

## 本期要目

電業之電氣化.....	沈 嗣 芳
電報傳輸.....	沈 秉 魯
電話工程設計大意.....	毛 啓 興
定製通廠雙聯式感應電動機之動作試驗.....	楊 瑞 德
電機之磁路電路對於磁場之反應.....	王 國 松
交流電機之電流及電壓之波形.....	孫 震 湖
電機之理論及其應用.....	顧 國 順
電管板.....	沈 善 澄
真空管之原理.....	丘 偉
電磁中之電容現象與自由周期.....	段 祖 靈
變壓器之排列作用.....	唐 世 博
電子之測量標準.....	沈 尚 賢
電池測驗法.....	莊 漢 功
異相電動機之選擇.....	楊 瑞 德 先生 講 錄
之副波之圖解法.....	朱 維 記
力網之通信保安監察及其控制系統.....	張 國 棟
線路內電力干擾之減免.....	張 培 仁
大學工學院二十三年度入學試題.....	邵 培 梓
	附 錄





商  
標



註  
冊



國產電木粉之元祖

# 瑚珀模製粉

Huplex Moulding Powder

用本公司出品之瑚珀粉製成  
之電木物件其光彩色澤機械  
強度電氣絕緣均能超過他種  
電木粉所製者一經採用無不  
滿意愛國電木廠家請試用之

上海麥特赫斯脫路 106/1

和豐電化公司謹啟

校 址

南京大石壩街四十四號  
電話掛號七一九三  
電報掛號二一三六六二

知識爲一切成功之母

欲學專門學術欲求專門職業者請即日報名入

全國民營電業聯合會創辦

電業函授學校

校 長 李 彥 士  
函授部主任 沈 嗣 芳

報名處

上海南京路二一〇號  
電話掛號九六六九  
電報掛號九六六九

本校爲培植電業人材，供給同業聘用起見，呈准中央主管機關，先辦實用電學一科，年來報名入學者非常踴躍，現第一屆已畢業，自二十三年一月起，除原有實用電學科外，另添辦實用會計科，內除初級高級商業簿記外，加設電業會計，成本會計，公司會計三選修科，聘請中華工程會計聯合事務所主任會計師于懷仁先生爲函授講義編輯主任，常年招生，章程及入學志願書，附足郵票，函索即寄。

修業年限

實用電學科一年畢業  
實用會計科初高級商業簿記班十個月畢業  
選修科 電業會計：五個月畢業  
成本會計：十個月畢業  
公司會計：五個月畢業

學 費

實用電學科二十元，分兩次繳者，每次十一元分四次繳者，每次六元，另收郵費二元  
實用會計科初高級商業簿記班共十六元選修科電業會計十元，成本會計廿二元，公司會計十元，郵費購義費另加。

資 格 待 遇

凡粗通本國文字而有志求學者均得隨時報名入學  
畢業成績優良者，得介紹入各大電廠服務，在校時並設有獎學金辦法，詳章函索即寄

商務印書館編印

# 大學叢書

貢獻整個的大學用書

促進我國的學術獨立

加印紙面平裝本 減輕讀者負擔

本叢書由敝館邀集國內各大學校及學術團體代表，組織大學叢書委員會，在整個計劃之下，分請各科專家擔任編輯，並徵求相當文稿，期收全國學者通力合作之效。預計第一期書四百餘種，可於五年內出齊，至二十四年四月底止，已出一百四十一種。各書著作人均為大學教授及各科專家，而各書本身又多原為國內各大學所用之教本。內容切合國情，足以促進本國學術之獨立。故自出版以來，本國大學採用此本國文字之教本者益見普遍。各書售價遠低於原版西書，自加印平裝本後，售價較精裝本又減三分之一，更為全國各大學節省無數金錢。

第一期 擬出及已出種數

院別	擬出種數	已出種數
文學院	八一種	三八種
理學院	七五種	一八種
法學院	五三種	三六種
教育學院	四六種	二五種
農學院	三二種	三種
工學院	一〇四種	十種
商學院	二六種	五種
醫學院	一五種	六種
總計	四三二種	一四一種

附閱大學叢書已出版書目錄

# 中國自動電話公司

## 獨家經理美國自動電話公司

製造廠設在美國芝加哥分廠設英國利物浦及比國愛德華浦專門製造自動電話及各種人工電話交換機電話用戶機鉛包電纜線路材料馬達發電機蓄電池與其他各種電料價格低廉材料堅固如蒙垂詢請駕臨敝公司面洽或隨時通信無不竭誠答覆也

總公司 上海沙遜大廈二三六號  
電話 一六一一五號

電報掛號

英文 "STROWGER"  
中文 五二六一



# 東方

年紅電光公司

年紅燈是廣告利器！

電省 價廉

美觀 耐用

完全華商創辦

國府特許專利

承裝上海一埠年紅  
燈有二千餘家之多

總公司上海靜安寺路四一一號

電話 營業所 三五零八五  
製造廠 三五八三九

電

機

工

程



## 第三卷第二期目錄

## 論著與譯述

電線事業之電氣化.....	沈嗣芳.....	1
有線電報傳輸.....	沈秉吾.....	5
長途電話工程設計大意.....	毛譽爽.....	29
電氣製造廠雙籠式感應電動機之動作試驗.....	楊維德.....	46
直流電機之短路電流對於磁場之反應.....	王國松.....	51
鉅弧整流器電流及電壓之波形.....	孫麟洲.....	55
逆相機之理論及其運用.....	俞國順.....	80
真空管振盪器.....	沈善澄.....	92
真空管之原理.....	丘偉.....	110
直流電樞中之電容現象與自由周期.....	程祖憲.....	125
單相變壓器之並列作用.....	唐世博.....	136
電離管之出量標準.....	沈尚賢.....	154
管電池測驗法.....	莊漢明.....	157
電氣鐵道電動機之選擇.....	楊維德先生講授世功記.....	162
測定漏波之簡解法.....	朱國棟.....	174
電力網之通信保安監察及其控制系統.....	張家仁.....	181
電話線路內電力干擾之減免.....	邵培特.....	189

## 調查與附錄

電機工程學會第九屆理事會職員一覽.....	202
歷屆學董會員新選職員之調查.....	202
國立浙江大學工學院二十三年度入學試驗.....	203

## 補白與後記

非線性電阻現象的解說.....	謝.....	180
交流電壓測量值與電壓計之量法.....	謝.....	180
磁鐵之電氣阻抗及粘度與絕對溫度之關係.....	謝.....	79
補白.....	謝.....	208

## 廣告索引

和豐電化公司.....	封面後
電業函授學校.....	1
商務印書館.....	2
中國自動電話公司.....	3
東方年紅公司.....	4
土木工程.....	正文後5
機 工.....	6
工業安全.....	7
工業中心.....	8
興業五金行.....	8
浙江省立圖書館鉛印部.....	9
適麗洋服號.....	10
龍門印務局.....	10
志達洋紙行.....	11
正大煤號.....	11
鼎昌煤號.....	12
協成源記營造廠.....	12
華通電業機器廠.....	13
杭州大來鐵工廠.....	13
中國銀行.....	14
安利洋行.....	} 封面反面
益中公司.....	
建設委員會電機製造廠.....	封面正面

# 蠶絲事業之電氣化

沈嗣芳

我國號稱以農立國，絲茶向為出口大宗，海通以來，國人醉心歐化，俗尚浮華，繅絲採茶，一般人既不屑為，而已身服用所需，尤必舶來是尚，於是海關貿易冊上，絲茶之出口日減，洋貨之進口日增，數十年來，金錢之流出不絕，形成今日貧弱不景氣之狀態。

吳興出產以絲綢為大宗，年來受不景氣之籠罩，亦日呈衰頹之象，余在民國十五年時，已注意綢業之電氣化，以為欲節省開支，增加產量，改良質地，非採用電力不可，十年以來，逐漸推廣，現在湖州城內人力織綢機，大半已改用電力，並已推廣至北鄉一帶，電力織綢已成為一種家庭工業，此中經過，言之甚長，他日當搜集各種統計資料，著為專論。

今日所欲談者，為養蠶及繅絲事業之電氣化，蓋欲根本改進吳興之絲織事業，須從種桑養蠶藏繅繅絲全部解決，而據余所知，則無不賴乎電氣以為改進之原動力也。

諸君當知全世界之生絲市場，已操諸日本人之手，日本每年產絲四千萬公斤，佔世界產量百分之七十，農民之養蠶，佔全國百分之三十八，近來雖人造絲日益進步，然天然絲並未因之淘汰，因其質地之優良，實駕乎人造絲之上也，反觀我國，則天然絲品質每况愈下，生絲出口，逐年減退，而人造絲之進口，則逐年增加，其故由於國民無愛國心者半，由於農民缺乏常識，不知改良者亦半，日本之所以能在天然絲方面握世界之牛耳者，除其農民對於養蠶均富有經驗外，各地電氣公司，均能與農民合作，實施蠶絲事業之電氣化

也。

湖州全縣種桑之田，據最近統計，有二十五萬畝，每年產絲五百餘萬担，農民養蠶者佔百分之七十，以一隅而論，蠶絲事業之發達，實駕乎日本之上，輯里之絲名聞世界，近年以來，衰落至此，可為浩嘆，竊嘗以為欲發展我國蠶絲事業，恢復歷史上之光榮，應擇吳興為出發點，其方法應儘量利用電氣，其責任應由電氣公司之技術人員擔負之也。

茲略述自靜種以迄繅絲各種階段可以利用電氣之處如下。

一、蠶種之儲藏 目下我國改良製種，均採用冷藏方法，秋蠶種子，更非冷藏不可，其壓氣機若採用電力傳動，則成本減輕，清潔衛生，猶其餘事，大概五匹至七匹半馬力之電氣冷藏機，可儲藏蠶種十五至二十萬張，半匹至一匹馬力之電氣冷藏機，可儲藏蠶種五千至一萬張。

二、蠶種之靜化 靜種採用電氣烘熱法，則溫度調勻，衛生便利，安全而無火患，遠非其他燃料可比，其他人工靜種方法，如酸浸法，係將種子浸於加熱之稀鹽酸內，取出後須用電氣風扇使易乾燥，不致妨害其發育，他如放電靜化法，更須賴乎電氣法，用平常交流一百伏之電源，升高至二萬五千伏，然後用變流器將其變為顫動之直流電，約需十分之一安培，通過放電器，此放電器計有四個單位，每個單位均有一靜止子與一旋轉子，前者成圓筒式，後者亦成圓形，上有放電針，在靜止子內旋轉，蠶種紙即貼在靜止子之內面，旋轉子係用馬達拖動，在兩者之間，放電時產生臭養氣，約須轉動一刻鐘，蠶種即膨大而呈特種光彩，二三日後蠶子完全靜化，其靜化之效率，可達百分之九十一至九十七，通常二十四個單位之放電器，每日可靜化一千至二千張，所需電能僅七飯時而已。

三、蠶房之加溫 蠶須在華氏七十至七十五度之間生長，木炭及煤球有煙臭而不衛生，故日本農家已用電熱器，因其既易調整室溫，並無火患，大概一丈見方之蠶房，須用一千二百瓦電熱器，裝有三個開關，一為三百瓦，一為六百瓦，一為一千二百瓦，此種電熱器，能將上述蠶房溫度升高十度乃至

## 十六度。

四、蠶房之照明 電氣照明，日本自一九二七年起已採用，自蠶種完全馴化以迄上簇作繭，每夜均須用電燈照明，惟眠醒後十小時內不宜用，以免過度之疲勞，所用燈泡以黃色玻璃為最宜，因紫外光有傷蠶體，已被變為黃色光線也，電氣照明之利益，可分下列數點：

- (一) 縮短養蠶時間，
- (二) 節省燃料，
- (三) 清潔衛生，
- (四) 節省人工及桑叶，(生長不致停滯故食叶較少)
- (五) 增加產繭量，
- (六) 改進繭之質地(光澤增加繅絲容易)
- (七) 增加產子量。

五、桑園之照明 桑叶之照明，其目的有二，一為增加桑叶之產量，一即殺除害蟲是也，法用二百瓦電燈四只，自北方照至桑樹園地上，據說能增加產量百分之二十乃至百分之七十，電燈之下，承以水盆，加煤油數滴，即為極有效之捕蟲器矣。

六、蠶房之通風 蠶身長大後，室內通風，乃為必要，否則蠶身發出之熱及炭養氣，將無從發洩，而溫度之調整，亦有賴乎通風也，三十生的對徑之電風扇，足供面積兩方丈蠶室之用，每次加叶前開用數小時，最為適宜，蠶正食叶時則不宜，因恐太燥，反足使桑葉乾枯也，合宜之通風，能增加產繭量百分之十，光澤亦有增加，繅絲亦較容易，桑叶太濕時，亦可使用風扇，使其濕氣易於散失也。

七、蠶房之冷卻 飼養只蠶或秋蠶時，常嫌天氣太熱，室內溫度高至九十度之上，此際蠶易衰弱，甚至死亡，故須使其冷卻，通常冷藏機太貴，而不經濟，蠶室既大，自難採用，日本鄉人所用方法，可分三種：

- (一) 用深井水使其週流於室內吸收熱氣，其廢水仍作灌溉之用；
- (二) 蠶房係用厚牆所造，日間窗戶緊閉，不透熱氣，晚上則開窗通風；
- (三) 將桑叶先冷卻，然後飼蠶。

八、溫度之調整 溫度過高，水份太多，對於養蠶均為不利，最適宜之濕

度爲百分之六十，或較低於六十，燃料之燃燒，或電氣火爐，均足以調整溫度，或用化學藥品，以吸收水份，使溫度不致增加尤妙。

九、繭之選擇 生繭在暗處經紫外光之照射，發出紫色，黃色，或黃紫混合色之螢光，發黃色螢光者最易繅，條紋最勻，故經此種方法選擇後，可得最好之生絲，紫色螢光或其他色彩亦可繅得甚佳之絲，只須煮繭時之溫度加以調整，此種選擇器大概用一二百瓦之水銀弧光燈，加濾光器使普通光線不能通過，獨紫外光能通過耳。

十、繭之烘乾 每公斤鮮繭用電氣烘乾，約須用電 0.83—0.98 度，烘乾器包括自動輸送器及電熱器，後者之電工率爲二十瓦，若再加以改良，每公斤耗電可減至 0.7 度，據日本統計，若電費相當低廉，能與木炭及其他燃料競爭也。

十一、繭之冷藏 繭之烘乾儲藏尚不及冷藏爲佳，如用冷藏法，則溫度須在華氏四十度之下，而濕度則須在八十度下也，儲藏一千五百噸鮮繭之冷藏庫，需用馬力八十三匹，冷藏之繭易繅，煮繭時可用較低之溫度，絲之拉力亦較強，我國近來亦有採用者。

十二、電氣繅絲 我國絲廠以電氣馬達傳動者，已甚普遍，日本近正試驗電氣煮繭及蒸氣鍋爐之電化，惟因耗電太多，未能上算，至於防止絲之短頭，則已採用直流電繼電器，頗見成效，他如裝用管子燈泡，增加工作效率，則已數見不鮮云。

總之，我國各種事業均落人後，蠶絲事業，尤屬顯著，非採用最新式之工具，迎頭趕上做去，將來永無發展之希望，電氣者，二十世紀最神速靈敏，抑且最新式之工具也，上述各種電化方法，如電氣解種，電氣照明，均非難辦，諸君如有志於此，曷擇其易辦者在此春蠶時期試爲之，倘能將其結果告余，俾作進一步之研究，尤所望焉，此稿最近曾在湖州湖郡女子中學講演，因其關係電氣之處甚多，且著者今春擬作實地試驗，故在本校複演，以冀引起電機工程者之注意耳。〔完〕

# 有線電報傳輸

沈秉魯

摘要：本文於架空陸線電纜及水線電報之傳輸加以探討

目錄：(一)導言

(二)電報傳輸總論

(三)直流傳輸

(四)收報機件的電感量之影響

(五)交流傳輸

(六)到達電流之公式

(七)電纜或水線電報

(八)負荷報線

(九)結論

(十)參考文字

## (一)導言

有線電報為電信交通之起源自有線電話無綫電報及無綫電話等相繼發明以後其業務上遂受重大之影響以有線電與無綫電較則後者不受幅員及地形之限制成本輕而致遠移動自如運用妥便然太空中電波波長之界限日密供無限之要求干擾漸多且於秘密一層似尙見遜以有線電報與有線電話較則前者不如後者之迅便惟在長途傳遞可謀價廉無方言之

隔膜無等待之勞煩，頗迎合一般人之心理。通信既秘密可靠，收發又留有根據，在行政、軍事及商業上有特殊之專長，故有線電報之在今日，雖不及曩昔之重要，然仍有相當地位，而無淘汰之慮。

我國之電報事業，始於遜清同治末年，自同治八年（一八六九）丹俄電報公司、丹挪英電報公司及挪英電報公司合組丹商大北電報公司後，即有大北中日擴充公司之設立。在同治九年十年兩年中，先後在亞東敷設海崎、滬港（經廈門），及海崎三水線，未得清廷之許可，擅將水線登陸，敷線設局收發商報，是為我國境內有線電報之嚆矢。時兩江總督沈葆楨氏，在同治十三年奏陳電政之利，奉命籌備福州電報，未有成效。至光緒五年（一八七九）李鴻章氏在大沽炮台敷線通天津，翌年八月又奏請陸地設立電線，辦南北洋電報，並規劃八大陸地幹線，以現今之地理言之，計滬平、滬甯、滬粵、平漢、平甯（滿州里）、平哈（哈克圖）、平伊（伊犁）、粵滇八線。我國有線電報之路綫，實基於斯。該時英商大東電報公司由英倫經直布羅陀、地中海、紅海，而繞至印度之水線，於光緒九年（一八八三）已能經新加坡、香港、福州而到達上海。此外德荷水線公司之太平洋南北水線，太平洋商務水線公司之舊金山、檀香山、瓜姆島、馬尼刺通上海之水線，法國由廈門通安南、都蘭之水線，暨俄日兩國之水線，設在我國領海中安放，圖分利益。俄國所放之烟旅（即今之烟大）線，自日俄戰後歸中日合辦，德荷之密爾圖通雅普線，雅普通瓜姆線，及雅普經上海、青島通烟台之三水線，在民國三年歐戰時，第三線之一部份，被日本改為琉球、台灣線，內中之青烟段，則改為青佐線，中日魯案善後會議後，青佐歸中日合辦。至於大北、大東乘拳匪毀壞南北陸線時（一九〇〇）所放之滬烟、沽正水線，及翌年加放之烟沽、副水線，業於去年六月初收回，合我國於民國十年自放之新滬烟水線，南北水線交通，共計為二。以上為我國有線電報創設之經過。

溯自李合肥創辦電報以來，忽忽垂五十五年，其間國家多故，變亂迭乘，災患相仍，業務不振，水線困于條約，漏卮年有鉅萬，以致維持困難，支撐維艱。

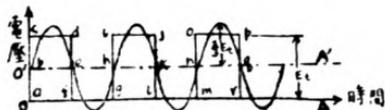
線路之電氣性質，不堪長途傳遞，機件窳舊，效率低微，幸近年來新線時在進展，幹線多有整理，重要報局，漸採新式快機，苟能依序改良，與世俱進，則來日發展，正大有望，本文專述其傳輸問題，茲敘述於後。

## (二) 電報傳輸總論

電報傳輸之理論，基於一八五五年嘉爾文氏 (Lord Kelvin) 所著 "The theory of the Electric Telegraph" 一文，載在英國皇家學會之會刊中。其“到達曲線” (curve of arrival) 及“CR 定律”，為一般非負荷電報纜之繩準。在商業上，吾人每願發報之速率，增至極高，然在一定情形之下，恆達一定數，而不能強其超過此極限，現就其重要因子，開列於次：

(1) 綫之特性：綫之特性云者，即單位長報線之電阻 (R, 歐)，電漏 (G, 莫)，電感量 (L, 亨)，及電容量 (C, 法) 四項合成之傳輸常數 ( $\theta$ , Transfer constant) 及特性阻抗 ( $Z_0$ , characteristic impedance) 之量也。裸綫及電纜內線，因其設計，製造或裝置之不同，特性隨之差異，電阻電漏微細者，傳輸常數小，以同一之發送電壓，收報端能收得較大之電流，是以發報速率高，欲減線路之電阻，非增加導線之截面不為功，然不能任意增至極大，有一定之限度。至於電漏，隨所用之絕緣體或支持物之性質而異，亦不能強其為零，電感量電容量二項，後者恆較前者顯著，致速率低落，不能自拔，此負荷電報纜在一九二四年自紐約至阿熱史 (AZORES) 之所由作也。

(2) 電報電碼：電碼合“點”“劃”而成，而點劃皆由“號分” (dot element or signal element) 串連組合之。例如在字母 (letter) A 字中，其大陸式

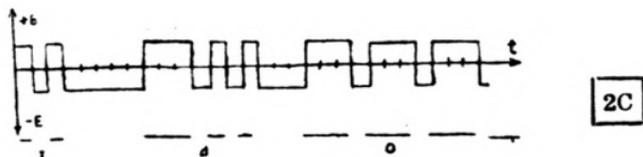
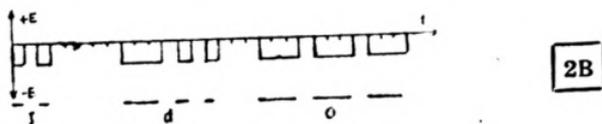
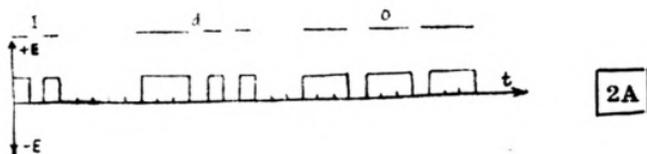


1

電碼計包五號分，第一號分為點，第二號分為“間隔”。(Space) 第三第四第五合而為一劃，蓋一劃之時間，等於點之三倍，故為三號分，發一 S 字，計三點。

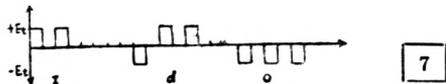
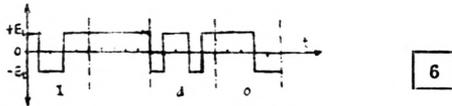
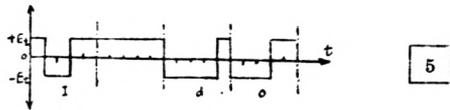
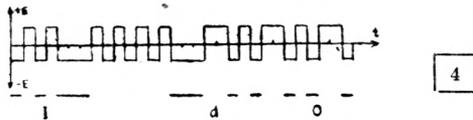
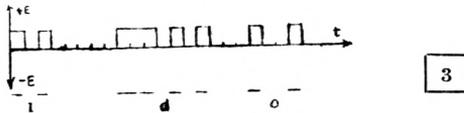
共有六號分，可成三“點頻”(dot frequency)(圖—1)每秒間發  $m$  號分，則其點頻為  $\frac{m}{2}$

電碼可分為二類，第一類為二流式。(two-element codes) 合正電流與“無電流間隔”(No-current interval)，負電流與“無電流間隔”，或正電流與負電流之二種電振(Impulse)成之，第二類為三流式。(Three-element codes) 合正電流、負電流與“無電流間隔”之三種電振成之。每類又可分作二種，第一種為勻等電碼。(uniform codes) 每字母之號分數相等，第二種為不勻等電碼。(non-uniform codes) 每字母之號分數各異。陸線單工電報用之大陸式電碼。(continental) 即點劃電碼，為正電流或負電流與“無電流間隔”之二流式之不勻等者。(圖—2A, 2B,) 一字母內，點劃間之間隔，皆為一號分。美



國莫爾斯電碼(American morse)則所述間隔有長有短。(圖—3)陸綫雙工電報用之大陸式電碼及美國莫爾斯電碼均為正電流與負電流之二流式之不勻等者。(圖—2c)一字母內點劃間之間隔，與上述者同。排克留電碼。

(Barclay codes) (圖—4) 與美國莫爾斯電碼相似。謀留電碼 (Murry codes) (圖—5) 及蒲圖脫電碼 (Baudot) (圖—6) 為正電流與負電流之二流式之勻等者。水線電報電碼 (cable recorder) 為三流式之不勻等者。(圖—7)



查電碼之種類頗多，何者適合於何處，須視種種情形而定。大都勻等電碼適用於印字電報，不勻等電碼，則適用於人工譯報。至於在同一報量，能使發分減少，亦為其必要條件。

(3) 發報端之電壓：欲增大收報端之電流，增加發報端之電壓，亦為一法。然電壓過高，於員工之生命發生危險，絕緣體之絕緣性，被其剝削，機件偶因某處短路，受強電流之衝擊，而有損壞之虞。稍一不慎，引起火警。至于高壓報線，易生干擾，亦所不取。普通裸線之電壓，恆在三百五十伏以下。水線之發報端電壓，恆在五十伏與六十伏之間。

(4) 電壓波形：電壓加置報線上，因經過某種電路之關係，或施以特種手續，如“掃電法”(curbing)等，能使波形變佳，利于傳輸。

(5) 收發機件：機件之靈敏性，極關重要。自惠斯登快機，波紋機，(siphon recorder) 印字機，(automatic Printing equipments) 高爾斯答特振動繼電器 (Gulstad Vibrating relay) 及克利特繼電器 (Creed relay) 等發明後，傳遞速率，隨之增高。靈敏機件之在負荷電纜，能使收報速率，每分鐘達二千四百字母。

(6) 復演機件：復演機件，(Repeaters) 能免除波形不致過于變形，並能隨時增加電壓。自再生復演器 (regeneration repeater) 採用後，低落至極微之電振，亦能增強之，並能使電振之波形，予以充分校正。

(7) 干擾：干擾之來，或由於本電路上之雙工，失去平衡，或由於外界之電磁干擾致之。干擾大者，收報速率非減低不可。

(8) 擴大器：擴大器之於水線電報，採用已久。如貨得來熱絲擴大器 (Heurtly Hot-wire magnifier)，鎔管擴大器 (Cox selenium magnifier)，鹽水射管繼電器 (Orling jet relay) 等是。藉真空管之多級擴大，亦在應用。擴大器能使來波增強，如有干擾之存在，則其擴大度應調節至適可為止。不可過事增大。

電報傳輸之理論，可分直流 (d.c.)，交流 (a.c.)，及瞬流 (Transient) 三種。以後者最為複雜。大凡發報速率低，收報端收得之電流，恆能達其正常值，(Steady State) 而線路之電感量及電容量無顯著之作用者，吾人可用直流傳輸理論解之。如在上述條件之下，惟電感量及電容量有顯著之作用者，則

用交流傳輸理論解之。至在水線電報收報端之電流。因有多量之電容存在。恆不能達其正常值。非用瞬流理論解剖不可。

查單位長之電報線路之傳輸常數及特性阻抗為

$$\theta = \theta_1 + j\theta_2 = \sqrt{(R + jLw)(G + jCw)} \quad \text{雙曲線角} \quad (1A)$$

$$z_0 = R_0 + jX_0 = \sqrt{\frac{R + jLw}{G + jCw}} \quad \text{歐} \quad (2A)$$

內中之  $w = 2\pi f$ 。f 內即為點類。在陸線大陸式電碼。英文報平均每字母之號分為 9。內中包括一切字母與字母間及字 (word) 與字間之間隔等。水線電報電碼。則平均為 3.8。假令發報速率之“字每分”(每分發出之字母數, LPM) 為 240。則

$$\text{在陸線而論} \quad f_1 = \frac{9}{2} \frac{\text{LPM}}{60} = 0.075 \text{ LPM} \quad (3A)$$

$$= 0.075 \times 240 = 18 \text{ 週/秒}$$

$$\text{在水線而論} \quad f_s = \frac{3.8}{2} \frac{\text{LPM}}{60} = 0.0317 \text{ LPM} = \frac{\text{LPM}}{32} \quad (4A)$$

$$= 0.0317 \times 240 = 7.6 \text{ 週/秒}$$

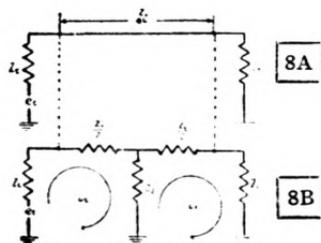
$$\text{故} \quad w_1 = 2\pi f_1 = 0.15\pi \text{ LPM} \quad (3B)$$

$$w_s = 2\pi f_s = 0.0634\pi \text{ LPM} \quad (4B)$$

公式(1A)(2A)之在直流線 L 與 C 皆為零。則

$$\theta = \theta_1 \sqrt{RG} \quad \text{雙曲線角} \quad (1B)$$

$$Z_0 = R_0 = \sqrt{\frac{G}{R}} \quad \text{歐} \quad (2B)$$



茲將報線以其“等似 T”(Equivalent T) 替代後。與發報端電壓  $e_t = E_t \sin wt$  伏。機件阻抗  $Z_t = R_t + jX_t$  歐。及收報端負荷阻抗  $Z_r = R_r + jX_r$  歐併合而求發收兩端電流  $i_t$  與  $i_r$  之值。(圖—8A, 8B)

$$\text{圖中} \quad Z_1 = Z_o \tanh \frac{\theta l}{2} = Z_o \frac{\cosh \theta l - 1}{\sinh \theta l} \quad (5A)$$

$$Z_2 = \frac{Z_o}{\sinh \theta l} \quad (6A)$$

$$\text{據科考夫定律: } e_t = i_t(Z_t + \frac{Z_1}{2} + Z_2) - i_r Z_2 \quad (7)$$

$$0 = i_r(Z_r + \frac{Z_1}{2} + Z_2) - i_t Z_2 \quad (8)$$

聯解 (7) (8) 兩式得

$$\begin{aligned} e_t &= \frac{i_r}{Z_2} \left[ \left( -\frac{Z_1}{2} + Z_2 \right)^2 + \left( \frac{Z_1}{2} + Z_2 \right) (Z_t + Z_r) + Z_t Z_r - Z_2^2 \right] \\ &= i_r \frac{\sinh \theta l}{Z_o} \left[ Z_o^2 \frac{\cosh^2 \theta l}{\sinh^2 \theta l} + (Z_t + Z_r) Z_o \frac{\cosh \theta l}{\sinh \theta l} + Z_t Z_r - \frac{Z_o^2}{\sinh^2 \theta l} \right] \\ &= i_r \frac{\sinh \theta l}{Z_o} \left[ Z_o^2 \frac{\cosh^2 \theta l - 1}{\sinh^2 \theta l} + (Z_t + Z_r) Z_o \frac{\cosh \theta l}{\sinh \theta l} + Z_t Z_r \right] \\ &= i_r \left[ \left( Z_o + \frac{Z_t Z_r}{Z_o} \right) \sinh \theta l + (Z_t + Z_r) \cosh \theta l \right] \end{aligned}$$

$$\therefore i_r = \frac{e_t}{(Z_t + Z_r) \cosh \theta l + \left( Z_o + \frac{Z_t Z_r}{Z_o} \right) \sinh \theta l} \quad (9)$$

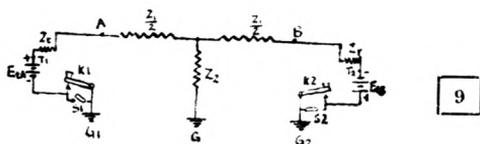
$$\text{再} \quad i_t = i_r \frac{\frac{Z_1}{2} + Z_2 + Z_r}{Z_2} = i_r \frac{Z_o \frac{\cosh \theta l}{\sinh \theta l} + Z_r}{Z_o} = i_r \frac{Z_o \cosh \theta l + Z_r \sinh \theta l}{Z_o \sinh \theta l}$$

$$\therefore i_t = \frac{E_t (Z_o \cosh \theta l + Z_r \sinh \theta l)}{Z_o (Z_t + Z_r) \cosh \theta l + (Z_o^2 + Z_t Z_r) \sinh \theta l} \quad (10)$$

運用 (9) (10) 兩式發報端及收報端之電流極易計算得之也。

(三) 直流傳輸

裸線電報線路之短者，吾人可採直流傳輸式解之。在單工電報制中，線之 A B 兩端，通常有機件  $Z_t$ ,  $Z_r$  及電壓  $E_{tA}$ ,  $E_{tB}$  之接合。(圖—9) 當  $K_1$  尚未放下時，因報線有電漏之存在，B 端之機件  $Z_r$  中，已有電流  $i_1$  自線之漏路，G 及  $Z_2$  經報線，B 點， $T_2$  端而至  $G_2$  點。待  $K_1$  嵌合後， $Z_r$  中有較大之電流  $i_2$ ，B



端收報機件如繼電器然應於  $i_1$  不吸合而於  $i_2$  則吸合換言之，B 端繼電器之動作隨  $K_1$  而吸合放原  $i_1$  稱謂“不吸合電流”，(Non-operating current)  $i_2$  稱謂“吸合電流”，(operating current) 欲求收發妥善，應增加  $i_1$  與  $i_2$  之差別。現知  $i_t = I_1$ ,  $Z_t = R_t$ ,  $Z_r = R_r$ ,  $Z_o = R_o = \sqrt{\frac{R}{G}}$ ,  $\ell = \theta l = \sqrt{RG}$  據圖—9

$$I_1 = \frac{E_{tB}}{R_t + \frac{R_1}{2} + R_2} = \frac{E_{tB}}{R_t + R_o \tanh \frac{\theta l}{2} + \frac{R_o}{\sinh \theta l}} \quad (11A)$$

欲求  $I_2$ ，不妨先設想  $K_1$  在嵌合地位，B 端電壓  $E_{tB}$  則在短路情形，應用公式 (9) 能求得由於  $E_{tA}$  而在 B 端產生之電流  $I'_2$

$$I'_2 = \frac{E_{tA}}{(R_t + R_r) \cosh \theta l + (R_o + \frac{R_t R_r}{R_o}) \sinh \theta l} \quad (12-1)$$

再設想  $K_1$  在撤合地位，A 端電壓  $E_{tA}$  在短路情形，應用公式 (10) 能求得由於  $E_{tB}$  而在 B 端產生之電流  $I''_2$

$$I''_2 = \frac{E_{tB} (R_o \cosh \theta l + R_r \sinh \theta l)}{R_o (R_t + R_r) \cosh \theta l + (R_o^2 + R_t R_r) \sinh \theta l} \quad (12-2)$$

故 
$$I_2 = I_2' + I_2'' = \frac{E_{tA}R_0 + E_{tB}(R_0 \cosh \theta l + R_t \text{Sin} \theta l)}{R_0(R_t + R_r) \cosh \theta l + (R_0^2 + R_t R_r) \text{Sin} \theta l} \quad (12A)$$

如在 (11A) 及 (12A) 兩式中,  $I_1, I_2, E_{tA}, R_0, R_t, R_r$  及  $\theta$  為已知, 吾人能決定  $l$  之長度, 此長度名“最大傳輸距離”, (maximum transmission distance) 以  $l_{max}$  代之。

設報線不甚長, 則  $\theta l$  之值不大,  $\text{Sin} \theta l = \tanh \theta l = \theta l$ ,  $\cosh \theta l = 1$ , (11A) 及 (12A) 兩式簡作

$$I_1 = \frac{E_{tB}}{R_r + \sqrt{\frac{R}{G}}} \frac{1}{l\sqrt{RG} + \sqrt{\frac{R}{G}}} = \frac{E_{tB}}{R_r + \frac{R}{2} + \frac{1}{Gl}} \quad (11B)$$

$$I_2 = \frac{E_{tA}\sqrt{\frac{R}{G}} + E_{tB}\left(\sqrt{\frac{R}{G}} + R_t \theta l\right)}{\sqrt{\frac{R}{G}}(R_t + R_r) + \left(\frac{R}{G} + R_t R_r\right)l\sqrt{RG}} = \frac{E_{tA} + E_{tB}}{(R_t + R_r) + Rl} \quad (12B)$$

(11B) 與 (12B) 在  $E_{tA} = E_{tB} = E_t$  情形之下, 解得

$$l_{max} = -\frac{R_t + R_r}{2R} + \sqrt{\left(\frac{R_t + R_r}{2R}\right)^2 + \frac{2I_1}{RG(I_2 - I_1)}} \quad (13)$$

(13) 式與本文 (十) 節參考文字中第 5 三十二頁之公式類似。

在二流雙工電報制中, 電流之計算與上述無異, 惟於電流之方向, 應特別注意, 非如本節之簡易也。

#### (四) 收報機件的感應量之影響

收報機件之電感量, 其約數如次:

200 歐之音聲器	(i) 銜鐵吸合時	.....0.18 亨
	(ii) 銜鐵放原時	.....0.24 亨
900 歐之音聲器	(i) 銜鐵吸合時	.....18.0 亨
	(ii) 銜鐵放原時	.....22.0 亨

- 200+200 歐之非偏極繼電器 (i) 兩線圈並接 ..... 0.8 亨  
 (ii) 兩線圈串接 ..... 3.2 亨
- 標準 B 繼電器, 100+100 歐 ( ) 兩線圈串接 ..... 3.7 亨
- 100+100 歐之偏極繼電器 (i) 兩線圈並接 ..... 0.85 亨  
 (或 200+200 歐之偏極繼電器) (ii) 兩線圈串接 ..... 0.34 亨
- 1927 式 25+25 歐克利特繼電器 (i) 兩線圈並接 ..... 0.5 亨  
 (ii) 兩線圈串接 ..... 2.0 亨

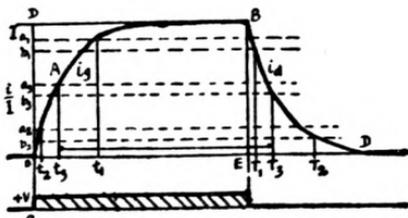
令報線之  $G, L, C$  皆為零, 電阻為  $Rl$  歐, 收報機件之電阻為  $R_r$  歐, 電感量為  $L_r$  亨, 兩者串接後, 而以直流電壓  $V$  加置於其上, 機件中之電流, 因有感量之存在, 恆徐徐增大, 漸達其正常值  $I = \frac{V}{Rl+R_r}$  為止, 其瞬值為

$$i_g = \frac{V}{Rl+R_r} \left( 1 - e^{-\frac{Rl+R_r}{L_r} t} \right) \quad (14)$$

當機件中之電流在正常值  $I = \frac{V}{Rl+R_r}$  時, 而忽去其電壓  $V$ , 則電流徐徐減少, 至零為止, 其瞬值為

$$i_d = \frac{V}{Rl+R_r} e^{-\frac{Rl+R_r}{L_r} t} \quad (15)$$

茲以 500 歐之電報線與標準繼電器串接而用正電流與“無電流間隔”之二流式電碼發一“點”, 經若干時而去其電壓, 得  $i_g$  及  $i_d$  之曲線如



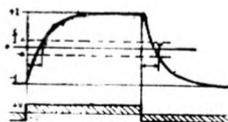
10

O A B C (圖 10) 令  $a_1$  處之電流值為繼電器之“吸合電流”,  $b_1$  處之電流為其“放原電流”, 則  $t_1$  至  $T_1$  為該繼電器吸合之階段, 較“點分”之時間

為短，如將吸合電流放原電流之值減低至  $a_2 b_2$  則其吸合階段  $t_2$  至  $T_2$  較“點分”之時間為長，如電流之起落如  $O D B E$ 。則不論其吸合電流與放原電流之值，其吸合階段，恆與“點分”之時間等長，苟吾人將該繼電器校正，使  $\frac{\text{吸合電流} + \text{放原電流}}{2} = \frac{V}{2(RI + R_f)}$  則得  $t_3$  至  $T_3$  之吸合階段，與“點分”之時間，約為同長。

