池は殆どの發電所に設けられるが、貯水池には適當な地形が少く之を設けてゐない發電所が多い。

4.4 水路施設

例を水路式發電所に取つて説明する。

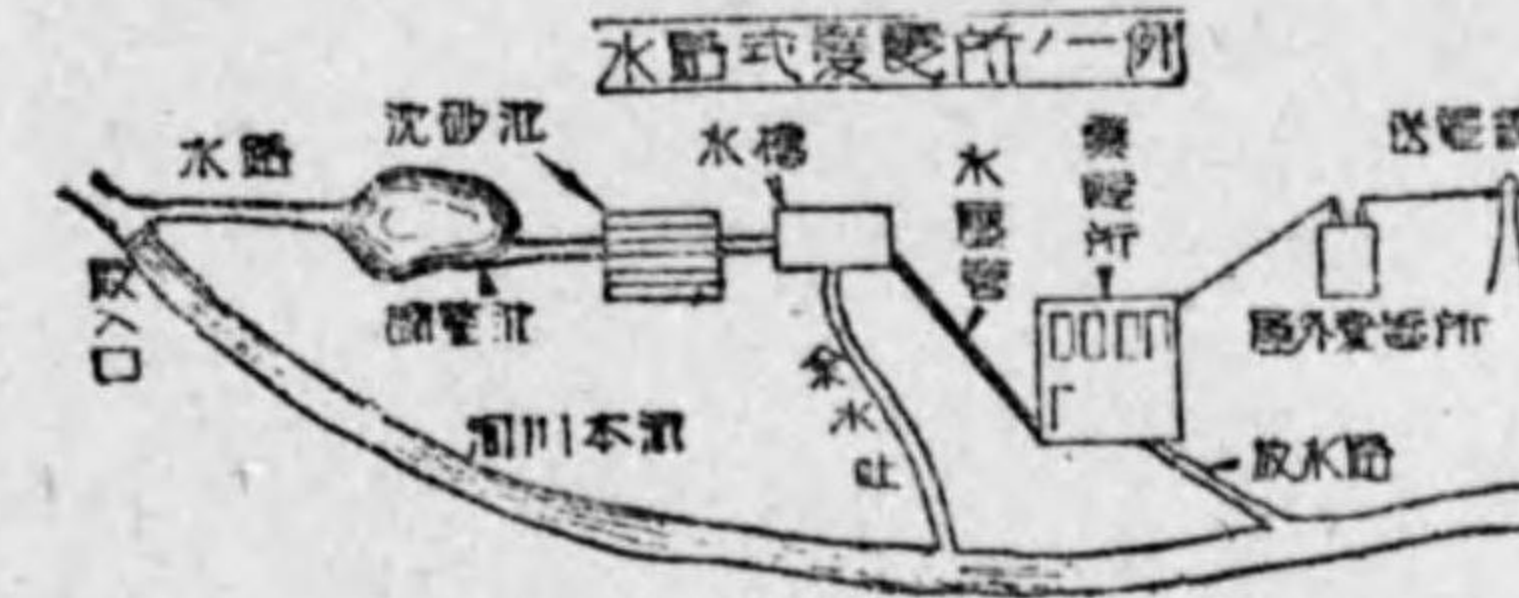
① 取水口： 河川を横斷して堰堤を作り、流量を水路に取り入れる設備である。取水口には水量を調整する制水門、水中の砂を除去する土砂溜、木葉、木片等を

【問題】 發電所の使用水量は低水量とするが有利なるや平水量が有利なりや。

【問題】 水路式と堰堰式の相違を説明せよ。

【問題】 下記を説明せよ。

(イ) 有効落差 (ロ) 貯水池 (ハ) 調整池



除去する塵除金物等がある

(註) 取水口の位置は、所要水量が充分に取り入れられ、洪水時の被害の少く、水量の調整の容易な、塵芥、土砂の堆積しない地点がよい。制水門は如何程

開くと、取水量が何程になるかは運轉に當つて心得へて置かねばならない。

② 導水路： 取水口より水槽迄水を導く部分を云ふ。之には單に土地を切り開いた開渠と、トンネル式の隧道がある。此の隧道には、水を全部満さない無壓隧道と、満水して壓力のある水を通す壓力隧道がある。或は、開渠の上部をコンクリート等で蔽つたものを暗渠と云ひ、山崩れ、雪崩れ等に對して安全である。

(註) 水路の勾配は、1/500~1/2500位である。又、流速は一般に、水路で1~2.5m/秒、沈砂池で0.2m/秒、水壓管で2.5~5m/秒位である。壓力隧道は流量の増減が容易迅速であり勾配を要せず落差の損失が少い。然し、工事費は高くなる。

③ 調整池： 前頁を参照。

④ 沈砂池： 普通の發電所の様に河川より直接取水する場合は、流水に土砂を混入し、水車に種々の障害を與へる。其處で、水路の途中に沈砂池を設け、水路を幾つにも分け、流水の通路面積を大きくして、この部分の流速を小さくして沈砂する。沈砂池は底面を傾斜して、その最も低い所に土砂吐水門を設ける。

(註) 沈砂池の水速は大体0.2m/秒以下で、水の通過時間は普通2~5分間位である。

⑤ 餘水吐(又は溢流堰堤)： 負荷が急に激少した場合、取水量を減じると水量が餘るから、餘水を水槽より放流する。之の爲に溢流堰堤を設ける。

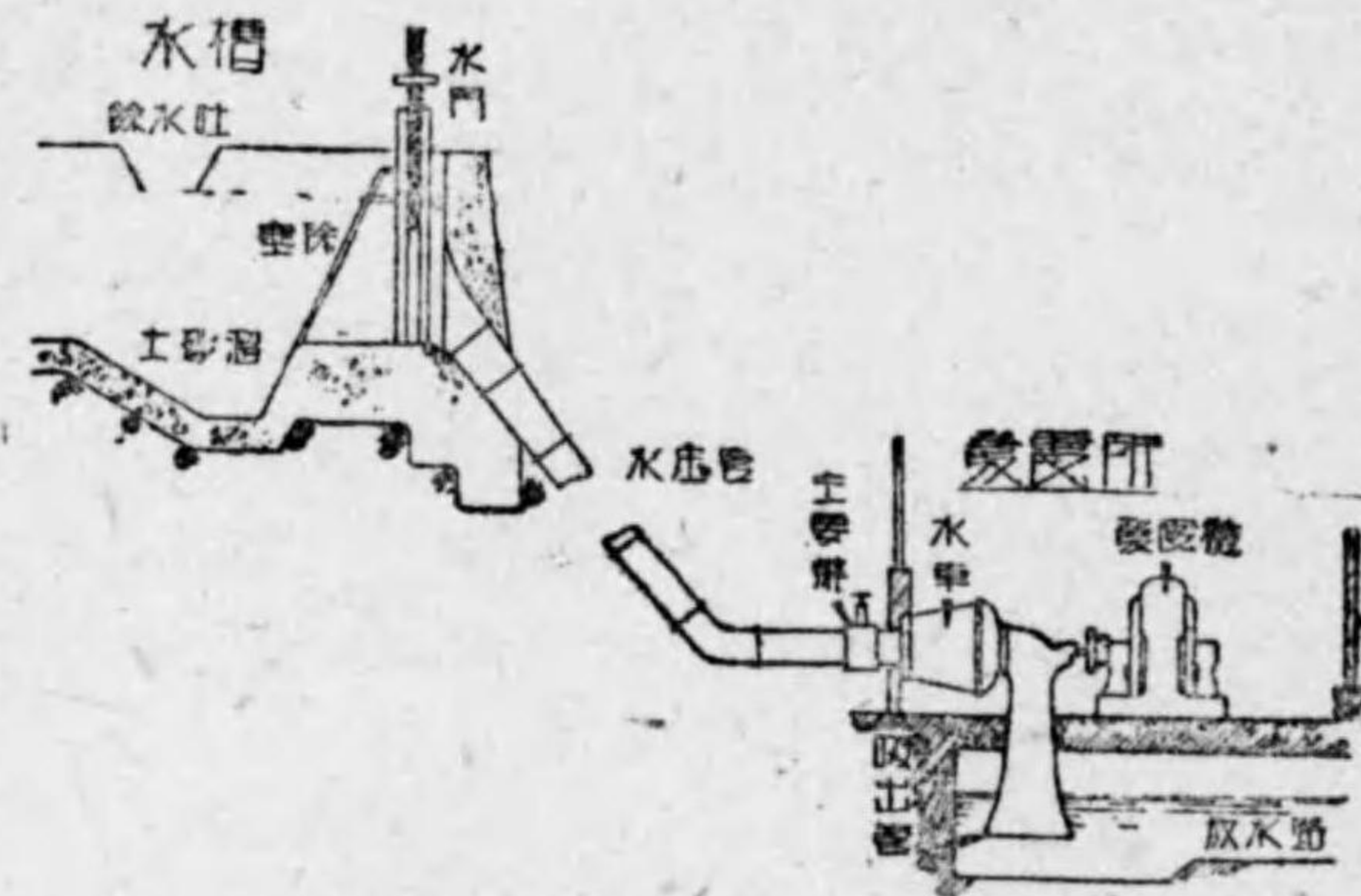
(註) 溢流堰堤は、餘水によつて水位が上昇した場合、水が溢れ出る様にしたものである。

⑥ 水槽： 水路の末端即ち水壓管の上端に設けて、餘水の調節、流水中の土砂の沈澱、負荷の急變に對する水量の調整、等を行ひ、水壓管に與へる水壓上昇を加減する。

(註) 水槽には、調整水門、塵除金物、土砂吐、餘水吐、等を設ける。即ち、水門の前面は關を高くし、其の前の低くした處に土砂が溜るやうにし、之れに土砂吐水門を附して、時

々、之れを開いて溜つた土砂を排流する。又、水槽に水が溢れて何處からとなく、溢流するやうでは困るから、水位が一定以上になると、此の餘剰水を排流する餘水吐、及之れを本流に導く餘水路がある。尙、放水路の流量を元の河川の自然流量に變へるには、調整池と同様な池を設ける。之を逆調整池と云ふ。

⑦ 調壓水槽： 水壓管の下部で水門を急に閉ぢると、流水を一時に遮断するので、水壓上昇を生ずる。又急に水門を廣く開くと水壓降下を生ずる。之れを水



槌作用と云ひ、水槌作用に依る水壓上昇が大きいと水壓管を破壊する心配があり水車の運転上 面白くない。

斯様な水壓上昇を生ずると水槽の水位を高めて、水壓上昇を緩和する。其處で水槽の水位が上昇し得るやうに、水槽を用水タンクのやうに高く吊り上げたものがある。之れを調壓水槽と云ふ。

(註) 壓力隧道であるとか、水路が長いと水槌作用が甚だ大きくなるから特に調壓水槽の必要がある。

尙、水壓上昇を抑制するものとして水壓調整機がある。之れは、遮断せられた餘剰水量を水壓管外に排水して、水壓上昇を防止するものである。即ち、緩急辨が水車调速機に聯動して働き、水壓管内の餘剰水量を放流する。

【問題】 水路式発電所の取水口より水槽迄の諸設備を列挙し、之れを説明せよ。

【問題】 調整池と水槽の使用目的の相違を述べよ。

⑧ 水壓管： 水槽から急に水を落して水車を回轉さすのに水壓管を用ふる。水量が著しく大でない限り、水車 1 台に對し、水壓管 1 本を用ふるのが原則である。

水壓管には鋼板を鉄接して管とした鉄接鋼管と、鋼板を熔接して作つた熔接鋼管がある。前者は 200m 位迄の落差に後者は更らに高落差に用ひられる。其の他、木管コンクリート管がある。水壓管内の水速は大抵 2~4m/s 位である。

(註) 熔接管は所要材料が少く、摩擦損失も僅少で寿命が長い特長がある。

水壓管の附屬設備には (i) 水壓管を支持する受台、(ii) 水壓管の流量を調整し、又は遮断する主要辨、(iii) 水壓管内を点検並に掃除する爲の入り穴、(iv) 水壓管の弁を閉ぢたとき、管内に真空を生ずることを防ぐ空氣弁、(v) 水を遮断した時の空氣の侵入或は使用水壓管中の空氣による流水の妨害を防ぐ空氣放、(vi) 水壓管の四灣曲部に設けた土砂吐等がある或は水壓管は気温の變化に依つて伸縮するから、適當な處に伸縮管を設ける。

尙、前述した水壓調整機、同じ目的の直立管(調壓水槽を水壓管の下部に持つて來たやうなもの)等がある。

⑨ 水車： 水車には高落差用にペルトン水車、中落差用にフランシス水車、低落差用にプロペラ水車がある。(後述)

吸出管： 斯くて水車を回轉して御用済となつた水は放水路から、河川本流に歸るのであるが、フランシス水車或はプロペラ水車では、水車の水を吸出管で吸ひ出して、放水路に棄てる。其の目的とする處は、

- (i) 水車を放水面より高く置いて洪水の被害を減ずる。
- (ii) 水車と放水面間の落差を有効に利用する。之れを吸出水頭と云ふ。
- (iii) 放水の速度に依る損失を回收する。

(註) 吸出管の理論上の最高の高さは 10.33m であるが、實際には 3.5—7.5m 迄である。之れが有效落差に加はる。

放水路に入る水の速度は 1—2m/s で、放水路は漸次に幅を廣くして水速を減ずる。

水車に依つて發電機が回轉せられる。發電機は三相三線式で電壓は 12kV 程度であつて、此の電壓では長距離に送電出來ないから、發電所内か或は其の近くに屋外變電所を置いて、電壓を 55—220kV として、野越へ山越へ需用地に電力を送る

水力発電〔水車〕 吸出管、水車の種類、ベルトン水車とフランシス水車

(註) 其の他の雜設備 (i) 魚道; 河川を堰堰で堰き止めると、魚類の通行を妨げ漁業に悪影響を及ぼすので、堰堰の上水面と下水面の間に緩かな水樋を設け、魚類の通過に便する又、流木を流し得るやうにした流木路を施設することもある。

(ii) 水路橋及サイフォン; 水路の水が谷川等を横断する場合、コンクリートで橋の橋を作る之れを水路橋と云ひ、水路橋の工事が困難な時は此の部分だけ水壓管を用ひ、U字形に谷川を横断さす、之れをサイフォンと稱する。

4.5 水 車

(1) 水車の種類

① **ベルトン水車;** 水を水車のバケツトに噴射して回轉するもので、150~250m 以上の落差に用ふる。

② **フランシス水車;** 水が渦状の水車を飛出す時の反動を利用したもので、約 20m 以上の落差よりベルトン水車迄の範囲に用ひられる。

③ **プロペラ水車;** 水車が船のプロペラ推進機に似てゐるもので、約 20m 以上迄の落差に用ひられる。

(2) ベルトン水車とフランシス水車

	ベルトン水車	フランシス水車
特長	① 構造が簡單で破損の虞がない。 ② 修理が容易で保守に便利である。	① 回轉數が早いので、發電機の形が小さくなり價格も安い。 ② 吸出管を用ひて、導水辨より放水面迄の落差を有効に利用出来る。
缺點	① 最高能率が少し低い。 ② 嘴角より放水面迄の落差が損失になる。	① ランナの分割が困難で、運搬に不便である。

(註) 最近フランシス水車が次第にベルトン水車の領域を侵して、高落差に迄用ひられることがある。

【問題】 水力発電所に於て、水壓管の厚さを減ずる爲めに施設すべき諸設備を述べよ。

【問題】 水壓管の附屬設備を列挙せよ。

【問題】 吸出管の效用を説明せよ。

水力発電〔水車〕 横軸型と縦軸型、特有速度、調速機、無拘束速度

(3) フランシス水車の横軸型と縦軸型

縦軸型の長所	横軸型の長所
① 發電機を洪水面上に置き得る。 ② 能率は一般に横軸型より高い。 ③ 床面積が小さい。 ④ 大型機は製作が樂である。	① 掘鑿費が少い。 ② 水車の監視及び修理が容易である。 ③ 主軸の長さが短い。

(註) 一般に小型機は横軸型が有利である。又、ベルトン水車は普通横軸型であり、プロペラ水車は縦軸型である。

(4) 特有速度

水車の各部の寸法を同一の割合で減じて、1m の落差で 1kW の出力を出す様にした場合の毎分の回轉數を、其の型の水車の特有速度と云ふ。

(註) 特有速度の値は、ベルトン水車 13—20、フランシス水車 90—200、プロペラ水車 400—850 位である。この値の大きい程、同一落差で回轉數が大きく、直結發電機が小型でよいことになる。又、この値の大きいものは、落差の變動による能率の低下が著しい。

(5) 調速機

發電機即ち水車の負荷の變動に應じて、送水量を加減し、水車の回轉數を一定に保つ装置である。水車軸に依つて、2 箇の遠心錘が回轉せられ、速度が上昇すると遠心錘が開き、配壓辨に依つて、壓油管の一側に壓油が入り、其のピストンを動かして、導水辨を閉ち送水量を減ずる。速度が低下すると、遠心錘が下り、ピストンを反対方向に動かして送水量を増す。

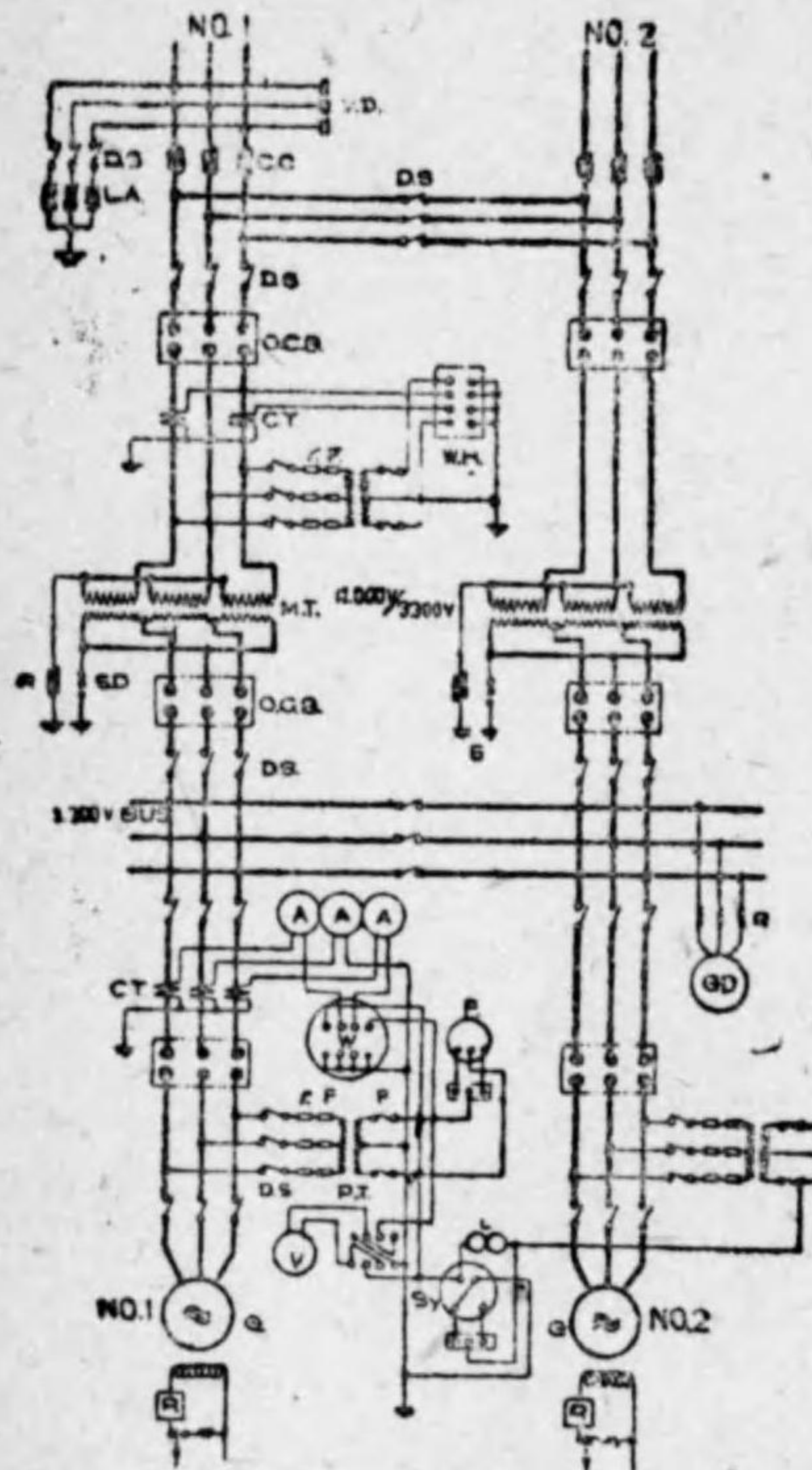
(6) 無拘束速度

調速機を取除き、無負荷状態で水口を全開した儘放置した時に達する水車の最大速度を無拘束速度と云ひ、水車及び發電機は之に耐へなければならない。

(註) 無拘束速度の定格速度に對する値は、大体次の如くである。

ベルトン水車約 175% フランシス水車約 180% プロペラ水車約 200%

但し、落差が定格値より増すと、無拘束速度も上昇する。



- 【記号】 G……三相交流同期発電機
 R……同界磁抵抗器 Sy 及 L……同期検定器
 (放電抵抗付)
 V……電圧計及同檢 PT……電位変成器
 D.S……断路器 r……電流制限抵抗
 F……可熔片 F……周波計
 W……電力計 A……電流計
 CT……變流器 GD……檢漏器
 OCB……油入遮断器 S.D……靜電放電器
 R……抵抗 M.T……主變壓器
 W.H……積算電力計 C.C……塞流線輪
 L.A……避雷器 V.D……檢電器

【問題】 水力発電所に於て、落差 100—150 m なる場合、ベルトン水車を用ふるか、フランシス水車を用ふるかの選定上の注意事項を記せ。

【問題】 水車の特有速度及び無拘束速度に就き略述せよ。

【問題】 调速機を説明せよ。

4.6 電気設備

(1) 発電所電線接続図と電気設備

左圖に示したのは 3300 V 三相交流同期発電機 2 台を有し之れを、11,000V の送電線 2 回線を以て送電する小規模な発電所の一例である。大容量となつても大同小異であるから、本圖に就て一通りの説明をする。但し、本接続圖では機器の保護及油入遮断器の操作回路は省略した。

発電機は 3300V であつて、此の電壓を主變壓器 (MT) に依つて、11,000V として送電線に結んで居る。此の 2 つの発電機が並行運轉を行ひ得るやうに同期檢定器 (sy) を設け、各機の電壓、電流、電力及び周波數を知る爲めに V、A、W 及 F を設けて居る。此の発電機母線には檢漏器を設け発電機及所内配線に於ける地絡事故を察知する

原則としては、No1 の送電線は No1 の發電機で送り、No2 の送電線は No2 の發電機で送つて、夫々獨立とする。之れを單位方式と稱する。此の方が一方の故障が他に波及しない利便がある。然し、No2 の G が故障の時は No1 の G で送り得るやう、或は No1 の負荷が大きく No2 が小さい時は兩 G を並行運轉して、負荷分擔を平均させる爲めに、兩者が並行運轉出来るやうに用意して置かねばならない。之れが母線施設の理由である。

發電機が何台にもなると發電機母線は二重母線とせられることも多い。

變壓器は一般に Y-Δ に結線され、送電側 Y の中性点は抵抗又はリアクトルで接地される。尙、高壓側には、保安の爲めに、特高電壓で放電する靜電放電器 (避雷器) を設ける送電側には送電電力量を積算する積算電力計 (WH) が設けられてゐる。送電線の引出口に塞流線輪と避雷器を置くことは今更らに説明する迄もあるまい。

尙、補助電源は、3300 V 母線より、變壓器を通じて得、水銀整流器に依つて所内蓄電池を充電して、油入遮断器の操作用、非常時の点燈用に供する。

保護装置としては、上巻 93 頁で説明した差動繼電方式に依つて、發電機 (發電機は Y としてその中性点は抵抗接地をする) 及變壓器を設け、又、夫々に過電流繼電器を挿入する。或は夫々に對して特殊な保護装置を用ふることもある。

(註) 水力発電所の發電機電壓としては小容量 3300V 中容量 6600V、大容量 11000V とされ、周波數は關東地方 50 サイクル 關西地方 60 サイクルである (將來は 50 サイクルに統一される) 結線法は總て星形結線であるが、其の理由は第三調波電流の循環しないこと中性点を接地し得る爲めである。冷却方式としては、開放型、半開放型、閉鎖通風型、全閉空氣循環型、同水素ガス循環型の 5 種がある。前二者は小容量機に他は大容量機に用ひられる。尙、回轉數は水車と併せて考へねばならない。勵磁機としては勵磁機の母線から各發電機を勵磁する中央勵磁式と、發電機 1 台毎に専用の勵磁機を設ける個別勵磁式があり、加動方式としては、電動機加動式と水車加動式並兩者を組合せた二重加動式がある。

變壓器としては三相 3 台か三相變壓器を用ふる (上巻 94 頁參照)、結線法としては低電壓小容量は Δ-Δ とするが一般に Δ-Y である。冷却方式としては自冷式も多いが、資材節約の点から云ふと、水冷式、送油水冷式がよい。

4.7 水力発電所の試験と運転

(1) 落成試験 水力発電所が落成した場合、次の試験を行ふ。

① 通水試験; 水路を幾つかに区分して、上流から順次各区分に水を満し、各区分毎に1日位、放置して漏水の有無を検する。

② 有効落差の測定; 総落差を測量する一方、計算に依り損失落差を求めて総落差から差引いて有効落差とする。

③ 流量の測定; 前項と本項より発電所の能率が測定せられる。(流量の測定は8頁を参照)

④ 発電機の特性試験; 発電機の試験としては、損失の測定、飽和特性、短絡試験等であるが、何れも製作工場で行はれてゐる。飽和特性と短絡試験は簡単であるから現場でも行はれる。

⑤ 絶縁抵抗試験; 据付が終つた際及温度試験の直後、500V以上のメガに依つて、発電機及変圧器各部の絶縁抵抗を夫々測定する。其の目的は絶縁状態の良否を知るにあつて、絶縁耐力試験の目安となる。尙、発電開始後も屢々測定して、機器の絶縁劣化の状態に注意する。

(註) 所要絶縁抵抗 = $\frac{\text{定格電圧(kV)}}{1,090 + \text{定格出力(kVA)}}$ 以上

⑥ 絶縁耐力試験; 工規に定められた試験電圧及時間で行ふ。

⑦ 温度試験(負荷試験); 発電機、変圧器に実負荷又は水抵抗負荷をかけ全負荷状態として、各部の温度上昇が一定値に達したとき、夫々が制限値以下であるか否かを確かめる。

その他、调速機の動作を知る試験、発電所の出力が設計通りになるか否かを調べる試験、或は能率試験、相回転試験も必ず行はねばならない。

(2) 運転と保守

水力発電所が全然停止された状態から運転に入るには、次の順序に従ふ。

① 取水口堰堤の水門を閉ち、取水口の水位を上昇させる。

【問題】 水力発電所に於ける電気設備を説明せよ。

② 取水口の土砂吐水門を開いて排砂を行ひ、取水口水門を開き、土砂吐水門を閉ちる。

③ 導水路に通水し、水槽に水を導く、排砂を行ひ、水槽が規定水量となるのを待つ(以上の間、発電所内では各部の絶縁をメガで測定し、軸受の注油状態其の他を検する)……普通、停止時でも、水圧管は満水されてゐるから、以上の操作は省かれる。

④ 水圧管入口の水門を開き、勵磁機用の水車を先づ運転し、繼電器の引外し回路を充電する。

⑤ 主要弁を開き、水車を緩徐に起動し、軸受、调速機を点検して、逐次に回転数を上げ、调速機を自動装置に移す。

⑥ 最初、発電機を低勵磁とし、追々勵磁電流を増し、規定電圧として並行運転を行ひ、負荷をかける。

運転後に於ては、水車、発電機、變圧器、開閉器類は元より、避雷器、保護繼電器の各部を定期的に点検手入し、摩擦損、塵埃の附着、自然劣化による機能の低下を防止しなければならぬ。

特に水車にあつては、ガイドベーンの点検、ランナー間隙の検査、调速機の機能検査、各部軸受冷却装置の点検手入及、排水ポンプの点検を入念に行ふ。

発電機は刷子の摺合せ、スプリングの調整、軸受油の濾過、取替を屢々行ひ、内部の大掃除も半年目位に行ふがよい。

(3) 特殊水力発電所 ① 低落差発電所; 最近、低落差地点が有利に開發せられるやうになつた。低落差に對して、プロペラ水車は回転数が高く、発電機が小型廉價となり、能率もよいので一般に之が用ひられる。特に洪水時の出力減退を防止する爲めに可動翼のものが採用される。

② 自動発電所; 自動発電所には、起動、停止、出力調整及勵磁の制御等の總てが全く自動的に行はれる全自動式と、上記を何れかの親発電所から制御し、他は自動発電所で行はせる半自動式、及全部を親発電所から遠方制御する遠方制御式がある。全自動式は余り重要でない小容量発電所に、半自動式は相當に重要

なものに、遠方制御は大容量のものに適用される。

③ 揚水発電所、 豊水時及び深夜時の餘剰電力を利用して、これを高所の池に貯水して置き、その水を渴水時に放流して、補給用電力とする方式である。揚水発電所には、水車、発電機と、ポンプ、電動機を別箇にしたもの、発電機と電動機を共用したもの等がある。

(註) 揚水発電所としての適宜な條件は (i) 貯水池築造費の安いこと、(ii) 揚程に比し利用落差の大きいこと、(iii) 負荷の中心に近いこと、等である。又、揚水発電の再生電力は揚水電力の 50—65% 位である。

4.8 火力発電

(1) 火力発電所の運轉特性 (水力発電所と比較して)

火力発電所とは前述したやうに石炭を燃焼して水を蒸發し、蒸汽のエネルギーを電氣エネルギーに轉換する處である。斯くエネルギーの形が何段にも變化して最後に電氣エネルギーとなるのであるから、能率の良さそうはなすがない。又、急に電氣が欲しいからと云つて、すぐに發電出来るものでない、何故なら先づ汽罐を焚き蒸汽を發生させて、蒸汽タービンを回轉さすのであるが、此の蒸汽タービンはすぐに蒸汽を送つて回轉する事が出来ない、何故なら随分と繊細に出来て居るから回轉部と固定部の空隙も極小で、急に蒸汽を送ると各部の膨脹が一樣に行かない従つて破壊せられる事すら考へられるのであつて、先づ徐々に蒸汽を通して各部を暖め、膨脹が一樣に進んでから回轉し始める (之を暖機と云ふ) だから火力発電所で汽罐が冷却して居る状態から運轉し出すと、少くとも發電迄に 2 時間を要するのである。之が水力発電所であると水壓管は常に満水してゐるから、主要弁を開くと譯なく發電し出す。然し停止の早さと云ふ事になると、火力の方が早く回轉が止められる。水力では水の質量が大きいから、早く弁を閉めると水槌作用で弁や水壓管が破壊される。従つて水車は徐々に止めねばならない。然るに火力

【問題】 水力発電所の落成試験並、運轉保守を説明せよ。

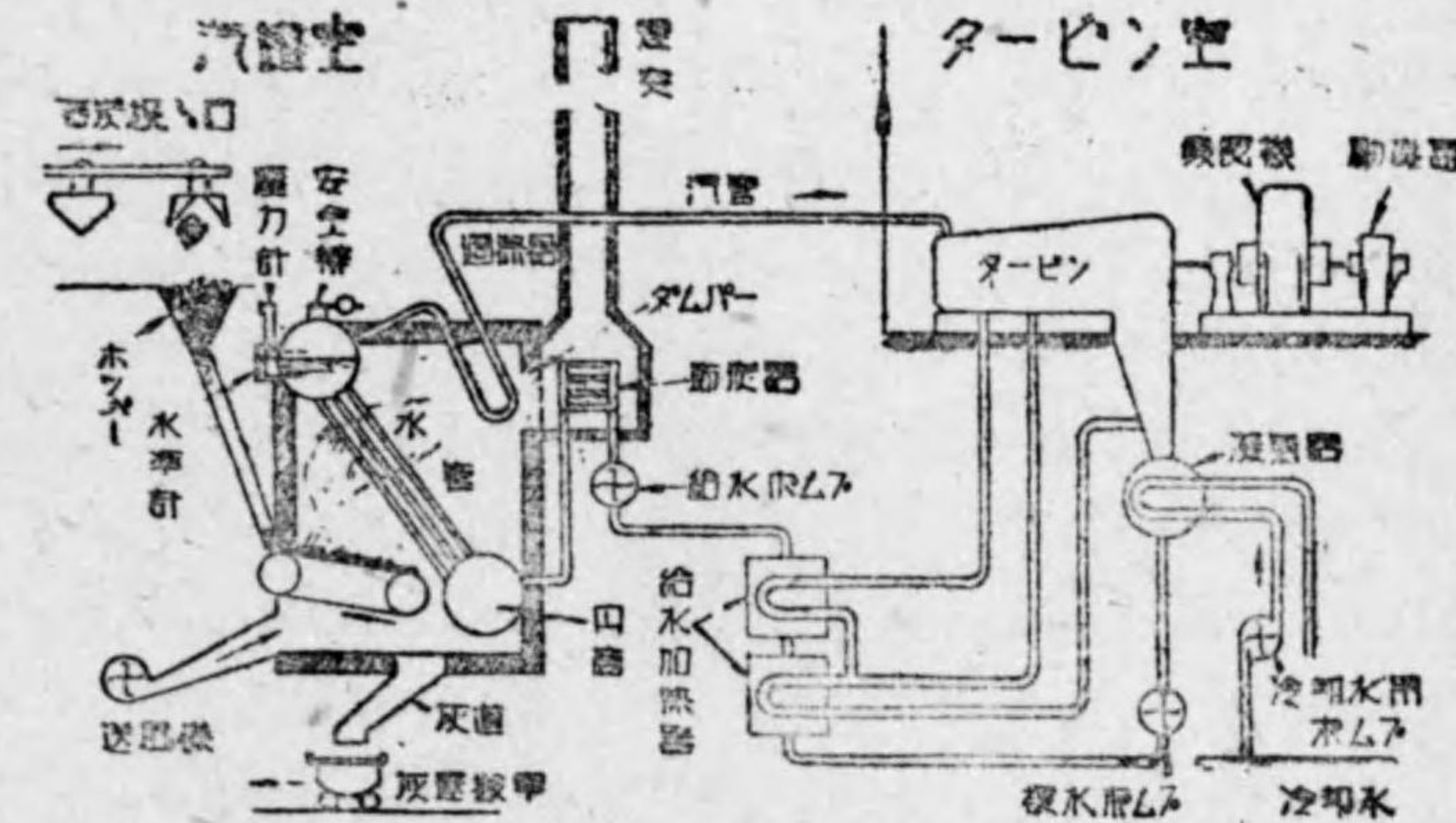
【問題】 下図に就て述べよ。

- (イ) 低落差発電所 (ロ) 自動発電所 (ハ) 揚水発電所

発電所の蒸汽は質量が小さいから早く遮断せられる。故に非常調速機として蒸汽タービンの軸の中にピンのやうなものを装置して、回轉数が昇進すると遠心力で之が飛び出して蒸汽を遮断するやうな装置も考へられる。故に発電機としては水力の方が無拘束速度 (水力火力共に弁を全開し、発電機を無負荷とした時の速度) が小さいが、過速度安全率は大きく取る。

(2) 火力発電所一般

其の大体の狀況を示すと下圖の如くなるのである。鐵道貨車或は船便で運搬せ



られて來た石炭は一先づ貯炭場に置かれ、此の貯炭場から、ベルトコンベア等で汽罐室内、或は屋上のコールパンカに行く。ベルトコンベアを分り易く云ふと、ベルトで機械の兩滑車を聯絡運轉するやうなもので、此のベルトの上に石炭を積んでゐると思へば良い。斯くて小貯炭場であるパンカに迄來た石炭は各汽管のホツバに分配せられる。圖はバケツト式のコンベアで石炭がホツバに投げ入れられてゐる状態を示してゐる。或は屋上のパンカから樋で分配せられるものもある。石炭を燃焼する火床の方式は鎖床ストーカとして火床が圖のやうに回轉して、石炭を順次燃焼して行くものが最も廣く採用されて居る。或は又石炭を下方より繰り出す下込ストーカも用ひられる。扱、石炭を燃焼するには空氣が必要であつて石炭の燃焼を盛んにして多くの蒸汽を發生さす爲めには空氣をより多く送つてや

らねばならない。之が圖に示す送風機であつて、電動機運轉の扇風機が多い。此の外部より空気を押し込むのだけでは不充分であるから、煙道の方に空気を吸ひ出す扇風機を置いたものもある。前者を押し込通風と云ひ、後者を誘導通風と云ふ。煙を出すのが云ふ迄もなく煙突であつて、通風力を加減するにはダンパとて汽罐から煙突への通路を閉す扉がある。此のダンパの開きを加減して通風を、従つて石炭の燃焼量を加減し蒸汽の發生量を調整して、發電機の負荷に應ずる。此の通風力を測定するのに通風計がある。之れは、U字形のガラス管に水銀を入れ一方の口を煙道内に、他の口を外氣に露出すると、兩者の氣壓差に依つて兩側の水銀の高さに差異を生ずる。之れを耗にて表したのが通風力何耗と云れるものである。ストーカの石炭の厚みと其の速度、即ち燃焼すべき石炭の量に應じて通風量を適當値にせねばならない。之れが小であると不完全燃焼となり、大に失すると徒らに空気が熱を奪ひ去るから不經濟である。此の空氣量が適當であるかどうかを検査するものが炭酸ガス記録計であつて、排氣中の炭酸ガス(CO₂)が多いと云ふ事は通風が足りないのであるから通風力を増してやる。燃焼された石炭灰は灰道から下に即ち水槽等に入つて、相當冷却してから灰運搬車で運び去られる。

發電所用の汽罐はほとんどが水管式であつて、前圖はガルベ式汽罐を示す。即ち上下に2つの圓筒があつて、下の圓筒は満水し、此の水は水管内を通つて加熱され、上の圓筒で蒸發する。上の圓筒には水準計、壓力計、安全弁が附されてゐる。水準計は上の圓筒の下の水の部分と上の蒸汽の部分とを連絡したガラス管であつて、圓筒内の水面が現れるやうになつてゐる。水面が下れば給水を増す。水面が上れば給水を減じ通風力を大とする。壓力計は蒸汽室に結れ、蒸汽の壓力で指針を動かして、發生蒸汽の壓力を知る。安全弁は杆槓に掛けた重錘或は發條の力で弁を押さへて居るのであつて、蒸汽壓力が一定値以上に増加すると、此の力に抗して蒸汽を噴出させ、汽罐の破裂を防ぐ。