用正電流負電流之二流式電碼發一“點”，則其電壓之變更為  $2V$  電流之起落如圖—11。設  $O$

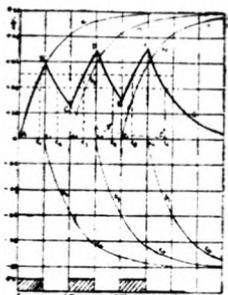
$a$  為其吸合電流，則  $-Oa$  為其放原電流，因係對稱，故  $t$  至  $T$  之吸合階段，與“點分”之時間等長。



11

在圖—10中，如連發三“點”，後“點”之發，皆在前“點”之電流未達正常值之時，則報線上之電流，將如圖—12所示  $ABCDEF$  之斷曲線， $ABC_1$  曲線示發第一“點”後線路

電流之增加情形，到達未至正常值之  $B$  點，電壓忽已除去，吾人可設想  $ABC_1$  曲線，仍依軌增加，而有負電壓  $V$  同時疊置於線路上，由於  $-V$  之電流，依  $a_2 b_2 c_2$  曲線而進展， $ABC_1$  與  $a_2 b_2 c_2$  之



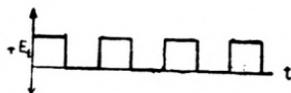
12

差，即為  $BCD'E'$  曲線，達  $C$  點， $+V$  又立刻加於線上，得曲線  $a_3 b_3 c_3, CD'E'$  與  $a_3 b_3 c_3$  之和，即為  $CD$  曲線，如是繼續標畫，得  $ABCDEF$  曲線，設該繼電器之吸合電流為  $\frac{i}{I} = 0.2$  則將永吸而不放，成一“畫”而失三“點”之原碼，設吸合電流增至  $\frac{i}{I} = 0.7$  則將永放而不吸，全無記錄可言，如  $\frac{i}{I} = 0.5$  為其

吸合電流  $\frac{i}{I} = 0.4$  為其放原電流，則  $t_1$  至  $t_2$   $t_3$  至  $t_4$ ，暨  $t_5$  至  $t_6$  為收得三“點”之吸合階段。

## (五) 交流傳輸

交流傳輸，一如直流，運用 (9) (10) 兩公式，即得收發兩端電流之值，惟式中  $e_t = E_t \sin wt$  其電壓並非發報端之直流電壓，吾人應一為推論之。



查鋸齒波 (Sawtoothed wave) 如圖—13A 所示，其電壓之公式為

$$e_1 = \frac{E_t}{\pi} \left( \sin wt + \frac{1}{2} \sin 2wt + \frac{1}{3} \sin 3wt + \dots + \frac{1}{n} \sin nwt \right) \quad (16-1)$$

內中  $\frac{E_t}{2}$  為鋸齒波之最大幅，圖—13B 之波，為 13 A 之反，其電壓之公式為

$$e_2 = \frac{E_t}{\pi} \left[ \sin(wt + \pi) + \frac{1}{2} \sin 2(wt + \pi) + \frac{1}{3} \sin 3(wt + \pi) + \dots + \frac{1}{n} \sin n(wt + \pi) \right] \quad (16-2)$$

圖—13A 與圖—13B 之差得矩形交流波如圖—13C 其公式為

$$e = e_1 - e_2 = \frac{2E_t}{\pi} \left( \sin wt + \frac{1}{3} \sin 3wt + \frac{1}{5} \sin 5wt + \dots \right) \quad (16A)$$

w 之第三副波之值，遠較 w 之基本波為小，故 (16A) 式不妨簡作

$$e = \frac{2}{3} E_1 \sin \omega t \quad (16B)$$

圖—1 中以 O'A' 為標準軸之電報點 a b c d e f g h i j ..... 可假定由於以 O'A' 為標準軸之 b c e f g h ..... 矩形交流波與直流電  $\frac{E_t}{2}$  疊置而成。矩形交流波之幅為發報端直流電壓之  $\frac{2}{3}$  倍。

交流傳輸中， $\theta_t$ ， $w$ ， $\theta$ ， $Z_0$ ， $Z_t$ ，及  $Z_r$  皆為已知，則一切計算與電話傳輸學無異。

#### (六) “到達電流”之公式

(三)(五)兩節所論皆在其正常情形立說，電報之採用電纜或水線者，電阻及電容量較為顯著，極使電流徐徐增加至正常值，故在高速率發報收得之波形，發生畸變。

據海佛查氏之展開理論。(Heaviside's Expansion theorem) 在任何線網中，以正常電壓 E 接合于任何點，則其電流 i 包二部，一為正常部，一為瞬流部，其式如次：

$$i = \frac{E}{Z(p)} + \sum_{p_m} \frac{E e^{p_m t}}{\frac{\partial Z(p)}{\partial p}, p=p_m} \quad (17)$$

在電纜或水線中， $L=0$ ， $G=0$ ，由公式(9)知收報端之電流在  $Z_t=0$  時為

$$\begin{aligned} i_r &= \frac{e_t}{Z_r \cosh \theta l + Z_0 \sinh \theta l} = \frac{e_t}{Z_r \cosh l \sqrt{j\omega CR} + \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} \sinh l \sqrt{j\omega CR}} \\ &= \frac{e_t}{Z(p)} \quad (18) \end{aligned}$$

(18) 式中之  $Z(p)$  名統阻抗。(Generalized impedance)

$$\text{現知} \quad Z(p) = Z_r \cosh(pCR)^{\frac{1}{2}} + \left(p \frac{C}{R}\right)^{-\frac{1}{2}} \sinh(pCR)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Z(p)}{\partial p} &= \frac{Z_r l CR}{2(pCR)^{\frac{1}{2}}} \sinh l(pCR)^{\frac{1}{2}} + \left(p \frac{C}{R}\right)^{-\frac{1}{2}} \frac{l CR}{2(pCR)^{\frac{1}{2}}} \cosh l(pCR)^{\frac{1}{2}} \\ &\quad - \frac{CR}{2\left(p \frac{C}{R}\right)^{\frac{3}{2}}} \sinh l(pCR)^{\frac{1}{2}} \quad (20) \end{aligned}$$

$$p \frac{\partial Z(p)}{\partial p} = \frac{1}{2} Z_r l \sqrt{pCR} \sinh l \sqrt{pCR} + \frac{Rl}{2} \cosh l \sqrt{pCR} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R}{pC}} \sin l \sqrt{pCR} \quad (21)$$

書  $j\theta_p = l \sqrt{pCR} \quad (22)$

則  $\theta_p^2 = l^2 pCR$

$$\therefore p = -\frac{\theta_p^2}{CRl^2} \quad (23)$$

再  $\frac{1}{j\theta_p} = \frac{1}{l \sqrt{pCR}}$

$$\therefore \frac{Rl}{j\theta_p} = \sqrt{\frac{R}{pC}} \quad (24)$$

以 (22) (24) 代入 (19)

$$\begin{aligned} Z(p) &= Z_r \cosh j\theta_p + \sqrt{\frac{R}{pC}} \sin j\theta_p \\ &= Z_r \cos \theta_p + j \sqrt{\frac{R}{pC}} \sin \theta_p \end{aligned} \quad (25)$$

$$Z(p) = 0, \quad Z_r \cos \theta_p + j \sqrt{\frac{R}{pC}} \sin \theta_p = 0$$

$$Z_r \cos \theta_p + \frac{Rl}{\theta_p} \sin \theta_p = 0 \quad (26)$$

$$\therefore \tan \theta_p = -\frac{Z_r}{Rl} \theta_p \quad (27)$$

$$\text{或 } \theta_p = -\frac{Rl}{Z_r} \tan \theta_p \quad (28)$$

$$\text{由 (30) 知 } Z(p)_{p=0} = Z(0) = Z_r + Rl \quad (29)$$

以 (25) (26) (27) 代入 (24), 得

$$\begin{aligned} p \frac{\partial Z(p)}{\partial p} &= \frac{1}{2} Z_r j^* \rho \operatorname{Sinh} j \epsilon_p + \frac{Rl}{2} \cosh j \theta_p - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{R}{pc}} \operatorname{Sinh} j \theta_p \\ &= -\frac{1}{2} Z_r \theta_p \operatorname{Sin} \theta_p + \frac{Rl}{2} \cos \theta_p - \frac{Rl}{2\theta_p} \operatorname{Sin} \theta_p \end{aligned} \quad (30)$$

以 (28) 代入 (30)

$$\begin{aligned} p \frac{\partial Z(p)}{\partial p} &= \frac{Rl}{2} \frac{\operatorname{Sin}^2 \theta_p}{\cos \theta_p} + \frac{Rl}{2} \cos \theta_p - \frac{Rl}{2} \frac{\operatorname{Sin} \theta_p}{\theta_p} \\ &= \frac{Rl}{2} \left( \frac{1}{\cos \theta_p} - \frac{\operatorname{Sin} \theta_p}{\theta_p} \right) \end{aligned} \quad (31)$$

依 (17) 式將 (29) (31) 之值代入之。

$$i_r = \frac{e_t}{Z_r + Rl} + \sum \frac{Rl}{2} \left( \frac{1}{\cos \theta_p} - \frac{\operatorname{Sin} \theta_p}{\theta_p} \right) \frac{E e^{pt}}{Rl^2} \quad (32A)$$

如  $Z_r = 0$ , 則由 (27)

$$\tan \theta_p = 0$$

$$\text{故 } \theta_p = m\pi \quad (33)$$

參閱 (23) 及 (33), 32A 式可書作

$$\therefore i_r = \frac{e_t}{Rl} + \sum_{m=1}^{m=\infty} 2e_t \epsilon^{-\frac{m^2 \pi^2}{Rl^2} t} \cos m\pi \quad (32B)$$

其 R. M. S. 值爲

$$I_r = \frac{E_t}{Rl} + \sum_{m=1}^{m=\infty} 2E_t \epsilon^{-\frac{m^2 \pi^2}{Rl^2} t} \cos m\pi \quad (32C)$$

$$\text{令 } \mu = \frac{\pi^2}{Rl^2} \quad (34)$$

$$\text{則 } I_r = \frac{E_t}{Rl} \left[ 1 + 2 \sum_{m=1}^{m=\infty} \epsilon^{-m^2 ut} \cos m\pi \right] \quad (35A)$$

$$= \frac{2E_t}{Rl} \left[ \frac{1}{2} - \epsilon^{-\mu t} + \epsilon^{-4\mu t} - \epsilon^{-9\mu t} + \dots \right] \quad (35B)$$

$$= \frac{2E_t}{Rl} f(\mu, t) \quad (35C)$$

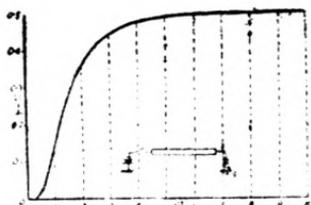
在  $t=0$  時,  $-\epsilon^{-\mu t} + \epsilon^{-4\mu t} - \epsilon^{-9\mu t} + \dots = -\frac{1}{2}$

故  $I_r = 0$

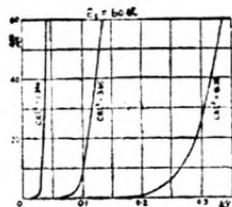
(35) 式為電纜或水線之發報端直接以直流電壓  $E_t$  而在遠端入地中(圖-14)之電流式名“到達電流”之公式。

$\mu t$  與  $f(\mu, t)$  之關係見下表。將其標畫之。得“到達曲線”(curve of arrival) 如圖-14。

$\mu t$	$f(\mu, t)$	$\mu t$	$f(\mu, t)$
0.1	0.009	1.1	0.179
0.2	0.000	1.2	0.207
0.23	0.000	1.3	0.233
0.3	0.001	1.4	0.257
0.4	0.006	1.5	0.279
0.5	0.018	2.0	0.365
0.6	0.037	2.5	0.418
0.7	0.062	3.0	0.450
0.8	0.091	4.0	0.482
0.9	0.121	5.0	0.498
0.0	0.150	10.0	0.500



14

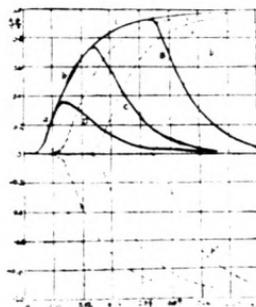


15

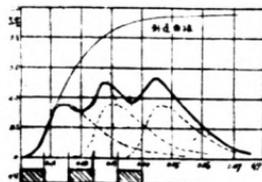
圖-15 示三種不同  $CR^2$  值之到達曲線，值小者，曲線之傾斜角大，易到達其正常值。

### (七) 電纜或水線電報

茲有電纜或水線一條，長為 346 哩， $C$  為 3.3 麥法/哩， $R$  為 3 歐/哩，故  $\mu$  為 92，運用 (35) 式，得其到達電流曲線如圖-16 中之  $abcA$  線，如在發報端發一“點”點分長為 0.04 秒，電流之起落如  $abcB$  線，該曲線之來，可設想直流電壓加諸報線，凡 0.04 秒鐘，收報端之電流先依  $oabcA$  進展，過 0.04 秒，電壓即除去，此情形與線上加一同價負電壓相似，收報端收到之負電流，依  $b'b''$  線進展， $b''$  與  $b'$  為反向，而  $b'$  與  $abcA$  等似， $abcA$  與  $b''$  之和即為  $abcB$  曲線也，點分減為 0.02 秒，其起落加  $abC$  曲線，再減為 0.008 秒，則如  $aD$  曲線，苟在該報上發一  $S$  學號分為 0.008 秒，電流之起落如圖-17。

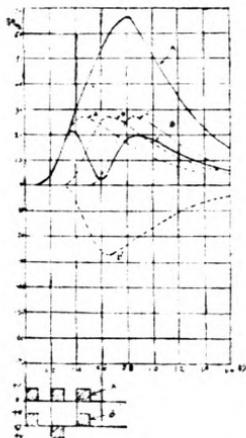


16



17

電纜或水線在某種妥善收發情形之下， $\mu t$  之值必為一定數，如將報線之長度增加， $CRl^2$  隨之而增， $\mu$  必反而減小，於是  $t$  之值非予以相當增長不可，否則  $i_r$  之值將與正常值相去太遠，不合收報之用，是以發報速率與  $CRl^2$  成反比例，此即所謂“CR定律”也。報線之速率常數 (Speed constant) 為  $CRl^2 \times LPM$



18

為易於明瞭起見，將  $\mu$  減至 2.26 而將號分增至 0.1 秒，發一 S 字，得曲線如 A。

(圖—18) 發一 B 字，得曲線如 B。A 為 a, b, c 三線之和，B 為 a, c 之和減去 b 之值，a, b, c 三者，與圖—16 中之 B, C, D 綫同一性質也。A 線非老練之收報員不能譯出，增長點分，能使波形改善，惟發報速率低耳。

#### (八) 負荷報線

電話線路串聯負荷線圈，能減少其傳輸常數，水線電報同理可採用之。惟負荷線圈之在長水線，裝置不易，非如連續負荷法 (Continuous loading) 之妥善。一九二一年，美國西電公司經多次之研究，得“導磁合金” (permalloy) 導磁性極強極，適合於連續負荷之纏繞物，該合金含鎳 78%，鐵 21½%。後又得“鐵導磁合金” (Chrome permalloy) 較導磁合金尤佳，英國亦發明一種合金名“慕合金” (mumetal) 含鎳鐵銅錳諸金屬，德則有“不變合金” (Invariant) 之發明，其性質大致類似。

連續負荷水線之製法，在銅線 (Central copper wire) 或絞股銅線

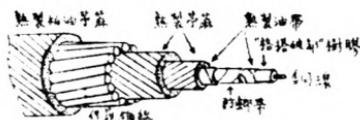
(Stranded wires)外。先包薄銅帶，然後以厚為 $\frac{6}{1000}$ 吋之導磁合金帶(圖—19A)或直徑為 $\frac{11}{1000}$ 之矽合金線(圖—19B)纏繞於外。用感應電鍍爐在淡氣中加以“熱處理”。(heat treatment)使其導磁性增大。經冷却室，塗以“却拖頓”漿。(Coatterton mixture)而後包以“格搭破却”樹膠。(Gutta-percha)以後手續，悉如尋常水線。圖—19C為尋常水線之剖解。



19A



19B



19C

各國自一九二三年起。凡新放長水線。採連續負荷者頗多。立表于后：

- |      |                               |  |
|------|-------------------------------|--|
| 1923 | Bermuda 水線                    |  |
| 1924 | New York 至 Azores, .....      | 2329 哩 (Western Union Telegraph Co. 放) |
| 1926 | New York 至 Bay Roberts.....   | 1344 哩                                 |
|      | Bay Roberts 至 Penzance.....   | 2023 哩                                 |
|      |                               | } 鍍導磁合金                                |
| 1926 | Free mantle 至 cocos Island... | 1800 哩 > 矽合金                           |
| 1926 | Emden 至 Azores.....           | 1884 哩 > 鍍導磁合金 (德國大西洋電報公司放)            |
| 1926 | Bamfield 至 Fannings .....     | 3466 哩 > 矽合金                           |
|      | Fanning 至 Suva (Fiji) .....   | 2054 哩 > 鍍導磁合金                         |
|      |                               | } (Pacific Cable Board 放)              |
| 1928 | Bay Roberts 至 Azores.....     | 1341 哩                                 |

查負荷能使傳輸常數減低與電話傳輸同一原理令其單位長之電氣常數為  $R, L, G$  與  $C$  在  $Lw \gg R$  及  $Lw \gg G$  情形之下:

$$\begin{aligned} \text{傳輸常數 } \theta &= \theta_1 + j\theta_2 = \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{(R^2 + L^2 w^2)(G^2 + C^2 w^2)} + \frac{RG - LCw^2}{z}} \\ &\quad + j \sqrt{\frac{1}{2} \sqrt{(R^2 + L^2 w^2)(G^2 + C^2 w^2)} - \frac{RG - LCw^2}{z}} \\ &= \frac{1}{2} \left( R + \frac{G}{C} L \right) \sqrt{\frac{L}{C}} + jw \sqrt{LC} \quad \text{雙曲線角} \quad (36) \end{aligned}$$

$$\text{總傳輸常數} \quad \theta = \theta_1 \quad \text{雙曲線角} \quad (37)$$

$$\text{特性阻抗} \quad Z_0 = \sqrt{\frac{R + jLw}{jCw}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \Omega \quad (38)$$

$$\text{傳輸速度} \quad V = \frac{w}{f_2} = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \text{單位長/秒} \quad (39)$$

$$\text{自一端至他端所需之時間} \quad t_0 = \frac{l}{V} \quad \text{秒} \quad (40)$$

據本文第(十)節之參考文字(14)以電壓  $E_t$  加置傳輸線之 A 端該線之傳輸常數為  $Kl$  雙曲線角則第一次自 A 向 B 之前進電流波為  $\frac{E_t}{Z_t + Z_0}$  到達 B 端而在遇  $Z_r$  以前該前進波為  $\frac{E_t}{Z_t + Z_0} e^{-Kl}$  一遇  $Z_r$  後即發生回射現象第一次自 B 向 A 之回射電流波為  $\frac{Z_0 - Z_r}{Z_0 + Z_r} \frac{E_t}{Z_t + Z_0} e^{-Kl}$  併合  $\frac{E_t}{Z_t + Z_0} e^{-Kl}$  與  $\frac{Z_0 - Z_r}{Z_0 + Z_r} \frac{E_t}{Z_t + Z_0} e^{-Kl}$  兩項即第一次前進電流波在  $Z_r$  所產生電流之值以此應用於本題在  $Z_t = 0, Z_r = 0$  時第一次前進電流波在  $Z_r$  產生之電流為  $-\frac{2E_t}{Z_0} e^{-Kl}$

茲在負荷水線上。一究收報端電流之到達情形。

$$(i) \quad t = 0 \text{ 秒 至 } t = \frac{l}{\sqrt{LC}} \text{ 秒 以前} : \quad I_r = 0 \quad (41-1)$$

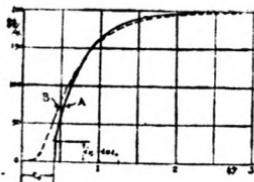
$$(ii) \quad \text{剛在 } t = \frac{l}{\sqrt{LC}} \text{ 秒} : \quad I_r = \frac{2E_t}{Z_0} e^{-\theta l} \quad (41-2)$$

$$(iii) t = \frac{l}{\sqrt{LC}} \text{秒以後} : I_r = \frac{E_r}{k\omega} \left[ 1 - \frac{2}{\psi} e^{-\frac{Rt}{2L}} (1 - \psi) \right] \quad (41-3)$$

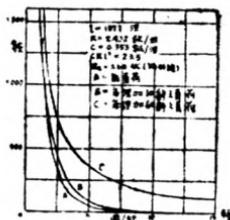
$$\text{內中 } \psi = \sqrt{1 - \frac{4\pi^2 L}{CR^2 l^2}} \quad (42)$$

(41-3) 式在本文第(十)節的參考文字(4)中解得之。

夫紐約至阿熱史之水線長約二千三百哩。其收發速率約為 1800 LPM 實屬驚人。推其故。無非由于電感量與電容量之調節得度。試以長約 2270 哩之某水線為例。其總電阻  $Rl$  為 5000 歐。總電容量  $Cl$  為 875 穆法。在未負荷前。其到達曲線藉(35)式得曲線如圖-20 中之 B 線。現用連續負荷法。每哩中增電感量至 0.095 亨。換言之。其總電感量  $Ll$  為 216 亨。運用(41)式。得到達曲線如圖-20 中之 A 線。A 線與 B 線之別有二點。(i) 負荷水線中之電流。收得較遲。然在收發上。電振一律遲到同一時間。無甚關係。(ii) B 線之傾斜角較 A 線為大。換言之。到達正常值易。是其佳點。不特此也。以同一發報電壓。在負荷報線上。能收得較大之電流。圖-21 示某水線加不同荷負線圈後之大概。

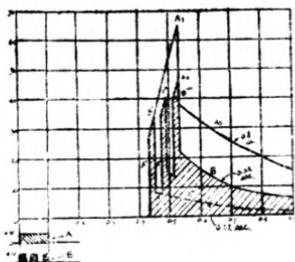


20



21

吾人在圖-20 曲線之水線上。發一字母 A。(圖-22) 號分為 0.02 秒者。得曲線如 A'A''A'''。號分改為 0.1 秒時。得曲線如 A'A\_1 A\_2 A\_3。以號分為 0.1 秒而發一字母 S。則得曲線如 B'B''B'''B。三曲線之獲得之法。與前均同。然其電碼之清晰可辨。已極明顯矣。



22

## (九) 結 論

電報術利用電為媒介，使一方之簡單機械動作，傳至對方，電話同樣利用電為媒介，一方之聲，能在他方復行產生，在表面上視之似有差別，然其藉機械能使電能發生激變，而利用此激變，在遠方得相似之機械同動則一，自負荷水線應世後，電報傳輸幾與電話傳輸合而為一，所異者，頻之高低不同而已，試以紐約至阿熱史水線而論，收發速率為 1800 LPM 據公式 (4A) 其頻合 60 週/秒，故電報可視作低頻之電話，其傳輸亦由於電磁之波動，因此電話傳輸中之公式，與電力傳輸然，皆可應用，無分秦越，理固然也。

## (十) 參考文字

1. "Telegraphy & telephony including Wireless communication" by Mallet (Chapman & Hall)—chapter II, III & IV.
2. "Submarine Telegraphy" by De Giuli (Pitman)—chapter VII.
3. "The propagation of Electric currents in telephone & Telegraph conductors" by Fleming (Constable & Co.)—chapter V.
4. "The theory of the Submarine telegraph and telephone cable" by Malcolm.
5. "Telegraph Engineering" by Housmann (D. Van Nostrand Co.)—chapter V.
6. "a text Book of telegraphy" by stone—chapter XXI & XXII.

7. "The application of hyperbolic Function to recent Developments in Submarine cable Telegraphy" by Kennelly (Harvard Engineering school)
8. "Alternating current cable Telegraphy" by Cohen (Journal of the Franklin Institute, Feb. 1923)
9. "Certain factor affecting Telegraph Speed" by Nyquist (AIEE, Feb. 1924)
10. "Submarine telegraphy in the Past-war Decade" by Coggeshall (AIEE, April, 1930)
11. "Determination of Electrical Characteristics of loaded telegraph cables" by Gilbert (Bell System T. J., p. 387, 1927)
12. "Recent Developments in submarine cable design" by Hughes (I. E. E., p. 140, 1928)
13. "The continuously-loaded Submarine Telegraph cable" by Foster & Rosen (I. E. E., p. 475, 1929)
14. "電話波之傳播理論" 沈秉魯 ("電機工程" 第二卷第一期浙江大學工學院)

# 長途電話工程設計大意

毛 啓 爽

(I) 總論 長途電話工程設計，所包括之範圍，固不僅話務需要而已也。舉凡該長途線路所經過各地人口之繁殖，商業之盛衰，過去及未來話務進展之趨勢，與夫城與城間，鎮與鎮間之往還聯絡，設計者必先瞭然於心，然後通盤籌劃，參證以學理，運用以公式，作數種不同之設計，再酌以經濟情形，服務效果，衡其成本，較其優劣，於種數設計中，知所取捨，庶幾綫路完成，得以最經濟之消費，獲得最美滿之服務，則設計之能事盡矣。

長途設計所包括之範圍如下

- (1) 長途分區局所之設立
- (2) 長途接綫制度之採取
- (3) 長途接綫方法之訂定
- (4) 長途綫路式樣之選擇
- (5) 長途線路多寡之推算
- (6) 長途局內附屬機件之設備
- (7) 長途計劃所包括之年份及將來發展之需要

夫設計之時，苟能根據歷年有系統之記錄，如人口增減率，呼叫率，持久時間等，加以分析與推測，則每一城鎮之發出話務，可以人口及呼叫率相乘之積得之。由此話務總數，可進而分配及於其他城鎮，則每兩地間長途綫路之多寡及種類，不難依話務定律及公式而推算，為容許數年後之發展，不妨

予以相當之寬算。然而此種記錄未必完全而精確也，其設計與分析時所需要之時間與勞力，未必為事實所允許也。不得已而求其次，當於可能範圍內，搜集有限之資料，聚業務、設計、工務、話務人才於一堂，各本其經驗，供獻意思，以定設計方針而供設計者之諮詢。方針既定，一切計算，自可迎刃而解，其結果之準確與否，固難逆料，要之，雖不中亦不遠矣。

(II) 業務調查 長途綫所經過各城鎮人口變遷狀況，必須明瞭，已如上述，設計者對該城鎮內住戶與商鋪之比例及住戶商鋪之消長趨勢，尤須注意及之。再推而及於該地生產數量，對外貿易及交通情形，對其他城鎮之人事關係，在在足為推測話務發展之資料，應儘量調查，以備參考。

苟某一城鎮向無電話之設置，或無長途之聯絡，則長途話務無可靠之記錄可循，補救之法，應取其他交通事業業務發展之狀態參證，例如該處火車客貨運或輪運之統計及郵信及電報往還之類數等是也。

(III) 話務記錄 欲預測將來之話務，過去每城鎮所發出之呼叫總數及其分配情形，必有精確之記錄，致於呼叫種類及其持久時間尤須條分縷析為計算之預備。

(1) 話務月 夫一年之中，每月話務，各有忙閒不同，如取一年中之平均數，則在忙月內綫路機件有不足應付之虞，苟取一年中非常繁忙之數，則在多數閒月內，綫路機件，多所空閒，殊不經濟。適中之道，當斟酌實際情形，取其平常繁忙之月，足以代表一年中繁忙之情形者為標準，是為話務月。話務月既定，每年於此話務月內，搜集重要資料，為將來計算之準備。每一城鎮，各有其繁忙之月份，故在廣大之區域內，各地宜分別規定其話務月。不獨此也，每兩地間往來話務繁忙之月，未必與各該地之本身話務月相符合，是以除話務月外，應擇相當月份內，另取記錄，以資對照。

(2) 話務日 一月之中，每日之話務，亦各不同，除星期日，例假不計外，每月繁忙之日，不過二十餘日耳。為求劃一起見，以規定每月之為二十日或二十五日，是為話務日。

(3) 話務時 一日之內，日間話務較晚間繁忙，夜間或竟無常務來往，再則長途話務，究與市內話務，微有異同。市內電話，每日通話有其固定之忙時，而長途話務則不然，其每日之忙時，常有變遷於話務清閒之線路上，更為顯著。故長途話務之每日呼叫率，較忙時呼叫率為可靠，然後依記錄所示求一日中平均繁忙之時數，即一日之話務，與繁忙小時內話務之比也。反之以每日之話務，除以話務時數，即得話務時內之話務。依商業狀況言，每日之話務時數，約在七時與九時之間，因多數話務，皆發自辦公時間內也。大抵大城內工商業繁盛者，其話務時數少，小城內住宅較多者，其與他城之話務，多交際往還，固不必在辦公時間以內，其話務時數多，再者，話務愈忙者，則愈形集中，其話務時數愈少亦愈穩定，反之話務愈清閒者，因每日變化無定，話務分佈之時數較多。

(4) 談話時間 話務負載，由呼叫數及每呼叫之平均持久時間定之，持久時間之重要因素，厥維談話時間。長途之談話時間，視談話之性質而異，與距離之長短，尤有重要之關係。長途談話與市內談話亦有不同者，長途談話須每次收費，且有時間之限制，市內則否，且長途用戶往來機會較少，其納費談話者，每思儘量享受其應得之權利，即商業往來，亦不能如市內之簡捷。致距離關係，與市內通話無甚異別，大率距離長者其談話時間較久，距離短者，其談話時間亦較短，故搜集記錄之時，應依距離（如以50公里為一單位）遠近，分各地線路為若干類，再於每類線路上，規定數日，自晨迄暮，實際調查之，以求得一平均數。如通話之採用登記證與計時器計時者，則採錄更便。此種記錄，至少須包括五個話務日，其平均數，至少須得之200以上呼叫，方為準確。

(5) 接線時間 除談話時間外，接線時間，在長途通話時間內，殊佔一重要之成分。接線時間之長短，視呼叫種類，轉接方法，及通話兩地之話機數目而定。長途呼叫有指定某人接話者，必得某人之回音，接線始告一段落，其所需時間，自比指定某號話機，或某處之任何人答話者為長。苟某人適不在該處，必須留話，以後再行叫回，則接線一次，攤費去兩次之時間。且也，由甲城至

乙城也，如無直達線路可通，必經過若干長途局之轉接，有轉接一次者，有轉接至兩次以上者，轉接之時間愈多則接線愈慢，甚或於話務繁忙之時，往往有線路不空之現象，必經過數次之試接，方可完成使命，其每次試接之時間，亦須加於規定時間上，則接線之時間更長在較清閒之線路上，及直達線路，或備有輔助線路之線路上，此弊可免。

至於接話城鎮之話機數目，亦不可忽視，大城以內話機多，話局範圍廣，每為多局制者，則由長途台接至用戶話機所須之時間較長，若該地採用自備制，自可縮短，小城以內，話機少，且多為單局制者，故接線敏捷。

尤有進者，發話局內所採取接線座式樣亦足以影響接線時間，有用連合登記接線制者，有用分工登記接線制者，前者長途接線生，一面登記，一面接線，毋須發話用戶之等候，其接線時間，即長途線上因接線所佔之時間，後者接線生一面接至他方，一面叫回發話用戶，長途話線，除接線時間外，多一叫回等候之時間，若叫回之時，適用戶暫時離開，無人答話或方與他人通話，則等候用戶，或數度試接，往往延長接線時間，大概單局制，至少在五六分鐘以上；多局制，未有不超過八、九分鐘者。

(IV) 接線制度 一種接線制度之制定，必須顧及該線路上之傳輸損失，及接線手續，務使於一廣大之區域內，得一有系統之網路，於任何兩地間，以最便捷之接線手續，使各方用戶，得最清晰之交談，故轉接次數之多寡，實為一先決問題，轉接次數既定，以最遠兩地間之接線為準，由傳輸損耗之限制，然後，可以規定每段線路上所可容許最大之損耗。

若所設計之長途線路，僅為少數城鎮之聯絡，其接線制度較簡，若所設計者為一省或數省內每一城鎮與其他任何城鎮之聯絡，頭緒紛繁，欲得一有系統之長途話網，則分區制度尚矣，依人口之密度，商業之盛衰，將所設計之地域內，劃分為若干區，以一區為一單位，以區與區間之聯絡，而定轉接次數之多寡。

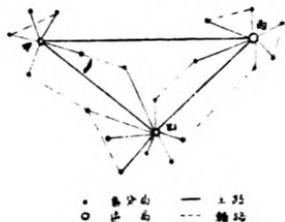
(1) 長途區分局 每一城鎮之有話局者，多有長途接線座，其無話局者，

該處必設有長途站代辦所等，以供電話傳遞。其每一城鎮之話局，或代辦所，在一廣大之計劃內，自難各別與外界直接通話，於是集合鄰近城鎮之長途線路，於一長途轉遞局內，是為區分局。凡隸屬於該分局各城鎮之長途話務皆由該局辦理，該局實為長途接進接出必經之路，亦即長途話網中之基本單位也。

(2)長途區局 一區之面積至廣也，其所可設立之分局至多也。每兩分局間，皆有互相聯絡之必要也。為接線之便捷計，則每兩分局間，應有直達之線路，為經費之節省計，則分局與分局之聯絡，應有進一步之集中制度。且也每兩分局間，話務繁簡，各自不同，有需要直達線路者有話務較閒可藉其他線路之轉接者，於是集合一區內之分局，連繫於一總局內，是為區局。除因特別需要，某兩分局間，應設置直達線路者外，其他任何分局，皆經區局之轉接。若是，則分局間之線路既可節省，而話務分配亦較均勻，即各段線路上之話務負載無過忙過閒之弊。其分局之不隸屬於一區者，可由甲區之區局，與乙區區局之轉接，如圖一所示者。

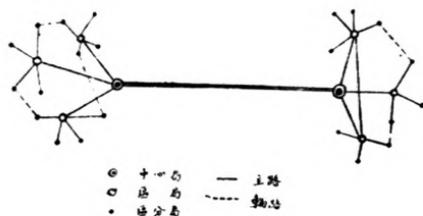
圖一 區分局與區局之聯絡系統

(3)長途中心局 若長途事業所包括之地域太廣，則區局與區局間之連絡，亦成一問題。於是中心局之設置，以集中數區內之話務於一中心局，除各區局因特殊需要備有直達線路外，均與此中心局相聯絡。每一中心局再與其他中心局以直達線路溝通之。如是則隸屬於甲中心局之區局，不必以直達線路與隸屬乙中心局之區局相聯絡。至於重要之區分局，荷話務十分發達，亦可不經區局，而直接隸屬於中心局。兩中心局之聯絡，如圖二。



圖一

圖二 區局與中心局之聯絡系統



根據此種計劃，任何兩分局通話時所轉接之次數可依附表一推算之。

附表一 轉接綫路之轉接次數

自	轉接次數	隸屬同一中心局區域者				不隸屬同一中心局區域者			
		中心局	區局	直屬中心局之區分局	接於區局之分局	中心局	區局	直屬中心局之區分局	接於區局之分局
中心局		0	0	0	1	0	1	1	2
區局		0	1	1	2	1	2	2	3
直屬中心局之區分局		0	1	1	2	1	2	2	3
接於區局之中心局		1	2	2	3	2	3	3	4

(4) 輔助綫路 上述之區分局區局，與中心局之聯絡系統為正常狀態時之主要綫路，為任何兩分局間接綫時所必經之途徑。今也苟主要綫路任何一段，發生障礙，或因話務太忙而不空，為求繼續服務，不致耽延起見，應有輔助綫路之預備。如由甲分局至乙分局，其主要綫路，須經甲乙兩區局之轉接，苟甲分局與甲區局間綫路障礙，今可由丙分局及甲區局與乙區局之轉接以達乙分局，如圖三所示者，是為輔助綫路。蓋甲分局至甲區局間每日中繁忙之時，未必即為丙分局與甲區局間繁忙之時。苟前者綫路話務過忙，可移溢出之話務於後者綫路上，以其有餘，補其不足，業務既不致中斷，話務尤得均勻之效。

圖三 主要綫路與輔助綫路

(5) 綫路之選擇 依傳輸需要言，凡任何兩地間之綫路，以能直達為尚，不得已而求其次，轉接次數，以愈少為愈佳。如由甲地至乙地，有數種途徑可

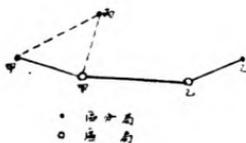


圖 三

循，則擇其傳輸損耗最小者為主，他者為輔。依話務之需要言，則不然，其轉接之次數較多者，話務分配較為均勻，而每一綫路之數量亦因以減少。甲乙兩地之直達綫路，僅足負載該兩地間來往之話務，忙時少而閒時多，苟以甲乙兩分局經一區局之轉接，則甲分局至區局之綫路，固不僅負載甲乙兩分局之話務已也，凡任何分局至甲分局往來之話務，皆可負載，且利用各分局至甲分局忙時不同之關係，而該綫路每小時之話務，可以收均勻負載之利。綫路之配置，殊為經濟，是以設計之時，不妨多擬途徑，依不同轉接方法，各別計算其綫路數量及傳輸損耗，擇其優者而取為主路，庶傳輸話務，皆得兼顧。

不過選擇之時，路程遠近亦為一大關鍵，路程過遠者，因經濟關係，固不適用直達綫路，而輔助綫路，亦難得適當之解決也。再則每一綫路之數量，亦足以影響綫路之選擇，不可不加以注意，如某綫路內僅有一對，以至三、四對，則該綫路上，殊有過分負載之可能，但究竟何時負載溢出，而溢出之久暫奚若，殊難逆料，是以輔助綫路，決不可少。不過輔助綫路上之傳輸損耗，不能過分超出其主路，免音量之減低，使談話者生不快之感。輔助綫路之話務容量，至少應與其主路相埒，庶幾輔路內同時得以負載其本身話務，不致逾量。且其轉接次數，亦以愈少為愈佳，俾接線時間，不致過分耽延。苟輔助綫路之餘量較小，不妨選兩種輔路，以平均負擔之。苟主路上已有六對以上之綫路設置，其本身話務容量較大，而逾量之機會較少，則輔助綫路之設置，非屬重要矣。要之，輔助綫路之設置，唯一目的在利用其他綫路空餘之時間，以救濟某一綫路之不足，使話務分配得以均勻，其綫路長短，係屬次要，不過傳輸損失，須保持其標準耳。若主路短（在50公里左右者），其輔路，或可四、五倍之，苟

主路長(例如500公里左右),則輔路自不能超過一倍以上。

今再參酌主路之轉接方法言,其備有直達線路者,不若轉接線路需要輔路之般,蓋後者接綫既綏,而障礙或延遲之機會較多也。轉接之次數愈多,則需要亦愈般。夫輔助線路既為分配話務而設,以整個計劃言,無論其為直達,抑為轉接,其分配後之話務狀態,必須另行推算,使任何線路無太過不及之虞。

(V) 線路之傳輸需要 綫路愈長,則損耗愈大,自複述器(Repeater)之採用,而線路之消滅損耗(attenuation loss),得以補償,所應注意者,厥惟綫路之回聲作用(Echo affect),失真現象(Distortion)如交語(Crosstalk),音鳴(Singing)及雜聲(noise)等而已。在長距離之綫路上,回聲之影響較著。在較短之綫路上,僅失真作用足以限制複述器之放大倍數耳。

線路之本身損耗,與複述器所提高倍數之差,為該線路之淨損耗。在較長之綫路上,荷能儘量採用複述器,使該線路常得一最低之淨損耗,殊為合算。尤其以數段線路相連接時,可不致超過規定之限制,依音量需要言,由甲地至乙地兩用戶間之總損耗,如在25至30db之間,則語言傳達,清晰可聽,結果至為美滿。在話務負載較重線路上,不妨提高其傳輸標準,俾多數長途用戶,得極良好之印象。