【問題】 水車に非常調速機を設けない理由を説明せよ。

【問題】 水力発電所と火力発電所は何れが起動に時間を要するや、其の理由を述べよ。

【問題】 火力発電所用の汽罐の附屬設備を列挙し、其の機能を略述せよ。

汽罐を出た蒸汽は更らに過熱器で過熱されて、過熱蒸汽となる。汽罐で蒸發された蒸汽は飽和蒸汽と云ふのであつて、之を更らに水分のない處で熱するのが此の過熱器である。過熱蒸汽にすると水分を含まず、非常によく乾燥するから汽罐やタービン内で凝結水を作らず、管を腐蝕さす事も少くなり熱能率が增大する。

過熱器を出た蒸汽は愈々タービンへと汽管を通つて行く。汽管は水壓管と同様に主として軟鋼管が用ひられ、逆流を阻止する辨、管内の凝結水を排除する凝結水排除管、或は管に伸縮のゆとりを與ふる彎曲形の伸縮管等が附される。又、各汽管よりの蒸汽が1つ或は2つの蒸汽母管に集められて後、各タービンに分配される事もある。

蒸汽タービンには水車と同様にペルトン水車に相當する衝動タービン、フランス水車に相當する反動タービンがある。タービン内で蒸汽は段々と壓力が低下し膨脹する。又は凝汽を含むに至るので、低壓の方になる程タービンが大きくなり構造が困難となつて、能率は左程良くない。故に、タービンの段落途中から蒸汽を抽出して給水加熱に或は蒸發器、空氣分離器に用ふる。タービンを出た蒸汽は復水器に入る。此の復水器と云ふのはフランス水車に於ける吸出管と同様な作用をするものである。即ち、タービン内の蒸汽を吸ひ出して蒸汽の爲す仕事を増す。換言すると1kWhに對する蒸汽消費量を小とする装置である。此の復水器は、上述のやうに、タービンの排汽は此の中に入つて、冷却水で冷却せられ高度の真空を作り、タービンの蒸汽を吸ひ出す作用をする。此處で凝結水とせられた排汽は復水ポンプで吸出されて、給水加熱器に行く。冷却水を循環さす循環ポンプもあり、復水器の空氣ガスを排出する空氣ポンプの設備もある。

タービンの段落途中から引出した蒸汽(之れを抽汽と云ふ)で、此の凝結水を加熱し、給水ポンプに送られて節炭器に入る。一方加熱した抽汽は復水器に排汽と共に入るのである。給水ポンプは或は又節炭器を出た處に置かれることもある。給水ポンプは重要な使命を有するのであるから、電動運轉及蒸汽運轉と二重にされる。節炭器と云ふのは、煙道内に鑄鐵或は鑄鋼管を並べたもので、之れに給水を通して豫熱する。即ち、煙道から無益に放出せられる排汽の熱を回収するもの

で、石炭の消費量を節約すると云ふ意味から節炭器と名付けられた。

以上は火力発電所の一般を説明したものであるが、新式のものになると尙此の外に種々の装置がある。例へば火爐に與へる空気を豫熱すると燃焼成績が上るので、排汽或は蒸汽を以て、此の空気を豫熱する空気豫熱器、先にも、ちよつと云つた蒸發器(凝結水だけでは給水に不足するから、新らしく補給水を取る。此の補給水を抽出蒸汽で蒸發させて不純物を除くもの)或は補給水中に含まれる不純ガスを排出する空気分離器等がある。斯様なタービンの段落途中で蒸汽を抽出する方式を再生サイクルと云ふ。之れに對して再熱サイクルがある、之れはタービンの段落途中から蒸汽を抽出し、之れを再加熱してタービンの次の段に送る方式である。但し、再生サイクルは廣く用ひられて居るが、再熱サイクルは一二例しかない。或は又、灰を運搬するのに水で流し去る水洗式のものもある。

次に微粉炭方式であるが、之れは石炭を微粉状として燃焼さすもので、石炭の品質が如何なるものでもよく、燃焼制御が自由であつて、相當の過負荷にも耐へ埋火損が少ないので、今日では新設発電所の過半が此の方式に依つて居る。

次に發電機であるが、之れは水力発電所の場合と同様で、唯、回轉數が多いと云ふ事と種々特性が異つてゐる位で根本的の相違はない。特性が異ると云ふのは一方は長い送電線に結ばれるし、一方は短い送電網に結ばれ、兩者の使用状況が異なるからである。

(註) 発電所の電気設備は水力の場合と略々同様であるから、本章では特に説明しない。

4.9 燃料及燃焼

(1) 発電所用燃料

発電所の燃料は普通石炭であるが、次のものゝ用ひられることがある。

- | | | |
|-----------|-----------|------------|
| (i) 重油 | (ii) タール油 | (iii) 石炭ガス |
| (iv) 天然ガス | (v) 發生爐ガス | (vi) 骸炭爐ガス |

【問題】 火力発電所に於ける、蒸汽罐と水管の配置を示し、何れの管に蒸汽又は水が通るかを説明せよ。

【問題】 タービン附屬装置を列挙して、夫々を略述せよ。

(2) 石炭の種類

石炭の種類を大別すると、次の様になる。

- (i) 無煙炭: 最も良質の石炭で殆んど炭素より成立つてゐる。
 - (ii) 瀝青炭: (發熱量 6000~7000kcal/kg) 多量の揮發分を含みよく燃へるが、煙が甚だ多い。
 - (iii) 褐炭: (同上 3900~2000) 石炭と泥炭との中間で、水分が多く、外氣に曝すと風化し易い。
 - (iv) 泥炭: (同上 2000) 種々の植物が水底に溜つて炭化したものである。
- (註) その外に、半無煙炭、半瀝青炭、等もある。發電用の石炭は普通瀝青炭であるが、最近では褐炭も多く用ひられてゐる。

(3) 燃焼方式

① 鎖床ストーカ: 小さく區切つた火床を鎖で接ぎ合せて輪を作る。この鎖を緩かに廻して、火床の上の石炭を爐内で燃焼させる。

② 下込ストーカ: 傾斜した火床上にて石炭を燃焼させ、この燃焼層の下側より回轉螺旋等によつて石炭を燃焼層に押出す方法である。

③ 微粉炭燃焼: 石炭を粉砕して微粉炭とし、之を熱風と共に火爐内に噴射して燃焼さす方式である。

(註) その他に移床ストーカ(鎖床ストーカと同様)、上込ストーカ、散布式等がある。

鎖床ストーカは粘結性のない石炭なら、廣範圍に用ひられるが、負荷の變動が激しい場合には適さない。下込ストーカは、燃焼率が大きく、負荷の激變に耐へる。

(4) 微粉炭燃焼方式の得失

特 長	缺 点
① 微粉炭と空氣の接觸がよく、燃焼が良い。	① 微粉炭の製造設備を要し、その寿命が短い。
② 劣質炭でも完全な燃焼が行はれる。(石炭の使用範圍が廣い)	② 灰が煙突より多量に飛散する。
③ 燃料や空氣量の制御が容易である。	③ 塵埃が多い。
④ 過剩空氣量が僅かである。	④ 微粉炭の製造に電力を要する。

- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| ⑤ 灰中に可燃性が殆ど残らない。
(汽罐能率がよい) | ⑤ 火災爆発の危険がある。 |
| ⑥ 点火や滅火に時間を要しない。 | ⑥ 微粉炭の貯蔵に困難である。 |
| ⑦ 蒸気発生迄の時間が短い。 | ⑦ 火爐が傷き易い。 |
| ⑧ 埋火損失が少い。 | |
| ⑨ 負荷の變化に容易に應じられる。 | |

(5) 燃焼率

石炭を燃焼する所を火床と云ひ、その面積を火床面積と云ふ。燃焼率は火床面積 1 平方米當りに付毎時燃焼する石炭量噸數で表す。その値は次の如くである。

鎖床及び移動ストーカ 220~250kg/m²/h (最大 300kg/m²/h 位)

下込ストーカ 170~300kg/m²/h (最大 450kg/m²/h 位)

(註) 燃焼率は給炭速度、空氣量等によつて著しく變る。

(6) 燃焼器

燃焼器とは微粉炭を火爐に噴射し、燃焼させる噴射器であつて、旋回式と交叉式がある。旋回式は旋車型の翼を回轉して、微粉炭と燃焼空氣を混合させる方式である。交叉式は微粉炭と空氣を交互に設けた孔より噴射して、混合する方式である。

(註) この微粉炭に混合して燃焼を行ふ空氣を二次空氣と云ふ。

(7) 機械通風

通風には煙突のみによる自然通風と、扇風機を用ふる機械通風がある。煙突による通風力は 6~15mm 位で、通風力が不足し、完全な燃焼を行ふことが出来ない。従つて、普通、次の機械通風を併用する。

① 押込通風: 火床の下側より、壓力のある空氣を火爐内に押込む方法である。

【問題】 汽力発電所に於て、微粉炭燃焼方式の得失を述べよ。

【問題】 微粉炭燃焼火力発電所が失頭負荷用発電所に適する理由を説明せよ。

【問題】 不良炭の使用が豫想せられる火力発電所の設計上の注意を記せ。

② 誘導通風: 煙道内に扇風機を置き、空氣を吸込んで煙突に吐き出す方法で、丁度、煙突を高くしたのと同様である。

③ 併用通風: 押込通風と誘導通風を併用したものである。この方式で火床の壓力を殆んど大氣壓に等しくしたものを平衡通風と云ふ。

(註) 押込通風の場合、火爐内の壓力は外氣より高いが、誘導通風の場合は低い。

(8) 分函強制通風

火床下側の通風路を幾つかに區分し、各分函に扉を設けて之を調整し、火床上の各部分の通風を任意に加減する様にしたものである。

(註) 移床及び下込ストーカに機械通風を行つた場合、炭層により空氣量を多く要する火床の前方に空氣量が少く、火床の後方に却つて増すから、分函通風を用ひて、各部の空氣量を調整する。

(9) 集塵裝置

微粉炭燃焼裝置に於ては、全灰分の 50% 位が微細な灰となつて煙突より飛散して、附近の民家に被害を及ぼすので、之を収集する爲に集塵裝置を用ふる。

(註) 集塵裝置には次の種類がある。① 水洗式: 煙道内に濡れた回轉体を廻す。② 遠心力式: 煙道ガスを渦狀の通路に導き、遠心力を利用して集塵する。③ 電氣式: 煙道内に直流高壓を加へた多數の電極を置いて、之れに附着させる。

4.10 汽罐設備

(1) 水冷爐壁

最近、燃焼率を高める爲に空氣豫熱器が採用され、又、微粉炭燃焼が用ひられる様になつて、爐内の溫度は急に高くなつた。従つて爐壁の損傷が多くなつたので、之を防ぐ爲に爐壁に水管を配置し、之れに罐水の一部を通し、爐壁の溫度を下げると共に、爐内の溫度を吸収して汽罐能率を著しく向上させた。之を水冷爐壁と云ふ。

(註) 水冷爐壁の汽罐に對する加熱面積の比は約 10~20% 位である。

(2) 過熱器

タービンに汽罐で發生した儘の飽和蒸氣を用ふると、熱能率がよくないから、この蒸氣を更に加熱して、過熱蒸氣として用ふる。過熱器は此の過熱蒸氣を作る

もので、U字形の多数の鋼管よりなり、之を汽罐の水管群の中間、或は火爐壁に取付けて、内部を通る蒸気を過熱する。

(註) 過熱器をガス中に置くと、対流熱を吸収するから、対流型となり、爐壁に設けると輻射熱を吸収するから輻射型になる。前者は負荷が増すと温度が上昇するが、後者は反対に負荷の増加と共に温度が下る。

(3) 節炭器

節炭器は煙道ガスの餘熱によつて汽罐給水を加熱するもので、その目的は、① 燃料の節約を計る。② 汽罐に冷水を注入する悪影響を防ぐ。③ 給水を温めて不純物を沈澱させる、等である。節炭器は過熱器と同様な構造で、鋼管の中に給水を通し、その外部に煙道ガスを通して給水を加熱する。

(註) 節炭器入口の給水温度が、煙道ガスの露点(約 70°C)以下であると、管壁に露を生じ、ガス中の亞硫酸ガスによつて硫酸を生じて、腐蝕を起すから、入口の給水温度は之れ以上に保つ。

(4) 空気豫熱器

節炭器と同様に煙道ガスの餘熱によつて空気を加熱し、この空気を燃焼用に利用するものである。空気豫熱器の得失は

特 長	缺 点
① 燃焼能率を高め熱発生量を増す。	① 大きい場所を要する。
② 燃料を 5—10% 位節約出来る。	② 通風、損失を生ずる。
③ 汽罐の熱吸収を増す。	③ 腐蝕等の故障を生じ易い。
④ 同一の熱回収のとき、汽罐、節炭器より價格が安い。	④ 爐内の温度が上昇するため、火爐の設備費を増す。

(註) 豫熱後の空気温度は、ストーカの場合 200°C、微粉炭の場合 200—300°C 位である。

【問題】 下記を簡単に説明せよ。

(イ) 集塵装置 (ロ) 燃焼率 (ハ) 平衡通風

【問題】 機械通風の自然通風に比し優れる点を記せ。

【問題】 下記のものゝ用途を述べよ。

(イ) 節炭器 (ロ) 空気豫熱器 (ハ) 過熱器

【問題】 最近の汽罐には一般に水冷爐壁が設けられる。其の理由を説明せよ。

(5) 安全弁

汽罐内の氣壓が規定値以上に上昇すると、汽罐を破裂させる虞があるから、汽罐には必ず安全弁を設ける。安全弁には、ばね式、重錘式等があり、何れも蒸氣壓が一定値を越へると、自動的に弁を開いて蒸気を外部に噴出させる。

(6) 水準器

汽罐内の水面が高過ぎると、沸騰を生じて蒸氣中に水滴を含み、タービンの羽根を損傷する。又、低過ぎると汽罐を加熱する虞があるから、汽罐の水面は常に一定の高さに保たねばならない。水準計は水面の位置にガラス管を設け、その両端を汽罐内に連絡して、常に水面の高さが見られる様にしたものである。

(7) 汽罐給水

軟水及び硬水: 普通の給水中には大抵、不純物を含んでゐる。是等の不純物として、マグネシウム塩類及びカルシウム塩類等を多量に含んだ水を硬水と云ひこの塩類の比較的少ない水を軟水と云ふ。硬水にも2種があつて、重炭酸塩を含んだ水は煮沸すると、沈澱分離して軟水になるから、之を一時硬水と云ひ、又、煮沸しても軟水にならない水を永久硬水と云ふ。

(註) 給水中に不純物を含んでゐると、汽罐に礫石となつて附着し、又、蒸氣と共にタービンに彈かれて種々の災害を生ずる。

(8) 蒸發器

汽罐給水の不純物を除く目的で、給水を蒸發する場合に用ふるものである。熱源としてタービンの抽汽、給水ポンプ用タービンの排汽等を用ひ、之を給水中の水管に通じて蒸發させる。この蒸氣は給水加熱器に送られる。

(註) 給水の加熱によつて發生した蒸氣を更に第2の蒸發器に導いて熱源にする……この様に蒸發器を2箇以上用ふるものを多段蒸發器と云ふ。

(9) 空気分離器

給水中に含まれる酸素を除くもので、給水を加熱し之を壓力の低い密閉室に噴射すると、瞬時沸騰をして水中の酸素が分離する。之を真空ポンプで吸出する。

(註) その他温水を鐵粉層に通じて鐵を酸化させ、酸素を除く方法もある。給水中に酸素を含むと、汽罐を腐蝕させる。

4.11 蒸気タービン

(1) タービンの分類

蒸気の作用上より分類すると、

① 衝動タービン; 噴口にて蒸気の圧力を下げ、之を速度に變へて高速度の蒸気にする。この蒸気を動き羽根に當て、回轉さす。

② 反動タービン; 蒸気が動き羽根を通る間に圧力が降下して、速度を増す。この蒸気が羽根を飛び出す時、その反動で回轉さす。

次に蒸気の流れる方向によつて分類すると、

① 軸流タービン; 蒸気がタービンの軸の方向に流れるもので、單流と複流がある。

(註) 復流は普通低壓部の蒸気通路が數組になつてゐる。

② 輻流タービン; 汽筒の中心より蒸気が入り、軸と直角方向に放射状に流れるもので、ユングストロームタービン等が之れに屬する。

(2) 反動タービンと衝動タービン

反動タービンの優れた点	反動タービンの劣る点
① 蒸気を徐々に作用させるので、摩擦損失や渦流損失が少い。	① 段數が多いため、長さが長い。
② 蒸気速度が低く、羽根の壽命が長い	② 汽筒の温度差により障害を起し易い。
③ 能率が高い。	③ 高壓、高温蒸気を直接動き羽根に加へるので、障害が多い。
	④ 高壓部では蒸気の漏洩が多い。

(3) 特殊タービン

① 抽汽タービン; タービンの段落途中から蒸気を引出して、この蒸気によ

【問題】 安全弁が働いた時、如何に處置すべきや。

【問題】 水準器の指示を見て、給水を如何に加減するや。

【問題】 汽罐給水として復水を再使用する理由を述べよ。

【問題】 抽氣を蒸發器及空氣分離器の熱源とする方式が廣く採用せられつゝある理由を述べよ。

つて給水を加熱する。斯様に抽汽されるやうになつたタービンを云ふ。

(註) この方法の特長は ① 排汽が減少し、復水器の容量が小さくなる。② 排汽を冷却する時失はれる損失が減ずる。③ 低壓部の濕り蒸気を抽出すると、翼長が小さくてよく又、腐蝕も減ずる。

② 再熱タービン; タービンの中途より蒸気を全部引出して、之を再熱汽罐又は高温蒸気によつて加熱し、再びタービンに加へる方法である。

(註) この方法の特長は ① 排汽の濕りが少いので、タービン低壓部の腐蝕が少い。② タービンの熱能率がよい、等である。

③ 背壓タービン; タービンに復水器を用ひず、タービンを出た蒸気を他の用途に使用するものである。このタービンは、電力と多量の蒸気を使用する。人絹、製紙等の工場に用ひられる。

(4) 蒸気タービンの暖機

休止中のタービンに急に蒸気を通すと、タービン各部の温度の上昇が不均等になり、温度の高い部分が餘計に膨脹して、機械に大きい内力が加はる。之を防ぐ爲めに、最初、蒸気を徐々に通して、各部の温度が一様に上昇する様にする。之を暖機と云ふ。

(5) 蒸気タービン用バツキン

タービンの軸が外函を貫通する部分には、蒸気の漏洩を防ぎ、且つタービンを氣密に保つ爲にバツキンを用ふる。



① ラビリンス、バツキン; 車軸と外函に突起を設けて、圖の如く小さい空隙を作つたもので、蒸気はこの空隙で絞られ壓力が降下する。同時に凝結して間隙に水膜が出来、蒸気の漏出が減ずる。之を數段繰返すと完全に氣密が保たれる。

② 水封バツキン; 固定部に溝を作り、この中に車軸に取付けた動き羽根を設けたもので、羽根が回轉してゐるとき、この中に水を入れると、水の遠心力によつて水帯が出来て眞空が保たれる。

(註) ① は摩擦がなく廣く用ひられる。② は主に低壓部用である。

(6) ダンミーピストン

反动タービンは動き羽根で圧力が降下する爲め、回轉部は低壓側に押される。この軸方向の圧力に平衡する爲めに、タービンの高壓側にピストンを設け、之れに圧力のある蒸気を滿して、反対方向の圧力を發生させる。このピストンをダンミーピストンと云ふ。

(註) ピストンの周邊にはラビリンス・パッキンを設けて、蒸気の漏洩を防ぐ。

(7) タービングランド

蒸気タービンの軸が汽筒を貫いてゐる箇所をタービングランドと云ふ。

(註) タービングランドの高壓側は蒸気が外部に漏洩し、真空側は空氣が侵入して真空を害するから、之れを防ぐ爲にパッキンを設ける。

(8) 非常调速機

调速機が故障によつて働かない場合、或は負荷の遮断等の場合には、タービンの速度が上昇して、タービンを破壊する虞があるから、非常调速機を設けて、速度が常規速度の9~11% 上昇したとき、自動的に蒸気を断つて停止する様にしてある。

(註) 非常调速機は、タービンの回轉軸の一端に、偏心錘を取付けたもので、速度が上昇すると、錘は遠心力によりばねに打撃つて飛び出し、繼電器を働かせる。

4.12 復水設備

(1) 復水器の種類

復水器はタービンの排汽を冷却して凝縮し、高真空を作るもので、之によつて蒸気を極度に膨脹利用することが出来るので、タービンの熱能率が向上する。

① 表面復水器; 多數の冷却水管に冷却水を通し、管外の蒸気を冷却凝縮す

【問題】 過熱蒸気の意義を略述せよ。

【問題】 下記につき知れる所を記せ。

(イ) 再熱タービン (ロ) 抽汽タービン (ハ) 輻流タービン

【問題】 タービンの煖機を説明し、その方法を記せよ。

【問題】 下記の意義を問ふ。

(イ) ラビリンスパッキン (ロ) タービングランド (ハ) 非常调速機

るもので、蒸気と冷却水は全然絶縁してゐる。

(註) この方法は冷却水が海水等でもよく、最も廣く用ひられてゐる。

② 噴射復水器; 多數の噴射口より冷却水を噴射して、水と蒸気を直接接觸させて凝縮する方法である。

(註) この方法は冷却水量が少なくてよいが、復水器の復水が汽罐給水に再使用出来ない。汽罐給水として良水のある場合等に用ひられる。

③ 放射復水器; 多數の漏斗を重ねた様な構造の放射器に水を放射し、蒸気を放射水に吸込ませて共に放流する方法である。

(註) 抽汽ポンプを要せず、構造簡單であるが、真空度が低い。

(2) 冷却塔

冷却水を冷却する爲に用ふるもので、鐵板又は木製の塔の上に温水を上げ、頂部より雨滴にして散布する。一方塔の下部より送風して、温水が空氣に觸れて冷却する様にしたものである。

(註) 冷却水の冷却には、この外に、冷却池を設ける方法、冷却池に温水を噴水する方法等がある。

(3) 復水器用ポンプ

① 循環ポンプ; 表面復水器に於て、排汽を冷却する冷却水を循環させるポンプである。

(註) このポンプの所要電力は、他のポンプに比し最も大きく、全復水器電力の80~90% タービン出力の2~3% 位に達する。

② 復水ポンプ; 復水器の凝結水を復水器より真空に抗して取出し、之れを汽罐給水ポンプの吸込口に送るポンプである。このポンプには①と同様渦巻ポンプが用ひられる。

(註) このポンプは温水を真空中より引出すのであるから、吸込側が水面より高いと吸込が出来ない。従つて吸込側を水面より低くする。

③ 空氣ポンプ; タービンの排汽には多少空氣を含み、又、復水器の繼目等より空氣が漏入する。この爲め復水器の真空を害し、又、冷却効果を減する。空氣ポンプはこの復水器中の空氣を抽出するもので、次の種類がある。

- ① 温式, 凝結水と空気を共に抽出するもの。
- ② 復式, 凝結水と空気を別々に抽出するもの。
- ③ 蒸汽噴射式, 高圧蒸汽を噴射口より噴射して空気を抽出するもの。

(註) ① は高真空には用ひられない。③ が最も廣く用ひられてゐる。

4.13 火力発電所の運転と試験

(1) 運転と保守

全停止の火力発電所を起動するには大体, 次の順序に依る。

① 汽罐に火を入れ, ストーカの速度と石炭層の厚さを次第に増す。同時に通風を調整する。斯くて, 汽罐の蒸汽壓力を十分に上昇させる。

② 補助油ポンプを運転して油を循環させる。試運転の場合は數時間乃至十數時間, 通油し, 油管中の塵埃を洗ひ去る。又, 總ての排水活栓を開いて残留水を捨てる。但し, 復水器の復水溜には調壓水槽から適量の水を送つて置く。

③ 復水器の空氣ポンプを運転して, 80% 程度の真空を作つて置き, タービンに蒸汽を通し, 暖機してから, 徐々に回轉を始める。

(註) 以上の補機の運転は一般に他よりの電源で行ふ。

タービンに最初蒸汽を通す時の汽壓は, 規定値の 60% 程度から始めてよい。

全速になつても, 無負荷なら機内の摩擦に依つて, 蒸汽が乾燥されるから, タービン終段の温度は負荷時より高くなるので, 凝結水に依る危険はない。然し, 負荷に耐へないから, 負荷する迄に汽温も汽壓も規定値とする。此處迄の操作に約 50 分を要する。

試運転の時は特に緩徐に行ひ, 通油状態, 各部の温度, 音響, 振動をよく点検しつゝ進める。補助油ポンプはタービンが規定速度になると自動的に停止されて, 主軸直結の齒車ポンプと切り換へられる。

④ タービンが規定速度に近づくと, 調速機が動作し始めるから, 之れを見定めた上で主弁を全開する。

⑤ 発電機の勵磁回路に電流を流して, 電壓を上昇させ, 同期検定器に依つて

【問題】 復水器の用途を説明し, その種類を列挙せよ。

【問題】 冷却塔に就き知れる所を記せ。

【問題】 復水器に於て循環ポンプと復水ポンプの相違を述べよ。

並列に入れて, 徐々に負荷する。負荷の割合は, 小容量のもので 30 分, 大容量のものでは 1 時間 30 分位をかけて全負荷する。

(註) 試運転の時は更らに入念に, 全負荷迄を何段にも分けて, 各段に於て, 安定状態を点検しつゝ進む。

勿論, 発電機を運転する前にはメガで各部の絶縁抵抗を点検して置く必要がある。

運転を停止するには, 上記を逆に行へばよい譯で, 調速機のサーボモータに依つて, 負荷を次第に減じて, 之れを遮断する。一方, 危急停止弁を手動で閉塞して, 蒸汽の流入を断つ。回轉子は隋勢で 30 分以上も回轉してゐる。

発電機の勵磁を其のままとして, 真空破壊器を働かせると, 早く停止するが, 補助油ポンプを働かせて軸受の給油に注意するなら, 強ひて急停止する必要はない。尙, 発電機を過度に冷却しない爲めに, 空氣冷却用水の循環を止める。此の際, 復水ポンプも停止して, 蒸汽の流入を遮断し, 10 分間位は真空のままにして置くと, タービン内部の水分がよく除去される。

(2) 試験と検査

試験として行はれるのは, タービンにあつては, 調速機の試験, 過速試験, 及消費量計測試験である。蒸汽消費量の試験はタービンの性能検査上, 甚だ重要な意義があるが, 復水量計測が面倒であり, 抽汽する場合は抽汽量の測定が困難である。

発電所全体としてなら, 發生電力量と夫れに要した石炭量が正確に分かるから発電所としての合成能率が直ちに求められる。尙, 発電機の試験には水力の場合と同様に, 絶縁抵抗及絶縁耐力試験, 飽和特性, 短絡特性, 電壓變動率特性試験等がある。

検査を分つと, 毎時検査, 毎月検査, 毎年検査の 3 種となる。即ち, 運転中 30 分毎に, 負荷, 汽温, 汽壓, 油壓, 軸受油温, 冷却水及復水温度, 真空度を記録し, 振動音響状態に注視し, 要すれば之れも記録する。

毎日検査としては, タービンの過速試験と其の動作回数, 復水器の点検, 推力軸受の調整, 発電機絶縁抵抗の測定, 集電環, 整流子及刷子の点検手入を行ふ。

毎年検査は開放、掃除、各部の摩耗及侵蝕状態の検査、各部間隙の検査等である

4.14 補 説

(1) 火力発電所の進歩

之を列挙すると次の如くである。

- ① 蒸汽の壓力を高めて、熱能率を向上させた。
- ② 蒸汽壓力の上昇に応じて、蒸汽温度を高めた。
- ③ 発電所の出力を増大して、設備費及び維持費の低下を計つた。
- ④ 汽罐1台に対し汽機1台とする単位方式を採用して、取扱を容易にした
- ⑤ タービン及び発電機に高速度機を採用して、機器の形を縮少した。尙、抽汽タービンを採用した。
- ⑥ 資材節約及び代用資材を使用した。

(2) タービン発電機の調相機化

補給用火力発電所は豊水期には一般に休止してゐるから、タービン発電機を調相機として運轉し、送電系統の力率改善に使用する。この場合の起動法として次の方法がある。

① 直結タービンを利用する方法；最も簡単であるが、タービンを直結の儘で運轉すると、風損のため過熱する缺點がある。(タービンに少量の蒸汽を通して此の缺點を除く)

② 起動用電動機を用ふる方法；発電機とタービンを切離し、直結電動機で起動する方法で、電動機には普通誘導同期電動機が用ひられる。

(註) その外に、電動発電機によつて低周波で同期化し、速度を上げる方法もある。

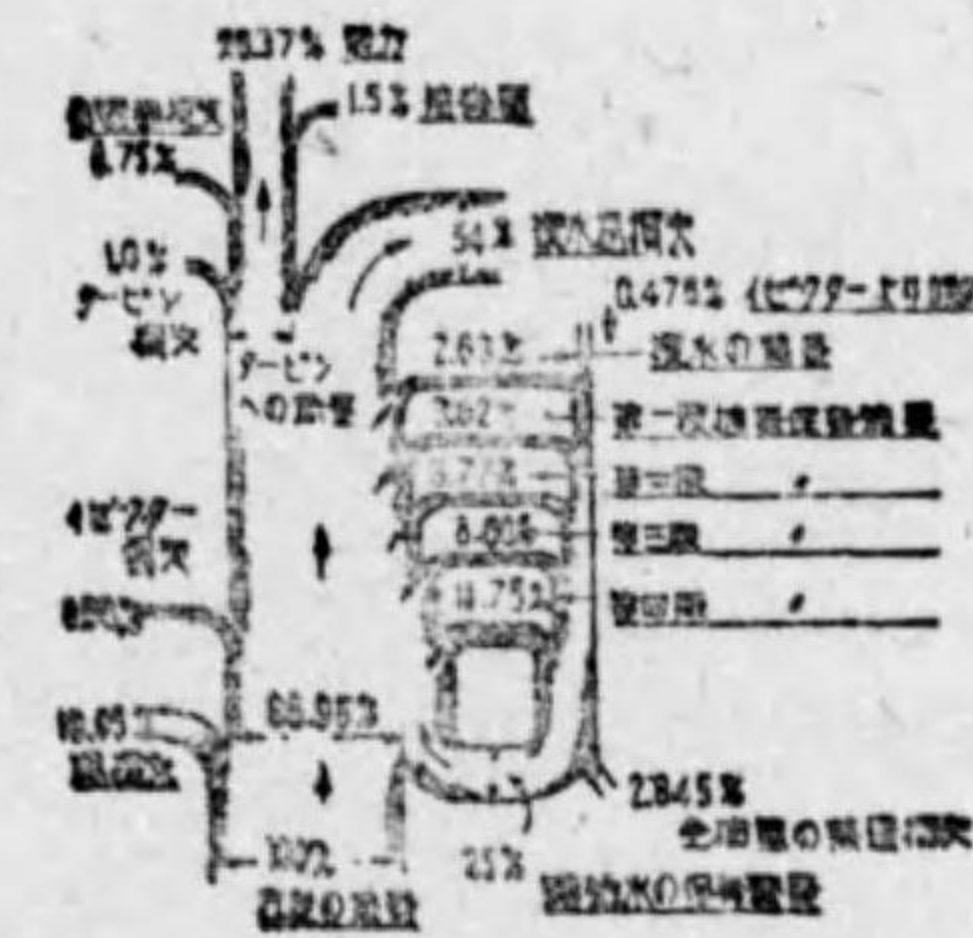
(3) 発電所の熱勘定

燃料の燃焼により発生した熱量より、汽罐タービン、発電機等の熱損失及び、

〔問題〕 火力発電所を全停止状態より起動する順序を説明し、中容量発電所としての起動時間を記せ。

〔問題〕 火力発電所に対して行ふ試験及定期検査の要点を述べよ。

給水加熱装置による熱の吸収等の關係を示したものである。又、これを圖に書いたものが熱勘定圖である。其の一例を示すと左圖の如くである。



たものが熱勘定圖である。其の一例を示すと左圖の如くである。

(4) 蒸汽貯蔵器

大きな罐胴内に90%位の水を充し、之に餘剰蒸汽を送り込んで、水に蒸汽の熱を吸収させ蒸汽を貯蔵するものである。次にこの罐胴を前より低壓の所に接ぐと、罐内の水は沸騰を始め、再び蒸汽が得られる。

蒸汽貯蔵器は、人絹、製糸等の様に低壓蒸汽又は温水を多量に使ふ工場に、背壓タービンを用ひた場合、或は蒸汽貯蔵器用発電機を用ひて、尖頭負荷用発電所として使用する場合、等に用ひられる。

(註) 蒸汽をその儘で貯蔵すると、容積が尅大になり實用にならない。

(5) 発電所に於ける資材節約

① 水力発電所； ① 資材使用量の節約。(1) 発電所建物の屋根を省き発電機室の床を屋根にした半屋外型の採用。(2) 発電機室の床を單床式とする。(3) 発電機の直結勵磁機をやめて、建物の高さを減じる。(4) 発電機の主軸を短くする等。

② 代用品の採用。(1) 鐵筋コンクリート建物を竹筋コンクリートにする(2) 水壓鐵管の代りに鐵筋コンクリート管を用ふる等。

③ 火力発電所；(1) タービン及び発電機は、大容量及び高速度のものを用ふる。(2) 紙綴鋼汽罐の代りに熔接鋼汽罐を用ふる。

④ 電氣設備；(1) 発電機のはすみ車効果を減少する。(2) 水素冷却機を採用する。(3) 調相機は回轉機の代りに靜電蓄電器を用ふる。(4) 變壓器は單相の代りに三相變壓器を用ふる等。

(6) 水火力併用による利益

① 水力発電所の使用水量を大きく取り、河川流量を有効に利用出来る。

- ㉔ 故障時に火力発電所を運転して、電力の融通を増す。
- ㉕ 水力発電所と火力発電所の両者の豫備機を共用することが出来る。
- ㉖ 需用の増加に容易に應ずることが出来る。
- ㉗ 建設費の安い火力発電所に、負荷率の悪い尖頭負荷を擔はせるので、電力原価が安くなる。
- ㉘ 火力発電所のみに対し、石炭の不足、炭價の變動等の影響を受けることが少い。

(註) 水火併用は上記の様な利益があるので、殆んど之れに依つてゐる。

(7) 尖頭負荷発電所の具備条件

- ㉙ 起動及び停止が迅速で然も容易であること。
- ㉚ 起動時及び無負荷時の損失が小さいこと。
- ㉛ 過負荷耐量が大きく、又、取扱が簡単なこと。
- ㉜ 低負荷率に対し、運転費の安いこと。
- ㉝ 建設費の安いこと。

尖頭負荷発電所の種類を挙げると次表の如くである。

水力発電所	火力発電所	その他
① 堰堤式発電所	① 微粉炭発電所	① ディーゼル発電所
② 調整池式発電所	② 重油燃焼発電所	② 蓄電池式発電所
③ 貯水池式発電所	③ 蒸汽貯蔵発電所	
④ 揚水発電所	④ 温水貯蔵発電所	

【問題】 汽力発電所に於ける最近の發達を挙げよ。

【問題】 下記に就き知れる所を記せ。

(イ) 発電所熱勘定 (ロ) 蒸汽貯蔵器

【問題】 発電所の建設に當り、重要物資の使用量を削減する設計上の考慮を記せ。

【問題】 水火併用の利益を述べよ。

【問題】 尖頭負荷発電所としての必要な条件を挙げよ

[5. 配電] 5.1 一般

(1) 配電一般

既に述べたやうに、電気は生産者である発電所から、輸送機関である送電線、開閉所、受電端變電所を経て、配給元とも云ふべき配電用變電所に入り、之れから販賣店とも考へられる柱上變壓器で低壓とせられて、需用家に配給せられる。配電用變電所は特高で受電し、變壓器で高壓 3.3kV に遮降して、變電所母線に入り、此の母線から 3.3kV の配電線か架空線、或は地中線で市中へと進出する。此の配電用變電所以下の線路を配電系統と



稱する。

(註) 送電線と配電線の區別は工規では次のやうに規定してゐる。

送電線路とは發電所又は變電所相互間を連絡する電線路を云ふ。

配電線路とは發電所、變電所又は送電線路より、他の發電所又は變電所を經過せずして、需用場所に至る電線路にして引込線以外のものを云ふ。

(2) 配電線の具備条件

之れに就ては、次の項目が考へられる。

- ① 停電が極めて少く、電壓變動の小さいこと。
- ② 漏電や火災の危険がなく、人畜に対して危害を及ぼさないこと。
- ③ 資材を多く要せず、経済的で電気料金の安いこと。
- ④ 保守に容易なこと。

⑤ 交流では周波數が一定であること。

(3) 配電方式一般

變電所から饋電線として出た 3.3kV の線は需用地附近に張り



めぐらされた 3.3kV の高圧配電線に結ばれる。(此の点を饋電点と云ふ) 此の高圧線の電柱に柱上變壓器があつて、これは低壓として需用家に配電する。配電の方式は先づ此の高圧配電線の様式に依つて樹枝式と環狀式に二大別される。樹枝式は饋電点から一本の高圧配電線が出て之れに次ぎ次ぎと柱上變壓器を結んで低圧配電線を出す。其の有様は一本の樹の幹から多くの枝が出てゐるやうだから斯く云ふ。環狀式は高圧配電線が一つの閉鎖された環狀を爲し、此の中の適當なる二三の箇所を饋電点としたものであつて柱上變壓器は之れに結ばれる。是等兩方式の特長は前者が方法簡單で經濟的であるが末端に至る程電壓降下が大きい。後者は電壓降下は一様であるが保守に不便で故障の發見が困難である。次に低圧配電線の方式には負荷を直列にして行く直列式と云ふものも有つたが、之は街路燈のやうなものに用ひられる位で、現在は諸氏が目撃せられるやうに總て並列式である。電氣方式で分類すると、單相では單相二線式及び單相三線式があつて、主に電燈負荷に用ひ、前者の所要電線量を 100% とすると後者は 37.5% (之は單相變壓器の midpoint に結れる所謂中性線を他の二線と同一の太さとした場合で、中性線の電流は二線の電流の差が通るのだから、之れを $\frac{1}{2}$ とすれば 31.3% となる) である。電燈動力一般に用ひられるのは三相三線式であつて、變壓器を星形接続とし其の midpoint を出した三相四線式もある。前者の所要銅量は單相二線式の場合の 75%、後者は 33.3% (中性線を外線の $\frac{1}{2}$ とすれば 29.2%) となる。是等の電線量の比較は何れも負荷電力、力率、配電距離、配電々壓、線路の損失電力量を相等しいとして計算したものである。低壓線の配電方式の新らしいものとして低圧配電線を網の目のやうにした低電壓配電網方式なるものがある。之れに直接饋電線が變壓器を通じて三四本結れるもので、從來の環狀式を複雑とし低壓に直したやうなものである。