由甲地用戶至乙地用戶間之連絡,必經過甲地話局之用戶線路至長途區分局,兩區分局間之線路,及由乙地之分局,經乙地用戶線路以達他用戶。今25至30db之總損耗將如何分配於此三段綫路乎?將以較大損耗加於用戶線路,而設計一損耗極小之長途綫乎?則長途線所費過大,而本地用戶通話,亦成困難。然則儘量分配損耗於長途線,而設計一優質之用戶線路歟?長途設備成本,固可節省,而用戶電纜,用戶話機,以及本地話局至分局之中繼綫路,勢不得不力求其精,所費未必能償所得。故計算長途損耗時,於本地損耗,應兼顧也。依慣例損耗分配,如下表所示。

	直達綫路	轉接綫路
1. 發話端損耗	7.0 db	7.0 db
1.1, 用戶綫, 話機機件	5.0-3.5	5.03.5
1.2, 長途中繼綫	2.0-3.5	2.0-3.5
2. 長途綫損耗	9.0 db	17.0
3. 接話端損耗	7.0 db	7.0
3.1, 長途中繼綫	2.0-3.5	2.0-3.5
3.2, 用戶綫, 話機及機件	5.0-3.5	5.0-3.5
總損耗	23.0 db	31.0 db

轉接綫路內, 因轉接次數之多寡, 總損耗雖各不同, 惟最大不得超過 17db 之數, 則此 17db 將如何分配於轉接之各段乎? 第三表示每種綫路應有最低之淨損耗數, 設計時自可斟酌綫路多寡, 與路程遠近而加以增減也。

長途綫種類	最低淨損耗
區分局至區局	3.0-4.0 db
區分局至中心局	3.5-4.0 db
區分局至區分局	6.0 db
區局至區局	4.0-3.0 db
中心局至中心局	4.0-3.0 db
區局至中心局	3.5-3.0 db

依此分配除直達綫路外, 其任何轉接制度之總損耗皆可核算, 如附表四. 最多損耗, 為經兩次區局及兩次中心局之轉接, 其總損耗約為

$$3.0+3.5+4.0+3.5+3.0=17 \text{ db}$$

附表四 轉接線路之規定損耗(無假線控制)

自	至	隸屬於同一中心局區域者				不隸屬於同一中心局區域者			
		中心局	區局	直屬中心局之區分局	中接於區分局之區分局	中心局	區局	直屬中心局之區分局	中接於區分局之區分局
中心局	中心局	0	3.5	3.5	6.5	4	7.5	7.5	10.5
區局	區局	3.5	7.0	7.0	10.0	7.5	11.0	11.0	14.0
直屬中心局之區分局	直屬中心局之區分局	3.5	7.0	7.0	10.0	7.5	11.0	11.0	14.0
中接於區分局之區分局	中接於區分局之區分局	6.5	10.0	10.0	13.0	10.5	14.0	14.0	17.0

在兩線相連時其回聲作用係相加的，而交語、音鳴等作用，增加較少，為回聲作用所限制，每段線路之傳輸單位不能過高，故在交接點，有插入複述器之必要，以提高其總單位。最簡便插入之複述器為繩路複述器，(Cord Circuit Repeater)。以複述器及其附屬平衡網路，用特種塞子，插入於長途線路內，傳輸單位，可提高 4-10 db。在話務清閒之轉接局內採用之固無不便。不過在話務紛繁之轉接局內，線路轉接，千頭萬緒，何者應插入繩路複述器，何者則否，每使接線生難於應付，接線時間，固因為耽延，且往往有誤用之弊，殊失採用之本意。

如不用繩路複述器，可採用假綫控制 (Pad Control)。於綫路之兩端，或僅在轉接之一端，接有一組假綫，插入 1 至 4 db 之損耗，綫路本身與假綫損耗之和為該綫路之總損耗。在兩線相接時，傳輸單位應予提高，則將轉接端之假綫以繼電器或單路電橋之作用而避去之，因假綫之避免，而傳輸單位方能提高。如圖四所示者，圖四甲示 AB 綫兩端之假綫，其損耗各為 3 db，若 AB 為直接綫路，其綫路總損耗為 9db。今在 AB 綫與 CD 綫相接時，B 端及 C 端之假綫，皆自動避免，則 AD 間之總損耗不過 12 db 如圖四乙所示。若 A 端與 D 端本無假綫；AB 與 CD 之損耗各為 7 db，銜接後僅為 8 db 如圖四丙。

圖四丁示轉接四次之情形，線路之總損耗為 17db，用戶間之總損耗為 31db。



〔V〕線路數量之計算 每種路綫需要之數量，由話務負載決定之。話務負載云者，即呼叫數與持久時間之積，即每一話務時內該綫路所應佔用之時間也。持久時間由談話時間及接線時間決定之，毋庸贅述。附表五示線路數量與其規定負荷之關係，線路數量愈多，則負載量愈大。該負載量以其所可佔用之時間（以分爲單位）表之。該表內分列甲乙丙三等，甲等示人口在 50,000 左右兩城鎮間之線路；乙等示人口在 50,000 與 750,000 間兩城鎮間之線路，或一城鎮人口在 50,000 左右，他城鎮在 50,000 至 750,000 者；丙等示人口超過 750,000 兩城鎮間之綫路，或一城鎮人口在 50,000 與 750,000 間，他城鎮在 750,000 以上者。括弧內之數目，示不備輔助線路時，該主路之負荷量。該表係根據美國電報電話公司之記錄，所代表者爲長途業務十分發達之美國情形，作者引之，聊作參考而已。

附表五 長途線路話務負載容量表

綫路數量	線路話務容量(每小時佔用之分數)		
	甲 種	乙 種	丙 種
1	46(39)	—	—
2	100(92)	68(56)	—
3	156(150)	114(102)	—
4	208	160(152)	—
5	266	205	103
6	324	259	138
7	382	313	176
8	440	367	215
9	498	421	225
10	556	475	297
11	614	529	340
12	672	583	383
13	730	637	427
14	788	691	471
15	846	745	517
16	904	799	562
17	962	853	608
18	1020	907	654
19	1078	961	701
20	1136	1015	748

以此表內之負荷量除以每次通話之平均持久(或佔用)時間,即得該組線路於話務時內所能負載之通話次數,再乘以每日之話務時數,即得每話務日該組綫路所可負載之通話次數。

(Ⅶ) 線路種類之選擇 長途綫路之設置,除在一定距離內,能適合傳輸損耗之需要外,其選擇標準,厥惟經濟原則。以一般之電話收費而言,其業務收入,至少應平衡其支出,其支出要分投資之利息,逐年之折舊及維持管理、話務、一切開支三項。夫設置之成本重,則利息亦重,折舊率亦大,夫設置後

之壽命短，則折舊率大，加以附屬開支，則每通話一次之成本亦大，而該線路上業務收入，是否能償所費，殊難保證。是以設計之時，對於成本、壽命、維持經常開銷數項，必須權衡輕重，以定取捨；務須以較輕之成本，較易之維持較長之壽命，得較佳之結果，即利息 + 折率 + 開銷 = 最低限度之謂也。

長途線路概分架空線與電纜兩種。架空線可採用銅線、鐵線，或鐵心銅線；電纜可採取架空制或地下制。為提高傳輸單位計，架空線與電纜，可採用負載圈制，連續負載制，或加入複連器，或兩者兼用。為節省話線之數量計，架空線與電纜，可採用載波電話，或為單路，或為複路。種類繁多，選擇不易，茲述其重要之區別，以資參證。

(1) 架空線與電纜之比較 電纜不易受外界之侵襲及干擾，其服務較為可靠，而音質純良，處風雪載途之境，架空線每因風雪侵襲，易於損壞；且架空線因易受鄰近其他電線之感應，而多雜聲，此電纜之利一也。因採取電纜，而電纜內所用銅線線標，可較架空線為小，用銅之成本可以節省，此其利二也。因電纜所包量之線路多而體積小，同一電桿，可支持比架空線較多之線路數量。復因其所包之線路多，故將來擴展線路時，可利用電纜中之空線，毋須另行裝置，頗富於伸縮性，而壽命亦較長，此其利三也。雖然，電纜之初次成本貴，維持修理較難，且因線標小而損耗大。同一距離，往往需要連續負載，或多備複連器，種種費用，皆較架空線為貴。於過長之線路或話務清閒之線路上，殊無採用可能。

(2) 銅線與鐵線之比較 近世長途話線大率採用銅線鐵線之唯一利益，在成本低廉，然而同一線標鐵線之損耗，數倍於銅線（參看附表），音質傳輸至劣；同一線標鐵線較銅線為重，架設殊為困難，且也鐵線受風雨之侵蝕，每易生鏽，傳輸損耗逐年加增，而壽命亦因以日促，其折舊率極大，是以所節省之成本，以長期言，未必能償所失也。折中辦法，有採用鉄心銅線，或鋼心鉛線者，傳輸損耗較鐵線優，其拉力較銅線強，因銅包於外，不易侵蝕，具有銅鐵兩者之利，而無一害，殊為經濟。不過在產銅製線之國家內，製純銅線易，製包銅線難，在買主方面，架銅線易，架包銅線難，其成本能省幾何，架設所費若干，不可不顧及之也。其各種線標之銅線鐵線與包銅線之損耗比較，參看附表。

## 六.

(3) 負載制與複遞器之比較 為提高架空線之傳輸單位，每於相當距離間，插入負載圈，因負載圈之插入，而連帶引起截止週率(Cut-off Frequency)問題。普通負載圈制電話線之截止週率約在3000週秒左右，或超過之者，是以其音量雖宏而音質殊劣，若以之傳輸廣播節目，則失其殊大。自真空管複遞器之問世，音量固因以提高，音質亦不致傷失，故近世之趨勢，多採用複遞器而避免負載制度。惟複遞器之本身特性及其附屬機件，須經慎重之設計，始可收平均放大之效耳。複遞器之放大倍數，於一定之範圍內可以隨意調節，此其超越負載制之又一利也。然而複遞器之價值貴，於相當距離內，必須設立複遞站，複遞站內必須有電力供給及試驗接頭等設備，其所費，當非負載制所可比擬，勢必斟酌實際需要與經濟情形，莫由決定也。

(4) 載波制與非載波制之比較 用載波制可以節省銅線，增多可用線路，用載波制可以保持談話之秘密性，改進語言之音質，用載波制必須裝置載波設置，採用優質銅線而線路之架設也，應有合宜之線距與精良之交叉(Transposition)。用載波制須要載波週率之複遞器，各式留帶週濾波器(Bandpass Filter)，因採用載波制而線路上所通過電流之週率，超出成音週率以外，故一切設計維持等，皆須特別慎重，因載波制與非載波制之工程問題，經濟問題相去懸殊，故須斟酌話務需要，路程遠近，與最近數年來之發展趨勢，慎重決定，不宜率爾從事也。

(5) 各種線標架空線與電纜之常數表 該表內示線之種類為銅線，鐵線，心銅線，及長途電纜四種，及每種線標之直徑，重量，及傳輸損耗，其傳輸損耗皆根據言語週率，1000週秒計算而得者，因天氣燥溼之不同，架空線之漏導(Leakence)亦異，潮溼時漏導大，損耗亦大，故損耗欄內，除電纜及鐵心銅線外，皆分乾燥，濕天氣兩種，其乾燥天氣之損耗，可用為校對乾燥時所測量之損耗，其潮溼天氣之損耗應用為計算之標準。潮溼天氣之溼度，隨地方及氣候而各異，該表所示為平均數值，設計者固可加以修正也。又電纜欄內之損耗係根據攝氏溫度 $20^{\circ}\text{C}$ ，或華氏溫度 $68^{\circ}\text{F}$ 計算者，如溫度超出 $43^{\circ}\text{C}$ 或 $109^{\circ}\text{F}$ 表內數字應增加10%，附表七，示長途話線在載波週率時之損耗。

附表六 長途話線傳輸損耗表

線類	線標	標準度量衡制				英國度量衡制				
		直徑 公厘	重量 每公里 公斤	每公里之損耗(db)		直徑 吋	每里重量 磅	每哩之損耗(db)		
				乾燥天氣	潮溼天氣			乾燥天氣	潮溼天氣	
銅線	8BWG	4.19	123.00	.019	.024	.165	435.1	.030	.039	
	10BWG	3.405	81.95	.027	.032	.134	287.0	.043	.052	
	8AWG	3.264	74.37	.029	.035	.129	263.8	.046	.056	
	10NBS	3.252	73.75	.029	.35	.128	261.9	.046	.056	
	9AWG	2.906	58.98	.035	.041	.114	209.2	.057	.066	
	12NBS	2.768	53.50	.041	.047	.104	172.9	.066	.076	
	14NBS	2.037	28.82	.064	.070	.080	102.3	.103	.113	
鐵線	6BWG	5.16	162.2	—	.100	.203	573.0	—	.160	
	8BWG	4.19	107.0	—	.124	.165	378.2	—	.200	
	10BWG	3.41	70.5	.153	.165	.134	249.0	.246	.265	
	12BWG	2.77	46.5	.176	.188	.109	164.3	.283	.303	
	14BWG	2.11	27.0	.222	.236	.083	95.5	.356	.379	
鐵心銅線		直徑	導電率	每公里之損耗		直徑	導電率	每哩之損耗		
	6AWG	4.115	30%	.071		.162	30%	.114		
	6AWG	4.115	40%	.054		.162	40%	.087		
	8AWG	3.264	30%	.100		.129	30%	.160		
	8AWG	3.264	40%	.075		.129	40%	.120		
	9AWG	2.906	30%	.118		.114	30%	.190		
	9AWG	2.906	40%	.087		.114	40%	.140		
	10AWG	2.588	30%	.137		.102	30%	.220		
	10AWG	2.588	40%	.100		.102	40%	.160		
	12AWG	2.053	40%	.155		.081	40%	.250		
	電纜	10AWG	2.588		.18		.102		.290	
		13AWG	1.828		.30		.072		.483	
16AWG		1.291		.45		.051		.724		
19AWG		.912		.68		.036		.192		

附表七 長途線在載波速率之損耗(每公里db數)

線 標	語言速率	10千週	20千週	30千週	50千週	
		10千週	20千週	30千週	50千週	
架	#12NBS 乾燥天氣	.042	.057	.080	.100	.131
		潮濕天氣	.047	.074	.106	.133
空	#10NBS 乾燥天氣	.029	.048	.067	.085	.111
		潮溼天氣	.032	.063	.091	.117
線	#8BWG 乾燥天氣	.019	.038	.055	.069	.092
		潮溼天氣	.020	.053	.080	.100
電 纜	#19AWG	.68	1.55	1.83	1.98	2.25
	#16AWG	.45	.91	1.06	1.22	1.50
	#13AWG	.30	.56	.75	.88	1.12
	#10AWG	.18	.36	.51	.63	.86

## (6) 負載制電纜之損耗表

負載制度縮寫 第一字示負載圈之間隔, 第二組數字示邊路 (Side Circuit) 負載圈之電感量 (千分享利), 第三組數字示幻路 (Phantom Circuit) 負載圈之電感量, 末一字分辨其為邊路抑為幻路, 例如 M-175-N 即非幻路制線路內每隔 9000 呎或 2743 公尺插入 175 份亨利之負載制, H-174-106 即每隔 9000 呎或 1828 公尺於邊路內插入 174 份亨利, 幻路內插入 106 份亨利之負載制也。

附表八 負載制縮寫表

註 字	間 隔		距 離 公里	普 通 應 用
	呎	米		
C	929		.283	與載波架空線相連之電纜
B	3000		.914	本地電纜
D	4500		1.372	本地電纜
E	5575		1.699	長途引入電纜
H	6000		1.829	長途電纜,本地及長途中繼線
K	7400		2.256	長途電纜,
M	9000		2.746	長途電纜,本地電纜
R	11600		3.536	本地電纜
W	41600		12.680	架空線

P-幻路, S-邊路, N-非幻路制, NL-非負載制

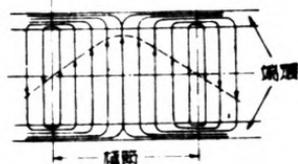
附表九 長途電纜之負載制

負 載 制	每 公 里 之 損 耗 (db)							
	#19AWG		#16AWG		#13AWG		#10AWG	
	幻路	邊路	幻路	邊路	幻路	邊路	幻路	邊路
H-44-25	.25	.30	.13	.16	-	-	-	-
H-174-63	.18	.18	.10	.10	-	-	-	-
H-174-106	.14	.18	.08	.10	.052	.063	-	-
H-245-155	.13	.16	.075	.10	.052	.065	.040	.050
M-174-106	.16	.20	.09	.11	.055	.068	.031	.037
K-200-130	-	-	.075	.095	.012	.052	.025	.031
K-200-N	-	-	-	.085	-	.060	-	-

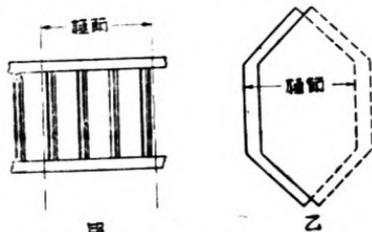
# 建電製造廠雙籠式感應電動機之動作試驗

楊 耀 德

雙籠式感應電動機為 Boucherot 氏所發明，故又稱 Boucherot 電動機。此機與尋常鼠籠式感應電動機不同之處，為鼠籠式機之旋轉子祇有一重鼠籠綫捲，而此機則有上下二重鼠籠綫捲，其銅桿或作圓形，或作長方形，或類似橢圓形。吾人研究尋常鼠籠式電動機之動作時，可假定平衡多相電流通過靜止子綫捲，產生常值旋轉磁場，其空間分佈關係依正弦函數，旋轉子銅桿以退移周率割切旋轉磁場，發生電動力，因磁流密度作正弦函數空間分佈，故各銅桿之瞬時電動力量與所割切之磁流密度成正比，亦依正弦函數關係在旋轉子週循序分配。旋轉子電流之通過鼠籠綫捲可作數種說法：一種說法為電流自發生正向感電動力之銅桿通過端環，達負向感電動力之銅桿（滯後相當相位），而復流回，如圖1所示。又一說法為每一銅桿可假想作兩綫圈邊，各短節綫圈之節等於極節，綫圈總數等於銅桿數，每短接綫



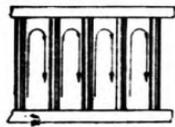
圖一 鼠籠綫捲內電流之方向



圖二

圈成一電相，而整個綫捲之相數等於每對極銅桿數，綫捲之並接通路數

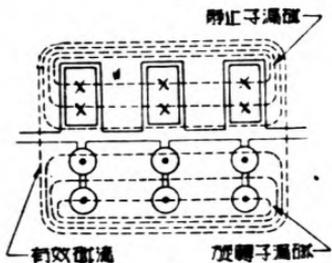
等於磁極對數，如圖 2 所示，更有一說法為電流川流於兩鄰銅桿與其兩端所連接之一小部份端環間，完成電路，各銅桿內之瞬時電流等於兩鄰電路或網目間所通過電流之相位和，如圖 3 所示，無論據何種說法，各銅桿內之瞬時電流固依正弦函數循序分配於旋轉子週，而在兩鄰桿間各小部份端環內之電流密度，亦依正弦函數循序分配，故各銅桿或各小部份端環電流，皆以退移周率交變於正向與負向，最大値銅桿電流士  $(I_b)_m$ ，或最大値端環電流士  $(I_r)_m$  間，銅桿之有效値電流  $I_b = (I_b)_m / \sqrt{2}$ ，端環之有效値電流



圖三

$$I_r = \frac{b I_b}{\pi p}, \quad b \text{ 爲銅桿數, } p \text{ 爲磁極數.}$$

雙籠式感應電動機之多相靜止子綫捲產生常値正弦函數旋轉磁場，與尋常鼠籠式電動機無異，惟雙籠式電動機之二重鼠籠綫捲同時與靜止子相串鏈，皆以退移周率割切磁流而感生電動力，恰與多綫捲變壓器之電磁路關係相類似，爲便利分析起見，吾人可將磁路內之磁流分作有效磁流與漏磁流兩成分，因電動機鋼鐵部份磁流密度較低其磁阻可略去不計，於是靜止子與旋轉子有效磁流與漏磁流之分佈狀態，如圖 4 所示，靜止子綫捲之漏磁電抗關係與尋常鼠籠式機無異，可以勿論，旋轉子綫捲之漏磁電抗關係可分析如次：

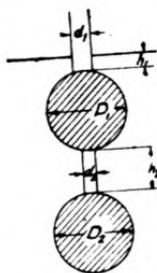


圖四

$$L_1 = \text{頂重圓形銅桿每桿在槽部份自感} = \left[ 4\pi \left( 0.62 + \frac{h_1}{d_1} \right) l \right] 10^{-9} \text{ 亨利}$$

$$L_2 = \text{底重圓形銅桿每桿在槽部份自感} = \left[ 4\pi \left( 0.62 + \frac{h_2}{d_2} \right) l + 2\pi^2 l \right] 10^{-9} \text{ 亨利}$$

$$M = M_{12} = M_{21} = \text{頂重與底重圓形銅桿間互感} = \left[ 4\pi \frac{h_1}{d_1} l + \pi^2 l \right] 10^{-9} \text{ 亨利, } l \text{ 爲旋轉子磁心長徑, } h_1, d_1, h_2, d_2, \text{ 皆爲徑, 詳見圖 5.}$$



圖五

$V =$  每相路綫電壓, 伏  $= E + IZ, \dots\dots\dots(1)$

$E =$  路綫電壓之相當於靜止子每相反電動力成分, 伏  
 $= j2\pi f N \Phi = j\omega N \Phi$

式中  $I, Z, N$  爲靜止子每相電流, 電阻抗, 有效匝數,  $f$  爲路綫週率,  $\Phi$  爲每極有效磁流。

$E_1 = E_2 =$  旋轉子每短接線圈感電動力, 伏  
 $= -2j\pi f_s \Phi = -j\omega_s \Phi,$

$f_s$  爲退移週率, 普通雙籠式機之銅桿作圓形銅桿內表層效應甚微, 電流密度幾近均勻, 故

$$E_1 = -j\omega_s \Phi = (2\gamma_1 + j2\omega_s L_1) I_1 + j2\omega_s M I_2 + j2\omega_s L'_1 I_1 + (2\gamma''_1 + j2\omega_s L''_1) \frac{2}{\pi} I_{\gamma_1} \dots\dots\dots(2)$$

$$E_2 = -j\omega_s \Phi = (2\gamma_2 + j2\omega_s L_2) I_2 + j2\omega_s M I_1 + j2\omega_s L'_2 I_2 + (2\gamma''_2 + j2\omega_s L''_2) \frac{2}{\pi} I_{\gamma_2} \dots\dots\dots(3)$$

$\gamma_1, \gamma_2$  爲頂重與底重銅桿每桿電阻,  $L'_1, L'_2$  爲每桿在槽部份自感,  $\gamma''_1, \gamma''_2$  爲每極節長端環電阻,  $L''_1, L''_2$  爲每極節長端環自感,  $I_{\gamma_1}, I_{\gamma_2}$  爲端環電流 ( $= \frac{b}{\pi p} I_1$  或  $\frac{b}{\pi p} I_2$ ), 頂重與底重二端環間或槽外部份二銅桿間互感, 數量較微, 爲簡便起見路去勿計,  $L'_1, L'_2, L''_1, L''_2$  各值可從下式算出:

$$L = 2 \left\{ \log \frac{1 + (l^2 + a^2)^{\frac{1}{2}}}{a} - (l^2 + a^2)^{\frac{1}{2}} + a + \frac{l}{4} \right\} 10^{-9} \text{ 亨利}$$

式中  $l$  爲每極節端環或槽外部份銅桿之長,  $a$  爲端環或銅桿剖面相等半徑。

$$\text{又 } \frac{m}{2} NI + \frac{m_1}{2} N_1 I_1 + \frac{m_2}{2} N_2 I_2 = \frac{m}{2} NI_e$$

$$\text{或 } \frac{m}{2} NI + \frac{b}{2p} (I_1 + I_2) = \frac{m}{2} NI_e \dots\dots\dots(4)$$

式中  $m$  爲靜止子相數,  $N$  爲每相有效匝數,  $I_e$  爲每相勵磁電流,  $I_e$  量可照常法算出。

從公式 (1), (2), (3), (4), 吾人可解出  $I_1$  與  $I_2$  相當於退移週率  $f_s$  之值。

路線電壓  $V$ , 路線周率  $f$ , 以及各  $\gamma$ ,  $L$ ,  $M$  之值為已知, 於是電動機之旋力為

$$T = p \left( \frac{m_1}{2} N_1 I_1 \cos \theta_1 + \frac{m_2}{2} N_2 I_2 \cos \theta_2 \right) \dots \dots \dots (5)$$

$\theta_1, \theta_2$  為旋轉子頂重與底重感電動力與電流間相位角。

考  $L_1$  與  $L_2$  之數量關係, 吾人可知  $L_2$  高出於  $L_1$  之值為  $(4\pi \frac{h^2}{d^2} + 2\pi^2 l)$  之 10-9, 若頂槽與底槽間之空隙甚狹而深, 則  $L_2$  高出  $L_1$  之值甚大, 當起動之際  $\omega_s$  最高, 觀公式 (2) 與 (3) 可見雖  $\gamma_2$  與  $\gamma_2'$  之量小於  $\gamma_1$  與  $\gamma_1'$ , 但  $I_2$  仍甚低於  $I_1$ , 因  $\cos \theta_1$  之值較高, 故起動旋力大而電流量小, 反之, 當運轉之際,  $\omega_s$  甚低,  $\gamma$  對於電流之影響乃大於  $L$ ,  $I_1$  將低於  $I_2$ , 因  $\gamma_2$  與  $\gamma_2'$  之值較低, 故運轉時之退移頗微, 速度幾近常量, 旋轉子之銅耗不昂, 而效率亦佳。適當支配頂槽與底槽間空隙之寬度與深度, 銅桿與端環之電阻, 則電動機之起動與運轉特性可隨意規劃, 以適合於負載情形之需要。凡感應電動機 (在定限量容內) 之直接至路線起動者, 其起動電流不得超過額定滿載電流之約 4.5 倍。尋常鼠籠式機之起動電流 (在額定路線電壓下) 約達滿載電流之 7 倍, 不可直接至路線起動, 須接入一起動器以減低起動電流量。雙籠式機之適當設計者, 不難在直接路線起動下, 其起動電流不超出 4.5 倍滿載電流而同時能產生 2.5 倍滿載旋力。惟雙籠式機起動電流之減低係於  $L_2$  之高出於  $L_1$ , 故起動電流亦未便過度削減, 蓋同時運轉特性因  $L_2$  增高而不免遜色也。

近年來國產電動機之製造事業, 頗見進展。建設委員會電機製造廠 (即建電製造廠) 與華成電器製造廠皆努力從事於感應電動機之設計製造, 成績優良, 可為吾國電器製造事業慶。今將建電製造廠造 10 馬力雙籠式感應電動機起動與零負載試驗之結果, 列示於後, 又該機之額定各值如下:

容量	10 馬力	相數	3
電壓	380/660 伏	電流	14/8.1
速度	1440 轉/分	工率因數	0.895
型式	Tcc1 32/4	率周	50 周/秒,

(1) 起動特性之試驗結果:

鎖轉子試驗所試端電壓(三角連接)	204 伏
路線電流(圖 6)	48 安
旋力	25 磅呎
鎖轉子路線電流化作額定端電壓下	88 安(6.2 倍滿載電流)
鎖轉子旋力化作額定端電壓下	86.5 磅呎(2.37 倍滿載旋力)
零負載起動電流波形攝取時所施端電壓	350 伏
起動電流最大波頂值(圖 7)	63.5 安
起動電流有效值化作額定端電壓下	53 安 3.8 倍滿載電流)

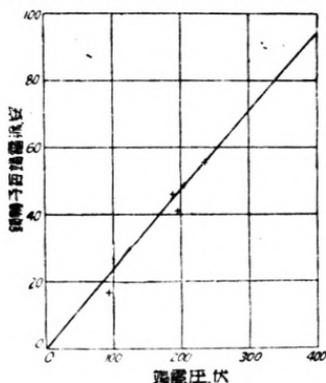


圖 六

## (2) 零負載試驗之結果:

零負載運轉所施端電壓(三角連接)	376 伏
零負載路線電流	5.0 安(35.7% 滿載電流)
輸入功率	360 瓦
功率因數	0.11

綜觀此機之起動旋力頗強,零負載起動電流亦低,當適合於直接至路線起動之用。至關於此機之運轉特性,因為設備所限,未能試至突破旋力點(假定此機有突破點者),故暫從略。又此機運轉之際,寂靜而穩定,此點對於感應電動機之動作,蓋亦有重要之關係也。

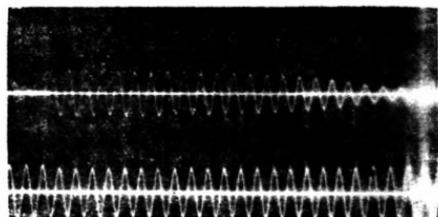


圖 七

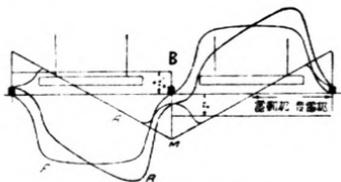
# 直流電機之短路電流對於磁場之反應

王國松

摘要：本篇說明遲延整流之效應，與電刷向前移動同；加速整流與電刷向後移動同。

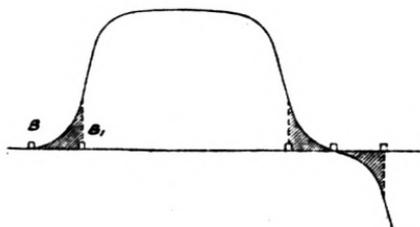
電流通過電樞時，則生磁化作用，其對於磁場之反應，可分為縱橫二種。縱反應因電刷移動而發生，將電刷向前（依旋轉方向）移動，則生去磁作用，向後（背旋轉方向）移動，則生磁化作用，橫反應僅將磁場畸變。

置電刷於中性線，則縱反應消滅而橫反應依然存在，如圖一所示， $F$ 為磁場之磁線密度，在電刷  $B$  左面導體之電流方向，與在  $B$  之右者相反，電樞之磁動力為  $M$ ，其所生之磁場，如  $A$  所示， $R$  為結合磁場。



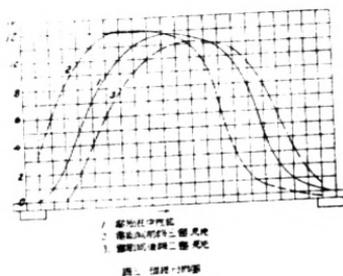
圖一 電樞對於磁場之反應

如發電機無負載，同時其磁場為他勵，則電樞除被電刷短接之線圈受整流作用或有電流外，決無其他電流存在。若略前者而不計，則無電樞反應之可言。設保持速度及勵磁電流有一定值，當以電刷在中性線時電壓為最高，電刷向前移動時必較低，向後移動亦同。其所差者與  $B$   $B_1$  (圖二) 間面積



圖二 電刷移動

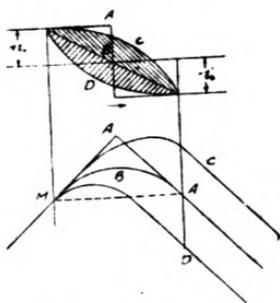
之二倍成比例。作者作發電機整流試驗，取有整流磁極之發電機，除去其接線，以代無整流磁極發電機，其結果為電刷向前移動三整流片時，電壓為 180 伏，反較電刷在中性線時 172 伏為高，向後移二整流片時，電壓為 153 伏。其磁線分配如圖二所示，欲解釋此種結果，當先知短路電流對於磁場之反應。



1. 瞬時整流 (Momentane Stromwendung) 圖一所示整理之週期，假定為瞬時，即自  $+i_0$  立刻變至  $-i_0$ ，實際上整流所需之時間，必不為零，因整流短路電流性質之不同，而所生之反應亦異，積分電流曲線，可得電樞之磁動力，瞬時整流電樞之磁動力為一三角形，如圖四 A。

2. 直線整流 (Geradlinige Stromwendung) 如圖四 B 所示，電流在整

流期內依定率變動，此時電樞磁動力在整流範圍內為一拋物線，其形狀仍為對稱，惟其量僅為瞬時整流之半，蓋短路電流三角形所佔之面積，僅矩形之半也，可知直線整流僅變電樞反應之分量，而不變其性質也。



圖四 額外電流對於磁場  
磁動力之影響

3. 遲延整流 (Verzögerte Stromwendung) 整流磁場不足，或整流電勢與自感應電勢同一方向，則電流經過半整流週期時，仍為原方向，如圖四 C 所示。電樞之電流帶及電樞磁場向旋轉方向移動。若電刷在中性線，此種整流發生去磁作用，換言之，即斜線面積之額外電流 (Zusätzliche Ströme) 發生一去磁之縱磁場，所謂額外電流者，即短路電流與直線整流之短路電流之差也。

4. 加速整流 (Beschleunigte Stromwendung) 如整流電勢大於自感應電勢，則電流未至半整流週期時，已變更方向，如圖四 D 所示，此種整流，將電樞磁場背旋轉方向移動，若電刷在中性線，此種整流有磁化作用，即斜線面積之額外電流，發生一磁化之縱磁場。

設磁場及電樞電流情形均不更動，由發電機而為電動機，則當反向旋轉，前之所謂遲延整流，此時為加速整流，而前之所謂加速整流，此時反為遲延整流，故當電動機之電刷在中性線時，遲延整流有磁化作用，加速整流有

去磁作用。

歸納以上所述，可得下列結語：遲延整流之效應，與電刷向前（旋轉方向）移動同，加速整流之效應，與電刷向後（背旋轉方向）移動同。故將無整流磁極發電機之電刷向前移動，則遲延整流之額外電流使電樞之去磁安匝增加，若為加速整流，則去磁安匝為之減少，若將無整流磁極電動機之電刷反向移動，則遲延整流之額外電流使電樞去磁安匝減少，加速整流使之增加，負載逐漸增大，則整流漸被遲延，整流額外電流之磁化作用隨之而生，發電機之磁場隨負載變弱，而電動機之磁場隨之變強。

試觀磁線分配圖（圖三），可知電刷向前移動時，短路電流具磁化性質，使電壓增高，電刷向後移動時，電壓除因導體內感應電勢方向不同應稍降低外，此時短路電流且有去磁性質，使電壓更為減低，可知短路電流對於磁場之反應，不可忽視焉。所謂發電機之空載電勢，在一定磁場時與迴轉數成比例者，僅以電刷在中性線時為當。若電刷不在中性線時，電壓受短路電流影響，不復與迴轉數成比例。速度增高，短路電流亦隨之而增，如短路電流有磁化性質，則電壓較迴轉數增加為速；反之，如短路電流有去磁作用，則電壓較迴轉數增加為緩也。

參考者：Arnold-la Cour—Die Gleichstrommaschine.

R. Richter—Elektrische Maschinen.

# 錄弧整流器電流及電壓之波形

孫 朝 洲

摘要：—本篇首述錄弧整流器 (Mercury Arc Rectifier) 之構造，然後討論該器直流與交流兩方之電流及電壓之波形，各種連接及各種荷載時之諧波 (Harmonics)，理論與實測結果之比較，改正波形之方法，最後附以本校錄弧整流器之圖樣，及其電流與電壓之波形。

## (I) 整流之方法

近世發電廠所發之電，什九皆為交流，其原因：一以高壓輸電之經濟；二以變壓器升降電壓之便利；三以感應電動機之價廉與耐用。然直流亦非絕無利用之處，例如蓄電池之充電，電解及電鍍，電話交換之電源，電車用之直流串激電動機以及升降機、壓印機等，均非直流不可。若電源為交流，應用為直流，則整流尚焉。整流之方法雖多，要不外下列數種：

1. 機械整流器
2. 鎢絲整流器 (Tungar)
3. 電液整流器 (Electrolytic Rectifier)
4. 錄弧整流器
5. 電動發電機
6. 同步變流機 (Rotary Converter)

上述機械整流器，可分整流式 (Commutating type)，及振動式 (Vibrating type) 兩種。然為用均不甚廣。鎢絲及電液整流器，雖甚簡便，然限於低電壓小

量之用。至大量變流，都用電動發電機或同步變流機，然前者因有兩機，值昂而占地大，且其效率較低，不及後者多多。惟汞弧整流器，足與同步變流機相抗衡，年來研究改善，時有進步，誠一不可限量之利器也。

### (II) 汞弧整流器之構造

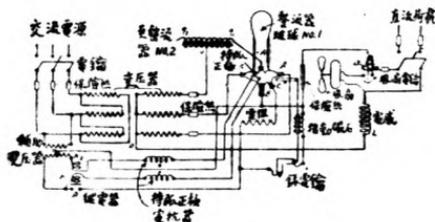


圖 1 3 相玻璃汞弧整流器及附件

圖 1 示—3 相整流器玻管內有三正極 A，連於三相變壓器之次級圈，B 為負極，C 為始動正極，直流荷載加於負極及變壓器中點 O 之間，或抗 L 用以減少電流之變化，至持弧正極 (holding anode) 乃維持無 (或輕) 荷載時電弧之用，連接於輔助變壓器，該器之中點又接於負極，電抗器 xx，則用以限制及穩定電流者也。

當荷載大時，風扇電鎗自動關閉，可以冷却正極，當荷載小時，則自行打開，且風扇同時亦吹扇直流電路內之保險絲，以增加其負載電流之量，倘風扇停止，則保險絲於較小電流之下，即可熔斷，故可保護玻管不致過熱。

當交流電鎗一閉，即可自働搖動玻管而發生電弧，蓋持弧正極未作用以前，繼電器 P 之兩線圈  $h_1$  及  $h_2$  中並無電流，故其接點閉合，因此搖動磁石作用玻管已被撼動矣，但同時錄電鎗一動，電路反被切斷，而玻管復回原位，如此時電弧業已發生，則  $h_1$  及  $h_2$  中之電流使 P 之接點離開，不再遙動玻管，否則磁石又被作用，復行撼搖玻管，直至持弧正極發生電弧而後已。

若供率在數百預以上，則不用玻管而以鋼製之缸代之，且用流水進行

冷却正極亦爲鋼製或鼓空氣，或用流水以冷却之，常以真空唧筒與缸相連，蓋氣壓過高，則正極過熱，損失增大，且有反弧之弊也，唧筒可藉靈敏之真空氣壓表以自備始動或停止，至負極則需絕緣良好，以免危險。

圖 2 所示爲高壓鋼缸整流器發生電弧之裝置，C 爲鋅負極，b 爲鋼桿上之輔佐正極，桿爲彈簧 f 所支，穿于電線圈 a 之內，d 爲電鎗及保險絲， $R_1$  及  $R_2$  皆爲限制電流之電阻，平常 b 與鋅之表面相離，當 d 閉合時，線圈吸 b 向下，與負極相接，待 b 提起時，電弧即可發生，若此正極 AA 上已加電勢，則全器已可運用矣，如不用直流始動，可用交流發生電弧，惟裝置略有不同而已。

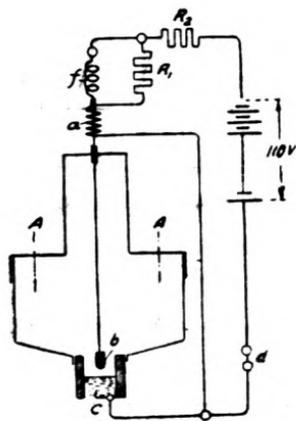


圖 2 鋼缸 6 相整流器

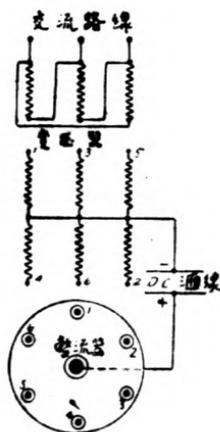


圖 3 簡單 6 相整流器

欲使缸之供率增加及使電流近于恆流，則須增加相數至六相（圖 3），或竟至 12 相，12 相以上，現今尚無應用者。

(四) 無荷載時直流電壓之理想波形

無荷載時，直流方面任何時刻之電壓，爲負極及該時最高正電勢之正

極間之電勢，故如圖 4 所示，直流電壓波，係連合各正弦波之頂部而成。每波自最大值向兩方各割  $\frac{\pi}{p}$ ，此處  $p$  為相數，其波經分解<sup>1</sup>後可得傅立葉級數如下。

$$e = E + b_1 \cos p\theta + b_2 \cos 2p\theta + \dots + b_m \cos mp\theta + \dots \quad (1)$$

$E$  為直流電壓，可以下式表之。

$$E = \frac{E_0 p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p}$$

$E_0$  為變壓器次級線圈與中點間電壓之最大值，第  $m$  餘弦項之係數為

$$b_m = -\frac{2E}{m^2 p^2 - 1} \cos m\pi \dots \quad (2)$$

#### (IV) 荷載對於直流電壓波

##### 形之影響

因變壓器線圈等之感抗，荷載電流不能自一正極立即遷移至他一正極，故一周波之某部份，有兩個或更多正極之電流相互重疊 (over lap) 當重疊時，其關係

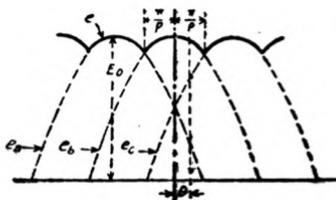


圖 4 整流器無荷時之直流電壓波形

各正極之電勢相等，即為相應各相電壓之平均值。圖 5 示兩正極重疊時之電壓波形， $u$  為重疊角度之記號，此波分解後得，

$$e = E_L + a_1 \sin p\theta + a_2 \sin 2p\theta + \dots + a_m \sin mp\theta + \dots + b_1 \cos p\theta + b_2 \cos 2p\theta + \dots + b_m \cos mp\theta + \dots \quad (3)$$

式中  $E_L$  為有荷載時之直流電壓，可以下式表之<sup>2</sup>

$$E_L = E \cos^2 \frac{u}{2} \dots \quad (4)$$

$E$  為無荷時之直流電壓。(4)式僅及重疊之影響，然于電弧之降壓或變壓器線圈之 IR 降壓，則未曾加以酌量也。第  $m$  正弦項及餘弦項之係數各為<sup>3</sup>

$$a_m = \frac{E}{2} \cos m\pi \left[ \frac{\sin (mp+1)u}{mp+1} - \frac{\sin (mp-1)u}{mp-1} \right] \dots \quad (5)$$

$$b_m = \frac{E}{2} \cos m\pi \left[ \frac{\cos (mp+1)u}{mp+1} - \frac{\cos (mp-1)u}{mp-1} - \frac{2}{m^2 p^2 - 1} \right] \dots \quad (6)$$

mp 次諧波之有效值為  $\sqrt{a_m^2 + b_m^2}$ 。若欲化諧波相應于直流荷載電壓當以  $E_L/E$  乘之。

在 6 相整流器無荷電壓割切之時間係交流原波之 1/6，故直流方面所現之諧波為相應于電源頻率之 6 次，12 次，18 次，24 次等諧波。圖 6 示此等諧波之值(化成直流荷載之百分數)對於重疊角度之關係，圖中僅示數值，然相位亦因重疊角度而變化也。

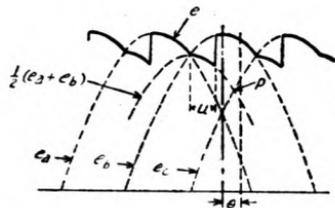


圖 5 整流器荷載時之直流電壓波形  
u = 重疊角度

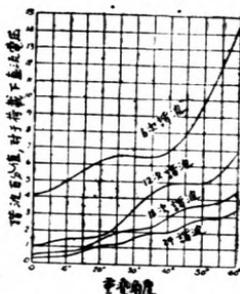


圖 6 整流器直流電壓之諧波繪成重疊角度之函數

在 12 相整流器無荷電壓割切之時間，係交流原波之 1/12，故所現者為電源頻率之 12 次，24 次等諧波。在無荷及荷載時之此等諧波之百分數與 6 相整流器者完全無異。理論上 6 次，18 次等 (6 之奇數倍) 諧波在 12 相時為零，然實際上仍有存在，由于交流電源中有諧波存在，及兩組 6 相荷載分配不均等原因。

(V) 重疊角度之計算

如已知重疊之角度，則直流方面諧波之百分數無論在任何荷載情形，均可自圖 6 查得。至重疊角度可自變壓器及電源電路之常數算得<sup>2</sup>，若將電阻略去不計，則

$$u = \cos^{-1} \left[ 1 - \frac{IX}{E_0 \sin \frac{\pi}{p}} \right] \dots \dots \dots (7)$$

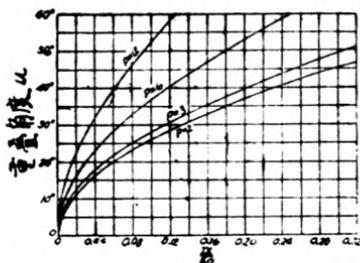


圖 7 重疊角度繪成荷載之函數

圖 7 示各式整流器之  $u$  與  $\frac{IX}{E_0}$  之關係。整流感抗  $X$  包含變壓器線圈及電源線路之感抗。變壓器之整流感抗可以測得，或自其設計常數算得。至電源線路之等量感抗，則視變壓器之接法而異，下所示者為 6 相及 12 相整流器各種連接時之計算法

(a) 次級圈雙 Y 或四 Y，初級圈  $\Delta$  或 Y，

$$X'' = X_s \left( \frac{E''}{E'} \right)^2 \dots\dots\dots (8)$$

(b) 次級圈 6 相星形或雙 6 相，初級圈  $\Delta$ ，

$$X'' = \frac{X_s}{3} \left( \frac{E''}{E'} \right)^2 \dots\dots\dots (9)$$

$X_s$  = 電源之線與中點間之感抗，基本頻率，對於變壓器初級圈

$X''$  = 電源之等量感抗，在整流電流之頻率時

$E'$  = 初級圈之相壓

$E''$  = 次級圈之相壓

當整流時線路之感抗為

$$X = X' + X'' \dots\dots\dots (10)$$

此處  $X'$  為變壓器在所用之接法時之整流感抗。

#### (VI) 間相 (interphase) 變壓器對於直流電壓波形之影響

所謂雙 Y 6 相連接法係用一個變壓器連接兩組 3 相使其各負荷載

式中  $u$  = 重疊角度

$p$  = 每阻次級圈相數

$I$  = 次級圈每組中之荷載電流

$X$  = 整流電路中正極至中點間之感抗

$E_0$  = 變壓器次級圈側線與中點間電壓之最大值

電流之半，每相電壓遞差 60 度，直流側之電壓，為載電流各相電壓之平均值。無荷載時之直流電壓<sup>5</sup>，可自與圖 4 相似之兩波之平均值繪得，兩波相差 60 度，自每波之最大值，向兩方各取 60 度而已。所得之波形與尋常 6 相之無荷電壓波無異，故有同頻之諧波，且對於直流電壓之百分數亦完全相同。

在荷載情形下，同組之正極間有重疊，直流電壓波可自與圖 5 相似相差 60 度之兩波之平均值繪得，在任何重疊角度，對於直流電壓之諧波百分數與尋常 6 相無異，此時計算重疊角度，須用相隔 120 度之兩線圈間之整流感抗。在 6 相星形整流器，常用相差 60 度之線圈間之整流感抗，因整流作用在連續正極間也。其他 6 相之連接，如 6 相叉形 (6 phase forked) 等，如無兩個以上正極之電流重疊，在任何重疊角度時，其諧波之百分數相同。總之計算重疊角度時，對於各種連接法，其所用之整流感抗應均不相同。

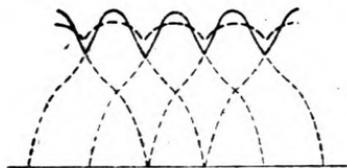


圖 8 整流器之直流電壓波形當交流

電壓中含有 5 次諧波

在 12 相整流器變壓器及間相變壓器亦有各種接法，例如一種接法，為有兩組相差 30 度之 6 相及一可使荷載電流分為兩部之間相變壓器，經分解之結果，如無兩個以上之電流重疊，則電壓中有 12 次、24 次等諧波存在，且其百分數與 6 相整流器無異，計算重疊角度時必需先知其整流感抗之值。

在公式 (5) 及 (6) 及圖 6 中之曲線，均假定同時每組中無兩個以上之正極載有電流，當用一間相變壓器時，組數為二或二以上，在 6 相星形連接，或 12 相連成雙 6 相，則每組之相數為六，當重疊角度約為 41 度時，(在圖 5 中) 每組中有一第三正極開始載有電流，故曲線中在該點以上之部份，已不可用。在 6 相雙 Y 連接或 12 相 4Y 連結，每組之相數為三，當重疊角度小於 90 度時，每組中並無兩個以上之正極帶有電流，故曲線全部可用，因其僅靠

至60度而已。在12相星形連接，曲線僅可用至20度而止。電壓之分解雖可加以改變，使二以上之正極帶有電流亦可無礙，然實際殊可不必，因尚有許多重要因素如交流側電壓中較高諧波等，均未注意及之也。

(VI) 因交流電壓之諧波或相壓不平衡所生直流電壓波形之改變

如6相整流器，交流源中有諧波存在，其影響可自與圖4相似之圖觀之。圖8粗虛線示正弦電源時之無荷直流電壓，實線示電源中有5次諧波時之情形。試用傅立葉級數分解直流電壓，可知交流中有5次諧波，則直流中得一甚大之6次諧波，及小量之12次，18次等諧波。同樣，交流中7次諧波可得直流中6次諧波，交流11次可得直流12次，交流13次則直流17次，或交流19次則直流18次等。在各種情形時，直流諧波對於直流電壓之百分數，與其交流諧波之百分數相等。此等諧波對於整流器正則運用時所生之諧波，或加或減，全視其相位而定。

在12相整流器，可知交流方面之11次或13次諧波，可使直流發生12次諧波，交流23次或25次諧波，可生直流24次諧波等。

12相整流器電源中5次或7次諧波發生直流6次諧波之作用，頗足研究，當申述之。理論上造成12相之一法，為並行運用兩只6相整流器，其初級線圈一只接成Y，一只接成 $\Delta$ ，設Y之相壓為

$$e_{AN} = E_1 \cos \theta + E_5 \cos 5\theta \dots \dots \dots (11)$$

$\Delta$ 之電壓為

$$\begin{aligned} e_{AB} &= E_1 [\cos \theta - \cos (\theta + 120)] + E_5 [\cos 5\theta - \cos 5(\theta + 120)] \\ &= \sqrt{3} \{ E_1 \cos (\theta - 30) - E_5 \cos 5(\theta - 30) \} \dots \dots \dots (12) \end{aligned}$$

式中 $\sqrt{3}$ 為Y與 $\Delta$ 之不同變壓比， $e_{AB}$ 5次諧波之負號，為對於基本波而言，與 $e_{AN}$ 之5次諧波適反，故直流電壓波在基本波最初1/12周波時，與第二1/12周波時不同，而有6次諧波存在。設單獨分解一電源中之5次諧波，其最大值之百分數，與所生之6次諧波之百分數相等。同理7次諧波亦可在直流中生-6次諧波。

整流器直流電壓發生諧波之另一原因，為交流電源之不平衡，或因三相電壓相離並非 120 度，或因三相電壓並不相等，實際上此等影響甚微，可以忽略。當電源中一相較他相大 1%，或兩相間角度較 120 度差 1 度，整流器直流側之 6 次，12 次，18 次及 24 次諧波，不致較三相全等時差 10%。

(四) 直流側諧波電壓之值，實測與計算之比較

表 I 示自 -6 相整流器所取之讀數有一直流電抗器與荷載串接，測量係在荷載方面行之。從諧波電壓及電流之測量，對於諧波頻率之荷載阻抗  $Z_{Lm}$  可以算出，至直流電抗器及變壓器之阻抗  $Z_{Rm}$ ，可自其設計常數求出。然則整流器諧波之內電壓，可以下式算出矣。

$$e_{rm} = e_{Lm} \frac{Z_{Lm} + Z_{Rm}}{Z_{Lm}} \dots \dots \dots (13)$$

表 I 6 相，600 預整流器之試驗記錄及計算結果

諧波	荷載 240 預					荷載 720 預				
	理論上無荷電壓%	實測直流側電壓%	實測直流側電流%	直流側內電壓自實測電壓計算%	理論上無荷電壓%	實測直流側電壓%	實測直流側電流%	直流側內電壓自實測電壓計算%	理論上無荷電壓%	
6	4.04	1.35	1.01	4.34	5.50	1.36	0.68	3.68	6.5	
12	0.99	0.46	0.17	1.48	1.55	0.97	0.26	2.59	2.2	
18	0.44	0.30	0.08	0.96	0.85	0.71	0.13	1.89	1.8	
24	0.25	0.29	0.06	0.88	0.70	0.46	0.07	1.23	1.2	

式中  $e_{rm}$  = 整流器之內諧波電壓

$e_{Lm}$  = 荷載方面實測之諧波電壓

欲算重疊之角度須先知變壓器之整流阻抗，又從交流側之測量，可以求得交流電源方面之阻抗，故依前述之法，連合此等阻抗，則重疊之角度可自公式 (7) 算出，在 240 預為 14 度，在 720 預為 24 度，理論上荷載情形下諧波之百分數檢閱圖 6 即得。若與自公式 (13) 算得之值比較除 6 次諧波外，均甚接近。又測量交流側時有 1.9% 之 5 次諧波及 1% 之 7 次諧波存在。如

此等諧波與整流器正則運用時發生者相位相反，則直流側之結果當為  $6.5 - (1.9 + 1.0) = 3.6$ ，則計算與實測之結果相近矣。

表Ⅱ示—12相整流器不同荷載時之同樣實驗。試觀12次及24次諧波之計算值與實驗者已相當接近。其差異原因，乃交流電源內有諧波存在，及整流器對交流電源諧波之反作用，後當討論之。此種諧波使直流中諧波之相位，與整流器正則運用時所生者不同，因而減少其數值。6次及18次諧波電壓之理論值，表中闕如，但可自整流器使用作6相時之值化得也。6次諧波對於6相之比為3:1，18次諧波為5:1，據多數實驗得知6次及18次諧波均為4:1。直流側諧波電壓之錯誤，其最大原因為整流器交流側諧波之影響。蓋困難者不僅須知諧波之相對數值，且須知相位關係也。

表Ⅱ 12相，3000 瓦整流器之試驗記錄及計算結果

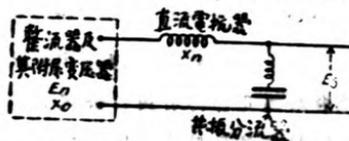
諧波	輕 荷 載			全 荷 載			
	理論上無荷值%	實測直流荷載電壓%	內電壓自實測電壓計算%	實測直流荷載電壓%	實測直流側電流%	直流側內電壓自實測電壓計算%	理論上直流電壓%
6		0.37	1.04	0.79	0.77	2.25	
12	0.99	0.25	0.69	0.56	0.38	1.62	1.7
18		0.038	0.108	0.047	0.02	0.13	
24	0.25	0.065	0.18	0.285	0.09	0.79	1.1

#### (IX) 減少直流側諧波電壓之方法

欲減少直流側諧波電壓之數值，可用適當之儀器。通常連一串結電抗器，稱為直流電抗器者于直流電路內，于線間接一共振分流器，如圖9所示。共振分流器係一電感與一電容串接而成，調至欲減諧波之頻率。凡欲減小之每一諧波，各須一分流器如共振分流器調至 $n$ 次諧波之頻率，則其在該頻率下之阻抗純為電阻，其值與該時之電感或電容相較，僅甚微小耳。

圖9 整流器附用直流電抗器及

共振分流器



如圖 9 所示共振分流器之電阻與荷載之阻抗相較甚小，故略去荷載  
 阻抗，可得 
$$E_s = E_n r_n / \sqrt{(X_o + X_n)^2 + r_n^2} \dots\dots\dots (14)$$

此處  $E_s$  = 共振分流器兩端之  $n$  次諧波

$E_n$  =  $n$  次內電壓諧波

$x_o$  =  $n$  次諧波時整流器之內感抗

$x_n$  =  $n$  次諧波時串結電抗器之感抗

$r_n$  =  $n$  次諧波時共振分流器之電阻

如  $r_n$  較  $x_o + x_n$  甚小，則  $E_n/E_s$ ，稱為減小因數，約為

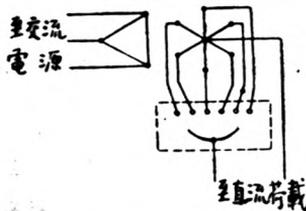
$$a = \frac{E_n}{E_s} = (X_o + X_n) / r_n \dots\dots\dots (15)$$

使  $r_n$  與  $X_n$  成適當比例，則諧波之任何減少，均可易得，濾波器之大小，  
 視減少之程度而異，減少愈大，濾波器愈大。

實際上此種裝置之損失，全部為直流電抗器之損失，分流器中可以略  
 忽，且  $X_o$  甚小，上式即以  $X_n$  代  $X_o + X_n$ ，亦無多大差誤也。

(X) 理論上交流側輕荷載時電流之波形

圖 10 所示為 -6 正極整流器，其變壓器初級圈接成  $\Delta$ ，次級圈接成 6 相  
 星形。假定直流側荷載為甚大之電阻，其電流較正則荷載電流甚小，故變壓  
 器之激磁電流可以略去，整流器僅許電  
 流沿正方向流動而最高正電勢之正極  
 帶有電流，當此正極導電時整流器及其  
 荷載，可設相為一僅含電阻之簡單交流  
 電路，再設加于整流器之電壓為正弦波，  
 每正極導電時間，為所加電源一周波之



1/6。當一極導電終了時，次極之電勢已較 圖 01 6 相星形整流器

高，(見圖4)代之而帶電流，於是電流沿另一正弦波，與第一波相離 $60^\circ$ 度，故電源電路中每線之電流波形，可蹤跡全周波之電流而繪得，其形狀如圖11所示，然此非正弦狀之電流，即使其電源電壓為一純粹之正弦波。

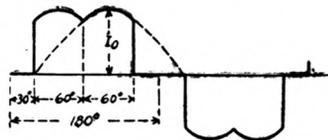


圖 11 6 相星形整流器之無荷時之電流波形 (圓頂波)

圖11電流波之頂部雖略圓，因其沿兩個相差 $60^\circ$ 度之正弦波，每波最大値向兩方割切 $30^\circ$ 度而成，然大體幾成一矩形，今設圖12之矩形電流波與圖11相近似，因其平均高相等，前者稱為平頂波，後者稱為圓頂波，以資區別。



圖 12 6 相星形整流器之無荷時之電流波形 (平頂波)

圖11及圖12之波已經分解，圖12之平頂波可視為6相星形(初級連成 $\Delta$ )無荷電流波，其傅立葉級數為

$$i = \frac{2\sqrt{3}I}{\pi} \left[ \sin\theta - \frac{1}{5} \sin 5\theta - \frac{1}{7} \sin 7\theta + \frac{1}{11} \sin 11\theta + \frac{1}{13} \sin 13\theta \dots \right] \quad (16)$$

圖13示另一種6相連接時理論上無荷電流波，蓋為初級連成雙Y6相，用調相變壓器連成兩個Y，使平分荷載電流，此波之傅立葉級數為

$$i = \frac{3I}{\pi} \left[ \sin\theta + \frac{1}{5} \sin 5\theta + \frac{1}{7} \sin 7\theta + \frac{1}{11} \sin 11\theta + \frac{1}{13} \sin 13\theta + \dots \right] \quad (17)$$

兩種6相變流器中所有之諧波，均為5次，7次，11次，13次，17次等，一般為 $6m \pm 1$  ( $m=1, 2, 3, \dots$ ) 無論何種連接，某諧波之數值與其次數成反比。試觀(16)及(17)兩式中之符號，可知諧波之相位，因連接不同而異。

圖 11 圓頂波分解之結果為

$$i = \frac{3.308}{\pi} \left[ \sin \theta - 0.226 \sin 5\theta - 0.113 \sin 7\theta + 0.091 \sin 11\theta + 0.065 \sin 13\theta \right. \\ \left. - 0.0567 \sin 17\theta - 0.0454 \sin 19\theta + 0.0112 \sin 23\theta + 0.0349 \sin 25 \theta - \dots \right] \quad (18)$$

如將方括內 5 次, 7 次, 17 次 19 次諧波之係數符號調換而適當改正相乘因數, 則得圖 13 之級數, 因圖 11 分解較難, 且大多數整流器之運用, 致波形平頂, 故上之討論均依 (16) 及 (17) 為根據。

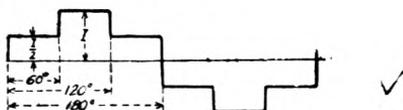


圖 13 6 相變 Y 整流器無荷時電流波形 (平頂波)

圖 14 及 15 示兩種 12 相連接時之無荷電流波, 圖 14 之傅立葉級數為

$$i = \frac{2\sqrt{3}I}{\pi \cos \frac{\pi}{12}} \left[ \sin \theta - \frac{1}{11} \sin 11\theta - \frac{1}{13} \sin 13\theta + \frac{1}{23} \sin 23\theta + \frac{1}{25} \sin 25\theta \dots \right] \quad (19)$$

圖 15 之傅立葉級數為

$$i = \frac{4\sqrt{3}I}{\pi} \left[ \sin \theta + \frac{1}{11} \sin 11\theta + \frac{1}{13} \sin 13\theta + \frac{1}{23} \sin 23\theta + \frac{1}{25} \sin 25\theta \dots \right] \quad (20)$$

所有諧波為 11 次, 13 次, 23 次, 25 次等, 一般為  $12m \pm 1$  ( $m=1, 2, 3, \dots$ ) 諧波之數值與其次數成反比, 如波為圓頂, 則其級數當自公式 (18) 取適當之係數, 無論何種連接諧波之數值相同, 惟相位有異而已, 理論上  $6m+1$  次 ( $m=1, 3, 5, \dots$ ) 諧波在 12 相整流器為零, 然實際仍有少量存在, 後當論之。

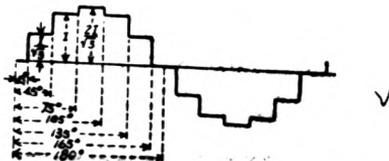


圖 14 12 相星形整流器無荷時電流波形, 變壓器初級圈接成  $\Delta$

## (XI) 理論上有荷載時交流電流之波形

當整流器負有荷載時，電路中感抗不能略去，因感抗關係，電流不能自一正極立即換至他一正極，而有重疊現象，故電流波當相位有勁時逐漸增上，當相位無勁時逐漸降下。倘各種因數，如直交流雙方之電阻及感抗，變壓器之激磁電流，加于整流器之電壓波形等，均注意及之，則計算工作至為繁複，事實上有許多因數，如電源電壓之波形，不能任意節制，故冗長之計算亦無甚裨益也。

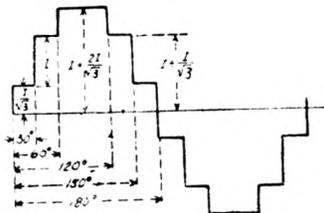


圖15 12相雙6相整流器之無荷時電流波形變壓器初級圈接成△

30度重疊之角度，以  $u$  表之，依據尋求重疊角度公式(7)時之分解， $i$  自零至  $u$  間之電流，可以下表之

$$i = \frac{E_0 \sin \frac{\pi}{p}}{X} (1 - \cos \theta)$$

此處  $\theta$  為電氣角度，其他記號均與(7)式同

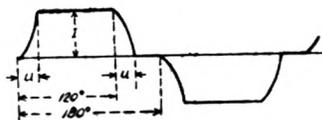


圖16 6相星形整流器荷載時之電流波形(平頂波)

$u$  = 重疊之角度

若將理論上無荷電流波略加改正，僅注意重疊之影響，而將其他略去，亦無大誤。如此則所得之波極易分解，由後面實驗，可知由分解而得之諧波之值，與實驗所得者相近。

圖12因重疊作用改成圖16之形零點者，可視為該相最初帶有電流之點，圖16中者較圖12右

當荷載電流自一相移調至次一相時，有一相反之電流故須自荷載電流減去，直至該相之電流為零而止。如假定應用上式，則圖 13 之正的半個周波，可以下式表之， $I$  為荷載電流， $u$  為自 (7) 式算出之重疊角度。

$$i = \frac{I}{1 - \cos u} (1 - \cos \theta) \quad 0 < \theta < u$$

$$i = I \quad u < \theta < \frac{2\pi}{3}$$

$$i = \frac{I}{1 - \cos u} \left[ \cos \left( \theta - \frac{2\pi}{3} \right) - \cos u \right] \quad \left( \frac{2\pi}{3} \right) < \theta < \left( \frac{2\pi}{3} \right) + u$$

$$i = 0 \quad \left( \frac{2\pi}{3} \right) + u < \theta < \pi$$

此式之電流可以傅立葉級表之

$$i = a_1 \sin \theta + a_5 \sin 5\theta + a_7 \sin 7\theta + a_{11} \sin 11\theta + a_{13} \sin 13\theta \dots \dots \dots \\ + b_1 \cos \theta + b_5 \cos 5\theta + b_7 \cos 7\theta + b_{11} \cos 11\theta + b_{13} \cos 13\theta + \dots \dots \dots \quad (21)$$

因波形對稱，無偶數諧波係數  $a_m$  及  $b_m$  如下

$$a_m = \frac{4I}{\pi} \left[ \frac{Q \sin \left( \frac{m\pi}{3} \right) - P \cos \left( \frac{m\pi}{3} \right)}{m(m^2 - 1)(1 - \cos u)} \right] \sin \left( \frac{m\pi}{3} \right)$$

$$b_m = \frac{4I}{\pi} \left[ \frac{P \sin \left( \frac{m\pi}{3} \right) + Q \cos \left( \frac{m\pi}{3} \right)}{m(m^2 - 1)(1 - \cos u)} \right] \sin \left( \frac{m\pi}{3} \right)$$

式中  $P = m \sin u \cos m u - \cos u \sin m u$

$$Q = m \sin u \sin m u + \cos u \cos m u - 1$$

$m$  次諧波之值為

$$\sqrt{a_m^2 + b_m^2} = \frac{4I}{\pi} \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{m(m^2 - 1)(1 - \cos u)} \sin \left( \frac{m\pi}{3} \right) \quad (22)$$

$a_m$  及  $b_m$  之公式不適於基本波之用，因  $m=1$  時，方括內分子分母均為零也。

基本波之係數為

$$a_1 = \frac{\sqrt{3} I}{2\pi} \left[ \frac{\sqrt{3} \sin^2 u + (u - \sin u \cos u)}{1 - \cos u} \right]$$

$$b_1 = \frac{\sqrt{3}I}{2\pi} \left[ \frac{\sin^2 u - \sqrt{3}(u - \sin u \cos u)}{1 - \cos u} \right]$$

$$\sqrt{a_1^2 + b_1^2} = \frac{\sqrt{3}I}{\pi(1 - \cos u)} \sqrt{(u - \sin u \cos u)^2 + \sin^4 u} \quad (23)$$

在輕荷載時， $a_m$  及  $b_m$  之方括內之分子分母均近零，如注意圖 11 及圖 16 零點之不同，不定式可以消去，則其係數與 (16) 式中者無異。

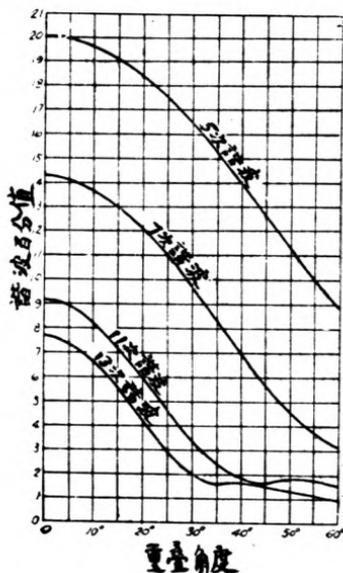


圖 17 6 相整流器交流測線路  
電路內之諧波得自理論  
電流波之分解

自 (22) 及 (23) 式算得之諧波百分數，示如圖 17 及圖 18。無論何種 6 相連接法，如次級圈每相電流之波形均加以同樣假定，則由分解得知諧波之百分值皆相等。

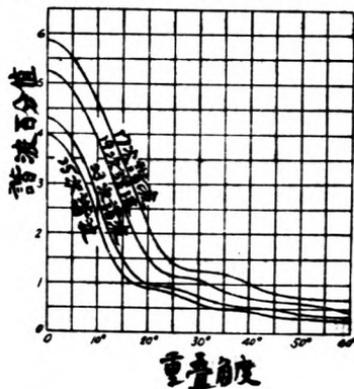


圖 18 6 相整流器交流測線路  
電路內之諧波得自理論  
電流波之分解

12 相整流器交流側之電流，可以同樣方法分解，圖 19 示 12 相連接荷載電流之波形，無荷時當如圖 15 所示，由分解可知在任何重疊角度時，11 次，13 次，23 次，25 次等諧波之百分值，均與 6 相者相同至 5 次，7 次，17 次，19 次等諧

波,如各對次級線圈之重疊角度相等,則理論上應為零,其餘各種12相接法亦然。

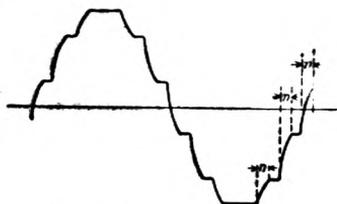


圖 19 12相整流器荷載時之電流波形,相當于圖15之無荷波形

如已知變壓器及電源之阻抗,此分解之結果,對於估計任何荷載下電流諧波之數值,極為為便利,蓋重疊角度可自(7)式算出,而諧波百分數,可自圖17及圖18讀出矣。(見上面實驗之討論)

(五)交流電壓及電流中諧波之試驗記錄

表IV示-6相500瓦整流器在全荷載下交流方面試驗之結果,算得重疊後,在圖17及18查得之電流百分數亦列表內,查得之5次及7次諧波與實測結果相差甚遠,至較高諧波尚相接近。

同樣,-12相整流器試驗及計算之結果,示于表IV,在全荷載時,11次,13次,23次及25次諧波之試驗值與計算值較近,在半荷載時,已漸相差,如前所述,5次,7次,17次及19次諧波,理論上皆為零,然實際上均有存在,全荷載時之數值約為表III 6相整流器相當諧波之 $\frac{1}{4}$

表 III — 6相, 500瓦整流器全荷載時之試驗及計算之記錄

諧波	理論上無荷電流 %	荷載時交流電壓 %	荷載時交流電流 %	荷載時理論上之電流 %
5	20.0	0.73	6.5	15.2
7	14.3	0.37	5.2	8.3
11	9.1	0.59	2.8	2.5
13	7.7	0.36	1.85	1.6
17	5.9	0.37	0.82	1.2
19	5.26	0.26	0.65	0.85
23	4.34	0.16	0.30	0.6
24	4.00	0.13	0.43	0.5

吾人須注意者，電流波中畢波之百分值，雖因荷載增加而減小，然實際上安數因荷載而增加，因算百分數時用作基礎之基本波增加故也。

數種整流器交流側電流中11次，13次，23次及25次諧波之試驗值，與分解理論電流波所得計算值之比較，分示於圖20至23。繪畫諧波之百分數之橫軸，可任意取一標度，設其餘各項不變，或與荷載電流成比例，或與變壓器及電源之總阻抗成比例，此係根據(7)式所示，蓋對於重疊角度而言，變更阻抗與變更荷載之影響相同也。取重疊角度20度為參考點，點前分為100格，殊為便利。上邊不勻標度示重疊角度，如某荷載時重疊之角度為已知，則下邊標度上相當於該荷載之點，可參酌上邊標度而求得。今下邊標度既與荷載成比例，故相當於其他荷載之點，不必計算重疊角度，即可求得矣。計算所得之曲線，變為實驗所得電流中諧波之最高值，因許多實驗所得之點均在計算所得曲線之下，故估計諧波時，此等曲線可視為最高極限。

表 IV — 12相 1000 瓦整流器之試驗及計算之記錄

諧 波	理論上 無荷電 流%	50% 荷 載			100% 荷 載		
		交流電壓 %	交流電流 %	理論上 電流%	交流電壓 %	交流電流 %	理論電 流%
5		02.5	3.14		0.41	1.34	
7		0.37	1.66		0.35	0.56	
11	9.1	0.11	2.34	3.5	0.12	2.84	2.6
13	7.7	0.08	1.31	2.1	0.14	1.43	1.6
17		0.24	0.136		0.23	0.23	
19		0.10	0.106		0.05	0.17	
23	4.34	0.03	0.45	0.76	0.02	0.40	0.6
25	4.0	0.02	0.36	0.6	0.02	0.30	0.5

(XIV) 6相及12相整流器電流波形之比較

在12相整流器內,5次,7次,17次,19次等諧波,理應為零,然實際上仍有少量存在,參考表IV自明,發生此等諧波之原因甚多,例如交流電源中有相當諧波之存在,變壓器及間相變壓器之激磁電流間之相差,或任何情形可使兩組6相之荷載不等者,表V示數種12相整流器實驗所得之交流電源中諧波之平均百分數,表中並列6相整流器之平均值,以資比較。

表V——6相及12相整流器交流側電流波形之比較

諧波	6相		12相	
	無荷理論值%	荷載時實驗平均值%	無荷理論值%	荷載時實驗平均值%
1	100.0	100.0	100.0	100.0
5	20.0	10.0	0.0	2.4
7	14.3	6.0	0.0	1.2
11	9.1	3.7	9.1	3.5
13	7.7	2.6	7.7	2.6
17	5.9	1.4	0.00	0.5
19	5.26	1.0	0.00	0.4
23	4.34	0.7	4.34	0.6
25	4.00	0.6	4.00	0.5

吾人應注意者,11次,13次,23次及25次諧波之百分數,實際上6相與12相時相等,至5次,7次,17次及19次諧波之百分數,12相時為6相時之 $\frac{1}{4}$ 。

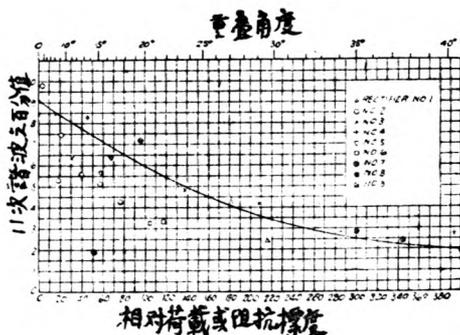


圖 20 整流器交流側線路電流中之 11 次諧波  
(XI) 整流器對於交流電源電壓波形之影響

前論加于整流器交流電源之電流，含有較高諧波，此等諧波電流，在供電路之阻抗中流通，發生諧波電壓，以擾亂整流器供電線路之電壓。若電源之容量甚大，連接電路之阻抗甚小，則交流電壓之擾亂甚小。若阻抗甚高，即使供電發電機之無荷電壓為甚良正弦波，而交流供電線路中之電壓亦必擾亂也。如已知自曲線求得之諧波電流及線路中之阻抗，則 6 相或 12 相任一情形下之諧波電壓可以估計而得也。用圖 20 至 23 時，必須用該諧波頻率之阻抗。

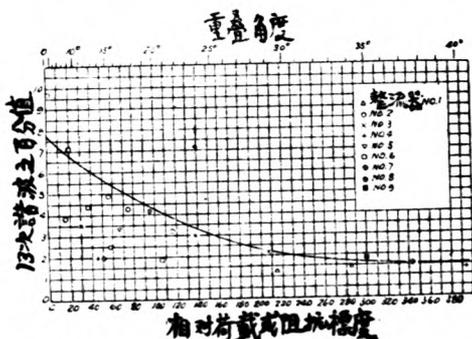


圖 21 整流器交流側線路電流中之 13 次諧波

表Ⅲ及表Ⅳ示整流器運用于低阻抗之一例。整流器運用于正則荷載時交流側諧波電壓之數值，可與電源中原有者相比較，因知整流器之擾亂為量甚微。

表Ⅴ示一高阻抗發電機運行一12相整流器之例。該試驗中，整流器負有正則荷載，其交流側諧波電壓（除5次外）與發電機之無荷電壓諧波較，為量甚大。又11次，13次，23次及25次諧波較其餘為大，亦為12相時所預期。

表Ⅵ——自2000瓩發電機供給12相，1000瓩整流器之實驗記錄

諧波	交流電壓%整流器未運用	交流電壓%整流器全荷載	交流電流%整流器全荷載
5	2.48	1.52	0.72
7	0.79	2.05	0.27
11	0.18	10.75	1.07
13	0.10	7.02	1.89
17	0.07	0.99	0.03
19	0.06	0.54	0.04
23	0.02	3.19	0.10
25	0.02	2.39	0.05

#### (XVI) 改變交流側電流及電壓波形之方法

自交流電源供給6相或12相整流器電流之波形，可在交流側加適當裝置以改變之。一法為用一局部電路，其中整流器正則運用時所需之較高次諧波可以通過，故電抗可加入供電線路中以阻止較高次諧波電流之流入供電電源。然所用電抗，不得超過整流器正則運用時所許可者。此器平常稱為濾波器。

至分流器可與前述直流側改變波形之共振分流器相當，尚有他式分流器可以應用，視欲減諧波之頻率及減少之程度而定。在任何種裝置下，諧波電流減少之計算，可依討論直流時之方法行之，惟計算更形繁複而已。

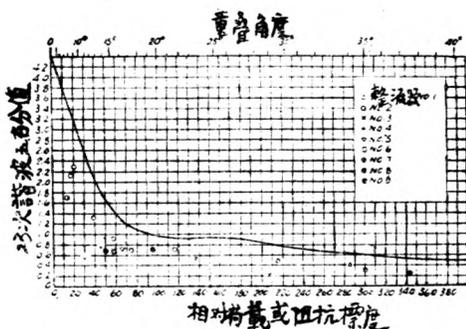


圖 22 整流器交流側線路電流中之 23 次諧波

設整流器之供電電源為 3 相，則濾波器必須 3 相，故需 3 個串接電抗器及 3 個分流器。依前之討論，直流側每一諧波，交流側 2 個相應之諧波，例如交流側之 5 次及 7 次相應于直流側之 6 次。故如用共振分流器式之濾波器，直流側每一分流器，則交流側共需 6 只矣。是以對於某一改變，在交流方面較直流方面更為浪費與繁複。

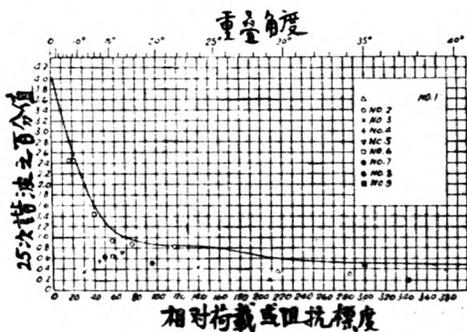


圖 23 整流器交流側線路電流中之 25 次諧波

理論上另一改正波形方法，為增加相數然現今實用上無有過12相者，且在欲藉相數增加以消除之諧波之存在原因，未能充分節制以前，殊不必嘗試增加相數也。

(XVI) 附錄

本校所用之整流器為圖24及25所示，其電流及電壓之波形，如圖26及圖27所示。

圖24 本校鎂弧整流器外形

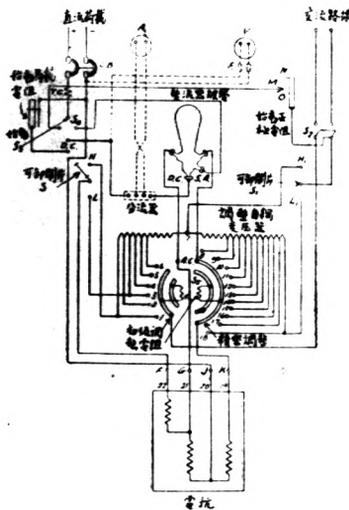
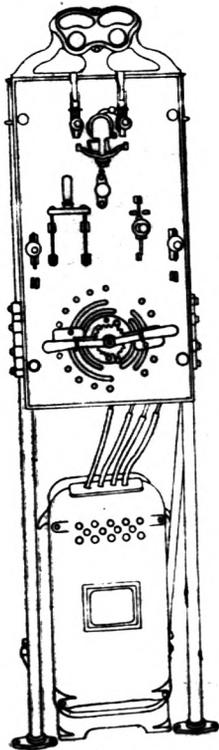


圖25 本校鎂弧整流器之連接圖

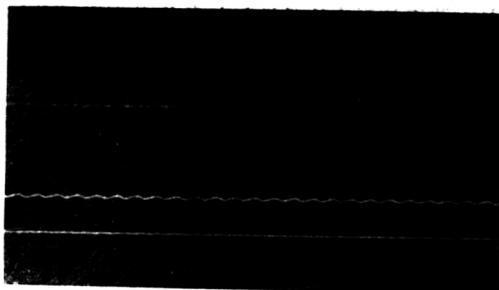


圖 26 本橋整流器交流側電壓（上）及電流（下）之波形

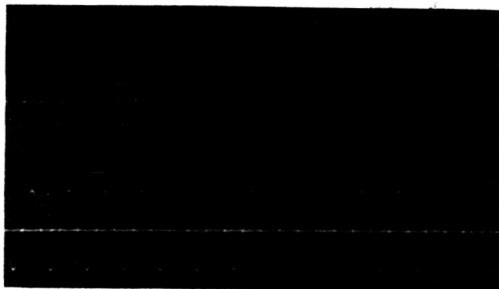


圖 27 本橋整流器直流側電流（上）及電壓（下）之波形

參考書：

- 1, "Principles of mercury Arc Rectifiers and Their Circuits" by D. C. Prince and F. B. Vogdes P. 91
- "Mercury Arc Power Rectifier" by O. K. Marti & H. Winograd p. p. 88-91
- 2, Prince and Vogdes p. 112; Marti and Winograd p. 57 & P.60
- 3, Marti & Winograd, p. p. 90-91.
- 4, P. & V. p. p. 112-114; M. & W. p. 54 & p. p. 113-116

Losses in Transformers for use with Mercury Arc Rectifier, E. V. De Blilux, A. I. E. E. Trans. Vol. 50. Sep. 1931, p. 999.