【問題】 送電線と配電線の區別を述べよ。

【問題】 配電線の具備すべき條件 3 つを挙げよ。

【問題】 配電方式として多くは樹枝式、交流三相三線式又は三相四線式の用ひられる理由を述べよ。

總て配電線には架空式と地中式がある。前者は工費が低廉で、故障、修理に容易であるが、空襲、風水害、地震、火災、雷雨に對して安全でない。後者は之れに反し、都市にあつては美觀を害するやうなことはない。

尙、直流式の配電方法もあるが近距離しか配電し得ない、但し蓄電池を用ふる事に依つて無停電を期し得る。

(4) 樹枝式と環狀式

	樹 枝 式	環 狀 式
特長	① 故障の發見や修理が容易 ② 線路の末端程電線が細くてよい ③ 電線費が少く工事が簡單である	① 線路の故障時に、切替送電が容易である ② 電壓降下並に線路損失が少い
缺點	① 線路の末端の電壓降下が大きい ② 線路の電力損失が大きい ③ 線路の故障時に切替送電が出来ない	① 線路が複雑で工事費が大きい ② 電線量が大きい ③ 負荷増加に應ずる事が困難である
適用	小都市や農村等の負荷密度の小さい地域に用ふる	大都市等の負荷密度の大きい場所に用ふる

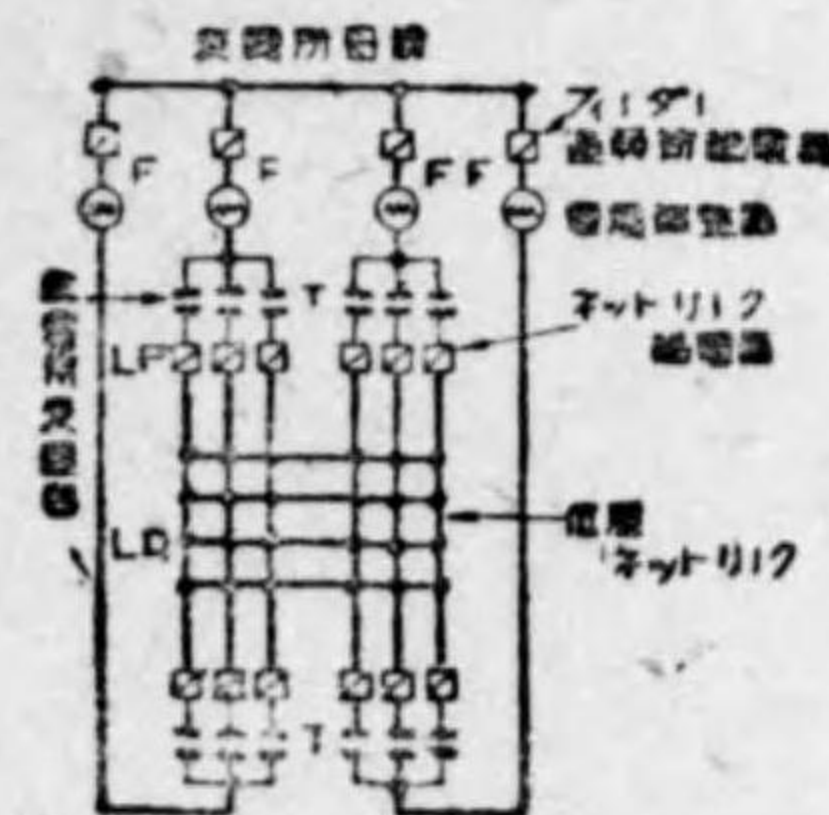
(5) 低壓配電網

低壓配電線を網狀にし、數本の饋電線によつて圖の様に變壓器を通じて給電する方法である。

(註) 圖の F は饋電点、T は配電用變壓器 L.D は低壓配電網、L.P はネットワーク繼電器(交流開閉器)である。

逆流開閉器は、① 電源側が停電したとき、② 變壓器に短絡を生じた時等に

働いて回路を開き、電源側が再び充電すると回路を閉ぢる。



配電〔一般〕 低圧配電網 三相自動切替配電法 各種配電方式の比較

(註) 配電網の短絡によつては働かず、故障点を大きい短絡電流によつて焼切らせる。従つて停電が少い。

配電網の特長は、① 停電が極めて少い。② 負荷の電圧變動が少い。③ 電燈と電力に共用出来る。④ 線路の電力損失が少い。等である。

(註) 但し、次の欠点がある。① 設備が複雑で、設備費が高い。② 保守や維持に困難である。等

(6) 三相自動切替配電法

一回線の高圧配電線より、晝夜間と夜間又は晝間の配電を行ふ方法である。夜間用又は晝間用柱上變壓器の高圧側に、自動開閉器を設け、變電所に特殊な開閉器を置いて、三線の中任意の一線より順次に投入する。このとき夜間又は晝間の自動開閉器が働いて負荷に送電したとする。次に全線を切り、三線を前と逆の順序に投入すると自動開閉器は働かない。この様にして兩様の配電を行ふ。

(註) 即ち、變電所で朝と晩に配電線を一旦停電し、その投入順序を反対にして切替へる。最近晝間線と夜間線を1本の線路で供給する方式が廣く採用されつつある。之れに本方式を用ふると便利である。

(7) 各種配電方式の比較

方式	特長	缺點	適用場所
單相二線式	① 電線條数が少く、工事が簡單。 ② 線路の設備費や工事費が安い。	① 電線量が多い。	① 一般電燈用。 ② 農村の配電線。
單相三線	① 中性線の電流は兩外線の電流の差になり、電壓降下や電力損失が少い。 ② 中性線が細くてよいかから經濟的である。	① 上下の負荷が著しく異ると、各負荷の電圧が不平衡になる。 ② 低壓配電線が甚だ長いとき。	① 大きな單相負荷用。 ② 低壓配電線が甚だ長いとき。

【問題】 高壓配電線の方式2種を挙げ、その得失を比較せよ。

【問題】 下記に就き知れる所を記せ。

(イ) 低壓配電網の得失 (ロ) 順送式三相配電

配電〔一般〕 各種配電方式の比較 配電施設一般

線式	③ 1本の電線が断れても、残りの線間で送電出来る。 ④ 100V と 200V が得られる	② 左記の場合、中性線が断れると、電圧分布が甚だ不平衡になる。	④ 大建築物の配電用。
二相式	① 變壓器を T 結線にして、三相電圧が得られる。 ② 2種の電圧が得られる。	① 單相又は三相式に比し不經濟である	我國では用ひられない。
三相三線式	① 同一電力に對し、單相式より電線量が少く、經濟的である ② 3線の中任意の2線間より單相が得られる。 ③ 最も簡便な三相誘導電動機が使用出来る。 ④ 三相發電機は單相發電機より有利である。	① 單相式に比し電線が3本要る。 ② 三相式より單相を取出す時、各相へ不平衡を與へ易い。	① 一般の高壓配電線。 ② 一般の電力用低壓配電線。 ③ 一般の特別高壓送電線。
三相四線式	① 電線量が少く經濟的である ② 2種の電圧が得られ、電燈と電力に共用出来る。	① 電線が4本要る ② 中性線が切れると、電圧分布が不平衡になる。	① 主に低壓交流配電網(大東亞の標準配電方式として採用された。)

(8) 配電施設一般

架空線に用ひられる電線は銅線及びアルミニウム線である。其の太さは低壓には直径2.6耗、高壓には4耗より各々以上のものを用ひ、第一種、第二種、第三種、又は暫定第二種、及び暫定第四種、絶縁電線或は裸線を用ふる。(最近引込線以外は主として裸線を用ひる)電線は電柱に架設するのであつて、主に、杉、檜等の木柱が用ひられる。防腐劑としては丹藥やクレオソートを注入したものがある。電柱に電線を取付けるには腕木を横に電柱に取付け(尙、此の支持材としてブレースを附する事もある)此の腕木に足のあるピン型支持碍子を取付けて、之れに電線をバインド線で巻き付ける。尙、電線の交叉、引留め、等の碍子に掛る張力の大きな處には、引張應力の大きい茶台碍子を用ふるのである。電柱には登るに便利なやうに足場釘を用ひ、線路の曲り角に於ける電柱には支線或は

支柱を用ふる。

地下電線路の場合は、電線の外周に絶縁紙或は絶縁布を纏巻し、之れに松脂油を浸入させて外部より濕氣の浸入せぬやうに鉛被を施したケーブルを用ふる。之を地中に直接埋設式で埋設するものは更らに鉛被をジュートで巻き、其の上に鋼テープを巻いた所謂鐵裝ケーブルを用ふる。管路式の埋設では、管路を地中に埋設し、之れに人穴を處々に作り、此の管路にケーブルを入れる。

配電線の保安装置としては、電柱毎に亜鉛鍍鐵線を柱頭より約 20~30 纏出して、之を電柱に添つて引下し接地した避雷針、直長 1 軒以下毎に柱上油入開閉器を置いて電路の一部手入れ、故障或は其の附近の火災の場合に其の部分の電線を開く。柱上變壓器には高壓側の巻線の端子に避雷器を置き、尙此の側にはヒューズ付碍子型開閉器（俗稱ダumasイッチ）を各線に入れて變壓器の過負荷並に其の故障に對して保護する。尙二次側にもケツチホルダと云ふ陶器片にヒューズを取付けたものを第二種地線工事で接地された反対側の線路に挿入する。一次高壓と二次低壓の混觸に依る低壓側の電壓上昇を豫防する爲めに二次側の一端（或は其の中性点）を第二種地線工事で接地する。

(9) 電線路の線路定数

線路定数とは、電線路の抵抗、インダクタンス、及び静電容量の 3 つを云ふ

① 抵抗； 電線の電気抵抗を云ふ。

(註) 切斷面積 1mm²、長さ 1m の抵抗は、硬鋼線約 1/55Ω、アルミニウム線約 1/35Ω である。

② インダクタンス； 電線に交流を流すと、磁束を生じ、この磁束が電線を切つて逆起電力を發生し、インダクタンスとして働く。

③ 静電容量； 電線の大地に對する静電容量を云ふ。

【問題】 各種交流單相及三相配電方式の得失を比較せよ。

【問題】 負荷の相當に大なる屋内配電に單相三線式の採用せられたる主たる理由 4 つを挙げよ。

【問題】 配電施設の一般を述べよ。

(註) ② 及 ③ 特に ③ は配電線では極めて少く、多くの場合、之れを無視して計算する。

(10) 電線路の電壓降下

$$\text{電壓降下率} = \frac{\text{送電端電壓} - \text{受電端電壓}}{\text{受電端電壓}} \times 100\%$$

$$\text{電壓變動率} = \frac{\text{無負荷時受電端電壓} - \text{全負荷時受電端電壓}}{\text{全負荷時受電端電壓}} \times 100\%$$

普通の配電線のやうに、無負荷時の受電端電壓と送電端電壓の等しい場合には電壓降下率も、電壓變動率も同じ値になるが、送電線のやうに線路の静電容量に對する充電々流の大きい時は、無負荷時の受電端電壓が送電端電壓と相違する

(註) 電線路の電壓變動率の値は大體次の如くである。

① 發電機 (自動電壓調整機を有する場合)	20~30%	
② 一次送電線 (一次變電所へ送電)	7~10%	
③ 一次變電所送降變壓器	1.1~1.3%	
④ 二次送電線 (配電用變電所へ送電)	6~8%	
⑤ 二次變電所送降用變壓器	0.7~1.3%	⑥ 高壓配電線 7~10%
⑦ 柱上變壓器	1.6~1.8%	⑧ 低壓配電線 5%

(11) 線路能率

$$\text{線路能率} = \frac{\text{受電電力}}{\text{送電電力}} \times 100\% = \frac{\text{受電電力}}{\text{受電電力} + \text{線路損失}} \times 100\%$$

線路能率は、送電線で 90~98%、配電線で 90~95% 位である。

(註) 線路の損失は、① 電線の抵抗により失はれるオーム損 (=電流²×抵抗) ② コロナ損、③ 碍子の漏洩電流による損失、の 3 つである。

(12) コロナ損

電線路に高電壓を加へると、電線周圍の空氣の絶縁が破れて、青白色の茫光放電を發生する。之がコロナでコロナに依つて生ずる電力損失をコロナ損と云ふ

(註) コロナ損は、普通 60kV 以下の線路では起らない。従つて一般の配電線では問題にならない。

5.2 設計建設

(1) 需用率

一般に需用家の負荷電力は其の設備容量より小さい。此の兩者の割合を需用率と云ふ。

$$\text{需用率 \%} = \frac{\text{需用家の最大負荷電力}}{\text{需用家の設備容量(取付電力)}} \times 100\%$$

需用率の値は、大体次の如くである。

電燈負荷, 住宅 20~50%, 商店 40~100%, 工場 40~60%

電動機, 1~2台 60~70%, 6~10台 50%

(2) 不等率

各負荷は同時に最大負荷を取らないので、之れを一括した負荷電力は各負荷電力の和より小さい。此の比を不等率と云ふ。

$$\text{不等率} = \frac{\text{各箇負荷の最大電力の和}}{\text{各負荷を一括した時の最大電力}} > 1$$

不等率の値は、需用者相互間 1.5~3, 柱上變壓器相互間 1.2, 變電所相互間 1.1位である。

(註) 需用率は 1 より小さく、不等率は 1 より大きい。

(3) 配電線負荷容量の算定

① 引込線の負荷容量(最大負荷電力)は次式より求める。

$$[\text{その引込線の需用家の設備容量の和}] \times [\text{平均需用率}]$$

② 低壓配電線の負荷容量は次式より求める。

$$[\text{之に結れる各引込線の最大負荷電力の和}] \div [\text{需用者相互間の不等率}]$$

③ 柱上變壓器の容量は次式より求める。

$$[\text{之に結ばれる各低壓配電線の負荷容量の和}] \div [\text{低壓配電線間の不等率}]$$

【問題】 發電所より配電用變電所に至る迄の諸施設に於ける電壓變動率の概数を記せ。

【問題】 下記事項を簡単に説明せよ。

(イ) 線路定数 (ロ) 電壓降下率と電壓變動率 (ハ) 線路損失と線路効率

① 高壓幹線の負荷容量は次式より求める。

$$[\text{各柱上變壓器の容量の和}] \div [\text{柱上變壓器間の不等率}]$$

(註) 但し、上記の値に線路の損失として 6~10% を加へ、更に將來の負荷増加を考へて定める。

(4) 配電線の太さの決定

① 機械的張力が十分にある太さとする。

② 線路の電壓降下を一定値以下にする。

③ 電線の安全電流が負荷電流より大きいこと。

④ 電線路の電力損失が余り大きくならないこと。

⑤ 工作物規程に定められた太さ以上であること。

⑥ 將來の負荷増加を適當に見込んだ太さとする。

(5) 電線路經過地の選定

① 電線路の直長をなるべく短くすること。

② 保守、巡視の容易なこと。

③ 交通に便利で材料運搬に都合のよいこと。

④ 樹木伐採の少なくてすむ経路を選ぶこと。

⑤ 神社、佛閣、腐蝕性ガスのある所、山崩、雪崩、洪水等の被害の大きい所は避けること。

⑥ 保守に困難な河川、湖沼、等や、基礎の難かしい泥田、砂地等は避けること。

(6) 架空電線の具備條件

① 導電率の大きいこと

② 耐久性の大きいこと

③ 機械的強度の大きいこと

④ 價格の安いこと

⑤ 重量の軽いこと

⑥ 接続の容易なこと

(7) アルミ線を架空配電線に使用する時の心得

① 固有抵抗が大きく、安全電流は銅の約 80% であり、引張應力が銅の約半分であるから太いものを用ふる。

- ④ 質が軟いから、架線や取扱に當つては特に注意する。
- ⑤ 半田付が不可能で接続が面倒となり、完全に行ひ難いから最も適當な接続法を用ふる。(主として壓縮接続法に依る)

① 腐蝕し易いから、ガスの發生する場所には用ひない。

(註) 配電線には主として、銅線が用ひられて來たが、銅不足によりアルミ線が、遂次に採用されつゝある。

(8) 弛度の決定

電線を電柱で支持した時のたるみ(両端支持点を結ぶ水平線と電線最下部間の垂直距離)の大小は架線上大きな問題である。

弛度を大きくすると	弛度を小さくすると
① 電線の振幅が大きくなるので、線間距離を広くしなければならない。	① 電線の張力が増し、電線の安全率が小さくなる。
② 支持物の高さを弛度だけ高くしなければならない。	② 電線を太くし、又支持物を強くしなければならない。
③ 樹木の伐採幅が増す。	③ 1 徑間が斷線した時の不平衡張力が大きい。

従つて、電線の弛度を決定するには、① 最低気温の時、電線に最大荷重が加はつても、電線の安全率が 2 以下にならない様にする。

② 夏季最高温度に上昇しても、電線の地表上の高さが規程以下にならぬ様にする。

(9) 碍子の具備すべき条件

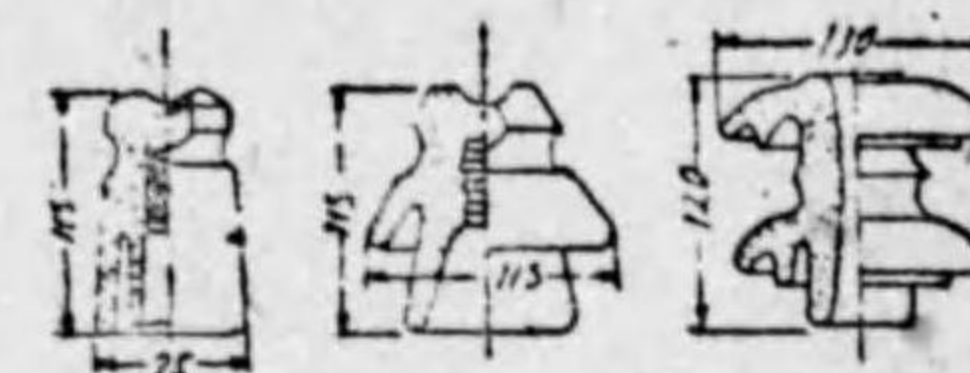
① 絶縁耐力が大きく、使用電壓に十分耐へること。

- 【問題】 高壓配電線の負荷容量を決定する順序を説明せよ。
- 【問題】 配電線の太さを定める場合、考慮すべき事項を述べよ。
- 【問題】 配電線路の經過地は如何なる考慮の下に之れを撰定するや。
- 【問題】 架空電線路用電線の具備条件を挙げ、銅線とアルミ線を比較せよ。
- 【問題】 架空電線路に於て弛度の決定に際し、考慮すべき事項を述べよ。
- 【問題】 高壓回路及低壓回路に使用する碍子の種類各 3 種を挙げよ。