"Current and Voltage Conditions Obtaining with the High Capacity Rectifier", Daellenbach & Gerecke, Archiv. f. Elektrotech., January 15, 1925, p. 171.

5, P. & V. p. 102

6, "Ripple Voltage of Rectifiers", N. Geise & W. Plathner, Electrician (London), Dec. 2, 1932 Vol. 109, p. 714

7, "Harmonics in the Primary currents of Rectifiers" Heinrich Jungmichl, E. T. Z., Feb. 5, 1931 p. 171.

8, P. & V., p. p. 110-112; M. & W. p. p. 55-57

9, "Current and Voltage Wave Shape of Mercury Arc Rectifiers" H. D. Brown & J. J. Simth, A. I. E. E. Trans. Vol. 52, 1933 p. p. 973-986

10, "Experimental Electrical Engineering" by Karapetoff Vol. II, p. p. 507-513

硫酸之電氣抵抗及粘度與絕對溫度之關係:

$$\frac{\text{Function A}}{\sqrt{T} \text{Function B}} = \text{常數}$$

而  $\text{Function A} = \frac{1}{\log(6 \times \text{Resistivity})}$

$$\text{Function B} = \frac{1}{\log(20 \times \text{Kinematic Viscosity})}$$

T = 絕對溫度.

# 進相機之理論及其運用\*

俞 國 順

進相機(Phase Advancer)係用以減少滯流電路中電流與電壓間之相差,增加負載之工率因數,提高輸電效率而節省發電機容量之機器以前因其製造上之困難,及其造價之昂貴,多僅有理論而未見諸實用,自一九〇九年後始漸有進步,而其製造之困難亦已不成問題,一九二四年 M. Walker 氏發表其對於進相機之嘗試,謂若以進相機與感應電動機連用,則材料節省與效率增加所得之利益可抵過設置進相機所受之損失而有餘。

普通感應電動機中,其工率因數之所以低者,因有

(1) 產生氣隙磁流所需之磁化電流,

(2) 靜子之漏磁流,

及 (3) 轉子之漏磁流

之存在,使電動機輸入滯流,在正則負載時,(2)與(3)對於電動機工率因數之應響較(1)為小,欲得進相機之效用之初步觀念,先假定此機與一理想中之感應電動機連用,在此理想感應電動機中,(2)(3)二條之應響可略去不計而假定其無鐵耗,參看圖 1,圖中之 BC 可視為一無限半徑圓之一部分,否則其半徑為  $E_1/2x$ ,而 X 為正漏抗與副漏抗之和,在圖 1 中,所有矢量皆指每相而言而所有轉子矢量皆參考於靜子(refer to the stator):

$OA = I_2$  (與轉子應電勢同相之轉子電流)

\* 分類目錄 E135.4 x E136.8

$OB = I_0$  (磁化電流)

$OC = I_1$  (總靜子電流)

$OD = sE_1$  (轉子在退移率  $s$  時之應電勢)

$OE = E_1$  (靜子外加電勢)

$BC = I_2$  (抵消轉子安匝所需之靜子電流成分)

依上述之假定，靜子電流矢頂點之軌跡將為垂直於  $OB$  之  $BC$  線，以後吾人可證明此軌跡並非直線，而為一通過  $B$  點之大圓。

進相機可大別之為二種：

(1) Expedor 進相機。此種進相機所發生之電

勢，為其感應電機之轉子電流或副電流之函數，而與此電流有某種相差，故有阻抗升或阻抗降之特性。

(2) Susceptor 進相機。此種進相機所發生

之電勢，為其感應電動機之轉子應電勢或副電勢之函數，而與此副應電勢有某種相差。此進相機之與副應電勢垂直之成分，輸一與磁化電流同相之電流，經過副電路，因之改變感應電動機之磁化電流，換言之，即改變其電納。

茲因篇幅關係，本篇僅述各種 expedor 進相機之理論與其運用。

Expedor 進相機之作用之初步探討——設有一感應電動機，在旋轉時短接其滑環 (Slip-ring)，而略去此時副電路之電抗，則副電路之矢量圖將如圖 2 所示，圖中之

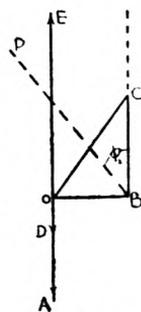


圖 1

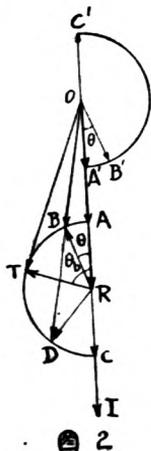


圖 2

$OI = I_2'$  (副電流)

$OR = sE_2 = I_2'r_2'$  (副應電勢)

而其  $s =$  電動機之退移率,

$E_2 =$  實在副應電勢,

及  $r_2 =$  實在副電阻.

然後開去滑環,以一 expedor 進相機(機中之電阻與電抗略去不計)接於滑環上,而調準負載,使副電流之值與前同,如前述,一 expedor 進相機所發生之電勢為副電流之函數,而與副電流有某種相差,此函數為  $a'I_2'$  狀;其中之  $a'$  通常為變數,現在,吾人為簡單起見,假定  $a'$  為常數,而令  $\theta$  為進相機電勢越於副電流之越角,於圖 2 中作  $OB' = a'I_2'$  而越於  $I_2'$  之前,其越角  $\theta$  為定值,則

$OR = r_2'I_2'$  為副電阻所消耗之電壓,與副電流同相,此電壓現在為滑環電勢與進相機所供給,如圖.

$OB = s'E_2$  (滑環電勢)

$RB = OB' = a'I_2'$  (進相機電勢).

加入進相機電勢後,產生二種作用:即使副電流越前而改變電動機之退移率自  $s$  至  $s'$ .

因  $\theta$  為定值而

$$\frac{OR}{RB} = \frac{r_2'I_2'}{a'I_2'} = \frac{r_2'}{a'}$$

之值不變,電動機負載雖變,其副電流之越角仍舊,故若以  $\phi_2$  為加入進相機電勢後副電流之越角,則圖 1 中之直線 BP 為正電流之軌跡,越於 BC 之前,其越角為  $\phi_2$ .

現在,假定吾人保持  $OB'$  之大小於定值,而改變  $\theta$  之值由  $0^\circ$  至  $180^\circ$ ,則若頂點 B' 沿半圓 A'B'C 移動,滑環電勢之頂點將沿同半徑之半圓 ABC 移動;ABC 之圓心為 R,從此簡單之矢量圖中,吾人可得下述數種有用之結論.

作 OT 切於圓 ABC 而連結 RT,則 RT 垂直於滑環電勢 OT,而

$\widehat{ROT} = \text{arc sin } a'/r_2'$  (進相機電勢為  $OB'$  時,副電流最大之越角)

$\widehat{ORT} = 90^\circ - \widehat{ROT} = \text{arc sin } a'/r_2'$  (進相機電勢越於副電流前之

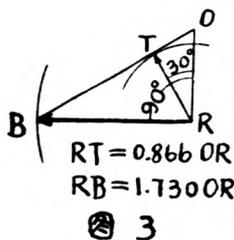
越角)

$$RT = OR \sin \hat{R\hat{O}T}$$

$$= r_2' I_2' \sin \hat{R\hat{O}T} \text{ (使副電流之越角爲 } \hat{R\hat{O}T} \text{ 所需之最小進相機電勢)}$$

從圖 2 中,吾人可得使副電流越前  $\phi_2$  角所需之最小進相機電勢,例如,吾人欲使副電流越前  $60^\circ$ ,則最適宜之進相機爲能產生一越副電流前 ( $90^\circ - 60^\circ$ ) 或  $30^\circ$  之電勢之進相機,此種進相機稱爲  $30^\circ$  進相機,其所發生之電勢將爲  $r_2' I_2' \sin 60^\circ$  或  $0.866 r_2' I_2'$ ,若以  $-90^\circ$  進相機產生此同樣之效果,則所需之電勢將爲  $r_2' I_2' \tan 60^\circ$  或  $1.73 r_2' I_2'$ ,即爲  $30^\circ$  進相機所發生電勢之二倍,其關係可以圖 3 說明之,同理若吾人欲使副電流越前  $30^\circ$ ,則以用  $60^\circ$  進相機爲最適宜。

延長圖 2 中之 OB 至 D 而連接 RD,從圖中吾人可見,若先後加二大小相等之進相機電勢於副電路,其一之越角爲  $\hat{O}R\hat{B}$  而另一之越角爲  $\hat{O}R\hat{D}$ ,則先後所得副電流之越角同,雖然,電動機之退移率則前後各異,在進相機電勢與副電流反相時,電動機之退移率爲最大,但若此則工率因數並無增加,若欲增加工率



因數,則進相機電勢對於副電流之越角須小於  $180^\circ$ ,在進相機電勢與副電流同相時,電動機之退移率爲最小,增加  $a'$ ,可增加進相機電勢至 OR,而電動機將因之而旋轉於同步速度,若更增加  $a'$ ,可使電動機之速度超過同步速度,欲在電動機超過同步速度時增加工率因數,進相機之電勢必須滯於副電流之移。

Expedor 進相機之種類。——Expedor 進相機之最普通的三種爲:

- (1) 無磁場線捲之 Leblanc 進相機。
- (2) Kopp 振動器。

## (3) 串捲 Leblanc 進相機

(1) 最簡單之 Leblanc 進相機係無磁場線捲者，亦稱 Scherbius 進相機，如圖 4 所示。此機含有一直流電樞，及三電刷安置於整流器上，相互隔開 $120^\circ$ 電度，若以電刷連接於感應電動機之滑環上，則有退移頻率 (Slip frequency) 之電流輸入進相機，因之進相機中產生一旋轉甚緩之磁場。若吾人依磁場旋轉之方向旋轉電樞，而使其速度大於旋轉磁場之速度，則電樞中能產生一越電流前 $90^\circ$ 之電勢。

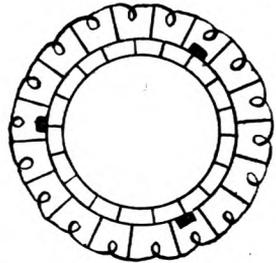


圖 4

(2) Kopp 振動器含有三分激 (Separately excited) 直流機，每機均與感應電動機上之一滑環或串結，低頻率之電流輸入各電樞，使之來往振擺，而發生一越電流前之反電勢。

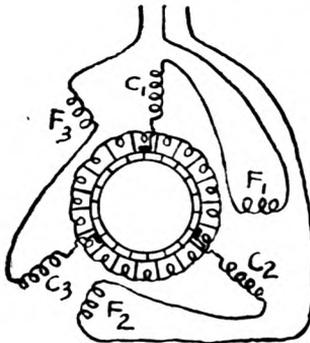


圖 5

(3) 串捲 Leblanc 進相機配有磁場線捲，如圖 5。此機與三相補償串激整流電動機 (3-Phase compensated series commutator motor) 相似， $F_1, F_2, F_3$  與  $C_1, C_2, C_3$  各為其靜子之磁場線捲及補償線捲，與三只相隔 $120^\circ$ 之電刷或串結。其補償線捲所生之磁流消去電樞磁流。若推動其電樞，使反對其電動機趨勢之方向而旋轉，則有電勢發生於電樞中。此電勢對於其磁場電流之相位——即對於感應電動機副電

流之相位——依整流器上之電刷與磁場軸間之角度而定。若安置電刷於適當地位，可得與副電流或任意相差之電勢。

感應電動機與Expedor進相機連用之理論。—現在，將感應電動機之正副線捲中之各電阻及電抗與進相機中之電阻及電抗加入討論，以求較完全之理論。

感應電動機自無載至滿載間，其每相中之情形可以如圖6所示之等值電路代表之。假定電動機之靜子線捲為△形接法而轉子線捲為Y形接法。圖中所有數量皆指一相而言，而副電路中之各數量皆參考於正電路。其所用之各記號之命意如下：

$E_1$  = 正電路之外加電壓。

$I_1$  = 正電流。

$r_1$  = 正電阻。

$x_1$  = 正電抗。

$I_0$  = 磁化電流。

$g_0$  = 激磁電導。

$b_0$  = 激磁電納，通常為負數。

$E = I_0 / (g + jb_0)$  = 正應電勢。

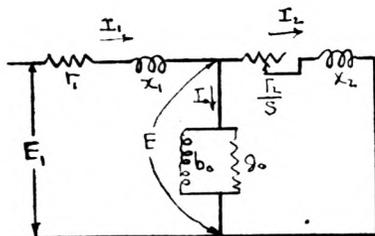


圖 6

故  $-sE$  = 副應電勢。

$r_2$  = 副電阻。

$x_2$  = 副電抗 (在線路頻率)。

$I_2$  = 抵消副安匝所需之正電流成分。

故  $-I_2$  = 副電流。

$s$  = 退移率。

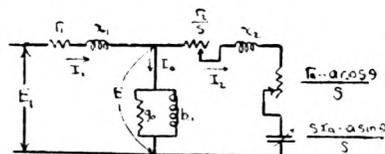


圖 7

設此感應電動機旋轉於負載狀況而與-expedor進相機連接，且命進相機內部Y形接法之每相數量為：

$r_a$  = 進相機電阻。

$x_a$  = 進相機電抗(在線路頻率),

$a$  = 進相機所生之每安電壓(Voltage per ampere)

$$-aI_2e^{j\theta} = -(\cos\theta + j\sin\theta)I_2$$

= 進相機所發生之電勢越於  $-I_2$  前  $\theta$  度。

則  $-jx_a I_2$  = 進相機中之電抗降, 因其電流之頻率為退移頻率。

$-(r_a + jsx_a)I_2$  = 進相機阻抗所消耗之電勢。

$(\cos\theta + j\sin\theta)I_2$  = 進相機電壓所消耗之電勢。

$-(r_a - \cos\theta) + j(sx_a - \sin\theta)I_2$  = 進相機所消耗之總電勢。

欲將此阻抗加於等值電路中, 吾人必先以  $s$  除之, 即

$$\frac{r_a - \cos\theta}{s} + j \frac{sx_a - \sin\theta}{s}$$

圖 7 表示一感應電動機與  $-expedor$  進相機連用後之等值電路。若不指定  $\theta$  等於一特別數值(Particular value), 則此電路可適用於任何  $expedor$  進相機。因欲使此等值電路易於研究起見, 吾人可將其激磁電路移往左端, 對於所得結果之精確程度不致有多大之妨害, 如圖 8。從圖 8 中, 吾人可見此電路包含。

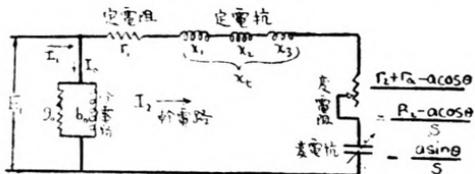


圖 8

(1) 一定導納之分電路, 其所通過之電流, 吾人此處可視之為定值。

(2) 一幹電路, 含有下列串結成分:

[a] 定電阻  $r_1$

[b] 定電抗  $x_t$

[c] 變電阻  $(R_2 - \cos\theta)/s$

[d] 變電抗  $-\sin\theta/s$ , 其值或正或負, 即或為感抗或為容



與  $-\sin \theta$  之數值。命  $K = -\sin \theta / (R_2 - a \cos \theta)$ 。K 之值，並非非常為定值，但因欲求瞬變圖心起見，在每一已知  $I_2$  時，吾人可視之如定值。從  $K = \tan \phi$  或  $\phi = \tan^{-1} K$  中求  $\phi$  之值，然後作  $r_1$  與  $X_1$  成  $\phi$  角。從 O 作  $OX_s$  垂直  $r_1$  於  $X_s$  點。以  $OX_s$  之長為阻抗，並以之除 E，藉求  $I_s = E/X_s$  之值。延長  $OX_s$  至  $I_s$ ，使  $OI_s = I_s$  (用適當之電流比例尺)。平分  $OI_s$  作  $M_s$ ，以  $M_s$  為圓心，作  $Os I_s$  圓線。此圓線即為  $I_2$  矢之軌跡，其所用之 K 之值，即上面所求得者。故在某特定負載時，吾人可以  $OA_s = I_2$  為半徑，O 為圓心，割圓線  $Os I_s$  於  $A_s$ ； $OA_s$  即表  $I_2$  矢之大小及相位。在 K 為常數時中， $I_2$  矢之軌跡終為  $Os I_s$  圓線。若 K 之值因進相機飽和之故而減少，則此軌跡之半徑亦減少。

若無電阻  $r_1$ ，則理想中之短接電流將為  $E/X_1$ ，如此則得  $OI_H$  平分  $OI_H$  於  $\frac{1}{2} I_H$  點，並作  $\frac{1}{2} I_H M_H$  垂直  $OI_H$  於  $\frac{1}{2} I_H$ 。若 K 之值同前，則作  $X_1 S_H$  線與  $X_1 r_1$  成  $\phi$  角。然後以最小阻抗  $OX_H$  除 E，可得最大電流，其值以  $2(OM_H)$  表之。從此可見加入  $r_1$  於靜子之效果使圖心由  $M_H$  移至  $M_s$ 。從圖中可見， $M_s$  常離與垂直線成  $\gamma$  角之  $\frac{1}{2} I_H Z_1$  線甚近；其  $\gamma = \tan^{-1} r_1/x_1$ 。

$I_1$  與  $I_2$  之軌跡之方程式。——如圖 10，取  $O'X'$  與  $O'Y'$  各為 x 軸與 y 軸，而以  $O'E_1$  表電勢  $E_1$  之方向。作  $O''$  與  $O = I_0$  與  $E_1$  成其正確相位。經過 O 作  $Ox$  與  $Oy$  為 x 與 y 之新軸，且命

$(x, y) = A$  點參攷於 O 為原點之坐標，

$\gamma = \angle A$  與  $Oy$  所成之角，在  $I_2$  為滯流時其值為正，

$b =$  幹電路之總電納，

$g =$  幹電路之總要導。

則  $bE_1 = I_2 \sin \phi = x \dots \dots \dots (1)$

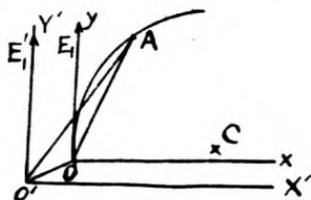


圖 10

$$gE_1 = I_2 \cos \psi = y \dots \dots \dots (2)$$

$$\text{幹電路之總電阻} = \frac{g}{b^2 + g^2} = \frac{gE_1^2}{b^2E_1^2 + g^2E_1^2}$$

以(1)與(2)式中  $bE_1$  與  $gE_1$  之值代入上式

$$\text{總電阻} = \frac{yE_1}{x_2 + y_2}$$

$$\text{同理幹電路之總電抗} = \frac{b}{b^2 + g^2} = \frac{bE_1^2}{b^2E_1^2 + g^2E_1^2} = \frac{x_1E_1}{x^2 + y^2}$$

從圖 8, 吾人知幹電路之總電阻與總電抗各為:

$$r_1 - \frac{R_2 - a \cos \theta}{s} \quad \text{與} \quad x_1 - \frac{a \sin \theta}{s}$$

$$\text{故} \quad \frac{x_1E_1}{x^2 + y^2} = x_1 - \frac{a \sin \theta}{s}; \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{y_1E_1}{x^2 + y^2} = r_1 - \frac{R_2 a \cos \theta}{s} \dots \dots \dots (4)$$

移  $x_1$  與  $r_1$  至左邊而化簡之, 則(3)與(4)各變為:

$$\frac{x_1E_1 - x_1(x^2 + y^2)}{x^2 + y^2} = \frac{-a \sin \theta}{s}; \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{y_1E_1 - r_1(x^2 + y^2)}{x^2 + y^2} = \frac{R_2 - a \cos \theta}{s} \dots \dots \dots (6)$$

以(6)除(5)得

$$\frac{x_1E_1 - (x_1x^2 + y^2)}{y_1E_1 - r_1(x^2 + y^2)} = \frac{-a \sin \theta}{R_2 - a \cos \theta} = K \dots \dots \dots (7)$$

故化簡之得

$$x^2 + y^2 - \frac{E_1 x}{x_1[1 - (r_1/x_1)K]} + \frac{kE_1 y}{x_1[1 - (r_1/x_1)K]} = 0 \dots \dots \dots (8)$$

從(8)式中, 吾人可見若  $K$  為常數, 則(8)式表示一經過  $O$  點之圓線而由此可證明前述之命題, 以  $O$  為原點圓心之坐標  $(x_c, y_c)$  為

$$x_c = \frac{E_1}{2x_1[1 - (r_1/x_1)K]} \dots \dots \dots (9)$$

$$y_c = \frac{E_1}{2x_1[1 - (r_1/x_1)K]} K \dots \dots \dots (10)$$

進相機係數與阻相機係數。— $K$  之值與電動機之工率因數有關, 可稱為感應電動機—expedor 進相機組 (Induction motor-expedor phase advancer set) 之進相機係數 (Phase-advancing coefficient), 欲增加工率因數,



O 爲半徑之圓弧割圓弧 mn 於 A, 則副電流爲 OA 時, 正電流矢之頂點爲 A, 同上步驟, 求相當於副電 OB, OC, OD 之正電流矢頂點 B, C, D, A, 其圓線之圓心各 b, c, d,

在極程度之負載時, 電刷之接觸電阻頗大, 而  $R'_2$  變動甚速, 此種現象, 吾人可從任何實驗數據 (Experiment data) 上見之, 因此之故, 電流軌跡近於原點之部分, 彎曲成如圖中之狀, 但軌跡之此部分並無多大重要意義。

從圖中吾人見得各圓心 a, b, c, d 等均存直線 zp 上, 其故爲因吾人若從 (9), (10) 二式消去 K, 即得

$$y_c = -\frac{x_t}{r_1} x_c + \frac{E_1}{2r_1}$$

故圓心之軌跡爲一直線, 可以  $y = -\frac{x_t}{r_1} x + \frac{E_1}{2r_1}$  表之。

從上式吾人可得一有趣之事實, 即圓心之軌跡與  $R'_2$ , a', 及  $\theta$  之值無關, 其意即無論副電路之電阻如何, 進相機所發生之電壓如何, 及進相機之度數多少, 正電流矢之頂點總在一圓線上, 此圓線之圓心軌跡爲直線

$$y = -\frac{x_t}{r_1} x + \frac{E_1}{2r_1}$$

當然, 吾人須假定  $x_t$  爲常數。

若使  $y = 0$ , 吾人顯見上述直線經過  $(E_1/2x_t, 0)$  點, 即圖 11 中之 Z 點, 此直線在 y 軸上之截點 (Intercept point) 爲  $(0, E_1/2r_1)$ ,  $E_1/2r_1$  之值通常甚大; 而此直線與 x 軸所成之角爲  $\arctan(-x_t/r_1)$ , 其值約在  $95^\circ$  左右。

x                      x                      x                      x

參考文字:—Transaction of the First World Power Conference

				1924, vol. 3, pp. 831.—
Journal of I. E. E.	1908—9,	vol. 42,	pp. 599—	
"	"	"	1913,	" 51, " 243—
"	"	"	1923,	" 61, " 89—
"	"	"	1926,	" 68, " 280—
"	"	"	1931,	" 69, " 445—
Journal—English Electric,	1929,	vol. 4,	pp. 186—	
Electrical Review,	1925,	vol. 96,	pp. 247—	
"	"	1926,	" 98, " 68—	
"	"	1929,	" 104, " 513—	
"	"	1930,	" 107, " 993—	

# 真空管振盪器

沈 善 澄

摘要 本篇述振盪器之理論及其設計而於各式振盪器作一概略之說明。

- 目錄 (I) 引言
- (II) 發生振盪之原理
- (III) 振盪線路中之電力關係
- (IV) 振盪器之調節
- (V) 振盪器之設計
- (VI) 常用振盪器
- (1) 普通振盪器
- (2) 晶體控制(Crystal Control)振盪器
- (3) 磁伸縮振盪器(Magnetostriction Oscillator)
- (VII) 特種振盪器
- (1) 電子(Electronic)振盪器
- (2) 電磁管(Magnetron)振盪器
- (3) 電力管(Dynatron)振盪器
- (VIII) 結論
- (I) 引言

在昔無線電未發達時，祇用以收發電報，藉以傳達消息。火花式發報機。

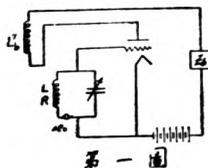
爲當時唯一利器，然所發射之電波爲減幅波 (Damped Wave)，波來斷續而非接連，故祇能傳送電報信號，不克傳遞言語音樂爲廣播之需。其後普爾生氏弧 (Poulsen arc) 發明，能發射高頻等幅波 (Continuous-Wave)，無線電話因之遂告成功，廣播事業亦隨之而發展，在無線電史上開一新紀元。非特此也，且等幅波較減幅波有下列數優點：(1) 選擇性大而干擾減少。(2) 傳輸效率較高，故發射距離增大。(3) 天線電壓減低，則製造上之困難自少。因具此數優點，減幅波漸爲等幅波所淘汰矣。然發生等幅波之方法亦甚多，如

- (1) 普爾生氏弧
- (2) 愛來克特生交流機 (Alexanderson Alternator)。
- (3) 高爾特其密脫交流機 (Goldschmidt Alternator)。
- (4) 中級頻交流機及頻變壓器 (frequency transformer)
- (5) 真空管振盪器

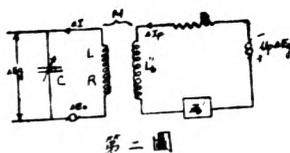
上述之(1)，(2)，(3)，(4)，均能發生高頻等幅波，在過去曾見諸實用，而有相當之發展，但近年來真空管振盪器有驚人進步，實用上逐漸採用，深信不數年後，高頻之電源，將全爲真空管振盪器所壟斷矣。

### (II) 發生振盪之原理

依據交連線路之原理，而研究調諧線路 (Tuned grid cct) 與再生回交連所生之作用 (如第一圖所示)，由第二圖之等值 (Equivalent) 線路，可得



第一圖



第二圖

下列二式：[ $\Delta I$ ,  $\Delta I_p$  均爲其最後值 (final values)]。

$$\Delta E_o = \Delta I \left( R + jL\omega + \frac{1}{jC\omega} \right) - jM\omega \Delta I_p$$

$$\text{即 } \Delta E_o = Z \Delta I - j M \omega \Delta I_p \dots\dots\dots (1)$$

$$u_p \Delta E_g = (r_p + Z'_b + j L''_b \omega) \Delta I_p - j M \omega \Delta I$$

$$\text{即 } u_p \Delta E_g = (r_p + Z_b) \Delta I_p - j M \omega \Delta I \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{但 } \Delta E_g = -\frac{\Delta I}{j C \omega} \dots\dots\dots (3)$$

(3)式代入(2)式則

$$(r_p + Z_b) \Delta I_p - \Delta I (j M \omega + \frac{u_p}{j C \omega}) = 0 \dots\dots\dots (4)$$

由(4)式得

$$\Delta I_p = \frac{(j M \omega + \frac{u_p}{j C \omega}) \Delta I}{r_p + Z_b} \dots\dots\dots (5)$$

(5)式代入(1)式則得

$$\Delta E_o = \Delta I \left\{ Z - j M \omega \frac{j M \omega + \frac{u_p}{j C \omega}}{r_p + Z_b} \right\} = \Delta I \left\{ Z + \frac{M^2 \omega^2 - \frac{u_p M}{c}}{r_p + Z_b} \right\}$$

$$\therefore \Delta I = \frac{\Delta E_o}{Z + \frac{M^2 \omega^2 - \frac{u_p M}{c}}{r_p + Z_b}} = \frac{\Delta E_o}{Z} \dots\dots\dots (6)$$

而 $(r_p + Z_b)$ 一項，為再生力所生之柵調諧線路之等值阻抗。

$$\text{但 } Z = R + j \left( L \omega - \frac{1}{C \omega} \right) = R + j X$$

$$Z_b = Z'_b + j L''_b \omega = R_b + j X_b$$

$$\text{及 } \bar{Z} = Z - \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{r_p + Z_b} = R + j X - \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{(r_p + R_b) + j X_b} = R + j X -$$

$$\frac{\left( \frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2 \right) \left[ (r_p + R_b) - j X_b \right]}{(r_p + R_b)^2 + X_b^2}$$

$$= R - \frac{\left( \frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2 \right) (r_p + R_b)}{(r_p + R_b)^2 + X_b^2} + j \left( X + \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{(r_p + R_b)^2 + X_b^2} X_b \right) = \bar{R} + j \bar{X} \dots\dots (7)$$

$$\bar{R} = R - \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{(r_p + R_b)^2 + X_b^2} (r_p + R_b)$$

$$\bar{X} = X + \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{(r_p + R_b)^2 + X_b^2} X_b$$

因  $R_b < r_p$  故

$$\bar{R} = R - \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{r_p^2 + X_b^2} r_p \dots \dots \dots (8)$$

$$\bar{X} = X + \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{r_p^2 + X_b^2} X_b \dots \dots \dots (9)$$

由(8)(9)二式可知,因再生圈之作用,可使柵調諧線路之電阻由R而減少為

$$\left( R - \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{r_p^2 + X_b^2} r_p \right), \text{但電抗反由 } X \text{ 而增加為 } \left[ X + \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{r_p^2 + X_b^2} X_b \right],$$

故  $\frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{r_p^2 + X_b^2}$  名之曰再生係數

$$\text{設使 } h = \frac{\frac{u_p M}{c} - M^2 \omega^2}{r_p^2 + X_b^2} \text{ 則}$$

$$\bar{R} = R - h r_p \dots \dots \dots (10)$$

$$\bar{X} = X + h X_b = \left( L\omega - \frac{1}{C\omega} \right) + h X_b \dots \dots \dots (11)$$

$$\text{但 } X_b = L_b \omega \dots \dots \dots (12)$$

$$(12) \text{ 代入 } (11) \quad \bar{X} = L\omega + h L_b \omega - \frac{1}{C\omega} = (L + h L_b)\omega - \frac{1}{C\omega}$$

$$\text{故 } \bar{X} = \bar{L}\omega - \frac{1}{C\omega} \dots \dots \dots (13)$$

由此可知再生作用,僅使柵調諧線路之電感量由L而增為 $\bar{L}$ ,其電容量則未嘗稍受影響也。

欲使調諧線路與外來之頻成為諧振,其所需之條件為  $\bar{X} = 0$  即

$$\bar{L}\omega = \frac{1}{C\omega} \quad \text{或}$$

$$(L + h L_b)\omega - \frac{1}{C\omega} = 0$$

$$\text{故 } \bar{X} = 0$$

由(6)式可得

$$(\Delta I)_{\max} = \frac{\Delta E_0}{R - hr_p} \dots\dots\dots(14)$$

設調節M之值,使

$$R = hr_p$$

即  $R - hr_p = 0$

於是 $\Delta E_0$ 為一定值時,(14)式中之 $(\Delta I)_{\max}$ 為無窮大,換言之,即 $\Delta E_0$ 之值近於零時,而 $(\Delta I)_{\max}$ 仍為一定值,故其線路自身能起振盪,其振盪頻則為:

$$\omega^2 = \frac{1}{C(L + hL_b)} = \frac{1}{C(L + L_b \frac{R}{r_p})} = \frac{1}{LC(1 + \frac{RL_b}{r_p L})} \dots\dots\dots(15)$$

但 $\frac{RL_b}{r_p L}$ 之值,在通常時甚小,故自身振盪頻 (frequency of Self-Oscillation) 與線路之固有頻(natural frequency)相近似,所以

$$\omega^2 = \omega_0^2 = \frac{1}{LC} \dots\dots\dots(16)$$

設再調節M之值,而使

$$hr_p > R$$

即  $R - hr_p < 0$

於是柵調諧線路之等值電阻為一負數,則其線路非特能支持自身振盪,且有電力輸出,用以供給 $\Delta E_0$ 。而此時之真空管即成為振盪器,所需之電力則取給於B電池。

真空管之所以能成振盪器者,因有放大能力耳。蓋放大器所需之輸入,遠小於放大後之輸出,故能以反饋 (feed back) 方法,使放大器能自己供給輸入,但輸入增則輸出亦增,而輸出愈增則反饋之輸入亦愈增,如此循環作用,且適合其他必需條件時,則放大器即變為振盪器矣。其所謂必需條件者:

- (1) 反饋電能須與輸入電能同相
- (2) 反饋電能須足以對消振盪輸入線路 (Input Oscillation cct.) 中之損耗,即其等值電阻至少等於零或小於零,即  $R \leq 0$
- (3) 有適當方法以引起振盪,如電鍵之關閉,輕叩其真空管等均足以起

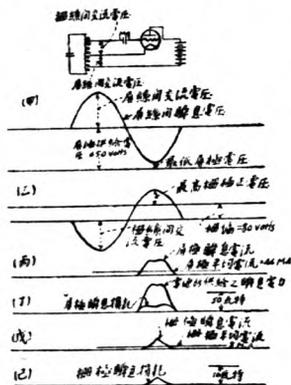
暫時之振盪，然振盪器之循環放大作用，亦非漫無限制，至  $M \equiv \left( \frac{RCr_p}{u_p} + \frac{L}{u_p} \right)$  時，其振盪幅為一常數，不能再行增加矣。

據此，則振盪器實由放大器蜕化而來，然二者各有疆界，不相混雜，其分界之處，全係於等值電阻值之大小，故  $R > h(r_p + R_b)$ ，即等值電阻大於零時，則成放大器， $R < h(r_p + R_b)$ ，即等值電阻小於零時，則成振盪器，若  $R = h(r_p + R_b)$  時，為二者劃分界限之處，故曰臨界點(Critical Point)。

以上所述為真空管發生振盪之簡單原理，惟此僅再生圈與柵調諧線路交連時所生之作用，其他若再生圈與屏調諧線路交連時之情形，雖未敘述，然已可類推矣。

(III) 振盪線路中之電力關係：

屏壓電源所供給之電力，為屏壓與屏流之乘積，其變化情形如三圖(丁)所示，此電力之一部分送入諧振線路而成交流電能，其所餘之一部，因電子



第三圖

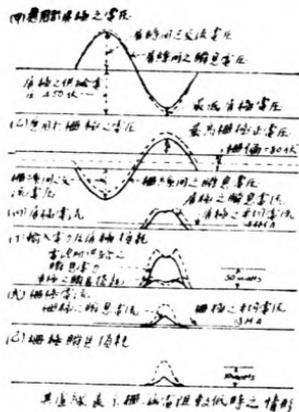
與屏極相衝擊化為熱能而發散供給振盪器之瞬息電能分配於諧振線路及屏極已如上述，其比例，與諧振線路中屏絲兩極間之電壓與真空管屏絲兩極間電壓之比例相同，在一週中供給於振盪器之電力變化，及此電力分配於諧振線路及屏極之變化，皆於第三圖(丁)表示之，欲達屏效率較高之目的(即送入諧振線路之電力與屏壓電源所供給之總電力之比例)：則須祇在屏絲電壓最低或近於最低值時，始有屏電流流動，故有屏電流

之時間，實為一週間之極小部分耳，由此言之，欲得高效率，則屏電流之時間須極短而僅成衝動(Impulse)足矣，但時間太短，則平均電流及供給於振盪器之平均電力均甚小，因之輸出之電力亦甚低，所以每一振盪線路，其輸出

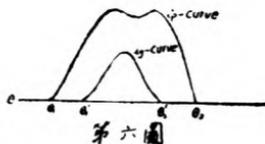
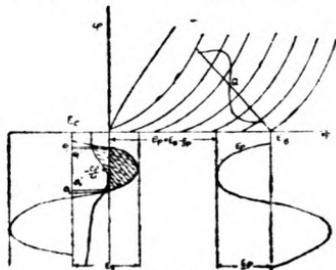
與效率，須雙方兼顧而得一折中數值，在通常情形，有相當之輸出電力，而效率為50%至80%，則屏電流之流動時間，約為一週之 $\frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{3}$ 。

真空中發生振盪之屏電路相當於一同步電鍵，此電鍵在適當相角

時閉合其時間為一週中之極小部分用以支持諧振線路中之振盪，電鍵之閉合係由柵極交流電壓控制之，每週中屏電流流動之時間，視柵偏之值而定，設屏極之交流電壓為常數而將柵偏之值變動，其所生之作用，如第四圖所示，由此圖可知柵偏愈減則每週中屏電流流動之時間愈長，因之屏效率亦愈低，第五第六兩圖表示屏電流與柵偏及屏電壓之關係，柵電流之有無，全由柵電壓之正負而定，由第六圖可知，在每週中祇 $\theta_1, \theta_2$ 之間有屏電流，同理祇 $\theta'_1, \theta'_2$ 之間有柵電流，第七