- ② 機械的強度が大きく、荷重に十分耐へること。
- ③ 暴風雨、雪、塵埃等によつて放電を起さないこと。
- ④ 長期間劣化せず、又價格が安いこと。

(10) 屋外用低壓碍子の種類

低壓二重碍子 高壓ピン碍子 高壓茶台碍子



低壓茶台碍子 同上 枝碍子

二重碍子……一般低壓配電線及引込線、雨露に曝される場所に用ふる

茶台碍子……引込線の引留用

枝碍子……柱上で電線の立上り引下げ等に使用

顛倒碍子……濕氣ある所、軒下等の配線に使用

(11) 屋外用高壓碍子の種類

高壓ピン碍子……高壓配電線の直線箇所用ふる

高壓茶台碍子……配電線の長徑間又は引留箇所に使用

枝碍子……低壓に同じ

玉碍子……高壓配電線の支線に挿入する

(12) 各種支持物の比較

種類	得	失	適用
木柱	特長 ① 加工や建柱が容易である ② 價格が低廉である ③ 絶縁性である	缺點 ① 強さ、長さ制限がある ② 壽命が短く、焼損の虞がある	普通 50 kV 以下の線路に最も廣く用ひられる。 (資材の点より、最近は以下の場合にも廣く用ひられつゝある)

鉄筋コンクリート柱	特長 ① 寿命が半永久的である ② 強度の任意のものが作られる ③ 現場で作られる 缺点 ① 重量が大きく価格が高い ② 装柱が面倒である	特に長径間の箇所, 電線数の多い所等に用ひられる。(但し, 建物の豫想される所には不適當である)
鉄柱塔	特長 ① 寿命が長く, 現場で組立られる ② 強度の任意のものが得られる	一般に特別高圧送電線用である

(13) 各種注入柱

注入柱は, 木柱の腐蝕を防ぐ爲めに, 普通の電柱に硫酸銅, クレオソート, マニレット等を注入したものである。之れに反し注入しないものを不注入柱と云ふ

① クレオソート注入; クレオソートはコールタールから精製したもので, 等量のアルコールに混じて用ふる。木材は伐採してから3箇月—1箇年間放置して, 充分乾燥させたものを更に容器に入れて, 蒸気又は熱風によつて乾燥する。乾燥した木材は密閉罐内に入れ, 罐の空気を抜いて, 60°C 位に熱したクレオソートを壓入する。

② 硫酸銅(丹礬)注入; 溶液は硫酸銅 1kg を水約 90 立に溶かして用ふる。又木材は春から夏にかけて樹液の多い時に伐採し, 伐採後 36 時間以内に現場に運んで, 注入を行ふ。注入の方法は, 木材を樹皮の付いたまゝ, 元口を高くして斜に置き, 液の重力によつて元口より注入する。

③ マニレット注入; マニレットは非化曹達を約 100 倍の水に溶解したものである。注入の方法はクレオソートの場合と同様で, 罐内に入れ, 常温にて壓力を加へて注入する。

(註) クレオソート注入柱は外觀が黒く, 臭気もあるが, 殺菌及び防水の兩作用があるから, 寿命が最も長い。硫酸銅注入柱は外見が白色で美しいが, 寿命がやゝ劣る。

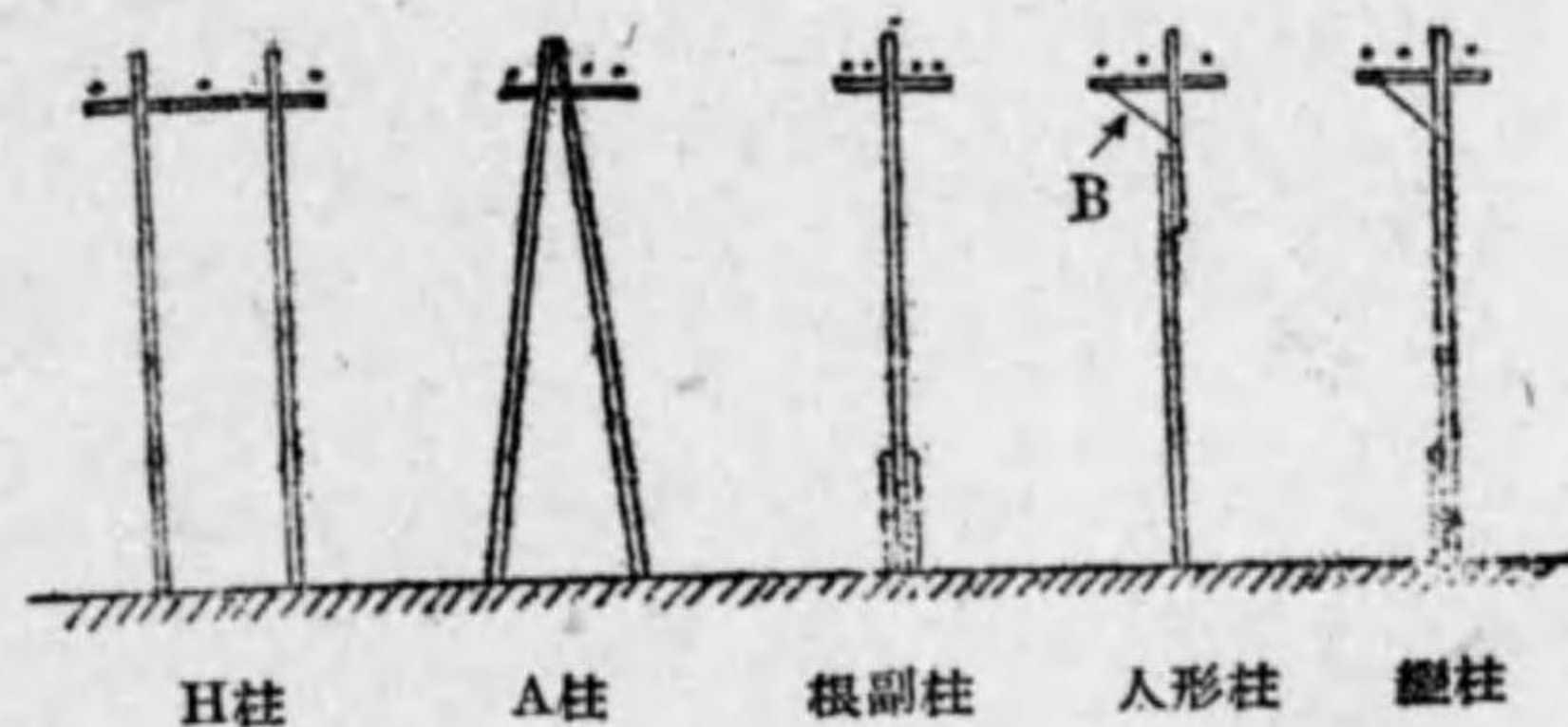
【問題】 高圧架空配電線に於て一般に木柱の用ひられる理由を説明せよ。

【問題】 注入柱の 3 種を説明せよ。

木柱の寿命は, 不注入柱が 8~10 年, 注入柱が 15~20 年程度である。

(14) 組立木柱

組立木柱は, 架渉線の多い時, 径間の長い時, 他の工作物を横断する時, 支線を取られない時等に用ふる。組立柱は 1 本の木柱に比し, 安くて容易に強いものを作ることが出来る。



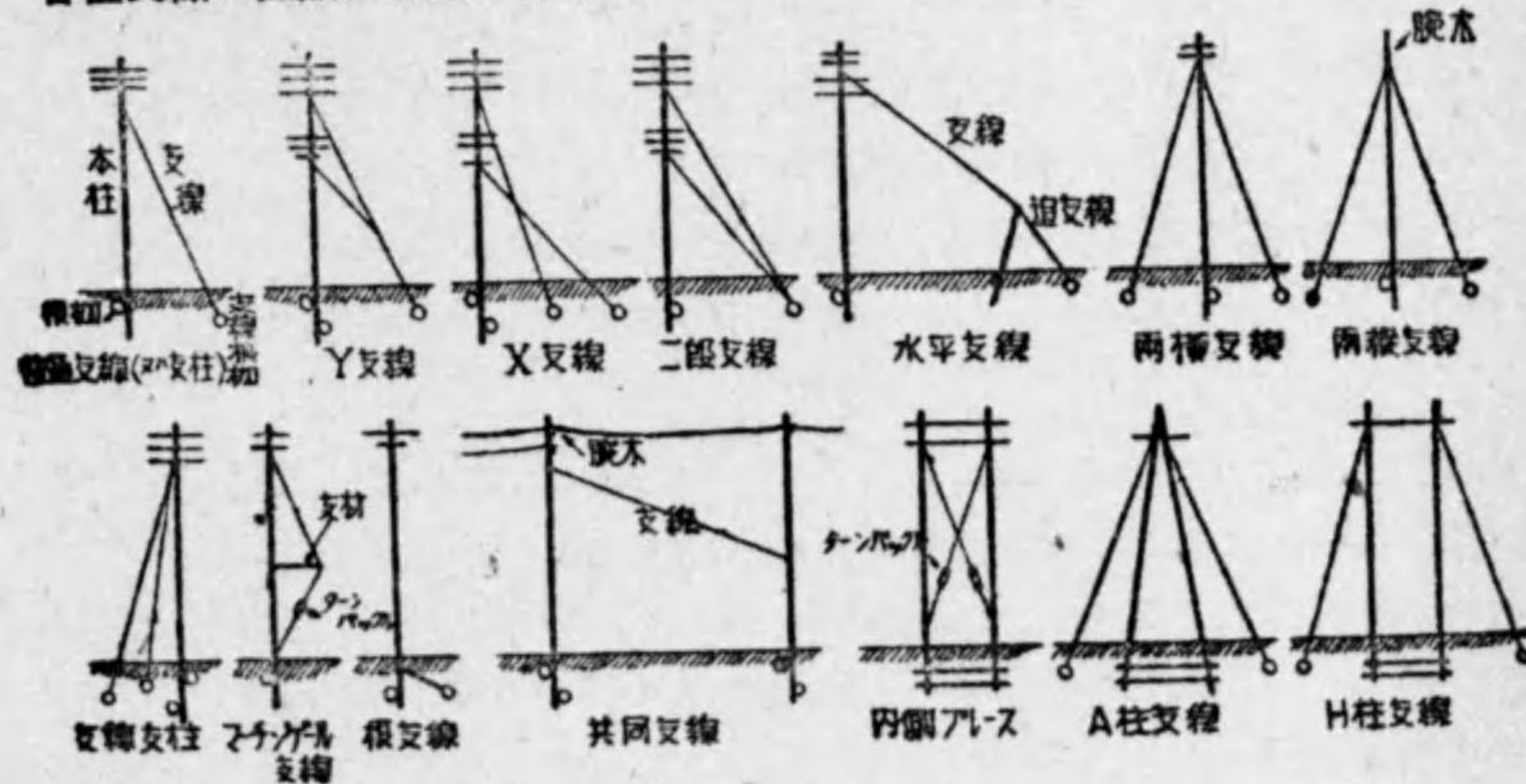
H柱 A柱 根副柱 人形柱 纏柱
強度の大きい電柱を得る 高さの高い電柱を得る

(15) 支線

支線は電柱の一方に大きな荷重がかかる場合, 荷重と反対側に設けて荷重の一部を負担させる。又, 重要な送電線等では, 線路を補強する爲に用ふる。

(註) 支柱は支線の取れない場合, 木柱の張力を受ける側に設けて, 本柱を支へる。

各種支線の種類及び適用場所



- 引留支線……線路の終端及曲り角等に用ふる。
 両側支線……線路を直角の風壓に耐へるため、電柱の両側に設ける。
 縦支線……電線が断線した時の不平衡張力に耐へるため、線路の方向に設ける。
 四方支線……両側と両縦支線を兼用したもので、荷重の特に大きい時に用ふる。
 水平支線……普通の支線を取り難い場合、支柱を建て、夫れを本柱の間に設ける。
 共同支線……線路の不平衡張力に對し、普通の支線を取り難い場合に用ふる。
 二段支線……2本の引留支線の地際を1本で共用したものである。
 マーチンゲール支線(弓支線)……電柱の一方に荷重が加はる場合、電柱の彎曲を防ぐために設ける。

内側ブレース支線(X支線)……H柱で外側に支線を取り難い場合に用ふる。

(16) 電線の高さ及び他物との間隔

- ① 電線の地表上の高さ;
 一般の場合 5m 以上
 道路、鐵道又は軌道を横斷する場合 6m 以上
- ② 造營材及び弱電線との間隔;
 造營材の上面との間隔 2m 以上
 造營材の側面、煙突、アンテナ等との間隔 1.2m 以上
 植物との間隔 30cm 以上
 弱電流線と交叉又は接近する場合の間隔 1m 以上
 但し、弱電流線に第四種線を用いた時は 60cm 以上
 弱電流線と並行する場合の間隔 2m 以上

(17) 建柱工事上の注意

- ① 電線路は道路の1側にのみ建てること。

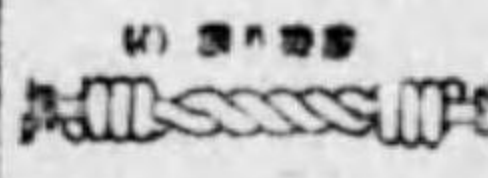
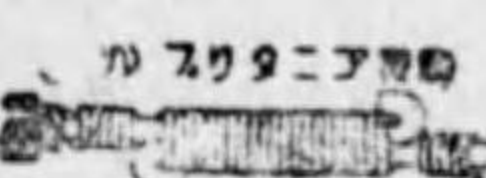
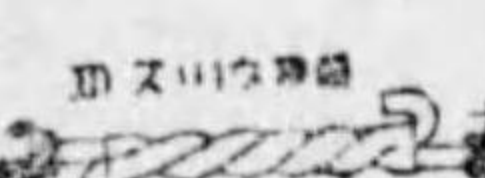

【問題】 支線と支柱の相違を説明し、その適用場所を述べよ。

【問題】 下記を簡単に圖示し、之を説明せよ。

- (イ) 組立木柱 (ロ) 水平支線 (ハ) 縦支線
 (ニ) 共同支線 Y形支線

- ④ 歩道車道の區別のある道路は歩道の車道側に建柱すること。
 ⑤ 他の架空電線路又は弱電流線路を貫通して建柱しないこと。
 ⑥ 道路の1側に弱電流線路がある時は、反對側に建てること。
 ⑦ 電線路の幅は2.7mを超へないこと。
 ⑧ 市街地の道路に沿つて建てる時は、道路より2.5m以内に入らないこと

(18) 電線の接續方法とその得失

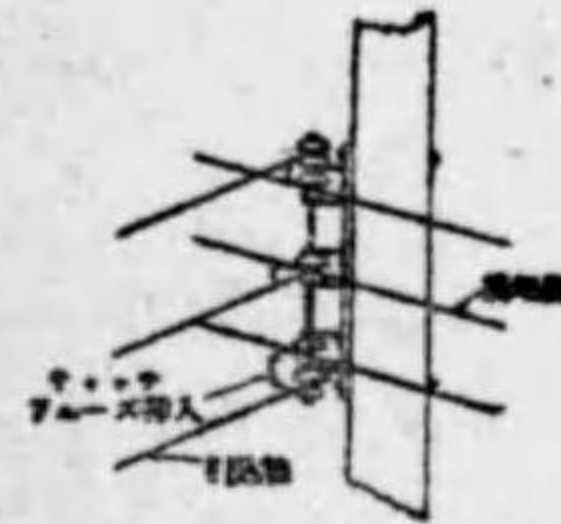
	捻り接續	巻付接續	スリーブ接續	壓縮接續
接續方法	 電線の被覆を約10cm宛割ぎ取り、中央にて2回捻り合せた後、兩端を5回巻付ける	 電線を重ね合せその上を1.6mmの裸銅線で5~15cm巻付け、更に兩端を5回巻く	 ダルマ型の引拔鋼管に兩端より電線を挿し込み、捻回器にて2~3回捻回する	 鋳型の引拔アルミ管又は引拔鋼管に兩端より電線を突合せ、壓縮器にて壓縮する
得失及び適用	比較的簡單である。直径2.6mm以下位の單線に張力のかゝらない所に用ふる。	接續が面倒である。張力のかゝらない所で、太い電線の接續に用ふる。	最も簡單で、所要時間が短く、且つ接續部の抵抗が少く、張力が大きい最も廣く用ひられる。	引張應力が大きく電氣抵抗の増加も少い。アルミ電線及び鋼心アルミ線に用ふる。

(19) 裝柱

- ① 笠金; 木柱の頂部に取付けて、雨霖の浸入に依る電柱の腐蝕を防ぐ。
 ② アームタイ; 腕木を補強し或は傾斜を防ぐ爲に、腕木相互間又は腕木と電柱の間に斜に取付ける。
 ③ 足場釘; 電柱の昇降に便利な様、電柱の兩側に千鳥型に取付ける。
 ④ 電柱札; 電柱の地表上約3mの位置に取付け、線路名、事業者名、電柱番號等を記入する。

⑤ 玉碍子; 電線が支線に接觸して漏電することを防ぐ爲に, 支線の途中に入れる。

⑥ 堅引金物 (セコンダリーラック); 圖の如く鐵管とボルトを組合せて引込線を縦に配列したものである。



(註) その特長は次の如くである。

- ① 引込線の分岐に便利で, 且つその交叉部分を生じない。
- ② 建造物樹木等と充分な側面距離を取ることが出来る。
- ③ 所要材料を節約出来る。

即ち堅引金物は, 引込線の特に多い場合の引込分岐用等に好

適である。

(20) 柱上変圧器の取付, 場所及方法

① 柱上変圧器の取付位置はなるべく負荷の中心に近く, 工事や保守に便利な處とする。

② 開閉器を取付けてある柱, 多数の架渉線があり構造の複雑な電柱, 變壓器の揚替や, 保守に不便な柱は避けること。

③ 變壓器は地表上約 4.5m の位置に堅固に取付ける。

④ 變壓器台の取付方法としては, 變壓器台による方法とハンガーによる方法がある。

(註) 變壓器の容量が 30kV 位以上の時はなるべくハンガー吊としないこと。

⑤ 變壓器の高壓引下線は 2.6mm 位以上の第四種線を用ふる。

⑥ 變壓器容量が大きい時は, 電柱を 2 本又は 3 本組合せる。

(21) 柱上開閉器の使用目的

① 故障又は工事等に際し, 區間的の停電を行つて施行に便する。

【問題】 電線の接續法 3 種を挙げ, その得失を略述せよ。

【問題】 高壓架空電線路と工作物との離隔距離を記せ。

【問題】 高壓配電線に於て, 柱上開閉器の使用目的並に取付場所に就いて記せ。

【問題】 装柱器材を列挙して説明せよ。

【問題】 柱上變壓器の取付箇所の選定と取付方法を述べよ。

② 晝夜間線より夜間配電を行ふとき切換用に用ふる。

③ 配電線の負荷分擔を變へるときにも有用である。

(22) 柱上開閉器の取付場所

① 市接地の高壓配電線路には, 互長 1km 以下毎。

② 線路の故障を捜査するに便利な所。

③ 高壓分岐線や, 引込線等の分岐箇所。

④ 架空線と地中線との接續箇所。

⑤ 高壓給電線が長い時は, 之と高壓幹線の接續箇所。

(註) 柱上開閉器は下記の電柱には取付けない。① 近づき難い電柱, ② 變壓器柱, 角度柱等の如く複雑な電柱, 等。

5.3 施設保守

(1) 配電線の電壓調整法

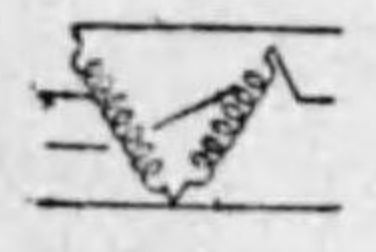
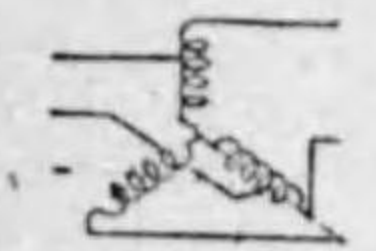
	調整施設	調整方法及び施設場所
配電線	① 柱上變壓器のタップを變へる	高壓配電線の末端程低電圧のタップを使用して, 二次電圧を略々一定にする
	② 配電線を變更する	配電線の三線式, 或は配電區域を變へる
	③ 昇壓器を取付ける	高壓又は低壓配電線が非常に長い場合, 線路の途中に入れて昇壓する
	④ 低壓或は高壓の靜電蓄電器を設置する	力率の低いとき, 線路の終端に並列に接なく
	⑤ 配電方式を變へる	稀に線路に直列に入れる事もある(主に送電線) 単相二線式を單相三線式, 三相四線式等に變へる 樹枝狀配電線を環狀式に變へる
配電用變電所	① 主變壓器のタップを變へる	一般に長い期間の電壓變更に用ふる。(負荷時タップ切替變壓器を用ひると, 停電せずにタップを切替へられるので便利である)
	② 誘導電壓調整器, タップ切換單巻變壓器を設置する	負荷變動に應じ電壓を調整する 前者は圓滑な調整が出来るが高價である 後者は安價であるが, 調整が階段的である