圖表示輸入與輸出電力之情形， $i_p e_p$  曲線所包含之面積為屏極之輸入電力， $i_g e_g$  曲線所包含之面積為柵極之消耗， $i_p e_p$  及  $i_g e_g$  兩曲線間之面積為

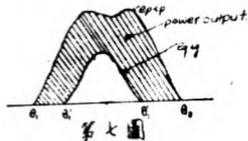


屏極之輸出電力，故  $i_p e_p$  及  $i_g e_g$  兩曲線間之面積，以  $i_p e_p$  曲線所包含之面積除之，所得之商數，即為屏極之效率矣。

(IV) 振盪器之調節

調節一振盪器使作用於最佳情形(Optimum Condition),首宜將諧振線路與所需之頻相調諧於是將諧振線路與屏線路之交連(Coupling)變動,直

至諧振線路中之振盪電流至相當值時為止。但須注意者,交連增加,可使振盪電流減少,待屏絲間交流電壓調正後,再將柵絲間交流電壓調正,使屏電流至最小值,以得較高之屏效率。若用柵漏電阻及柵電容器者,柵偏大約與



第七圖

柵之激發電壓(grid exciting voltage)幅成比例,但柵之激發電壓對於柵電壓變為正值之影響甚少,所以柵極激發電壓所生之主要影響,為變動屏電流流動之時間,及屏效率之增減,如第八圖所示,柵電壓化為正值之程度,全視柵漏電阻而定,柵漏電阻小者,柵電壓

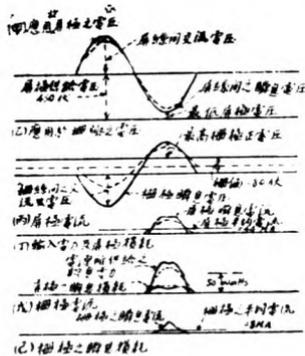
化為正值愈大,蓋電阻小而欲得一定量之電壓降落,須通過較大之電流,此較大電流,足以增加柵電壓之正值,變動柵漏電阻所生之影響已於第四圖中表示之,上述之調節完成後,可將擔負阻抗(Load impedance)與諧振線路為適度之交連,

而得相當之輸出電力,至此調節之手續業已完成,但為慎重計,宜將上述之調節,依次復核,以免差誤。

(V) 振盪器之設計:

通常設計一真空管振盪器,其已知

者為頻( $f$ );所供給之屏電壓( $E_b$ ),所需之輸出電力( $P$ ),真空管之放大因數( $\mu_p$ ),於是可着手設計一線路,以適合已知之要求,諧振線路中 $\omega/\omega_n$ 之有效值,宜首先決定,據經驗而知,欲避免不規則及不安定之作用,則 $\omega/\omega_n$ 之值不



第八圖  
其直線表示,較慢電壓取無時之情形

能小於12,若大於12,則電感線圈中之無謂損耗亦大,殊不經濟。諧振線路有效電阻之大部分,為負擔之交流電阻。因線圈本身電阻,與線圈電阻及負擔所生等值電阻和之比例,即為電能損耗於諧振線路中之百分率,故線圈本身之電阻,愈小愈好。若 $\omega^L/R$ 之值業已決定,則電感量L可由下式算出:

$$\omega L = \frac{E^2}{P(\omega^L/R)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\omega = 2\pi f$$

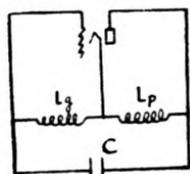
L=調諧線路之電感量

E=跨於調諧線路兩端之交流電壓之有效值

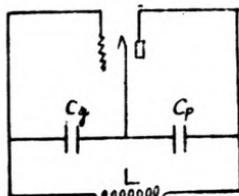
P=送入調諧線路之電力

$\omega^L/R = Q$  (為勘定負擔電阻對於調諧線路之影響)

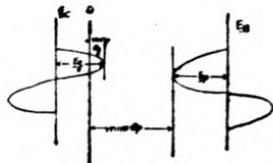
所欲得之柵偏,可依據每週間屏電流流動時間之百分率,用推測法定之。使柵極之激發電壓之最大值稍大於柵偏。在實用上,常以柵漏及柵電容器發生柵偏,以替代獨立設置之柵電壓。柵電容器之電容量應大於真空管柵絲間之有效電容量,但在振盪頻所生之電抗與柵漏電阻之比,應為極小,僅電容量之精確數,並非重要,祇須適合上述之要求可耳。



Hartley  
第九圖



Colpitts  
第十圖



第十一圖

若欲精確計算屏效率,柵極及屏極之電流輸出電力等,須從真空管之特性曲線,逐漸算出,手續殊為繁瑣,故棄置不用;通常多先用近似法算出近似值,而後再經相當之調節,若此者,雖不中亦不遠矣,茲試舉近似計算法之一例於下,以便參考。

設已知數為:  $\bar{E}_B =$  屏極直流電壓

$\bar{E}_c =$  柵極直流電壓

$E_p =$  屏極交流電壓之幅值

$$\Sigma = \frac{\bar{E}_B - E_p}{\bar{E}_c + \bar{E}_g} = \frac{e_p\text{之最小值}}{e_g\text{之最大值}} \quad (\text{如第十一圖所示})$$

$\omega$  或  $f =$  所需之高頻

$I_o =$  振盪線路中之振盪電流

試求第九圖中之  $L_p, L_g$  及  $C$  及第十圖中之  $C_p, C_g,$  及  $L$

(a) 求第九圖中之各數:

由圖可知:  $\bar{E}_g = I_o \omega L_g \sqrt{2} \dots\dots\dots(2)$

$$\bar{E}_p = I_o \omega L_p \sqrt{2} \dots\dots\dots(3)$$

因  $E_p, I_o$  及  $\omega$  均為已知數故可由(3)式中求得  $L_p$ , 再由  $\Sigma = \frac{\bar{E}_B - \bar{E}_p}{\bar{E}_c + \bar{E}_g}$  求得  $\bar{E}_g$

(因  $\Sigma, \bar{E}_B, \bar{E}_p$  及  $\bar{E}_c$ , 均為已知數), 於是  $L_g$  之值, 可由(2)式求得之。

但  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{(L_g + L_p + 2M)C}}$

因  $M$  之值甚小, 故  $\omega = \frac{1}{\sqrt{(L_g + L_p)C}} \dots\dots\dots(4)$

從(4)式即可算得  $C$ 。

(b) 求第十圖中各數:

由圖可知  $\bar{E}_p = \frac{I_o \sqrt{2}}{\omega C_p} \dots\dots\dots(5)$

$$\bar{E}_g = \frac{I_o \sqrt{2}}{\omega C_g} \dots\dots\dots(6)$$

先由(5)式求得  $C_p$ , 再如上法求得  $\bar{E}_g$ , 而後由(6)式中求  $C_g$

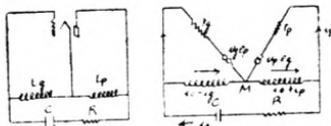
但  $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{L \left( \frac{C_g C_p}{C_p + C_g} \right)}} \dots\dots\dots(7)$

從(7)式中當可求得  $L$  之值矣。

## (VI) 常用之振盪器

## (1) 普通振盪器

普通振盪器其種類亦甚多；其最著者，為哈脫來氏線路 (Hartley cct.)，柯爾劈氏線路 (Colpitts cct.)，及米字南氏線路 (Meisener cct.) 等數種。茲為節省篇幅起見，祇將哈脫來氏線路振盪器，略加討論，以為此類振盪器之代表，其他恕不詳及。



第十=圖

第九圖所示即為哈脫來氏線路，第十圖為哈脫來氏線路及其等值線路。

假設：

- (1) 真空管之作用祇在特性曲線之平面部分。

## (2) 真空管中柵極電流為零

根據上述之假設從12圖可得下列三式：

$$u_p e_g = i_p r_p + L_p \frac{d(i_o + i_p)}{dt} + M \frac{di_o}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

$$e_g = -L_g \frac{di_o}{dt} - M \frac{d(i_o + i_p)}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

$$\begin{aligned} 0 &= L_g \frac{di_o}{dt} + L_p \frac{d(i_o + i_p)}{dt} + \int \frac{i_o dt}{c} + M \frac{di_o}{dt} + M \frac{d(i_o + i_p)}{dt} + R i_o \\ &= \int \frac{i_o dt}{c} + \frac{di_o}{dt} (L_p + L_g + 2M) + \frac{di_p}{dt} (L_p + M) + R i_o \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

$$u_p e_g = i_p r_p + L_p \frac{di_p}{dt} + (L_p + M) \frac{di_o}{dt} \dots\dots\dots(1')$$

以(2)代入(1')

$$i_p r_p + \frac{di_p}{dt} (L_p + u_p M) + \frac{di_o}{dt} \{L'\} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

$$L' = (L_p + M) + u_p (L_g + M)$$

$$L = L_p + L_g + 2M$$

微分(3)式

$$0 = \frac{i_o}{c} + L \frac{d^2 i_o}{dt^2} + (L_p + M) \frac{d^2 i_p}{dt^2} + R \frac{di_o}{dt}$$

$$\therefore \frac{d^2 i_p}{dt^2} = - \left( \frac{i_o}{c} + L \frac{d^2 i_o}{dt^2} + R \frac{d i_o}{dt} \right) \frac{1}{L_p + M} \dots\dots\dots(5)$$

微分(4)二次

$$r_p \frac{d^2 i_p}{dt^2} + (L_p + u_p M) \frac{d^3 i_p}{dt^3} + L' \frac{d^3 i_o}{dt^3} \dots\dots\dots(6)$$

(5)式代入(6)式

$$- \frac{r_p}{L_p + M} \left( \frac{i_o}{c} + L \frac{d^2 i_o}{dt^2} + R \frac{d i_o}{dt} \right) - \frac{L_p + u_p M}{L_p + M} \left\{ \frac{1}{c} \frac{d i_o}{dt} + L \frac{d^3 i_o}{dt^3} + R \frac{d^2 i_o}{dt^2} \right\} + L' \frac{d^3 i_o}{dt^3} = 0 \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{d^3 i_o}{dt^3} \left\{ L'(L_p + M) - L(L_p + u_p M) \right\} - \frac{d^2 i_o}{dt^2} \left\{ r_p L + R(L_p + u_p M) \right\} - \frac{d i_o}{dt} \left\{ \frac{1}{c} (L_p + u_p M) + R r_p \right\} + i_o \left( - \frac{r_p}{c} \right) = 0 \dots\dots\dots(8)$$

使  $i_o = I_o e^{j\omega t} \dots\dots\dots(9)$

(9)式代入(8)

$$- j \left\{ L'(L_p + M) - L(L_p + u_p M) \right\} \omega^3 + \left\{ r_p L + R(L_p + u_p M) \right\} \omega^2 - \left\{ \frac{1}{c} (L_p + u_p M) + R r_p \right\} j \omega - \frac{r_p}{c} = 0 \dots\dots\dots(10)$$

使實數等於實數

$$\left\{ r_p L + R(L_p + u_p M) \right\} W^2 = \frac{r_p}{c}$$

$$\omega^2 \left( 1 + \frac{R}{r_p} \frac{L_p + u_p M}{L} \right) = \frac{1}{LC}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC} \times \frac{1}{1 + \frac{R}{r_p} \times \frac{L_p + u_p M}{L}} \dots\dots\dots(11)$$

但  $\frac{R}{r_p}$  之值甚小, 可不計及, 於是

$$\omega^2 \doteq \frac{1}{LC} = \frac{1}{(L_p + L_g + 2M)C}$$

$$\omega \doteq \frac{1}{\sqrt{(L_p + L_g + 2M)C}}$$

使(10)式中之虛數等於虛數, 則

$$\left\{ L'(L_p + M) - L(L_p + u_p M) \right\} \omega^3 + \left\{ \frac{1}{c} (L_p + u_p M) + R r_p \right\} \omega = 0$$

$$\frac{L'}{L} (L_p + M) - (L_p + \mu_p M) = -(L_p + u_p M) - R r_p C$$

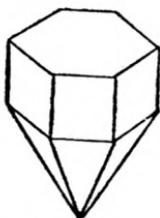
$$\frac{L'}{L} (L_p + M) = -R r_p C$$

$$\frac{(L_p + M) + \mu_p (L_g + M)}{L_p + L_g + 2M} = -\frac{R r_p C}{L_p + M} \dots\dots\dots(12)$$

(12)式為發生振盪之條件。

(2) 晶體控制振盪器:

若以機械振盪之壓電石英晶體(Piezo-electric Quartz crystal)替代振盪



第十三圖

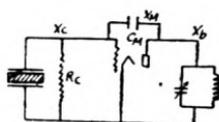
器中之諧振線路,並利用晶體之壓電作用,使電路與機械振盪發生相互關係,則振盪頻之穩定可至極高。

晶體控制振盪器中所用之石英晶體,得自橫截面六角形而尖頂之石英結晶體,如(13)圖所示,此類振盪

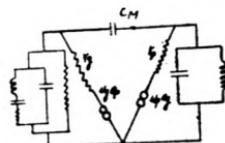
器所用之線路,亦有多種,如開台氏(Cady's)線路,披阿司氏(Pierce's)線路,密勒氏(Miller's)線路等。為簡略

起見,祇就密勒氏線路稍加討論。

由(14),(15)兩圖並假定:



第十四圖



第十五圖

(1) 柵極電流為零

(2) 真空管祇作用於特性曲線之直線部分。

再由克希荷夫定律(Kirchhoff's Law)可得

$$E_g = I_m Z_c = E_p \frac{Z_c}{Z_c + Z_m} = (I_p r_p - u_p e_g) \frac{Z_c}{Z_c + Z_m} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_p = I_b - I_m = -\frac{E_p}{Z_b} - \frac{E_p}{Z_c + Z_m} = -E_g \frac{Z_g + Z_m}{2Z_c} \left( \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c + Z_m} \right) \dots\dots(2)$$

$$E_g = \left[ -E_g \frac{Z_c + Z_m}{Z_c} r_p \left( \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c + Z_m} \right) - u_p E_g \right] \frac{Z_c}{Z_c + Z_m}$$

$$1 = -r_p \left( \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c + Z_m} \right) - \mu_p \frac{Z_c}{Z_c + Z_m} \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{Z_m}{\mu_p} \left\{ 1 + r_p \left( \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c + Z_m} \right) \right\} = - \frac{Z_c Z_m}{Z_c + Z_m}$$

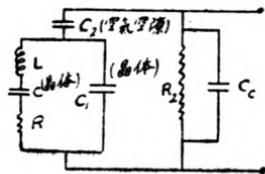
$$\frac{u_p}{Z_m \left\{ 1 + r_p \left( \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c + Z_m} \right) \right\}} = - \frac{Z_c + Z_m}{Z_c Z_m} = - \frac{1}{Z_c} - \frac{1}{Z_m}$$

$$\therefore \frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_m} + \frac{u_p}{Z_m \left\{ 1 + r_p \left( \frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c + Z_m} \right) \right\}} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

設將  $\frac{1}{Z_c + Z_m}$  一項略去不算，則

$$\frac{1}{Z_c} + \frac{1}{Z_m} + \frac{u_p}{Z_m \left( 1 + \frac{r_p}{Z_b} \right)} = 0 \dots \dots \dots (5)$$

由(5)式可推得第十六圖之等值線路



第十六圖

而  $L, C, R, C_1$  為晶體之電感、電容及電阻

$C_2$  為空氣隙之電容

$R_2$  為柵漏電阻

$C_c$  為柵絲間電容及其他平行電容之總量

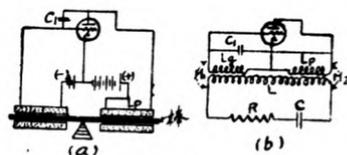
由第十六圖可知晶體之等值電路，實為一平行諧振路，相當於普通振盪器之振盪線

路，故依上節之步驟，亦可求得其振盪頻，及發生振盪之條件。

### (3) 磁伸縮振盪器 (magnetostriction Oscillator)

通常之振盪器，可以一振動之磁棒，與電路相結合，並利用磁伸縮作用，使電路與機械振動發生關係，如此者，振盪頻之穩定度可以增高。所謂磁伸縮者，物體受磁場之影響而生伸縮，同時物體之內部生相當之引力 (Stress)；且其作用在反方向亦可成立。故磁伸縮物體之機械引力，亦可將磁透性變動。有磁伸縮性之物體者，為蒙鋼 (Monal metal)，鏡因鋼 (Invar) 及其他合金。

將磁伸縮物質製成棒狀後，放置於一通過交流電之線圈中，如十七圖所示，而另有剩餘磁性或永久磁石，或線圈中通過直流之不變磁場，其棒即隨交流電頻而生伸縮振動，忽長忽短，在供給之交流電頻與棒之機械諧振頻相近時，則其振動度甚大，以電路之見解而論，此類振動棒實等於一電路與棒之諧振頻調諧，而復與通過交流電之線圈相交連，也故十七(a)圖之線圈及磁伸縮振動棒，即等於十七(b)圖之等值電路，在此圖中以次線圈  $L-C-R$  替代振動棒。



磁伸縮振盪器之常用線路如十八圖所示。此裝置與哈脫來氏線路相似，用磁伸縮棒與柵極及屏極之電感量相交連，所異者，屏極與柵極線圈之接法，使兩線圈間之相互電感，對抗振盪之發生，所以若將磁伸縮棒擯去，其振盪隨即停止。十八(a)圖線路之性質，依據振動棒為諧振線路而與柵極屏極之電感相交連之情形，可化為十八(b)圖之等值線路，棒與二電感藉  $M_1$   $M_2$  之互感與  $L_p$   $L_g$  間相交連，其交連之方向，使電容器  $C$  將串接路  $C_1$   $L_g$   $L_p$  與高頻調諧，在此頻與棒之諧振頻相近似時，可支持磁伸縮棒所發之自身振盪，經過相當之調節，使適在棒之諧振頻之中心，則振盪器所發之頻，幾全由振動棒決定，線路調節所生之影響甚少，甚至調諧電容器  $C_1$  之變動亦無多大影響。

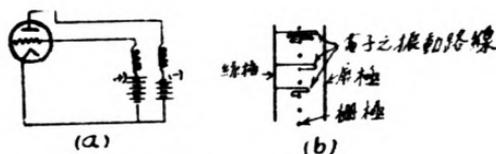
磁伸縮振盪器之有用頻範圍，約自最低極限 (Lower limit) 壹仟週至最高極限 (upper Limit) 數百仟週。故磁伸縮振盪器，却好填補音叉控制之最高頻與晶體控制之最低頻間之空隙。

## VII 特種振盪器

## (1) 電子振盪器 (Electronic Oscillator)

用再生式所發之短波，有一最低極限，因在高頻時，電子經過電極間之時間，將反較每週之時間為長，至此情形，則柵之相關係 (Phase relation)，及屏極之交流電壓均覺不足。普通真空管再生式所發波長之最低極限，約一米，但其振盪電流已太小，僅足供試驗上測定而已。

若欲得較短之電波，可用電子振盪器，此器為培克好烏孫氏 (Barkhausen) 所發明，故亦名培克好烏孫氏振盪器，其法使柵極之電壓常為正值，普通約 100 至 200 伏，屏極之電壓為小值之負數，如十九圖所示。在此種裝置下，



第十九圖

因柵電壓甚高，故絲極附近之空隙電子 (Space Charge) 較少，電子自絲極放出，即被柵電壓吸引而離絲極，惟速度甚高，故往往穿過柵極，繼續向屏極進行，隨後又被柵極吸回，或再穿過柵極，向絲極進行，以是電子在最後被吸至柵極之前，常以柵極為中心往返振盪，如圖所示，故曰電子振盪器。各電子在柵極振盪之頻，以電子經過柵極之速度定之，換言之，即由柵極電壓之高下而定，然與屏極之直徑，亦有關係，其方程式為：

$$\lambda = \frac{1000d_s}{\sqrt{E_g}}$$

而  $E_g$  = 柵電壓 (伏)

$d_s$  = 屏極之直徑

此時屏極電壓與柵極電壓均為零

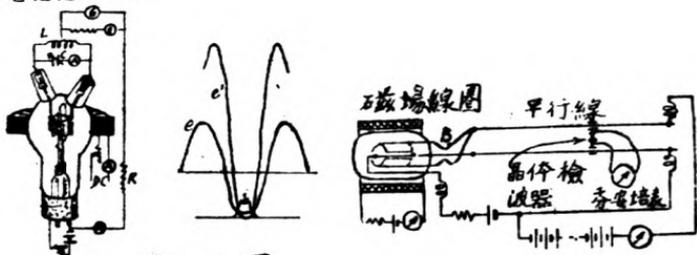
此種振盪器所發之電波約自 30 cm 至數米突，但用特種真空管而在適當

情形之下，可發 10 cm 之電波，即相當於每秒 3,000,000,000 週

### (2) 電磁管 (Magnetron) 振盪器

用一屏極為圓柱形，而絲極為直線，且在屏極之中心之二極管，置於磁場中，而磁場之方向，與圓柱之軸成平行，則此管即可發生振盪，曰電磁管振盪器。在磁場強度超過臨界值時，管中無電流通過，因絲極所放射之電子，為屏極所吸引而成一圓形軌道，其直徑較屏之直徑為小。但在實驗上有時可以熱線安培表 (Hot-wire Ammeter) 測得管中之剩餘電流，此即顯見有高频電流存在。

若將圓柱形之屏極，與圓柱軸平行，分為二或較多之部分，為此類振盪器最有效之改進法。每一部分均用引線接至管外，此種引線在管外集合，惟不能互相接觸，至 B 點則與絲極相接合，如二十圖所示；自 B 點後則均接至屏極電池之正端。



第二十圖

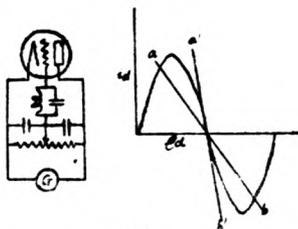
每一屏極部分與外引線似乎成一諧振線路，故變動引線之長短，及部分 (Segment) 電容量，則諧振線路之本身頻亦隨之而變動矣。

### (3) 電力管 (Dynatron) 振盪器

電力管振盪器之作用，至今尚無一可靠之數量定律，足以說明，但其性質，可以二十一圖表之，其中有一特定區域，電壓反因電流之減少而增加，此即相當於負電阻，與再生式線路相似，故能發生振盪，在二十一圖所示，用一電位表 (Potentiometer) 將電力極 (Dynode) 與負電阻之中心接合，平行調

諧線路亦爲此類振盪器之重要部分。若調諧線路之等值電阻等於或大於特性曲線在偏壓 (bias Potential) 點代表負電阻之傾斜角 (Slope) 時，即能發生振盪。設振盪線路之等值電阻大於特性曲線代表負電阻之最大傾斜角時，則振盪幅逐漸增加，直至損耗等於電力管所得之電力，亦即電流平方與負電阻之乘積等於電流平方與線路電阻之乘積。

觀二十一圖之特性曲線，其  $ad$  線用以表示有損負時電流與電壓之關係，在此線上電力管之輸出，不能大於線路之損耗，設電阻小於特性曲線所表之負電阻時，其損負電阻特性可以  $a'd'$  表之。此線與管之特性曲線祇有一交點，則交點甚爲固定，故無振盪發生。



第二十一圖

### VIII 結 論

自短波無線電發明後，所用之波長甚短，而頻因與波長成反比例而增加，以前所用之高頻交流發電機，已不能滿足實用上之要求，因環境之需求，各種真空管振盪器遂應運而生。但近數年來，超等短波 (ultra-Short-Wave) 之研究，逐漸成功，其所用之電波更短，最長者僅數 cm，而頻因之愈高，通常之真空管振盪器，又不足以應其要求，非另覓途徑不可，於是電子振盪器及電磁管振盪器，相繼而發明。此固自然之趨勢，亦爲科學進步之必由途徑，然一般無線電家之孜孜研求，不畏艱難，殊足爲我後學者所景仰，而宜勉勵，且深信最近之將來，必有更新更進步之振盪器，繼續發明，以解決目前所不能解決之要求，可斷言也。

# 複極真空管之原理<sup>\*</sup>(上)

Theory of Multi-Electrode Vacuum Tube

作者——辟德強(H.A. PIDGEON) 譯者——邱 偉

三極真空管，引用於電信界，或作其他之用，雖受多少顯明之限制，然直至最近幾年，於應用上，仍極適宜。較之其他已知之物具，優越良多。然以事實之需要，企求能有大電力輸出，而效率高，偏變小，獲得大；能作高週波之放大，而週波之選擇性強。為使能適應此等需要，因而研求真空管之改良，乃見必要矣。其法若何，即減少其限制之原因，與夫多於三極之真空管之孕育是也。

此篇之目的，乃欲將複極真空管之作用，及其特性之物理原理，作簡單之敘述。至目前所有之各式複極管，不擬詳細討論，篇中亦無甚新穎材料，有讀者已深明三極管之物理原理，特性，及其作用，惟對具有較複雜之組織者，稍欠了解，作者之意，不過欲將斯篇貢獻於此種讀者已耳。

複極真空管，為簡便計，可分為兩類：具有作三極管所不能有之作用為目的者，其一也；因減少三極管所受之限制，使對其作用，更能勝任愉快者，其二也。第二類包括增加管極之組織，依各極所加之電壓，及其使用之情形，同時為數種之工作，或以兩種以上之方法，完成其任務。之篇所述，不及於第一類。

## 真空管方程式之基本定義

不論複極真空管，屬於何型，至任何電極之極間電流，可以加於各極之電壓之函數表之。然在複極管或其一部之使用中，僅兩極之電壓，及其對應之電流，乃被計及，而他極之電壓，則保持一定之數值。此兩極中之一極，常保持其負值工作電壓者，接於輸入電路，為「控制電極」之作用，保持正值電壓（對陰極而言）之他一極，為陽極，或電子之收集者之作用，乃接於輸出電路。

正如三極管然，因控制柵極電壓之變動，而起之陽極所集之電流之變動，乃為複極管特性研究之對象。

此種陽極電流或屏流，可以各極電壓之函數表之，有如下之方程式：

$$I_p = f(E_p, E_{g1}, E_{g2}, E_{g3}, \dots) \quad (1)$$

其中  $E_p$  為屏極之工作電壓， $E_{g1}, E_{g2}, E_{g3}, \dots$  為各柵極之工作電壓 1, 2, 3,  $\dots$  表從陰極向外數之柵極次序。屏流之變動，第二次項以上不計，可列如下式：

$$dI_p = \frac{\partial I_p}{\partial E_p} dE_p + \frac{\partial I_p}{\partial E_{g1}} dE_{g1} + \frac{\partial I_p}{\partial E_{g2}} dE_{g2} + \frac{\partial I_p}{\partial E_{g3}} dE_{g3} + \dots \quad (2)$$

(2) 式中之偏微分係數為電導之物理的大小。(Physical dimension)。如以  $S$  表之，并註以專用指標於其下，則可重書為：

$$dI_p = S_{pp} \cdot dE_p + S_{p1} dE_{g1} + S_{p2} \cdot dE_{g2} + S_{p3} \cdot dE_{g3} + \dots \quad (3)$$

複極管之屏電導  $S_{pp}$  之定義，一如三極管者，為對屏壓之屏流變率；即其他各極之電壓不變時，在選定之工作點上之屏流——屏壓特性曲線之斜坡是也。在此情形之下，由 (2) 及 (3) 式

$$\text{屏電導} = \frac{\partial I_p}{\partial E_p} = S_{pp} = S_p \quad (4)$$

顯然，屏電阻亦可如三極管者，下一定義如下：

$$\text{屏電阻} = R_p = \frac{1}{\frac{\partial I_p}{\partial E_p}} = \frac{1}{S_p} \quad (5)$$

同樣，複極管之控柵與屏極之相互電導，如三極管者然，可下定義為：因控柵電壓之變動，而起之屏流變動率；即除控柵外各極之電壓不變時，在工作點上，屏流——柵壓特性曲線之斜坡是也。

在簾柵四極管 (Screen-grid tetrodes) 及五極管中，鄰於陰極之柵為控柵 (Control grid) 故相互電導由 (2) (3) 式下一定義為：

$$\text{相互電導} = \frac{\partial I_p}{\partial E_{g1}} = S_{p1} \quad (6)$$

在空間電荷四極管 (Space-charge tetrodes) 及五極管中, 鄰於陰極之柵極, 保持其一定之正偏電壓, 而第二柵極則為控柵之作用, 故其相互電導為:

$$\frac{\partial I_p}{\partial E_{g2}} = S_{pg} \quad (7)$$

同理, 計及複極管之控柵 (假定為第一柵極) 及輸出電極, 則其放大因數, 如三極管然, 可下定義為相互電導與屏電導之比率, 以式表之, 為

$$\text{放大因數} = \frac{\partial I_p}{\partial E_{g1}} \cdot \frac{\partial E_p}{\partial I_p} = u_{pg}, \quad (8)$$

或設  $E_{g1}$  及  $E_p$  變動, 使  $I_p$  不變, 則放大因數可以普通式表之:

$$u_{pg1} = - \left. \frac{dE_p}{dE_{g1}} \right]_{I_p = \text{常數}} \quad (9)$$

合併 (5) (6) 及 (8) 式得

$$\text{相互電導 } S_{p1} = u_{pg1} / R_p \quad (10)$$

一如三極管者, 如  $g_2$  用為控柵, 以完全相似之方程式引用之。

顯然, 複極管中, 其他電極之電流可以極壓函數表之, 如 (1) (2) 式。此種方程式之各種微分係數, 其定義為相互電導, 極電阻, 及放大因數 (或反射因數), 與上所引者相似, 因在者篇中, 此種數值, 不被引用, 故不再伸引, 加於控柵之電壓, 以  $E_g$  表之, 不論作此用者為何柵, 而加於控柵及屏極之相互電導, 及放大因數則各以  $S_m$  及  $u$  表之。

設負載電阻  $R$  加於複極管之屏極電路, 又設除控柵及屏極外, 其他各極之電壓保持不變, 則 (3) 式簡化為:

$$dI_p = S_p \cdot dE_p + S_m \cdot dE_g = \frac{1}{R_p} dE_p + \frac{u}{R_p} dE_g \quad (11)$$

在此情形, 唯一之主變數為  $E_g$ , 而  $E_p$  乃因負載電阻  $R$  間之電降變動而變動, 而電降之變動, 又根源於變動之柵壓所生之屏流變動, 結果

$$dE_p = -dI_p R \quad (12)$$

(12) 式代入 (11) 式并簡化之

$$dI_p = \frac{u}{R_p + R} \cdot dE_g \quad (13)$$

(13) 式於有彎曲性之特性之真空管，則僅限於  $I_p$  及  $E_g$  之變動無窮小時，方可施用，事極顯然。惟複極管之輸出量，如三極管然，可以電極之有限壓變 (finite voltage variation) 之幕級數表之；級數之係數，為靜特性之函數。設  $I_p$  及  $E_g$  之有限變動，各表以  $i_p$  及  $e_g$ ，則輸出電流，可以下表之（及於第一次項）

$$i_p = \frac{u}{R_p + R} e_g \quad (14)$$

斯式與表三極管之輸出電流之式等。

設  $e_p$  表在負載電阻間之變動電壓則電壓放大率為

$$A_v = \frac{e_p}{e_g} = \frac{i_p R}{e_g} = \frac{R}{R_p + R} \cdot u \quad (15)$$

此式可重書如下式，將更有用，後可知之：

$$A_v = \frac{R_p \cdot R}{R_p + R} \cdot \frac{u}{R_p} = \frac{R_p \cdot R}{R_p + R} \cdot S_m \quad (16)$$

複極管之電氣參數 (Electrical parameter) 及輸出電流，由前數式所下之定義，受限於在除屏極及控柵外，其他各極之電壓保持不變之情形下，不可不注意及之。而適當的使用複極管於電路中，此等條件，必須履行在每一枝路中之交流抗阻，亦須極小，欲達此目的，在實際上，依交流電以觀，可將各極，中經相當大之電容，接於地氣 (Ground)。

由上所分析者以觀屏阻，相互電導，及放大因數之定義，用於三極管者，加以相當之解釋，亦可用於複極管，事極顯然。而且輸出電流及電壓放大率，亦可以同式表之。事實上此等數值，乃以靜特性之係數表之；即依在工作電壓上，靜特性之斜坡而定，非依靜特性之形狀而定者也。然複極管靜特性之形狀，與三極管者有別，後將以圖示之。此種差別，於決定電氣參數大小之不同，及使用真空管及於特性之大部分時所生之偏變 (distortion) 之性質及多少各異，極其重要。

在複極管中，如三極管然，由陰極曳出之極間電流 (Space Current) 之總量，由電極所生之總電場，能克服由空間電荷 (Space charge) 所生之電場，至如何程度而定。當空間電荷達於極間時，在低電子速度區內，聚集較厚，其影響，在他區中，常略而不計。除空間電荷極管及少數特別真空管外，僅限於近陰極面較稀之空間電荷，乃見重要。結果極間電流之總量，大部由電極所生之總正值電場，能中和由空間電荷所生之鄰近陰極面之負值電場，至如何程度而定。此種事實之重視，對複極管之了解，至關鉅要。

#### 簾柵四極管 (Screen-grid tetrodes)

利用已證明亦可用於複極管之三極管之簡單原理，複極管之特性，可以接踵而加以分析矣。因此，簾柵管乃被選為例，蓋此可解釋各種複極管之多種特性故也。

經屏極與控柵間之直接電容，「電能」由屏極回饋於輸入電路，此管之目的，乃在減少此電容。在三極管中，屏極與控柵間，加一靜電絕蔽物 (Electrostatic shield) 以達此目的。以細密之網，或以密繞之柵形組織為簾，使電子流能通過而達於屏極，簾必須保持在某一定之電壓 (對地氣而言) 上，收其成效。

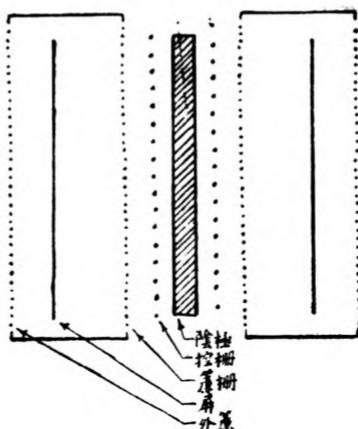
此種管各極之排列，示於圖 (1)。屏外之簾，為使屏極與從柵極而來之端，完全靜電絕緣，以減少兩極間之電容，至最小限度；此外，並無其他作用，因其於管之靜特性，並無若何影響也。

典型簾柵四極管之通常特性，示於 (2) (3) 及 (4) 圖。其絕蔽作用，非常完全，屏極與控柵間之直接電容，減小至無簾時所存在者之千分之幾。

圖 (2) 之特性，請先行研究。因屏極與柵間之直接電容極小，故在控柵附近之電場，為任何值之屏壓，所產生者亦極小。陰極與屏極之距離，依電氣言之，較與控柵之距離更遠；蓋陰極與屏極，不僅為簾極所絕蔽，且亦為控柵所絕蔽也。其結果，使由屏壓所生在陰極與控柵間之電場，甚至小於控柵上所生者，小至可略而不計。因極間電流之總量，幾全由密接於陰極面之電場

決定之，如上所論在此情形之下，屏極對由陰極曳出之極間電流之總量，實際上並無影響，由圖(2)中之曲線，表極間電流之總量  $I_1$  者，可以見之。此等曲線極平，幾完全與屏壓之變動無關。

圖 1



因此，簾柵管之屏極，全作不活動之角色，僅為收集簾極前進而來之電子之用，其餘極間電流，

由簾極收集之，屏極與簾極電流之總和，不因屏壓變動而變動，乃保持一定。

在複極管中，極間電流分向兩個以上之正極，其比率之決定，為三極管原理中所無，粗計之，可假定當其電壓近於相等時，屏極與簾極電流之比，與簾之空隙及其邊線所佔之面積之比成正比，且也，當屏壓增加（對簾極而言）時，其比率可想見將漸次增加；蓋屏極有曳較多之電子經過簾極之傾向故也，此種影響，簾之細密者較粗疏者為小。

屏流——屏壓特性曲線，當屏壓高於簾壓時，必甚平坦，由簡單原理中，可以想見，故屏電導為  $S_p = \frac{\partial I_p}{\partial E_p} = \frac{1}{R_p}$  較之三極管者必極小，而屏阻為  $R_p = \frac{1}{\partial I_p / \partial E_p}$  必極大，且隨簾柵之細密程度而增加，圖(2)之屏流曲線在較高之屏壓時與此簡單原理，大體相符，雖其平坦程度，不若原理中所相見者，此種原因，及在 100 伏脫附近急速降落之理由，後當討論及之。

刻先單獨提出，簾柵管之極高電阻，似為極大害處，由(14)式真空管可以認為與發電機相似，其電動力為  $ue_{g1}$ ，內電阻為  $R_p$ ，工作於外路負載電阻  $R$ ——一具有極高內電阻之發電機，此不致危及其用場，其故安在，後將

指出之。

簾柵管之屏流，當屏壓高於簾壓時，幾於屏壓無關，而當屏壓為低值時，則顯然不復如此。屏壓為零時，屏流必為零。在此時，簾極收集極間電流全部， $I_s = I_t$ 。當屏壓從零增高，屏流必急速增大，可以想見，而簾流則相當的減小，蓋屏極收集穿過簾極之電子增多也。然當屏極電壓為少許正值時，有阻止屏流急劇增加至其常值之二因子在，其一為屏極緊鄰之空間電荷，此為經過簾極，達於屏極附近，其速度為零而回至簾極之電子所產生，其中多少，在未被簾極攝取前，完成簾間往返振盪數次，其二為多數電子因簾邊線之強電場而偏改其正常軌道，由是而生電子之與屏面垂直之分速度之大差異，且因此，在未回至簾極前，電子進向屏極之軌道距離亦大異，結果，屏極，在未攝取所有穿過簾極之電子前，對陰極而言，已增加正值電壓幾伏脫，此因子較為重要，空間電荷之影響，常被其遮掩而不著。

由此簡單原理，屏流與簾流之曲線，必有如圖(2)所示之理想曲線之形狀，概可想見，顯然，簾流曲線必為屏流曲線之補充者；蓋兩電流之總和為常數也。

在從幾伏脫至稍高於簾壓之範圍中，理想曲線與實際之曲線，其差別緣因次級電子發射(Secondary electron emission)之現象，當電子以相當於好幾伏脫之速度，打擊金屬面時，其他電子即稱次級電子者，即離面而出，如此離出之電子，其數量之變動，不僅視初級打擊電子(Primary bombarding electrons)之速度，且視金屬面之性質，被吸氣體之數量，金屬面上之雜質，及其他因子而定，如此離金屬面而出之電子，其數量或且超過打擊此類電子之初級電子之數量，如此，則金屬面之純淨電流為負值，次級電子之速度，變動極大；少數能有幾近於初級電子之速度，惟多數則僅有相當幾伏脫之速度。

簾柵管中，屏壓從5伏脫至10伏脫間，由屏極游離而出之次級電子，其數量不少，不能忽計，屏壓增高時，亦相當增多，當屏壓低於簾壓時，現例為75

伏脫,次級電子由屏極被曳出而至簾極,因而簾流增大;其增大量,為屏流之減小量,當屏壓達與簾壓相等時,除具有相當速度發射而出之次級電子外,其餘不復由屏極逃至簾極,結果,屏流急速增加至正常數值。