送電線	① 負荷時調整変圧器のタップを切替へる	送電中の儘で電圧の調整が出来る
	② 調相機又は静電蓄電器を設置する	送電線の力率を變へ、受電端の電圧を一定にする

(2) 昇圧器

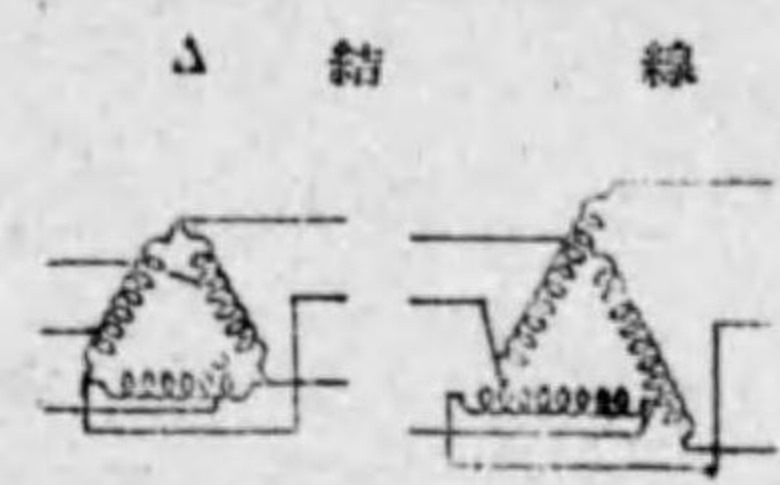
昇圧器は、上記のやうに農村等に配電する時、線路の互長が長くなつて終端の電圧降下が著しい場合に用ふる。之には低圧用と高圧用があり、低圧用は 10~15V、高圧用は 200~300V 昇圧する。又、高圧用には普通の柱上變壓器を、その二次側を直列にして用ふることもある。

三相回路用昇圧器の比較

結線	比較
<p>V 結線</p> 	<p>特長 ① 昇圧器の筒数が 2 筒でよい</p> <p>欠点 ① 昇圧器巻線の電圧降下により二次側電圧が僅か不平衡になる</p>
<p>Y 結線</p> 	<p>特長 ① 昇圧器の全所要容量が最も小さい</p> <p>欠点 ① 昇圧器一次側の定格電圧が特殊な端数になる</p> <p>② 昇圧器励磁電流の第三調波電流が線路に流れ、附近の弱電線に誘導障害を與へる</p> <p>③ 不平衡負荷により中性点電位が不安定になる</p>

【問題】 配電線の電圧を調整する方法 3 種を挙げ、之に就き略述せよ。

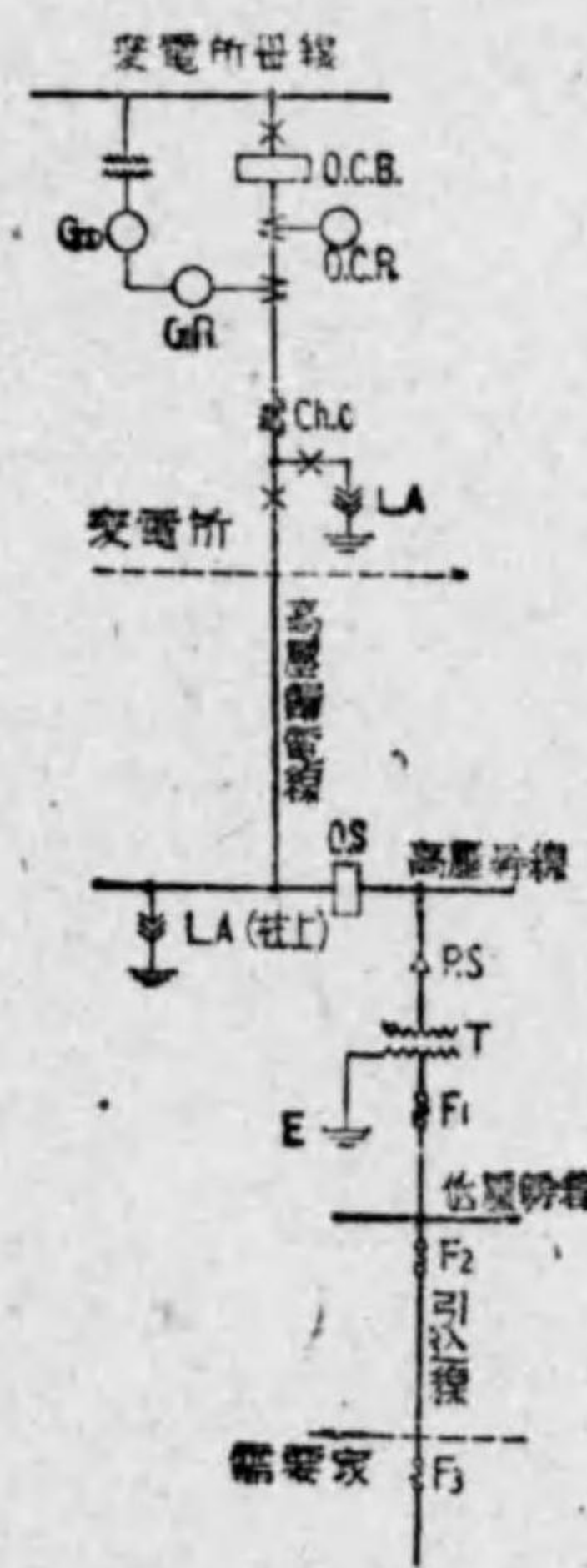
【問題】 三相回路用昇圧器の接続法として用ひられる 2 種に就き得失を記せ。



- 特長 ① 第三調波電流が巻線を循環して線路に流れない
 ② 不平衡回路でも安全に使用出来る
- 欠点 ① 昇圧器の筒数が 3 筒要る

(註) 三相同路用昇圧器には一般に V 又は Δ 結線が用ひられる。

(3) 高圧配電線の保安施設



其の主なるものを挙げると

- ① 過負荷及短絡に対する保護
- ② 地絡故障に対する保護
- ③ 雷害に対する保護

の 3 つに歸する。即ち、配電線には安全に流し得る電流の限度があつて、之れ以上を流すと、線路の器材を焼損する虞がある。故に配電用變電所に過負荷繼電器 (O.C.R.) を設けて、線路に過負荷又は短絡電流が流れた時、自動的に油入遮断器 (O.C.B.) を開く。

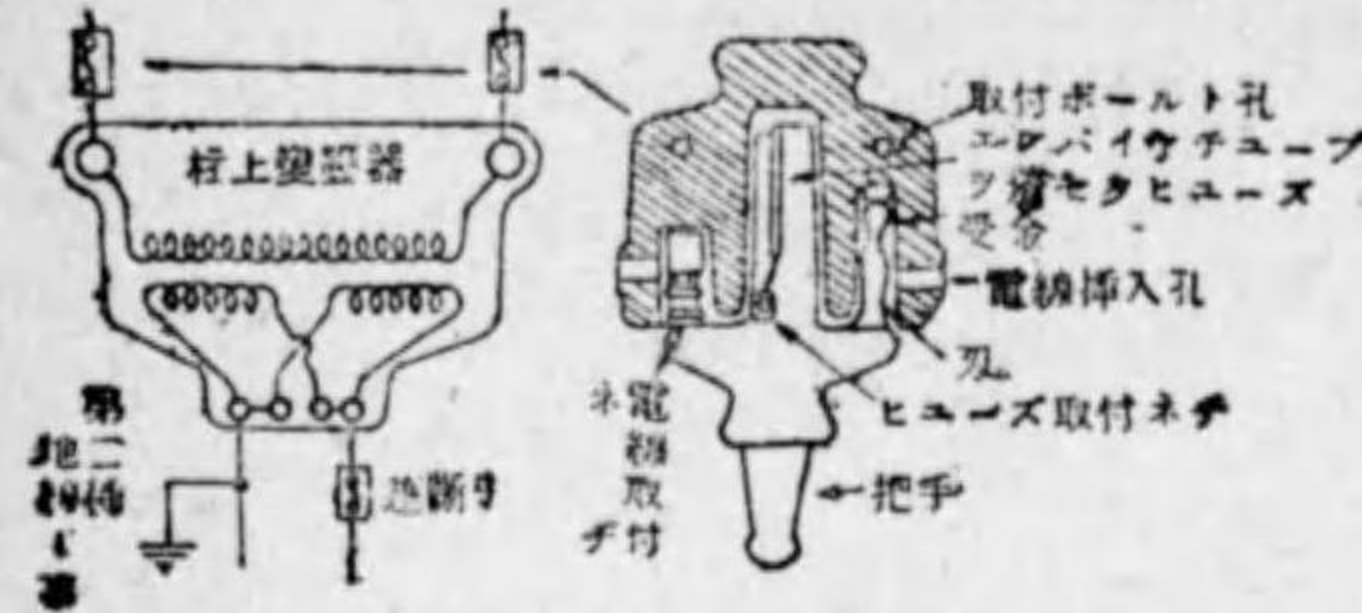
線路の地絡を知るには検測器 (G.D.) を用ひ、地絡配電線を撰出遮断するには接地繼電器 (G.R.) を採用する。

次に、配電線を雷害より保護する爲めには適當な處に避雷器 (L.A.) を使用する。尙、市街地の高圧配電線に對し、互長 1 杆以下毎、又は分岐点等に

油入開閉器を取付ける。更らに柱上變壓器にも避雷器を設ける。

(4) 柱上變壓器の保安施設

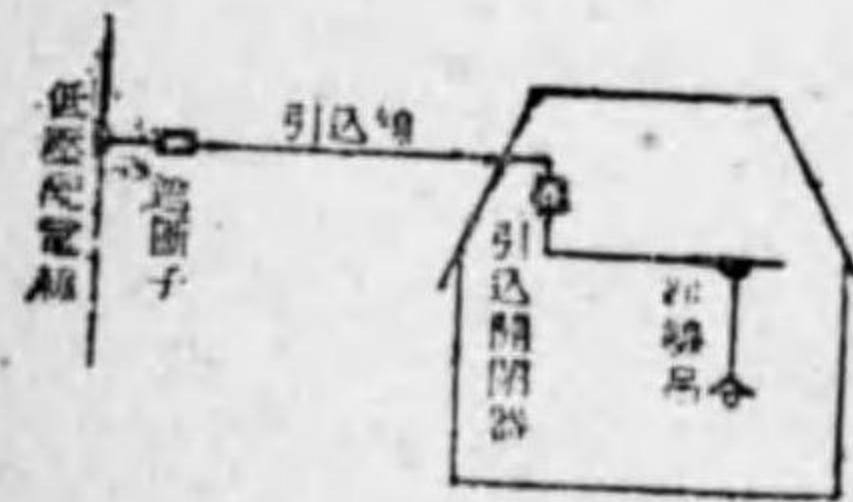
- ① 變壓器の一次側に碍子型開閉器 (P.S.) を取付け、之にヒューズを入れる



② 変圧器二次側の接地しない線に遮断子を入れ、之にヒューズ (F₁) を取付ける。

③ 変圧器二次側のヒューズのない側を第二種地線工事 (E) で接地する。

(5) 低圧配電線の保安施設



① 低圧配電線より引込線の分岐する箇所に遮断子を入れ、之にヒューズ (F₂) を入れる。

② 家屋の引込口近くに引込安全器 (双形開閉器) を設け、之にヒューズ (F₃) を入れる

引込安全器は普通陶器函と蓋から成り両極にヒューズを入れる。新式のものとは全く引き開けの出来ないやうな構造となつてゐる。此の部分に電流制限器と云つて、需用家が約定以上の電力を消費すると、例へばその過電流で熱線を過熱し金属の膨脹で電磁的に回路を切るものが取付けられるやうになつて来た。尙、従量制の需用家には積算電力計を附し、新式のものとは逆回転さしても正規の読みをする盗電防止のものさへ出来てゐる。屋内配線の負荷に接続する處には、釦を回轉して動作さす捻スイッチ、釦の起倒で動作さすタンブラスイッチ、紐又は鎖を引いて動作さすプルスイッチ等がある。

【問題】 高圧配電線路に於て、高圧線より屋内線に至る迄の總ての必要なる保安装置を挙げ、其の適用位置を示せ。

【問題】 下記の箇所に通常使用せらるゝ自動遮断器の種類を挙げよ。

- (イ) 電燈需用家引込口
- (ロ) 柱上変圧器二次側
- (ハ) ビルディング内分電盤に於ける回路分岐点
- (ニ) 變電所の主要變壓器一次側
- (ホ) 交流發電機の界磁回路(炭素遮断器)
- (ヘ) 架空配電線路の區劃用
- (ト) 屋内電燈点滅用

(6) 検漏器

検漏器の施設場所は次の如くである。

① 發電所及び變電所の引出口又は母線

② 高圧及び特高で受電する受電点

(註) 但し、15,000V 級以上の線路には施設しない。その理由は、斯様に電壓の高い送電線では、検漏器によつて線路の地絡を知らなくても、接地繼電器によつて線路の選出遮断が出来るからである。之に反し高圧配電線等は普通接地せられず、接地繼電器の動作が困難であるから、簡便な検漏器によつて地絡を知る。

③ 變電所以外で、特別高壓を高圧に下げる特別高圧用變壓器の高圧側。

(7) 避雷器

避雷器は雷等による線路の異常電壓を大地に導いて、線路や機器を防護する爲

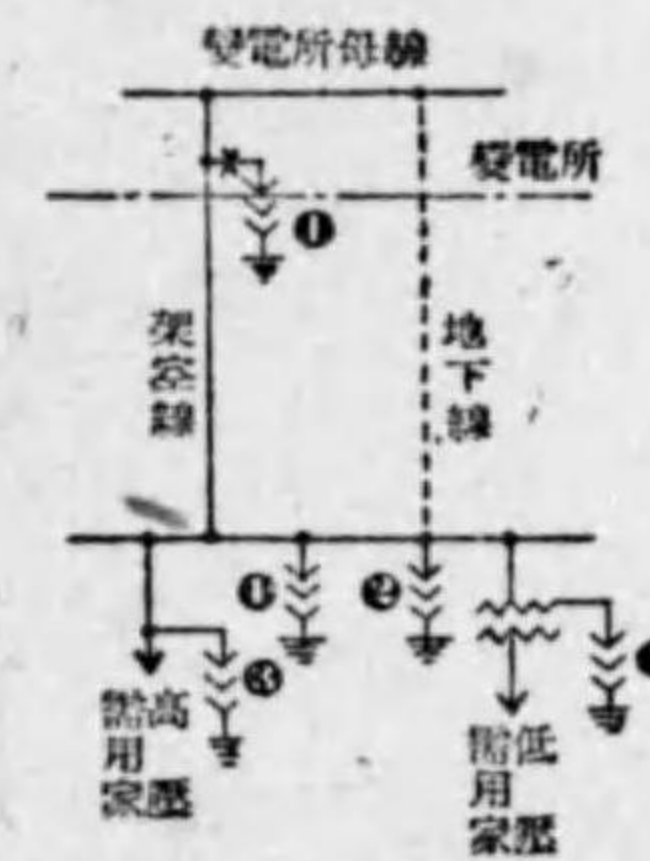
に設ける。避雷器を取付ける箇所は、

① 發電所又は變電所の架空線路、引込口又は引出口、或は母線。

② 架空線路と地下ケーブルの接続箇所

③ 高圧架空線路にて供給する、100kW 以上の需用場所の引込口又は母線。

或は特別高圧架空線路にて受電する需用場所の引込口又は母線。



④ 雷災を屢々受ける高圧幹線部分。

⑤ 柱上變壓器の一次側又は市街地外に施設し、特別高壓を高圧に下げる配電用變壓器の一次及び二次側。

(註) 變壓器の一次電壓が 10kV 未満のものに限り、特別高圧側には避雷器を取付けなくてもよい。この變壓器は、建物を省略した簡易屋外式變電所、又は高圧ネットワークの給電用變壓器等の場合である。

(8) 高圧電路の保安用火花間隙

高圧線路は原則として接地を禁止されてゐる。従つて、特別高壓を高圧に下げる變壓器の高圧側には、保安の爲め特別高壓で放電する火花間隙を設けて、一次

と二次の混觸による危険を防ぐ。

高 壓 側 の 電 圧	放 電 間 隙 の 放 電 電 圧
1000V 未満の高圧	高圧側電圧の約 2 倍以下
1000~1400V	約 2000V 以下
1400V 以上の高圧	高圧側電圧の約 1.5 倍以下

(註) 高圧線路は弱電流線と交叉又は接近してゐる箇所が多い。従つて、線路に地絡故障が起つた時の、地絡電流による誘導障害を防ぐ爲に、高圧線路は原則として接地しないことになつてゐる。

但し、電圧計型検漏器、又は選擇接地繼電器を使用する爲に計器用變壓器を Y 結線として、その中性点を接地した場合は、線路の線地絡電流を 500mA 以下に制限しなければならぬ。

(9) 地線工事(接地工事)

地線工事の種類と接地抵抗は

- ① 第一種地線工事……接地抵抗を 10Ω 以下にする。
- ② 第二種地線工事……(配電用柱上變壓器の二次側)……

$$\text{單獨の場合の接地抵抗}(\Omega) < \frac{150}{\text{變壓器一次側ヒューズのアンペア値} \times 2}$$

$$\text{架空共同地線の合成接地抵抗}(\Omega) < \frac{150}{(\text{變壓器の一次側定格電流の總和}) \times 0.4 \text{ 又は } (\text{最大容量變壓器の一次側ヒューズのアンペア値}) \times 2}$$