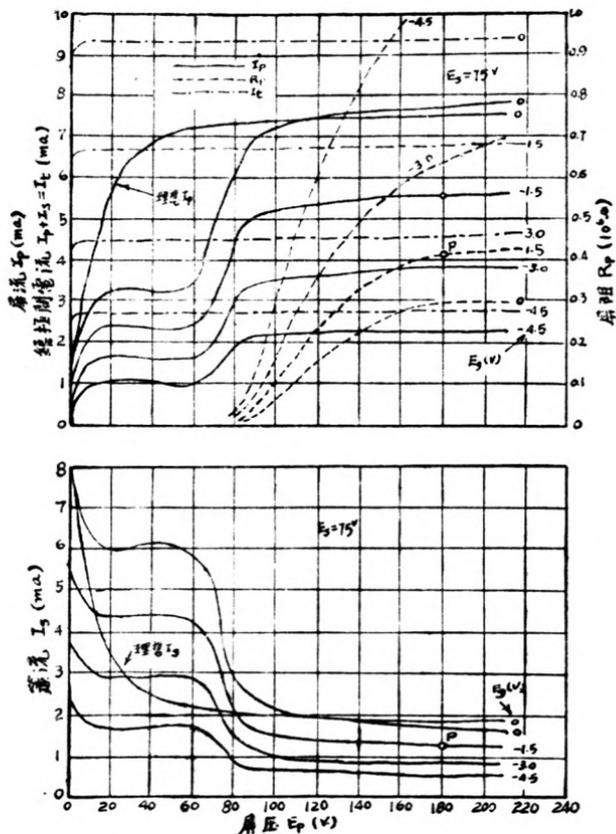


图 2

當屏壓高於簾壓時，由簾極發射而出之電子，被曳入屏極，因而，此時，屏流較若無此等由簾極發射而出之電子時稍大。在 75 伏脫時，屏流之曲線，所以徐徐而不急速升高者，緣次級電子發射時之速度分散，亦多少因受在簾極線面之空間電荷及電場之強度及分佈之總影響。

簾柵管正常之工作情形，為  $E_p = 180$  伏脫， $E_s = 75$  伏脫， $E_g = -1.5$  伏脫，其特性示之於圖 (2)。在圖 (2) 中之工作點 P，屏流為 5.5 千分安培，而屏阻為 400,000 歐。工作範圍，限於特性之平坦部分。設使用此管使屏壓旋盪 (Swing) 度極大，足於使屏壓之瞬間值 (Instantaneous value) 伸入屏流急速降落之範圍，其輸出必生嚴重之偏變，此為簾柵管重要之限制；蓋需要工作屏壓，高於簾壓多多也。如何除去此種限制，後將言及，須加一附加電極。

表因屏壓而變動之屏阻之曲線，示之於圖 (2)。屏阻隨屏壓而降低；當屏壓降落近於簾壓時降低極其急速。屏阻曲線表屏流曲線之平坦程度。屏流曲線不如總極間電流平坦，屏阻之數因而而不為無窮大，不過趨於無窮大而已。其故有二：一因簾極發射而出之次級電子，二因屏流與簾流之比率，隨屏壓增高而增大。曳入屏極之初級極間電流之百分率，隨屏壓增高，實緣數因子，包括簾極空隙及導體所張之面積之比率，簾極上之電場強度及分佈，抵簾極之電子之速度及其方向分配，與夫在此附近之空間電荷之影響。至其關係若何，尙昧然不能定。

如此，在任何工作電壓，屏阻及放大因數之大小，大部由與管之設計及其幾何形無直接關係之因子而決定。此種情形，引人注目。在三極管中，電阻及放大因數俱直接決定於幾何的尺寸，及電極之排列；簾柵管則迥然不同。

電氣參數之多寡，顯然隨極數而急速增加。圖 (2) 之曲線，相當於三極管之通常屏流——屏壓之特性，係保持簾壓於 75 伏脫不變，為一定參數而求得者。為求得完全之特性圖表，當須求得在各種簾壓時之曲線族，保持  $E_s$  於 90 伏脫之一附加特性族，示之於圖 (3)。

因為，就總極間電流而言，簾柵管之屏極，對此無若何影響，吾人可視為，

屏極已從組織中移出然，僅研究其餘各極足矣。陰極控柵及籠柵乃可認如三極管之構成者。保持籠壓正值，籠極能代普通三極管屏極之任務，即能供給所需要之電場，以使極間電子克服空間電荷所生之阻力而流。若籠極電壓不使變動，此項工作，不受閉閉作用之影響。電極能產生驅動極間電流之電場而其電壓不變，不似三極管者，隨作用週波而變動。此於效率上，誠為一實在優點。

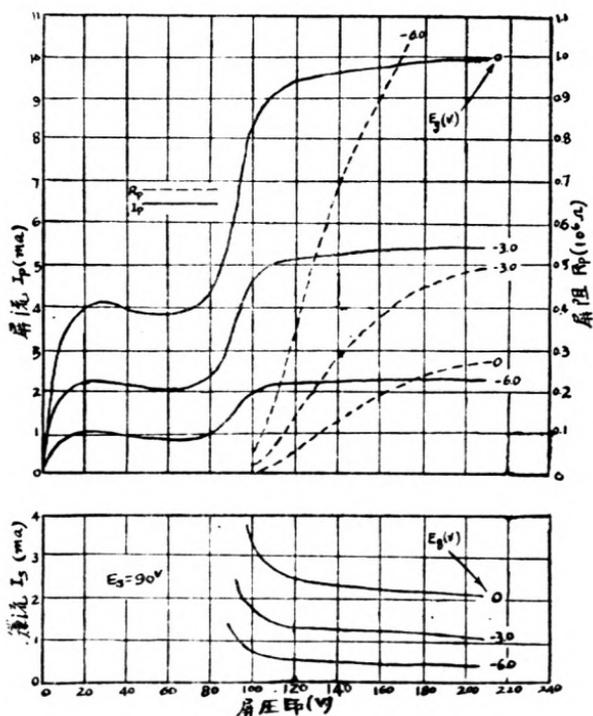


圖 3

用於三極管之通常設計原理及方程式，亦可用於簾柵管，使極間尤其陰極與控柵間之距離短狹，可得一高相互電導，以附標  $t$  表總極間電流則相互電導  $S_t = \partial I_t / \partial E_g$ ，並與有同樣尺寸之三極管者有同值，設  $f$  表如屏壓高於簾壓時，穿過簾極空隙而為屏極所收集之總極間電流之成數， $f$  加以相等之設計，可使之大，在正常工作範圍內，約從 0.7 至 0.9。由控柵至屏極之相互電導為

$$S_m = \frac{\partial I_p}{\partial E_g} = f \frac{\partial I_t}{\partial E_g}$$

為三極管相互電導之正常值之 0.7 至 0.9。

三極管之放大因數  $\mu$  為

$$\mu = \frac{\partial I_p}{\partial E_g} / \frac{\partial I_p}{\partial E_p} = S_m R_p \quad (17)$$

因相互電導  $S_m$  其值與三極管之正常值相差無幾，且  $R_p$  非常之大與  $R_p$  成正比之  $\mu$ ，亦必極大。參看 (14) 式，及其與發電機方程式相似處，可見不論簾柵管認為有如何高值之內電阻之發電機，因其同時有極大之電動力  $ue_g$ ，故能有正常之輸出。

從根據三極管之簡單原則而作簾柵管特性之分析中，保持一定之屏壓，高於簾壓者，如畫總極間電流及屏流為控柵及簾柵之電壓之函數，其各族之特性，與通常三極管者，非常接近，可以想見。且可想見表總極間電流之曲線族，實際上與亦屏壓變動而變動，屏流曲線族顯示因屏壓（倘  $E_p$  高於  $E_g$ ）而僅有少許變動，依  $I_p$  與  $I_s$  之比率變動多寡而定。

如此之特性，示之如圖 (4)。其與三極管相當之特性，的極接近，可以見之。  $I_t$  曲線，因屏壓而僅有少許變動，其變動之小，致在  $E_p = 135$  伏脫，與  $E_p = 180$  伏脫所得之特性族，在曲線之寬度內相合。屏流曲線顯示因  $E_p$  而有小變動，如前所論。

保持簾壓於一定值，75 伏脫，在四不同值之柵壓時，其相互電導及放大

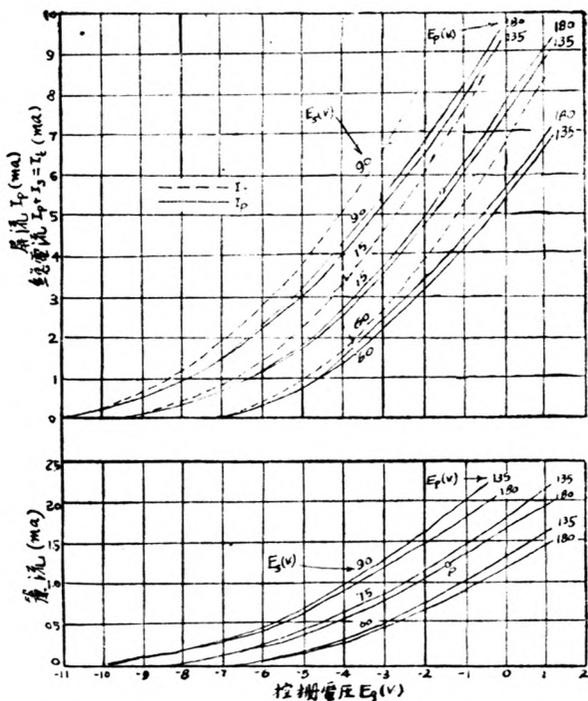


圖 4

因數，為屏壓之函數，示之於圖(5)。在正常工作點 P，相互電導為  $1375 \times 10^{-6} \frac{1}{\Omega}$  而放大因數為 550。此等曲線之形狀，為簾柵管及五極管之曲線典型。在其正常工作範圍中，相互電導之曲線，其平坦程度，約如屏流曲線研究圖(4)中之屏流曲線。可以想見其為如此。因此等曲線，因屏壓之變動而稍有變動，其斜波，或相互電導亦僅有少許變動。其放大因數曲線之形式，與圖(2)中屏阻曲線極相似。從(17)式中，即可知之，蓋  $S_m$  幾不因  $E_p$  度而度，而  $\mu$  則

必與 R 依樣變也。

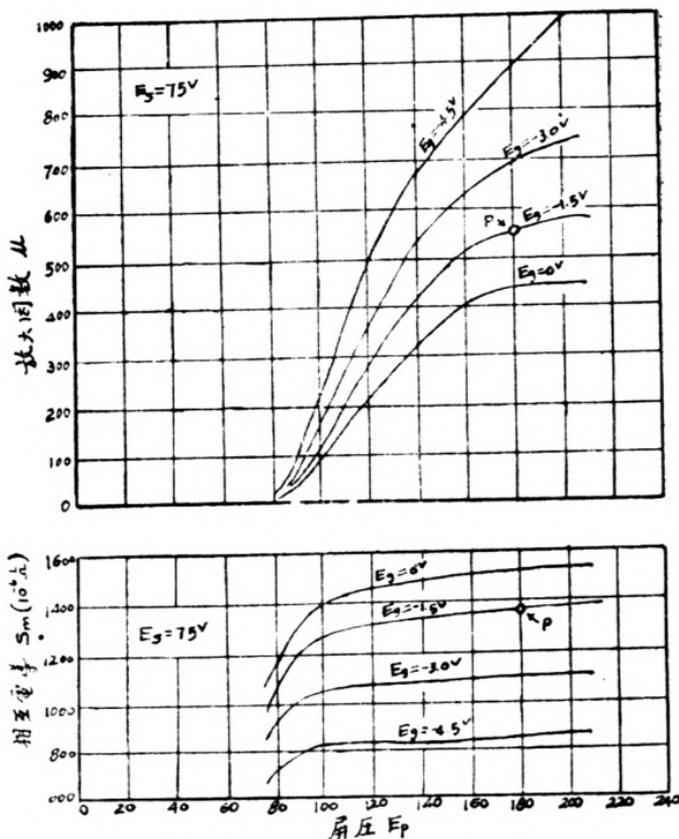


圖 5

保持屏壓於一定值 180 伏脫，及在三不同值之籠壓時，其相互電導，屏阻及放大因數為籠壓之函數，示於圖 (6)。此等曲線亦為許多複極管之曲線典型。相互電導曲線之形狀，與三極管者相同，由圖 (4) 之屏流曲線，可以想見。屏阻曲線之形狀，與三極管者相似；惟因增加負值籠壓而升高較快，放

大因數曲線之形狀，則與三極管者完全不同，因增加負值柵壓而升高，而在三極管中，放大因數則因增加負值柵壓而降低，其差異之理由，為在許多複極管中，超過正常工作範圍，屏阻因屏流減少而增高，較之三極管者為快。在足夠大之負值柵壓及極小屏流時，放大因數曲線常至最高點，然後急速下降，如三極管然。

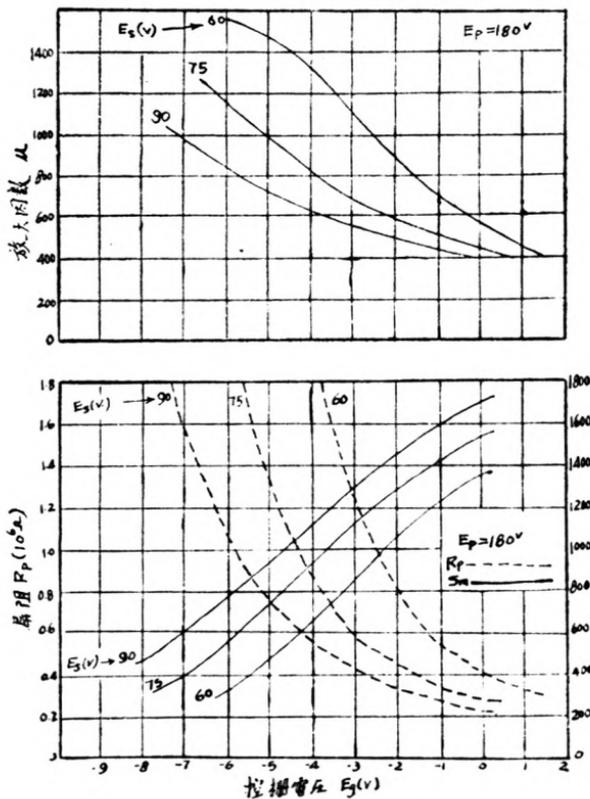


圖 6

在使用三極管為電壓放大時，加以對屏阻言，大外路負載電阻，常常可能。研究(15)式，可知其結果使電壓放大率趨近放大因數。在使用簾柵管時，使用五極管亦然，其屏阻高，故常需要負載電阻，較屏阻小甚者。此種限制，為電路聯繫 (Circuit Coupling) 需要及有時為在電力輸出中許時之泛波 (Harmonics) 量之限度而設。結果，放大率小於放大因數甚多。雖然如此，較三極管者為高之放大率，仍能獲得。研究(16)式，可以明白。(16)式可書如下式：

$$A_v = S_m \times \frac{R}{1 + \frac{R}{R_p}} \quad (18)$$

因在簾柵管及五極管中， $R/R_p$  小，故電壓放大率，其近似值為：

$$A_v = S_m R \quad (19)$$

現在所比較之三極中，其相互電導可以  $S_m$  較，且可假設負載電阻能與  $R$  較；但三極管之  $R/R_p$  比率不小，并可大於 1。因此由(18)式，三極管之放大率結果較小。

在簾柵管中，因靜電簾之存在，使屏阻及放大率數高，業已述明；然對  $R_p$  之比率 (相互電導) 保持正常數值。此種真空管有高放大率，且用適當之聯繫電路，較不受回饋 (Feed-back) 之影響；但受工作範圍之限，緣在屏流—屏壓特性上，因屏極之次級發射而有曲摺也。

# 直流電樞中之電容現象與自由周期

程 祖 憲

摘要 本篇簡述靜電容及動電容相似之現象，與差複捲電機之不穩定學理而以數學方法證明之。

## 引 言

當自由轉動於強度不變磁場之線圈，受交流電壓作用，常呈巨大之電容量斯威普尼(Swinburne)及加波(Kapp)已為我人道及，然此電容量，固不僅因電壓為交流而存在，即直流亦有同樣結果，證之於後。

令直流電樞之感應因數為M，及電阻R，則得下列二式：

(感應因數 =  $\frac{4\pi ZP}{n_1 10^8}$  至為每磁極發生之磁線，Z為電樞面上之有效導線，P為磁極數，n為並接線路，普通均視此因數為常數。)

$$E = aM \frac{d\theta}{dt} + Ri = Ea + Ri \dots\dots\dots(1)$$

$$bMi = I \frac{d^2\theta}{dt^2} \text{ 或 } i = \frac{I}{bM} \frac{d^2\theta}{dt^2} \dots\dots\dots(2)$$

以(2)代入(1)得  $E = aM \frac{d\theta}{dt} + \frac{RI}{bM} \frac{d^2\theta}{dt^2} \dots\dots\dots(3)$

以運算微積記號表之  $E1 = aM P\theta + \frac{RI}{bM} P^2\theta \dots\dots\dots(4)$

解式(4)得  $\theta = \frac{E1}{P \left( aM + \frac{RI}{bM} P \right)} = \int_0^t \frac{E1}{aM + \frac{RI}{bM} P} dt \dots\dots\dots(5)$

$$\begin{aligned} \text{令 } \theta' &= \frac{E}{aM + \frac{RI}{bM}P} = \frac{E}{\frac{bM}{bM}aM + \frac{RI}{bM}P} = \frac{E}{\frac{1}{abM^2} \left( \frac{1}{IR} + P \right)} = \frac{E}{\frac{RI}{bM} \left( P + \frac{abM^2}{IR} \right)^{-1}} \\ &= \frac{E}{aM} \left\{ 1 - e^{-\frac{abM^2}{RI}t} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{故 } \theta &= \int_0^t \frac{E}{aM} \left\{ 1 - e^{-\frac{abM^2}{RI}t} \right\} dt \\ &= \frac{E}{aM} t + \frac{IR}{abM^2} e^{-\frac{abM^2}{RI}t} \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

$$\text{因 } \theta' = \frac{d\theta}{dt} = \frac{E}{aM} \left[ 1 - e^{-\frac{abM^2}{RI}t} \right]$$

$$\text{代入式(1)得 } E = aM \times \frac{E}{aM} \left[ 1 - e^{-\frac{abM^2}{RI}t} \right] + Ri$$

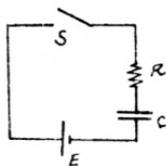


圖 1

$$\therefore i = \frac{E}{R} e^{-\frac{abM^2}{RI}t} \dots \dots \dots (7)$$

圖 1 為一電容器 C 與一電阻 R 串接於 E 電池之兩端，當電鍵 S 關上，其電流為 i，故得下式：

$$E = Ri + \frac{1}{c} \int i dt \dots \dots \dots (8)$$

以運算微積法求 i 之值

$$i = \frac{E}{R + \frac{1}{pc}} = \frac{pcE}{pRC + 1}$$

$$\text{令 } y(P) = pc, \quad Z(P) = pRC + 1 = 0 \quad \therefore P = -\frac{1}{RC}$$

$$\frac{dZ(P)}{dP} = RC, \quad P \frac{dZ(P)}{dP} = RC \times \left( -\frac{1}{RC} \right) = -1$$

$$\text{故 } i = \frac{Ey(P)}{Z(P)_{P=0}} + \frac{CEy(P)}{P} \frac{e^{pt}}{dz(P)}$$

$$= 0 + \frac{CE \times \left( -\frac{1}{RC} \right)}{-1} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$= \frac{E}{R} e^{-\frac{1}{RC}t} \dots\dots\dots(9)$$

若以(7)式與(9)式相較,其關係頗為明顯,如令

$$CR = \frac{RI}{abM^2} \quad \text{或} \quad C = \frac{I}{abM^2}$$

則上列二式毫無差異,故就動力學言之,可視  $1/abM^2$  為此線路上之“等量電容。”

上述兩種現象,實就直流電壓  $E$  言之,今若以交流電壓  $E \sin \omega t$  加於電樞,則其作用又若何耶?

$\omega$  = 向量 e. m. f. 角速率單位為每秒鐘所經之弧度。

$t$  = 離起點  $O$  所需之時間,單位為秒。

同理,可得下列二式:

$$aM \frac{d\theta}{dt} + Ri = E \sin \omega t \dots\dots\dots(10)$$

$$\text{及} \quad I \frac{d^2\theta}{dt^2} = bM i \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{或} \quad i = \frac{I}{bM} \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

以  $i$  代入式(10),  $\frac{RI}{bM} \frac{d^2\theta}{dt^2} + aM \frac{d\theta}{dt} = E \sin \omega t$

$$\text{或} \quad \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{abM^2}{RI} \frac{d\theta}{dt} = \frac{EbM}{RI} \sin \omega t$$

以運算微積記號表之,

$$p^2\theta + \frac{abM^2}{RI} p\theta = \frac{EbM}{RI} \sin \omega t$$

$$\text{即} \quad p\theta \left( p + \frac{abM^2}{RI} \right) = \frac{EbM}{RI} \sin \omega t$$

$$\text{故} \quad p\theta = \frac{EbM \sin \omega t}{RI \left( p + \frac{abM^2}{RI} \right)} \dots\dots\dots(12)$$

$$\begin{aligned} \text{但 } \sin \omega t &= \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j} = \frac{1}{2j} \left( \frac{p}{p-j\omega} - \frac{p}{p+j\omega} \right) \\ &= \frac{1}{2j} \left[ \frac{p(P+j\omega - p + j\omega)}{(p-j\omega)(p+j\omega)} \right] = \frac{p\omega}{p^2 + \omega^2} \end{aligned}$$

$$\text{代入式(12)} \quad p\theta = \frac{EbM}{RI \left( p + \frac{abM^2}{RI} \right)} \times \frac{p\omega}{p^2 + \omega^2} \quad 1$$

解之得

$$P\theta = \frac{EbM}{RI} \left\{ \frac{\omega e^{-\frac{abM^2 t}{RI}}}{\omega^2 + \left( \frac{abM^2}{RI} \right)^2} + \frac{1}{\left[ \left( \frac{abM^2}{RI} \right)^2 + \omega^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \left( -\cos(\omega t + \alpha) \right) \right\} \dots\dots(13)$$

$$P^2\theta = \frac{EbM}{RI} \left\{ \frac{-abM^2 \omega e^{-\frac{abM^2 t}{RI}}}{RI \left[ \omega^2 + \left( \frac{abM^2}{RI} \right)^2 \right]} + \frac{\omega}{\left[ \left( \frac{abM^2}{RI} \right)^2 + \omega^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \sin(\omega t + \alpha) \right\} \dots\dots(14)$$

$$\tan \alpha = \frac{abM^2}{RI\omega}, \quad \sin \alpha = \frac{\frac{abM^2}{RI}}{\left[ \left( \frac{abM^2}{RI} \right)^2 + \omega^2 \right]^{\frac{1}{2}}}, \quad \cos \alpha = \frac{\omega}{\left[ \left( \frac{abM^2}{RI} \right)^2 + \omega^2 \right]^{\frac{1}{2}}}$$

當  $t = \infty$ , 則無瞬變電流, 故從式(11)

$$\begin{aligned} i &= \frac{I}{bM} \times \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{I}{bM} \times \frac{EbM}{RI} \left\{ \frac{\omega}{\left[ \left( \frac{abM^2}{RI} \right)^2 + \omega^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \sin(\omega t + \alpha) \right\} \\ &= \frac{E \sin(\omega t + \alpha)}{\left[ \left( \frac{abM^2}{I\omega} \right)^2 + R^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \dots\dots(15) \end{aligned}$$

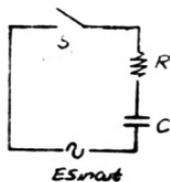


圖 II

圖 II 為電阻 R 與容器 C 串接電壓  $E \sin \omega t$  之上, 當 S 關上則得式如下:

$$Ri + \frac{1}{c} \int i dt = E \sin \omega t$$

$$\text{或 } i = \frac{E \sin \omega t_1}{R + \frac{1}{pc}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{pc E \sin \omega t}{pcR + 1} \\
 &= \frac{pc E}{pcR + 1} \times \frac{p\omega}{p^2 + \omega^2} \\
 &= \frac{Ep^2c\omega}{(pcR + 1)(p^2 + \omega^2)}
 \end{aligned}$$

依上法解之，得： $i = E \left[ C + \frac{p_1^2 c \omega e^{p_1 t}}{p_1(p_1^2 + \omega^2)CR} + \frac{p_2^2 c \omega e^{p_2 t}}{(p_2 CR + 1) \times 2p_2^2} \right]$

$$p_1 = -\frac{1}{CR}, p_2 = j\omega$$

$$\begin{aligned}
 &+ \frac{p_3^2 c \omega e^{p_3 t}}{(p_3 CR + 1) \times 2p_3^2} \Big] p_3 = -j\omega \\
 &= E \left[ \frac{\frac{1}{\omega c} e^{-\frac{1}{CR} t}}{\frac{1}{\omega^2 c^2} + R^2} + \frac{1}{\left(\frac{1}{\omega^2 c^2} + R^2\right)^{\frac{1}{2}}} \sin \omega(t + \alpha') \right]
 \end{aligned}$$

當  $t = \infty$  則瞬變電流消滅故

$$\tan \alpha = \frac{1}{R\omega c}$$

$$i = \frac{E \sin(\omega t + \alpha')}{\left(\frac{1}{\omega^2 c^2} + R^2\right)^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (16)$$

試觀(15)(16)二式，頗屬相似，如  $\frac{1}{\omega c} = \frac{abM^2}{I\omega}$  即  $C = \frac{1}{abM^2}$  則二式完全相同，

故知電樞上連以交流或直流電壓，其“等量電容”並不變更，今若就其天然性質，與靜電容相較，後者之儲藏電能，係由於通感體受靜電應力之支配，而前者則因電樞之轉動；如其承軸無摩擦阻力，而線圈內無耗損，雖電源取去，因動能之存在，電樞將繼續轉動，維持其帶電荷狀態，靜電容因通感體之變形而存在，而動電容則與轉動部分之質量，速率，均有關係，如以靜電單位表之，則動電容之寸法(dimension)為長度，又因感應因數與磁線平方成比例，故動電容與磁線平方成反比例， $C = \frac{I}{abM^2} \propto \frac{I}{(\text{flux})^2} \propto \frac{(\text{質量})(\text{長度})^2}{\{(\text{長度})\}^2 \{(\text{質量})\}^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}}}$

由此 a, b, 若為已知數則 C 即能求得。

### (II) 自感量之影響 (The effect of self-induction)

直流電樞中，普通均有自感量存在，故上述諸公式僅能表示其特種現象。今若令  $L$  為電樞中之自感量，當電樞旋轉超出其正則速率，可以下列式示其運動。

$$-aM \frac{d\theta}{dt} = Ri + L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(17)$$

$$bMi = I \frac{d^2i}{dt^2} \dots\dots\dots(18)$$

微分式(18)  $\frac{di}{dt} = \frac{I}{bM} \frac{d^2i}{dt^2}$

代入式(17)得  $-aM \frac{d\theta}{dt} = \frac{RI}{bM} \frac{d^2\theta}{dt^2} + L \frac{I}{bM} \frac{d^3\theta}{dt^3}$

或  $L I \frac{d^2\theta}{dt^2} + R I \frac{d\theta}{dt} + abM^2 \theta = 0$ 。

即  $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{d\theta}{dt} + \frac{abM^2\theta}{LI} = 0 \dots\dots\dots(19)$

設  $\theta = e^{mt}$ ,  $\frac{d\theta}{dt} = me^{mt}$ ,  $\frac{d^2\theta}{dt^2} = m^2e^{mt}$

故式(19)可寫為  $m^2e^{mt} + \frac{R}{L} me^{mt} + \frac{abM^2e^{mt}}{LI} = 0$

$$\left(m^2 + \frac{R}{L}m + \frac{abM^2}{LI}\right)e^{mt} = 0$$

$$\therefore \left(m^2 + \frac{R}{L}m + \frac{abM^2}{LI}\right) = 0$$

依二次方程式解之則得其根

$$m = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{abM^2}{LI}} \dots\dots\dots(20)$$

由式(20)知  $\theta$  之值有三，全視  $\frac{R^2}{4L^2} \geq \frac{abM^2}{LI}$  以為定，若欲使電樞有自由周潮，則

$\theta$  應有虛根，即  $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{abM^2}{LI}$  而  $R = \sqrt{\left(\frac{4LabM^2}{I}\right)}$  實為第一臨界電阻。

$$\text{故 } m = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{-\left(\frac{abM^2}{LI} - \frac{R^2}{4L^2}\right)} = -\frac{R}{2L} \pm j\left(\frac{abM^2}{LI} - \frac{R^2}{4L^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta = C_1 e^{\left[-\frac{R}{2L} + j\left(\frac{abM^2}{LI} - \frac{R^2}{4L^2}\right)^{\frac{1}{2}}\right]t} + C_2 e^{\left[-\frac{R}{2L} - j\left(\frac{abM^2}{LI} - \frac{R^2}{4L^2}\right)^{\frac{1}{2}}\right]t}$$

$$= C'e^{-\frac{R}{2L}t} \sin\left[\left(\frac{abM^2}{LI} - \frac{R^2}{4L^2}\right)^{\frac{1}{2}}t + \phi\right] \dots\dots\dots (21)$$

$C_1, C_2, C',$  及  $\phi$  均為任意常數。

式(21)可以表示抑制(damped)時之諧波振動(harmonic Vibration)而其未抑制(undamped)之自由周期,為 $\sqrt{\frac{abM^2}{LI}}$ ,若  $M, L,$  及  $I$  為某值時,直流電樞中將有一天然自由振動周期,但因此線路中之電阻而被抑制,機械振蕩之與電路振蕩相似者,實即在此;故如一線路中含有電阻  $R,$  自感量  $L,$  及電容器  $C,$  其公式如下:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \int \frac{idt}{C} = 0$$

$$\text{或} \quad \frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0 \dots\dots\dots (22)$$

式(19)與式(22)之形狀完全相同,故其解答自屬相似,於是

$$i = A''e^{-\frac{R}{2L}t} \sin\left[\left(\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}\right)^{\frac{1}{2}}t + \phi'\right] \dots\dots\dots (23)$$

$$\text{此處} \quad \frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$$

### (III) 振蕩之條件 (Condition for Oscillation)

線路之能否振蕩,全視  $\frac{R^2}{4L^2}$  之是否小於或大於  $\frac{abM^2}{LI}$ , 換言之,欲線路入於振蕩狀態,則  $R$  及  $I$  之值須小,而  $L, M$  之值須大,  $I$  之大小,則依電樞直徑如何而定,在大電機中,電壓高于 500 伏脫者,  $\frac{abM^2}{LI}$  之值常小,故欲其達於振蕩

條件,  $L$  之值應使其大,即其自由周期  $T = 2\pi\sqrt{\frac{LI}{abM^2}}$  應高,故實際上振蕩之自由周期,低於 2 或 3 秒鐘者,似難遇見,但依上式觀之,亦並非絕不可能。

### (IV) 強制振蕩 (Forced Vibratoin)

直流電樞中因有自感量之存在,常表現其本身之自由周期,依理論而言,我人可以預料遷徙  $\theta$  (displacement) 與擾動 (disturbance) 周率之大小有

關係,當此周率達於電樞共振之值,則遷徙亦為最大,下式示電壓依正弦變化之強制振動。

$$aM \frac{d\theta}{dt} + L \frac{di}{dt} + Ri = E \sin \omega t \dots \dots \dots (24)$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = bMi \dots \dots \dots (25)$$

微分式(25)  $I \frac{d^3\theta}{dt^3} = bM \frac{di}{dt}$  或  $\frac{di}{dt} = \frac{I}{bM} \frac{d^3\theta}{dt^3}$

以  $i$  及  $\frac{di}{dt}$  之值代入式(24)

$$aM \frac{d\theta}{dt} + \frac{LI}{bM} \frac{d^3\theta}{dt^3} + \frac{RI}{bM} \frac{d^2\theta}{dt^2} = E \sin \omega t$$

或  $\frac{d^3\theta}{dt^3} + \frac{R}{L} \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{abM^2}{LI} \frac{d\theta}{dt} = E \sin \omega t \times \frac{bM}{LI}$

$$\frac{d}{dt} \left[ \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{d\theta}{dt} + \frac{abM^2}{LI} \theta \right] = E \sin \omega t \times \frac{bM}{LI}$$

故  $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{d\theta}{dt} + \frac{abM^2}{LI} \theta = \int_0^t E \sin \omega t \, dt \times \frac{bM}{LI}$   
 $= \frac{-1}{\omega} E \cos \omega t \times \frac{bM}{LI} \dots \dots \dots (26)$

如瞬變之值不計,則其解答,可以普通公式表之於下:

$$\theta = A \sin \omega t + B \cos \omega t.$$

$$\frac{d\theta}{dt} = (A \cos \omega t - B \sin \omega t) \omega \text{ 及 } \frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega^2 (A \sin \omega t + B \cos \omega t)$$

代入式(26)得

$$-\omega^2 (A \sin \omega t + B \cos \omega t) + \frac{R}{L} \omega (A \sin \omega t - B \cos \omega t)$$

$$+ \frac{abM^2}{LI} (A \sin \omega t + B \cos \omega t) = -\frac{bME}{LI} \cos \omega t.$$

當  $t=0, \sin \omega t = 0, \cos \omega t = 1.$   $-B\omega^2 + \frac{R\omega}{L} A + \frac{abM^2 B}{LI} + \frac{bME}{\omega LI} = 0 \dots (27)$

$t = \dots, \sin \omega t = 1, \cos \omega t = 0.$   $-A\omega^2 - \frac{R\omega}{L} B + \frac{abM^2 A}{LI} = 0 \dots (28)$

解(27)(28)二式得

$$A = \frac{IR\omega bME}{\omega(LI\omega^2 - abM^2)^2 + R^2\omega^2 I^2}$$

$$B = \frac{bME(LI\omega^2 - abM^2)}{\omega(LI\omega^2 - abM^2)^2 + R^2\omega^2 I^2}$$

以A及B之值代入則

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{IR\omega bME \sin \omega t}{\omega(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2} + \frac{bME(LI\omega^2 - abM^2)}{\omega(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2} \cos \omega t \\ &= \frac{bME}{\omega[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \left\{ \frac{RI\omega \sin \omega t}{[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(LI\omega^2 - abM^2) \cos \omega t}{[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \right\} \\ &= \frac{bME}{\omega[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \left\{ \cos \beta \sin \omega t + \sin \beta \cos \omega t \right\} \\ &= \frac{bME \sin(\omega t + \beta)}{\omega[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (29) \end{aligned}$$

$$\tan \beta = \frac{LI\omega^2 - abM^2}{RI\omega}$$

微分(29)式兩次,代入(25)式得:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta}{dt} &= \frac{\omega bME \cos(\omega t + \beta)}{\omega[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \\ \frac{d^2\theta}{dt^2} &= \frac{-\omega bME \sin(\omega t + \beta)}{[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \\ i &= \frac{I}{bM} \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{I}{bM} \left[ \frac{-\omega bME \sin(\omega t + \beta)}{\sqrt{(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2}} \right] \\ &= - \frac{EI\omega \sin(\omega t + \beta)}{[(LI\omega^2 - abM^2)^2 + (RI\omega)^2]^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (30) \end{aligned}$$

依式(29)可知 $\omega=0$ , $\theta$ 之值最大,若R之值甚小, $\theta$ 有第二最大值,當 $\omega \approx abM^2/LI$ .然 $\theta$ 之值為最大,則

$$\omega^2 \left\{ (LI\omega^2 - abM^2) + (RI\omega)^2 \right\}$$

之值必為最小,依普通求法,先微分之,再令其等於零,則得

$$3I^2L^2\omega^4 + 2I\omega^2(R^2I - 2abM^2L) + a^2b^2M^4 = 0 \dots \dots \dots (31)$$

當 $\omega^2$ 之值為小或大時,上式結果均為正,故 $\theta$ 減低,所以 $\theta$ 之值,非漸次降低,

即有一最小或一最大值,在此範圍之內,但頗使式(31)之根為正實數則 $\theta$ 或有實臨界值,即

$$(R^2 I - 2abLM^2)^2 > 3L^2 a^2 b^2 M^4$$

$$R^2 I - 2abM^2 L < 0$$

將以上二式合併後得:

$$2abM^2 L > \sqrt{3} LabM^2$$

$$R < \sqrt{\frac{(2 - \sqrt{3})abM^2 L}{I}}$$

此處  $R$  謂之第二臨界電阻,因在此值之上,電樞遷徙與干擾周率曲線上,並無第二最大值發見故也,若  $R$  之值近臨界時,  $\theta$  之第二最大值,則在  $\omega = abM \left\{ \sqrt{3LI} \right\}$  存在,然電流方面,僅有一最大值,而在  $\omega = abM^2/L$  發生,並與電阻之大小無關係,其值為  $i = \frac{E}{R} \sin \omega t$

觀此,電流公式之形狀,頗與含有自感性電阻及靜電容器之線路中,共振時發生之電流相似。

(V) 不穩定 (Instability)

直流電樞旋轉於複勵磁場中,若增加電樞中電流而磁場強度反減低者,其運動常不穩定,今令  $K$  為串接磁場中感應因數單位電流百分率變化,下列公式可示其運動。

$$E = a(M - Ki) \frac{d\theta}{dt} + Ri + L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (32)$$

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = bi(M - Ki) \dots\dots\dots (33)$$

微分式(32)並與式(33)合併之,則得:

$$\frac{KE - RM}{(M - Ki)^2} \frac{di}{dt} = \frac{ab}{I} i(M - Ki) + \frac{L \frac{d^2 i}{dt^2}}{(M - Ki)} + \frac{LK \left(\frac{di}{dt}\right)^2}{(M - Ki)^2}$$

如  $K$  及  $L$  之值均小,上式  $KL$  及  $Ki$  兩項可以取消,而求電流之值,所以此時

$$ML \frac{d^2 i}{dt^2} - (KE - RM) \frac{di}{dt} + \frac{abM^2}{I} i = 0$$

若  $(KE - RM)^2 < \frac{4abM^4L}{1}$  則其解答可由前法求之為

$$i = Be^{-r't} \cos(\delta t + \beta) \dots \dots \dots (34)$$

$$\text{而 } r = \frac{RM - KE}{2ML}$$

$$\text{及 } \delta = \sqrt{\left(\frac{abM^2}{LI} - \frac{RM - KE}{4M^2L^2}\right)}$$

上式 B 及  $\beta$  均為任意常數。

$$\text{故 } \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{aM} \left\{ E - B'e^{-r't} \cos(\delta t + \beta') \right\} \dots \dots \dots (35)$$

由此可知  $\frac{EK}{M}$  大於 R，則 e 之指數為正，而電流與速率之振幅，經初擾後，即與時間增加，觀式(32)尤屬明顯。若 K,  $\frac{d\theta}{dt}$  及 R 三值，至某程度時，可令  $K - \frac{d}{dt}$

大於 R，則  $i \left( R - K \frac{d\theta}{dt} \right)$  或有負值，即使電流 i 為正。然而實際上，則無異加一負電阻於此線路中，致有不穩定現象發生。此負電阻之值，當 R 及 K 不變，須視  $\frac{d\theta}{dt}$  之值如何而變。但  $\frac{d\theta}{dt} = \omega$ ，於是乃有臨界速率存在，若電機之速率高於此者，則有不穩定現象，反是低於此者，則無之。

#### 符 號 表

a, b, c', c <sub>1</sub> c <sub>2</sub> r, $\delta$ , m = 數目常數	n = 並接綫路
$\alpha'$ , $\alpha$ , $\beta$ , $\beta'$ , $\phi$ , $\phi'$ = 不變角(弧度)	p = 磁極數
C = 電容量	$\Phi$ = 每磁極之磁綫
E = e. m. f. (伏脫)	R = 電阻(歐姆)
I = 情率	T = 電樞之自由周期(秒)
i = 電流之瞬間值(安培)	t = 離起點 O 所需之時間(秒)
k = 感應因數之百分變	$\theta$ = 電樞之機械遷徙(弧度)
L = 電樞中之自感量	$\omega$ = 向量 e. m. f. 之角速率(弧度/秒)
M = 感應因數	Z = 電樞面上之有效導線