(註) 架空共同地線の場合の右邊の分母は、何れか大きい方を取る。

- ③ 第三種地線工事……接地抵抗を 100Ω 以下にする。

(10) 接地施設に對する地線工事の種類

【問題】 下記の施設場所を述べよ。

- (イ) 検漏器
- (ロ) 避雷器

【問題】 特別高壓を高壓に變成する變壓器の保安間隙に就き述べよ。

施 設	最高使用電圧	接 地 工 事
避雷器	全 部	第一種地線工事
發電機、電動機、回轉變流機、調相機等の鐵合	特高及び高壓	第一種地線工事
變壓器の鐵心又は外函	低 壓	第三種地線工事
計器用變成器の二次側	特別高壓	第一種地線工事
配電用變壓器の二次側の線	高 壓	第三種地線工事
	高 壓	第二種地線工事
① 金屬管工事、金屬線樋工事の金屬部		第三種地線工事
② ネオン管燈用變壓器の外函及び之を被る金屬函		
③ 高壓配電用變壓器の變壓塔の金屬部		
④ 150V 以上の電熱器の金屬製外函		

(11) 地線工事を省略してよい場合

- ① 乾燥した場所に使用する交流 150V、直流 300V 以下の機器。
- ② 低壓用電氣機器を乾燥した木製の床等の上より取扱ふとき。
- ③ 第三種地線工事で、接地金屬と大地の間の抵抗が 100Ω 以下のとき。
- ④ 高壓用柱上變壓器の外函を、人が容易に觸れない様にしたとき。

(12) 架空共同地線

第二種地線工事に於て、1 箇の變壓器の接地抵抗が規定値以下にならないとき幾つかの變壓器の接地側を架渉線によつて連結する。之を架空共同地線と云ふ。

(註) 架空共同地線には 5mm (各變壓器毎に接地した時は 4mm) の硬銅線を用ひ、接地箇所は、各變壓器の左右各 200m の範圍内に、2 箇所以上あること。

(13) 架空地線

上記と全く其の目的が異なる。主に送電線に於て、線路を雷の直撃より防護する爲に用ふる。即ち、線路の最上部に 1~2 本の接地線を張り、之に落雷する様にする。或は雷に依る誘導電圧を低減し、其の被害を小ならしめる。

(14) 保護線及び保護網

保護線及び保護網は、高圧又は低圧裸線が弱電線の下部で接近又は交叉する時に設ける。

接近又は 45° 以下で交叉したとき……保護網

45° 以上の角度で交叉したとき……保護線

(註) 但し、次の場合は不要である。① 水平接近距離が 2.5m 以上のとき、② 水平距離 1.5m 以上で、垂直距離がその 1.5 倍のとき、③ 弱電線に第四種又は 5mm の裸硬鋼線を使用したとき。

又、電線路と保護線及び保護網、保護線及び保護網と弱電線との間隔は何れも 60cm 以上離さなければならない。

(15) ラインスペーサ

架空電線の混觸を防ぐ爲に設けるものである。絶縁棒に 2~3 箇の十字型の碍子を取付け、之を線路 1 回線の径間の中央部に乗せ、十字型碍子に電線を縛り付けて固定したものである。

(註) 本器は、径間の特に長いとき、暴風雨、地震等の多い地方、變電所附近の架渉線の多いとき、等に用ふる。

(16) 配電線の力率改善

① 各種負荷の力率;

負 荷 の 種 類	力 率 (%)		容 量
	全 負 荷	無 負 荷	
ネオン燈	40~50		30~ 150 W

【問題】 地線工事の種類を挙げ、其の施設を要する實例の各 2 つを挙げよ。

【問題】 配電線用架空共同地線につき下記事項を説明せよ。

- (イ) 本施設を必要とする場合
- (ロ) 架空共同地線及び接地線の太さ
- (ハ) 必要なる接地箇所数及び架空共同地線の擴がり得る範圍

【問題】 保護線及び保護網を施設する場合を説明せよ。

【問題】 配電線の力率を低下せしむる原因の主なるものを挙げよ。

三相誘導電動機	(低壓)	82~86	15	1~ 30 HP
	(高壓)	70~80	11~5	100~1000 HP
单相誘導電動機		60~70	20~17	1/8~ 1/2 HP
交流電弧溶接機		30~40		5~ 20 kW
誘導電氣爐	(低周波)	60~80		50~ 500 kW
	(高周波)	10~20		

(註) 配電用變電所の負荷力率は工業地域 70~85% 位である。

② 力率が低いときの影響;

負荷の力率が低いと、次の缺点がある。

- ① 同一の設備に對し最大電力が減少する。
- ② 同一の kW 出力に對し、設備容量及び損失が増す。
- ③ 電壓變動率が増加する。
- ④ 線路の送電能率が低下する。

(註) 力率の低い負荷に對しては、無効積算電力計等を取付けて料金の割増を行ふこともある。

③ 静電蓄電器による配電線の力率改善;

低壓側の誘導負荷と並列に静電蓄電器を接続して、綜合力率の改善を計る。或は幾つかの需用家を一括して供給する柱上變壓器の高壓側に接続することもある。以上は並列に結ぶのだが、線路に直列に挿入することもある。

④ 高壓用静電蓄電器と低壓用静電蓄電器の比較;

高壓用は低壓用に比し、① 静電容量が小さく、従つて價格が安い。② 箇数が少く保守が容易である、等の特長があるが、① 取付けが困難である。② 柱上變壓器以下は力率が改善されない等の缺点がある。

(17) 配電線の巡視

巡視の目的は、電氣工作物が人畜に危険を與へる處がないか、或は工作物規程に觸れる箇所はないか、等を調べ、不良箇所を發見した場合は直ちに修理して甚

配電〔施設保守〕

配電線の巡視 配電線の試験

障を未然に防ぐ。

巡視には常時巡視と非常巡視があり、前者は年に3~6回位、後者は暴風雨、出火等の非常の際に行ふ。

巡視の時に点検並に注意すべき事項は、

- ① 支持物： 電柱や支柱の腐朽並に傾斜、支線の腐蝕及び断線、根柢の露出等、
- ② 腕木類： 腕木、アームタイの腐朽及び彎曲、ボルト、ナット類の弛み並に脱落等、
- ③ 碍子： 碍子の破損並に汚損、バインド線の腐朽や脱落等、
- ④ 電線： 電線の弛度不良、被覆の腐朽、保護線の腐蝕等、
- ⑤ 柱上変圧器及び油入開閉器： 碍管の破損並に汚損、取付状態の良否、油の汚濁等、
- ⑥ 樹木及び他の工作物との関係： 人家、煙突、アンテナ、他の電線路等との接近距離等、家屋並に道路の変更等、
- ⑦ 引込線： 電線の混線、家屋等との接近距離、引込腕木並に碍子等の損傷、引込ケッチホルダの良否、家屋の改造等、

(18) 配電線の試験

種類	試験方法
絶縁抵抗	低圧配電線 柱上変圧器 全線を一括し大地との間に使用電圧を加へた時の漏洩電流が、最大供給電流の1/1000以下 高圧側—低圧側及び大地間……20メガオーム以上 低圧側—大地間……………5メガオーム以上

【問題】 高圧配電線の保守上留意すべき事項を列挙せよ。

【問題】 高圧配電線に於て線路電流を測定する理由を述べよ。

△問題】 配電線の試験項目を挙げよ。

配電(地下電線路)

配電線の試験 地下電線路と架空線路の比較 ケーブルの布設法

絶縁耐力	高圧配電線 柱上変圧器	各線と大地の間に、最大使用電圧の1.5倍の電圧を10分間加へ、之に耐へること 高圧側—低圧側及び鐵心間……使用電圧の2倍を10分間 低圧側—鐵心間……1000Vを10分間、夫々加へる
接地抵抗	柱上変圧器の二次側接地 保護線及び保護網の接地 避雷器の接地	接地抵抗の値は60頁を参照。毎年1回測定し記録する 接地抵抗の値は100Ω以下。毎年1回測定し記録する。 毎年1回測定し記録する。(接地抵抗10Ω以下)
電圧及び電流	需用家の電圧(年に2回) 需用家の電流(年に1回)	引込口の電圧を變壓器の直下とその末端で測る。 標準電圧、電燈101V、電力202V、電圧變動率、電燈±6%、電力±10% 最大負荷時(冬季点燈後1時間位の時)の配電線の電流を測る。
漏洩電流	低圧配電線の漏洩電流	變壓器1箇の二次側配電線路の漏洩電流は、最大供給電流の1/1000以下。

5.4 地下電線路

(1) 地下電線路と架空電線路の比較

地下電線路	架空電線路
① 都市の美観を害さない	① 工事が極めて簡単である
② 風雨や雪等の被害が少ない	② 点検や保守に便利である
③ 人畜に対する危険が少ない	③ 故障の発見や修理が容易である
④ 線路の故障が少ない	④ 工事費が安い
⑤ 弱電線に誘導障害を與へない	⑤ 線路の変更等が容易である

(2) ケーブルの布設法

	直接埋設式	管路引入式
布設法	<p>陶製の半土管, 又はコンクリートの桶の中にケーブルを入れ, 川砂を充填して蓋をする。</p>	<p>鐵管, コンクリート管, アスベストセメント管, 陶管等の管を地中に埋めてその中にケーブルを導入する。</p>
比較	<ul style="list-style-type: none"> ① 工事が早く建設費が安い。 ② 布設する時大きな張力を與へない。 ③ ケーブルの長さは任意でよい。 ④ 熱の放散がよく安全電流が大きい。 	<ul style="list-style-type: none"> ① 線路の故障が少い。 ② 故障の発見及び修理が容易である。 ③ ケーブルの引換が容易である。 ④ 埋設管が多いと, 増設が容易である。

〔註〕 直接埋設式には鉛装又はジユート巻ケーブルを, 管路式には鉛被ケーブルを用ふる。尚上の外に暗渠式もある。

(3) 人 穴

管路式に於て, ケーブルの引入れ引抜きを行つたり, 又, 接続作業, 故障箇所の発見等を行ふ爲に, 管路の長さ 100~200m 毎に人穴を設ける。人穴の形は普通

〔問題〕 地下電線路と架空電線路の得失を比較し, 地下電線路の使用を適當とする場合を説明せよ。

〔問題〕 ケーブルの布設法 2 種を擧げて説明せよ。

〔問題〕 下記事項を略述せよ。

- (イ) 分岐函 (ロ) 鉛被損 (ハ) 人穴

四角又は丸形でコンクリート又は煉瓦等で作り, 上部に鐵蓋をする。

(4) 變 壓 塔

地下電線路に於て配電用變壓器を取付ける場合, 變壓器を地下室に入れると濕氣により絶縁が低下するから, 路面上にコンクリート等の塔を建て, この中に變壓器を入れる。又塔内には開閉器及びヒューズを取付け, 塔の金屬部は第三種地線工事で接地する。

(5) 分岐函 (又け配電函)

地下電線路に於て, 幹線より引込線が分岐する所に設ける。分岐函の内部には開閉器とヒューズを取付ける。

(6) ケーブルの鉛被損

單心ケーブルに交流を流すと, 交流による交番磁界によりケーブルの外装(主に鉛被)に電圧を誘起し, 電流が流れてオーム損 (I²R 損) を生ずる。之を鉛被損と云ふ。

〔註〕 三相用三心ケーブルでは各相の磁界が打ち消し合つて, 殆んど鉛被損を生じない。

5.5 屋 内 工 事

(1) 各種屋内配線工事方法

之れを表示すると次の如くである。

工事種別	得 失	使用電線	電線支持方法	主たる施設場所
露出工事	点檢修理に容易, 工費は廉, 電線が損傷され易い	第二種 第三種 第四種 絶縁電線	碍子にて支持	展開せる場所, 工場等
隠蔽工事	工事費は廉, 引火し易し。	全 上	全 上	掩蔽せる場所, 木造家屋
木製線種工事	全 上	第四種 絶縁電線	木製線種内	立下り引下げ工事
金屬線種工事	施設が簡單, 体裁良し, 變更が容易, 濕氣ある處に適せず	全 上	金屬線種内	配線が屢々變更せられる處

金属管工事	電線が損傷されない 引火の虞がない、耐 水的である、工事費 は前項と共に高い	全上	金属管内	ビルディング、 発電所内配線
-------	---	----	------	-------------------

(注) 床下線種工事; 家屋新築のとき床下線種を格子状に、床の仕上り面より数 cm の深さに埋設したものである。この方法は事務室、商店の賣り場等に用ひられ、任意の位置に器具の受口を設けることが出来る。即ち、必要の生じた箇所の線種の真上に小孔を明け、電線を最寄の接続函より引入れて、此處にコンセント等の受口を設けて使用する。この方法は受口の新設や移動が極めて容易である。

(2) 屋内配線器材の代用品

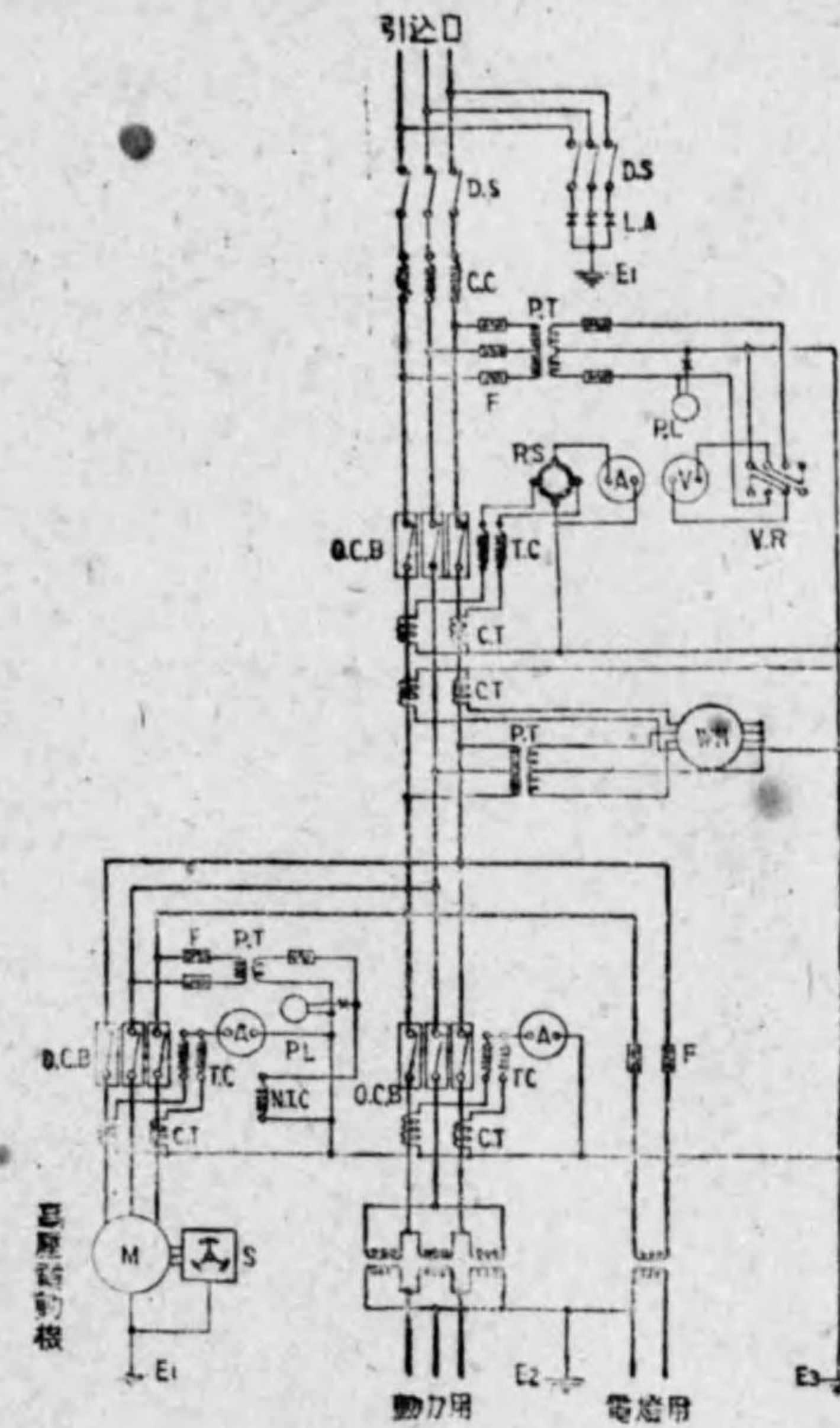
名 稱	舊 材 料	代 用 材 料
絶縁電線	第二種及第四種線	暫定第二種及び暫定第四種線
コード	第一種—第四種	暫定普通及び暫定防濕コード
封印線(計器用)	銅漆線	漆引麻紐 セラチン引絹紐
ノ ッ プ	普通ノツプ(バイ ンド線使用)	バインドレスノツプ(バインド線不要)
ク リ ー ト	二つ穴クリート	一つ穴クリート(木ネチ1本節約)
電 線 管	鋼管	ファイバ管
電 球 口 金	眞鍮	鐵(亞鉛又はカドミウム鍍金)
ソケット螺殼	銅又は丹鉛	鐵, アルミニウム
笠 留	眞鍮	鐵, ファイバ
積算電力計カバ ー	アルミニウム	ガラス

(註) ファイバ管; 屋内配線工事用金属管の代用に用ひられるもので、その工事方法の要領は次の通りである。

- ① 管が外傷を受ける虞のない乾燥した 600V 以下の工事に用ふる。
- ② 電線の安全電流は金属管の場合より適當に減ずる。
- ③ 管は厚さ 6mm 以上のもので、交流 1500 V 1 分間の耐壓に合格したものであること

【問題】 各種屋内工事方法の得失を記せ。

【問題】 最近使用せられつゝある屋内配線用器材の代用品を挙げよ。



凡 例

- | | |
|--------------------|--------------------|
| D.S. ... 断路器 | L.A. ... 避雷器 |
| E1 ... 第一種地線工事 | C.C. ... 塞流線輪 |
| F ... 可熔片 | P.T. ... 計器用變壓器 |
| P.L. ... 表示燈 | V ... 電壓計 |
| V.R. ... 電壓計用栓受 | P ... 電壓計用挿込栓 |
| O.C.B. ... 油入遮断器 | C.T. ... 變流器 |
| T.C. ... 引外線輪 | R.S. ... 電流計用栓スイッチ |
| A ... 電流計 | W.H. ... 積算電力計 |
| N.T.C. ... 低電壓引外線輪 | M ... 電動機 |
| S ... 起動裝置 | E2 ... 第二種地線工事 |
| E3 ... 第三種地線工事 | |

(3) 電線接続圖の一例

其の一例として、全容量が 100 kVA 以上の需用家で、負荷として高壓三相電動機、低壓三相電動機及電燈 (50 kVA 迄) を有する場合、高壓で受電した時の配線圖を示した。

① 引込口; 此處に塞流線輪と避雷器を置いた。之れに依つて、配電線が受けた雷電壓が内部に侵入するのを阻止する尤も受電容量の小さい場合、變電所から地下ケーブルで受電する場合等では是等を省略してもよい

② 受電用配電盤; 此處では油入遮断器を設け過負荷又は短絡で自動的に回路を開くやうに、引外線輪 (T.C) が變流器 C.T に結ばれて居る。尙此の回路には R.S を通じて電流計が結ばれ、各相の電流を 1 箇の電流計