# 單相變壓器之並列作用

Ralph R. Lawrence 著 唐世博 譯

**摘要** 本篇論變壓器並列之必需條件及變比 (Ratio of transformation) 相同及不相同之變壓器之並列。

變壓器並列時，必需適合下列情形。

- (一) 當全系統負載為零時，各變壓器之次電流 (Secondary current)，亦須為零。
- (二) 各變壓器之次電流必需與其各定額 (Rating) 成比例。
- (三) 各次電流必需互相同相 (In phase)，即各與全系統電流同相是也。

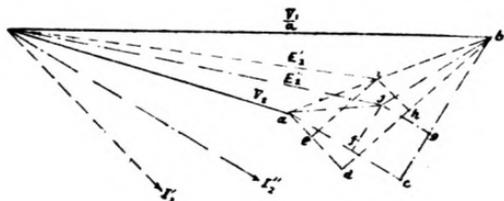
變壓器並列時，能否適合上述情形，必視其變比及其常數而定，僅僅變比相同，猶不能將其任意並列。

變壓器並列時，各原線圈 (Primary winding) 均並接於同一電源上，故各原極端電壓 (Primary terminal voltage) 必相等且必同相，同理，因各次線圈 (Secondary winding) 亦係相互並接，是以各次極端電壓 (Secondary terminal voltage)，亦必相等且同相。倘各變壓器之變比相等，則歸入次邊折算 (Referred to secondary side) 之各原極端電壓，均相等而同相；並若將其勵磁電流忽略不計，則其各當值阻抗電勢降 (Equivalent impedance drop)，亦均相等且同相，因此電勢降，與歸入次邊折算之原極端電壓，及次極端電壓，成一電壓三角形故也。

變比相同之變壓器——一變壓器與他變壓器並列時，其所輸出之電流，視其當值阻抗而定，與電阻及電抗之分配於原次線圈之情形若何無關。

變壓器之原電阻 (Primary resistance) 與次電阻 (Secondary resistance) 之比，不等於他變壓器之原電阻與次電阻之比，且其各原電抗 (Primary reactance) 與次電抗 (Secondary reactance) 之比，亦不相等時，則其應電壓

(Induced voltage) 不相等且不同相,反之則反是,圖一係表示上述情形之兩變壓器之並列,其原次邊之電勢降 (Drop), 皆分別劃出,使此圖更加明顯。



(圖一)

圖中 abc 及 abd, 乃兩當值阻抗三角形,均由兩部分組合而成者,一部分為次線圈中之電勢降,另一部分為歸入次邊折算之原線圈中之電勢降是也。

aie 及 ajf 係兩次邊之阻抗三角形,而 ibh 及 jbg 則係歸入次邊折算之兩原邊阻抗三角形, i 與 j, 即  $E_2'$  與  $E_2''$ , 不能相合除非具有下列情形則不然,即

$$\frac{r_1'}{r_2'} = \frac{r_1''}{r_2''} \quad \text{及} \quad \frac{x_1'}{x_2'} = \frac{x_1''}{x_2''} \quad (\text{註一})$$

上式中  $r_1'$  及  $r_2'$  乃一變壓器之原次電阻,  $x_1'$  及  $x_2'$  其原次電抗;而  $r_1''$  及  $r_2''$  係另一變壓器之原次電阻,  $x_1''$  及  $x_2''$  其原次電抗,倘  $E_2'$  與  $E_2''$  不等且不同相時,則此兩次應電壓,必發生一併合電壓 (Resultant voltage) 作用於兩次線圈所成之貫列電路中,惟此併合電壓,並不能產生任何電流,蓋兩次線圈中所現之阻抗電勢降,恰與之平衡故也。同理;在原線圈中,不等且不同相之兩原應電壓,所發生之併合電壓,亦必與其阻抗電勢降平衡也,茲特就次線圈方面而申證之。

設  $V_2'$  及  $V_2''$  為兩次線圈之各個極端電壓,

$I_2'$  及  $I_2''$  為兩次線圈之各個電流,

$Z_2'$  及  $Z_2''$  為兩次線圈之各個當值阻抗,

因  $V_2' = V_2''$

$$\begin{aligned} \text{而} \quad & V_2' = E_2' - I_2' Z_2' \quad \text{及} \quad V_2'' = E_2'' - I_2'' Z_2'' \\ \text{故} \quad & E_2' - I_2' Z_2' = E_2'' - I_2'' Z_2'' \\ \text{或} \quad & E_2' - E_2'' = I_2' Z_2' - I_2'' Z_2'' \end{aligned}$$

由上式觀之，吾人知兩次應電壓之差恰與  $I_2'$  及  $I_2''$  所發生之阻抗電勢降平衡，若負載為零，則  $I_2'$  等於  $I_2''$ 。同理可證明兩原應電壓之差亦與阻抗電勢降平衡也。吾人自下節即可知變比相同之變壓器並列時，其電流之輸出量純視其當值阻抗而定，與電阻及電抗之分配於原次線圈無關也。

設  $I_2', I_2'', I_2''', \dots$  為各變壓器所輸出之各個電流，

$Z_e', Z_e'', Z_e''', \dots$  為歸入次邊折算之各個當值阻抗，

$Y_e', Y_e'', Y_e''', \dots$  為歸入次邊折算之各個當值導納 (Equivalent admittance)。

因各當值阻抗電勢降必互等，則

$$I_2' Z_e' = I_2'' Z_e'' = I_2''' Z_e''' = \dots$$

$$\begin{aligned} \text{即} \quad I_2' : I_2'' : I_2''' : \dots &= \frac{1}{Z_e'} : \frac{1}{Z_e''} : \frac{1}{Z_e'''} : \dots \\ &= Y_e' : Y_e'' : Y_e''' : \dots \end{aligned}$$

各變壓器所供給負載之電流，與其各當值阻抗成反比，而與其各當值導納成正比。又全系統所輸出之總電流， $I_0$ ，等於各變壓器所輸出電流之矢量和，即

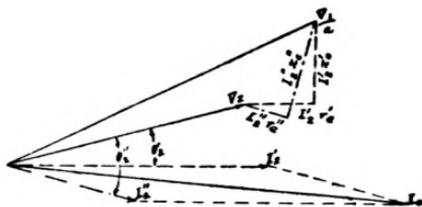
$$I_0 = I_2' + I_2'' + I_2''' + \dots$$

圖二係表示兩變比相等之變壓器並列時之矢量圖，其無載 (No load) 電流則忽略不計。此圖所示當值阻抗之比為 2:1，於是

$$\frac{I_2'}{I_2''} = \frac{Z_e''}{Z_e'} = \frac{Y_e'}{Y_e''} = 2.$$

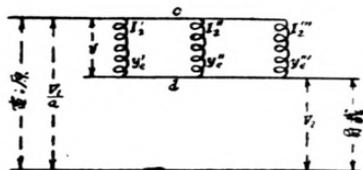
倘此兩阻抗相等，則兩電流亦必相等。若欲此兩電流同相，則一變壓器之當值電阻，與當值電抗之比，非等於他一變壓器之當值電阻與當值電抗之比不可。

凡變壓器並列時,其負載之適當分配,以使其同時達到其最高安全溫度為要,因不必拘拘於電流之供給,與其構造定額 (Manufacture's rating) 為比列,蓋各變壓器運用可超過其構造定額之高低程度各異故也,而各種式樣不同之變壓器,其最高安全溫度,亦各不相同也。



(圖二)

變比相同之變壓器並列時,可以一當值電路代之如圖三,各變壓器負載之分任,可求之如下:



(圖三)

參照圖三,設  $v$  為橫過諸平行當值導納之電壓,而諸當值導納之值為  $Y_e' = G_e' - jB_e'$ ,  $Y_e'' = G_e'' - jB_e''$ ,  $Y_e''' = G_e''' - jB_e'''$ ....., 則當值電路中  $c$  及  $d$  兩點間之併合導納 (Resultant admittance)

為 
$$Y_0 = G_0 - jB_0 = \sum G_e - j \sum B_e$$

上式中  $\sum G_e$  為  $G_e' + G_e'' + G_e''' + \dots$ , 而  $\sum B_e$  為  $B_e' + B_e'' + B_e''' + \dots$

$$I_2' = v Y_e' = v (G_e' - jB_e')$$

$$I_2'' = v Y_e'' = v (G_e'' - jB_e'')$$

$$I_2''' = v Y_e''' = v (G_e''' - jB_e''')$$

.....

因總負載電流為各變壓器輸出電流之矢量和,即

$$I_0 = I_2' + I_2'' + I_2''' + \dots$$

$$= v Y_e' + v Y_e'' + v Y_e''' + \dots = v Y_0$$

$$v = \frac{I_0}{Y_0}$$

$$I_2' = v Y_e' = \frac{I_0}{Y_0} Y_e' \quad (\text{註二})$$

$$I_2'' = v Y_e'' = \frac{I_0}{Y_0} Y_e''$$

$$I_2''' = v Y_e''' = \frac{I_0}{Y_0} Y_e'''$$

.....

若僅求各電流之絕對值，則各當值導納只須以絕對值表之。

由上觀之，吾人可知變比相同之變壓器並列時，其負載之分配與其工率因數 (Power factor)，及全系統所荷之負載無關。

變壓器之當值電導 (Equivalent conductance) 及當值電納 (Equivalent susceptance)，可由此變壓器短路 (Short-Circuited) 時所量得之電功率、電流及電壓求得之。設  $P$  為電功率  $V$  為電源電壓 (Impressed voltage)，及  $I$  為電流，則

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

$$G_e = \frac{P}{V^2}$$

$$B_e = \sqrt{Y_e^2 - G_e^2}$$

此三常數之歸入原邊或次邊，須視  $V$  及  $I$  之歸入何邊而定。若變壓器之當值電阻及當值電抗之值為已知，則其當值電導及當值電納，可由此面求得之。

變比不同之變壓器 —— 設計不同之變壓器，雖其變比名雖相同，然實際則略異，此種差誤多由於變比之非整數有以致之。蓋處此情形之中，實苦於不能使原線圈與次線圈捲數之比，恰等於所得之變比。

圖四係表示兩變比不同之變壓器使之並列時之矢量圖。

設  $a', a'', a''', \dots$  為各變壓器之

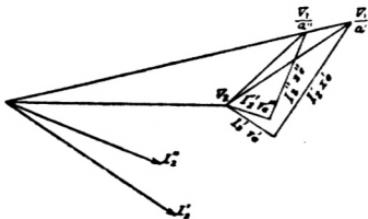
各個變比,則

$$I_2' Z_e' = \frac{I_2'}{y_e'} = \frac{V_1}{a'} - V_2$$

$$I_2'' Z_e'' = \frac{I_2''}{Y_e''} = \frac{V_1}{a''} - V_2$$

$$I_2''' Z_e''' = \frac{I_2'''}{y_e'''} = \frac{V_1}{a'''} - V_2$$

.....



(圖 四)

分解上列各式,則得

$$I_2' = \frac{V_1}{a'} Y_e' - V_2 Y_e' \tag{1}$$

$$I_2'' = \frac{V_1}{a''} Y_e'' - V_2 Y_e''$$

$$I_2''' = \frac{V_1}{a'''} Y_e''' - V_2 Y_e'''$$

.....

但全系統所輸出之總電流  $I_o$ , 為各變壓器所輸出電流之矢量和,

$$I_o = I_2' + I_2'' + I_2''' + \dots$$

$$= \sum \frac{V_1}{a} Y_e - \sum V_2 Y_e$$

$$= V_1 \sum \frac{Y_e}{a} - V_2 Y_o \tag{2}$$

從 (2) 式得

$$V_1 = \frac{I_o + V_2 Y_o}{\sum \frac{Y_e}{a}} \tag{3}$$

以 (3) 式之值代入 (1) 式得

$$I_2' = \frac{Y_e'}{a'} \frac{I_o + V_2 Y_o}{\sum \frac{Y_e}{a}} - V_2 Y_e'$$

$$= \frac{Y_e' I_c}{a' \sum \frac{Y_e}{a}} + \frac{Y_e' Y_2}{a'} \left\{ \frac{Y_0}{\sum \frac{Y_e}{a}} - a' \right\} \quad (4)$$

由第四式觀之，可知變比不同之變壓器並列時，各變壓器之電流輸出量，可分為兩部分，一部分視負載而定，另一部分與負載無關。若各變壓器之變比使之相等時，第四式即化為

$$I_2' = \frac{I_0}{y_0} Y_e' \quad (5)$$

上式與前所述變比相同之變壓器並列時，所得之值相等。據變比不同之變壓器並列時，其第一變壓器所荷電流，為第四及第五式中電流之差，其值為

$$\frac{Y_e'}{a'} \left\{ \frac{I_0}{Y_0} + V_2 \right\} \left\{ \frac{Y_0}{\sum \frac{Y_e}{a}} - a' \right\}$$

由上式觀之，吾人可知變比不同之變壓器並列時，其負載之分配依其全系統所荷負載而定。

綜上種種，吾人可知變壓器並列時，必需具有下列各條件：

- (一) 相等之電壓定額 (Voltage rating)
- (二) 相同之變比。
- (三) 各變壓器之當值阻抗，必需與其電流定額 (Current rating) 成反比。
- (四) 各變壓器之當值電阻，與當值電抗之比，必須互等。

上述四條件，依其重要程序，分別而詳申之如下：

變壓器並列時其電壓定額之必需互等，自不待多言，蓋若此定額不相等，則運用時，電壓之高於其設計電壓者有之，低於其設計電壓者亦有之。

倘各變比互不相同，當全系統負載為零時，除勵磁電流外，各變壓器中尚產生一額外電流，此電流之大小，則視變比之差之多寡而定；欲免除此項電流之發生，非將各變壓器重新設計不為功也。

倘各變壓器之當值阻抗，與其電流輸出量不成反比；此電流輸出量，即係發生最高安全溫度者；則其負載之分任不適當，因之各變壓器有過熱（

Over-heated) 者, 有低於其安全溫度者, 除非全系統運用於低於其總定額量 (total rated Capacity) 時, 則此種現象始可免除。

倘各個變壓器之當值電阻與當值電抗之比不等, 則其輸出之電流, 必不互相同相, 且其負載將為有功電力負載 (Kilowatt load), 此負載乃不與其電流負載成比例者也, 而結果所產生之銅耗, 必大於為電流同相時同一負載所產生之銅耗, 換言之, 即全系統之最大安全有效電力輸出量 (Maximum safe kilowatt output), 因而減少。

上述最後兩缺點, 即當值阻抗與電流輸出量不成反比, 及當值電阻與當值電抗之比不等時, 可施行下法以補救之, 即為加入適當量之電阻或電抗或電阻及電抗二者, 於變壓器之任何一邊是也。

#### 附 錄

(註一) 按此原理有一先決條件, 即

$$r_e' : x_e' = r_e'' : x_e''$$

(註二) 若僅兩變壓器並列時, 其電流之分任, 可用下式運算之, 則較為省便。

$$I_2' = \frac{\bar{Z}_e''}{\bar{Z}_e' + \bar{Z}_e''} I_0$$

$$= \frac{\sqrt{r_e''^2 + x_e''^2}}{\sqrt{(r_e' + r_e'')^2 + (x_e' + x_e'')^2}} I_0$$

$$I_2'' = \frac{\bar{Z}_e'}{\bar{Z}_e' + \bar{Z}_e''} I_0$$

$$= \frac{\sqrt{r_e'^2 + x_e'^2}}{\sqrt{(r_e' + r_e'')^2 + (x_e' + x_e'')^2}} I_0$$

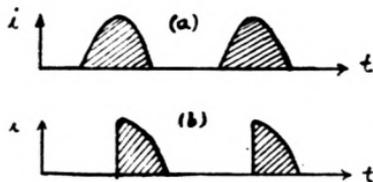
# 電閘管之出量標準

The Output Rating of Thyatron.

沈 尙 賢

摘要:本文將電閘管出量標準最有關係之三點(1)逆壓峯(2)屏極之發熱(3)管內電壓降落加以討論,末再附一實例,以期易於了解。

電閘管用於一電力線路中,其作用大致與整流管同,兩者相異之點,乃在電閘管可藉其柵極之助,而任意改變電流之值。



第一圖 整流後之電流

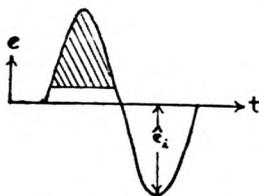
如第一圖所示,(a)為經過通常整流管後之電流,其所加之電壓,係假定為正弦形,此種電流,亦可自一電閘管得之,但除此種情形外,電閘管亦可得如(b)所示之電流曲線,而普通之整流管則否。

電閘管最大出量之值,受下列三種限制,其作用完全與普通之整流管同,三種限制,若有某一項已超出可容許之範圍,則該管之工作,將有發生危險之處,是以前出量標準,即根據三者中任何一項最先達其極限而定,該三種限制如下。

## (一)逆壓峯(Peak inverse voltage)

設加於電閘管之電壓係來自交流電源,如第二圖所示,則在交流之某

半週內，電流可通過而他半週則否，例如圖中前半週可通過電流，致一部分電壓，係為管外負荷所吸收，如影陰部所示，而其餘加於管之屏極陰極間者，僅甚小部分而已，故其效率甚佳，但在後半週時，屏極為負，電流不能通過，致



第二圖 逆壓峯

全部電壓，加於管之兩極間，是為逆電壓，其最大值為逆壓峯如圖中 $e_i$ 所示，若此值超過一定之值，則管內易發生“反弧”(Back-firing)現象，致電管損壞，須注意之，是以“反弧”電壓，即為逆壓峯之極限，不能超過之，“反弧”電壓之值，因管內所充氣體之種類，氣壓及管

之設計而殊，此外亦有因所加交流電源之週率而殊，週率愈高，則此電壓愈低，蓋與“却遊離”(Entionization)作用有關，在充蒸汽(如汞汽)之管內，與管內溫度亦有關係，溫度愈高，則蒸汽之壓力愈高，而“反弧”發生亦愈易，通常充汞汽(Mercury vapor)之電閘管，其逆壓峯之極限，恆較充氬氣(Argon)等者為高，蓋後者管中之氣壓，通常較高。

## (二)屏極之發熱。

當管內有大量電流通過時，在屏極有熱量產生，致增高其溫度，若溫度過高，則亦足影響該管之工作，例如因之屏極內有副電子(Secundary electron)發生，有餘氣(Residual gas)逐出，或因熱量輻射，增高管內溫度，或因之於構造上發生困難，故須妥為注意，使不超出一定範圍，屏極溫度之升高，因熱量發生之多寡及散熱之難易而定，熱量之發生，乃由於管內之電子，達屏極而消失其動能(Kinetic energy)所致，故其值與電流之平均值及管內電壓降落(Voltage drop)之平均值成正比例，確實言之，在交流每週內所生之熱量 $W$ 乃等於

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T e_i dt$$

其中  $T$  為交流之週期(Period),  $e$  為管內電壓降落之瞬值,  $i$  為管內電流之瞬值, 後兩者均為時間之函數, 以  $i$  在後半週為零, 故

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T e i dt.$$

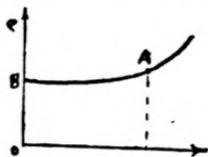
在通常之情形下, 在電流通過管中時,  $e$  值約為一常數, 故可改為

$$W = \frac{e_{ave}}{T} \int_0^T i dt = \frac{e_{ave}}{T} \times i_{ave}$$

其中之  $i_{ave}$  為以直流電表測得之平均負荷電流值,  $e_{ave}$  為  $e$  之平均值, 其值通常約在 20 伏以下, 觀上式知屏極之發熱, 與平均負荷電流值成正比例, 若熱量之產生相等, 而欲減少其升高之溫度, 則可藉較優之冷卻方法, 例如增加冷卻面積(Cooling Surface), 加強風力, 或用水冷式。

### (三) 管內電壓降落。

在通常情形之下, 管內電壓降落  $e$  之值, 在有電流通過時, 大致不變, 實則  $e$  為  $i$  之函數, 惟在  $i$  並不超過某範圍時,  $e$  值約為一常數, 但若  $i$  更為增高, 致其值大於陰極所能供給者時, 例如熱陰極(Hot cathode)之電子蒸射有限, 不能大於飽和電流  $I_s$ , 則管中須發生較大之遊離作用, 以供給此額外之電流, 換言之, 管內電壓降落須因之加高\*,  $e$  與  $i$  之關係, 約如第三圖所



第三圖

示, 在曲線之  $AB$  部分,  $e$  值約為不變, 過  $A$  點後, 則  $e$  增加較速, 此時即表明電流值已超過陰極所能供給者以上, 在此情形下, 陰極受陽游子之撞擊較烈, 使其壽命, 將因之減短, 是以  $e$  值須不使超過  $AB$  以上, 換言之, 電流瞬值

須以  $O B$  為極限, 此值通常稱為最大可容許之“電流峯”(Peak Current), 以  $i_{peak}$  代表之。

若電流如第一圖中之(a)時, 則

$$i_{peak} = 3.15 I_{ave}$$

\*參看“電工”第五卷第一, 二號第三十七頁“電阻管原理”一文

$$I_{ave} = 0.637 I_{eff}$$

其中  $I_{eff}$  為電流實効值，係等於用一交流電表所測得之值

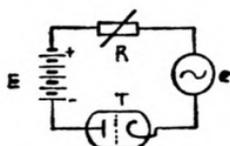
若電流如第一圖中之(b)時，則

$$i_{peak} = 6.3 I_{ave}$$

$$I_{ave} = 0.45 I_{eff}$$

此兩種電流情形互相比較，則可知若  $I_{eff}$  相等，則電流在(a)時之平均

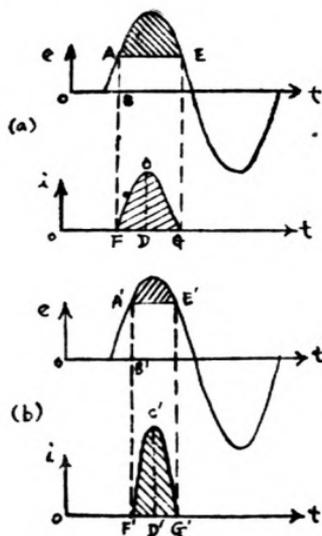
值約較在(b)者大 1.4 倍，故就陽極之發熱而論，若以同一  $I_{eff}$  相比較，電流(b)較為適宜，蓋其所獲得之  $I_{ave}$  可較小，而屏極可較冷。再者，若電流(a)與電流(b)有同一之平均電流值，則在(b)時之電流峯，將大於在(a)時者二倍，故有



第四圖 充電之電路

時在(a)情形下，電流峯尚可不必要顧慮，而在(b)情形時，以同一之平均電流，其電流峯已超出於可容許之極限以外，而危害電管之工作，是以就此情形而論，電流如(b)所示或通過電流時間更小之情形，對於電閘管之工作，甚為不利，於應用時，亦宜注意。蓋在此種情形下，固不能僅以電流之平均值或實効值以斷定其工作是否適當也。

此外尚有一例，對於電閘管或整流管之工作，亦有與上述相似之情形，茲亦附述之。如第四圖為一以電閘管 T 供整流用以充蓄電池組 E 之情形。e 為交流電源，R 為可變電阻，以調節充電之電流。電池組之電勢為 E，在此情形中，充電時電壓 e 與電流 i 之狀態如第五圖所示。設略去電管之電位降落不計，則圖



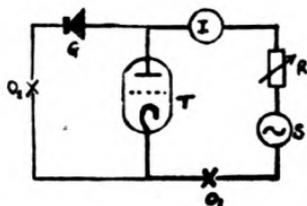
第五圖 充電之情形

設略去電管之電位降落不計，則圖

中 A B 係等於電池組之電勢 E，蓋在 e 電壓在正半週而尙小於 E 時，全電路之電壓 (e-E) 爲負，故無電流經過。至於在圖中 A E 線上影蔭部分，則始得電流，如曲線 F C G，電流值可藉電阻 R 調節之。今設 E 之電勢增高，例如充另一組電勢較高之電池，則 A 點 E 點亦必升高，如圖中 (b) 所示，此時之電流爲 F' C' G'，設調節 R 使 (a) 與 (b) 所得之平均電流  $I_{ave}$  彼此相等，則 F C G D 與 F' C' D' G' 之面積亦必相等。然電流峯 C' D' 將較在 (a) 時之 C D 爲大。若已知各電池組之電勢，則其電流峯之比，頗易計算，茲不贅明乎此點，則此同一電閘管或整流管，在充電勢不同之電池組時，其可容許之均平電流值未必相等。電池之電勢愈高，則其出量之平均電流值愈小。

以上三種限制，任何一項，超出範圍，均足以危害電管之工作。至於何者究爲決定之主要部分 (Determinating factor)，則全恃電管之設計及運用之情形而殊，不能一概而論。若電管設計良好，則此三種特性，對於某種指定之運用情形，均甚近於極限，但不超過之。否則如某一特性極易超出極限，而某一特性則遠在極限之下，是爲設計上之不平衡，電管之全部效能，將不能完全利用之。

爲易於明瞭起見，茲將某一電閘管訂定其出量標準之情形，略述於後：欲試驗之電閘管，係充有汞汽，陰極用間接加熱式，陽極以石墨 (Graphite) 製成，經反弧試驗後，知其逆壓峯



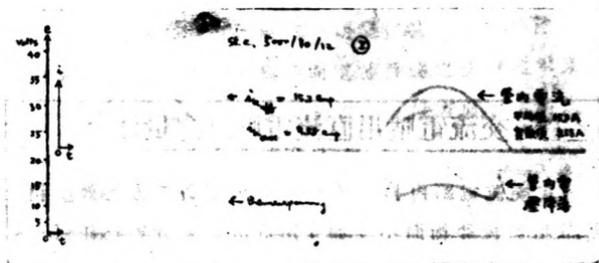
在通用之低週率時，可達 10000 伏以上。爲安全計，定其實效電壓極限爲 5000 伏，蓋此時之電壓峯，乃爲  $\sqrt{2} \times 5000$  伏，約僅 7000 伏，故頗爲安全，安全係數約爲 2。

#### 第六圖 出量標準之測定

次試驗其第二第三兩項特性其接線法可如第六圖。T 爲電管，R 爲可變之負荷電阻，S 爲交流電源，I 爲直流通式電流計，使指示  $I_{ave}$  之值， $O_1$  及  $O_2$  係接至攝波器，以測其  $i$  及  $e$  之值。爲

避免在電源逆半週時 $O_2$ 處之電壓過高，致易損壞攝波器起見，乃用一小整流器 $G$ ，使在逆半週時無電流通過 $O_2$ 。

最初使 $R$ 甚大俾 $i$ 較小，觀在攝波器之 $e$ 曲線，其峰值有否超過一定之極限。在所述之電開管中，此極限約為20伏。若工作良好，則可逐漸增加 $i$ ，一方面觀 $e$ 曲線，同時並注意屏極發熱之情形。第七圖為自攝波器所攝得之 $i$ 及 $e$ 曲線之情形。此時柵極與屏極之電壓係同相，故電流約如第一圖(a)所示。



第七圖 電開管工作時之 $i$ 及 $e$ 曲線

茲更將該次試驗所得之結果，列成一表如下：

平均電流	$I_{av}$ (安)	0.9	1.8	2.68	4.59	5.25	9.58
曲線中部之管內電壓降落	$e$ (伏)	13	14	15	12.5	13	16
屏極情形							發微紅

觀上表，知第二項所述情形，乃限制負荷情形之再增。而第三項所述之電流峯極限，似尚未達到。蓋管內電壓降落，尚未達20伏也。故在所述之情形下，該管負荷電流最大可容許之平均值約為10安培，或其實效值約為15安。

培。

在上述之例中，表明陰極之設計過佳，故或可略改小陰極之設計，尚不致有妨所定之出量電流值。就他方面言之，或可改善屏極却熱之情形，如增加却熱面積，使增高之溫高較度小，則對於電流出量上，當可較上定之值為高也。

利用柵極之控制，可使電閘管得如第一圖(b)之  $i$  曲線，再依上法研究之，則可得在該種情形時之出量值。其他各種情形，均可依法試驗，舉一反三，想讀者自易了然。

### 交流電壓用直流電壓計之量法

功

在交流電路內接入直流電計，因正負兩方之效應相等，故指針恆平衡而不動。如今用直流電壓計與一任何三極真空管串聯而接，則即可測得準確之交電流壓；法將直流電壓計之一端，接至交流電源，一端接至真空管之柵極與屏極。真空管之燈絲，以電池熱之，使發射電子，再由燈絲接至交流電壓之另一線，如是則直流電壓計之指針，即成偏向，可讀得一數值，乘以 2.2，即為此交流電壓之均方根值矣。

# 蓄電池測驗法

莊漢開

蓄電池為最早直流電源之一，發明於百年前；自電氣事業勃興而後，為用始彰，泊乎近日，浸假而為軍事實業交通及家庭間之必須物品矣。

原蓄電池之構成，本乎電化原理，一切變化，甚屬微妙，維護稍有疏虞，即致疾病叢生，救治之道，首須詳究病源，而電池測驗之法，尙矣。本文所述，為製造家測驗其出品之數種主要方法。至於電池維護方面，容當另文論列。

## (一) 測定各部度量衡及其他項目

(1) 編號

(2) 電池種類

(3) 用途

(4) 全具體積

(5) 全具重量 (此重量應於電池完全裝好待用，充電滿足，電液比重準確，液面適當時測得。)

(6) 片  $\left\{ \begin{array}{l} \text{式} \\ \text{數} \\ \text{尺度 高, 闊, 長} \\ \text{組重} \end{array} \right.$

(7) 規定電液比重  $\left\{ \begin{array}{l} \text{充電滿足時} \\ \text{放電完畢時} \end{array} \right.$

- (8) 電液重量 (因聖料及隔器均有吸收性標準之電液注入電池後,可擱置二十四小時,再校正其比重及液面,然後以下列公式算出。

$$\text{電液重(磅)} = \text{電液體積(立方尺)} \times 62.4 \times \text{比重}$$

- (9) 隔器 式別,材料,數量。

- (10) 池箱 材料,重量。

- (11) 箱蓋 式別,材料,

- (12) 規定充電率  $\left\{ \begin{array}{l} \text{低} \\ \text{正則} \\ \text{最大} \end{array} \right.$

- (13) 容量及放電時間

- (14) 規定電壓  $\left\{ \begin{array}{l} \text{充電滿足時} \\ \text{放電完畢時} \end{array} \right.$

## (二) 檢驗池箱之材料

蓄電池箱之材料,大別有七:

一曰玻璃,僅用於小容量或靜置之電池,性脆易裂,且不宜置於陽光直射或溫度變化劇烈之處,惟因質料透明,其內部情形,如液面高低,沉澱多寡,或起泡狀況等,均可自器外窺測得知,為其最著之優點也,價格亦廉,應用甚廣。

二曰明角 (Celluloid)。優點同一,其質較輕,但易發熱,遇星火或電弧能着火或爆裂,歐洲間有採用,惟我國尙少見。

三曰古米特質 (Gummit)。為樹膠之一種,價較硬橡膠為廉,製法頗秘,絕緣及強度均好,在溫度不高之處,常代硬橡膠應用。

四曰鑲鉛木箱(Lead Lined Box)。為大容量電池所用者。如中央車站。客車發光及其他處所。採用頗多。其鉛皮(或為鉛錫合金)接觸處。須燒焊牢固。所用木料。亦以含脂無節者為宜。且須經如美臘等之特殊處理。蓋以防止洩漏。並增強其絕緣能力也。

五曰上釉陶質(Glazed Earthenware)。為最近發明成功之物。優點甚多。惟價格甚昂。現尚鮮見于市場。而其耐久能力究如何。則尚待探測也。

六曰硬橡膠質(Ebonite)。為現時應用最廣之一種。質輕而韌。不易碎裂。絕緣佳好。及價格之低廉。均為其勝過他種材料之點也。Morton Arendt氏曾訂有規範。大致如下：

(1) 原料：以橡膠(Gum Rubber and Reclaimed Rubber)。純硫。硬橡屑(Hard Rubber Dust)。白堊(Whiting)。及黃丹(Litharge)等為限。以求良好之出品。而能適合于下列各條件：

(2) 雜質：結晶原料。金屬屑。或能溶於比重一·四〇〇硫酸中之物。均不應有。鐵質含量以不過千分之二為限。如有金屬細屑。須用種種方法。如洗刷。括擦。或浸酸等。以除去之。

(3) 尺寸：成品大小應如設計藍圖所示。但硬橡膠具高溫係數。各部尺寸。亦可容許有千分之六之上下。

(4) 形式及標記：器之內外二面。均應光滑。而無消蝕痕跡。或其他缺陷。器外應標出製造者之名稱及出品種類。

(5) 拉力強度：割試樣成  $\frac{1}{4}$ "  $\times$   $\frac{1}{4}$ "  $\times$  4" 之長方條。滾之使成圓柱狀。中段之長應為二吋。試其所能忍受之拉力。其最低限度每方寸應為五千磅。伸長率在華氏七十至八十度時。亦須在百分之五以下。

(6) 壓力強度：取長四吋。直徑四分之一吋之試樣。兩端以相距二吋

半之楔 (Wedge) 夾持之,其中心負荷應為二十二磅,作偏度試驗,其偏度 (Degree of Deflection) 在華氏四十度時,以不超過  $0.7$  吋;一百度時,  $0.5$  吋為限。

(7) 靜水壓試驗: 置待試之箱于平坦之處,毋須夾持,注華氏一二五度之水于箱中,使滿,並維持其溫度不變,六小時後,察其有無變形狀態發生。

(8) 絕緣試驗: 此試驗之目標,在證明箱之絕緣能力,程序如下: 置華氏七十至八十度之水于器中,經八至十小時後傾出,另置入一外裹金屬片之木塊 (此木塊之尺寸應較容器內壁任何一處均小十六分之三吋), 仍注以水,達器頂之下一吋半,碗上接以電源之一端,電源之另一端接于一鋼絲刷,電源高壓須以容量在半瓦以上之變壓器供給之,以鋼絲刷刷擦箱之表面及角緣等處,如能承受六十週波二萬四千伏之高壓而無斷裂情狀發生,則該箱即稱合用。

上述各種材料,皆用于鉛酸蓄電池。

七日線鋼質為愛迪生鹹蓄電池之盛器,愛迪生電池優點甚多,國內除飛機方面已有採用外,其他尚不多見。

### (三) 電液純度之析驗

鉛酸蓄電池所用之電液,係硫酸與水之混合物,水與酸中如含有過量之雜質,足使蓄電池發生無數重大之弊害,故為求運用良好及壽命長久計,吾人于測驗蓄電池之先,不得不予電液以更多之注意。

查雜質之能影響電池之陰片者,有鈾,銀,銅,錳,砒及硝酸鹽等,其于陽片有害者,有醋酸,酒精及一切有機物,而能同時影響陰片陽片者,則尚有鐵,錳,鉍,氯及鹽酸等物,此中除鈾,銀,錳與有機物普通不易發現外,其他如鐵,氯,硝酸鹽等來自水中;錳與鉛借;銅自匯電管,醋酸酒精及砒質等存在于處理不佳之木隔器中;又均屬較難避免者也。

蓄電池所用之硫酸,水質及電液之規範,應如表一表二。

表 一

雜 質	濃 硫 酸	電 液
比重15°C	1.835	1.200—1280
色	無色	無色
懸垂物	無	可容許有鉛之化合物
鐵	0.01%	0.012%
氯	微量	0.01%
銅	0.005%	0.01%
錳	微量	微量
砒	"	"
銻	"	"
有機物	"	"
亞硫酸	"	無

表 二

雜 質	水中容許之含量
色	無
懸垂物	無
鐵	0.0005%
氯	0.0008%
氧化鈣	0.05%
鉍	0.008%
硝酸鹽	0.0001%
亞硝酸鹽	0.0001%
有機物	0.003%

電液中各種雜質之含量，可用分析方法得知之，就現時化驗室能力，可檢測至非常精密之程度，表三示雜質種類，測檢用主要藥品及可以測得之限度，至于檢測之方法，以定性分析為多，惟檢氯檢鐵則用定量法以求結果之準確焉。

表 三

雜 質	應 用 藥 品	可檢出之程度
Fe	Sulpho Cyante	$2 \times 10^{-8}$
Cl <sub>2</sub>	Silver Nitrate	$1 \times 10^{-6}$
Cu	Potassium Ferro Cyanide	$1 \times 10^{-6}$
Mn	Sodium Bismuthate	$5 \times 10^{-7}$
As	Hydrogen Sulphide	$1 \times 10^{-6}$
Sb	Hydrogen Sulphide	$1 \times 10^{-6}$
Ca	Ammonium Oxalate	$2 \times 10^{-5}$
NH <sub>3</sub>	Nesseier's Reagent	$5 \times 10^{-8}$
Nitrates	Brusine	$5 \times 10^{-7}$
Nitrites	Dimethylaniline	$1 \times 10^{-6}$
Pt	Potassium Iodide	$5 \times 10^{-7}$

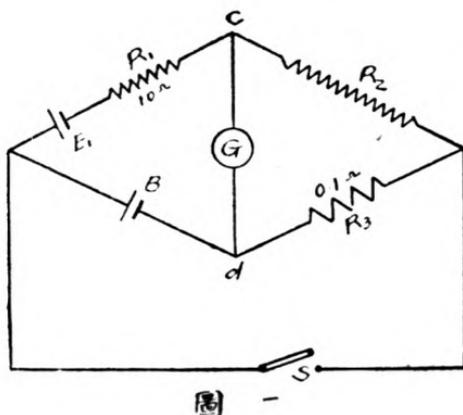
## (四) 內阻測定

蓄電池內阻之大小，能直接影響其容量與效率，關係頗大。就理論言，內阻之對蓄電池，實為一重要因數。但其數量甚小，普通儀器，實難測定。除作研究用外，一般測驗中常不舉行，且與內阻有關者，如電液之比重與溫度，隔器之形式及性質，極之式樣，原料之成份，以及充電時電流大小，與放電後變成硫酸鉛之情形等，常隨時間或環境等而變化，並無一定之規例可資偵測或遵循也。

測定內阻之方法，可分二種：一為以直流測定之法：如來明登法，電坎法；一為交流法：如納恩司脫及滙更法，大留察留克及稱而法，葛洛佛之惠恩橋法，維納見法，及希而登法等。直流法以手續簡便稱，交流法則以結果較準勝。惟後者所求得之結果，並非該電池應用于直流電路中時之有效值，且較用直流法所得測者為小也。茲以此中最簡便之方法，直流交流各一種，敘述于下，以見一斑。

### (1) 直流 來明登法

來明登法與惠士東電阻橋相類似，以三電阻及一待試之蓄電池為其四臂，連接如圖一。圖中 $R_1$ 為十歐， $R_3$ 為 $0.1$ 歐， $R_2$ 為一可變電阻， $B$ 為待試之電池，在 $R_1$ 之一臂中，尚有一電池 $E_1$ ，其電壓與 $B$ 相反， $G$ 為一靈敏之達孫伐兒測電針， $S$ 為一電鍵。



圖一

在連接此綫路時，因二電池之電壓不同，能使測電針指針發生偏度。

閉 $S$ ，則可見一與前不同之偏度。

變更 $R_2$ 使測電計中偏度之值，不論電鍵 $S$ 在開啓或閉合時，均能相等，則該被試電池之內阻為：

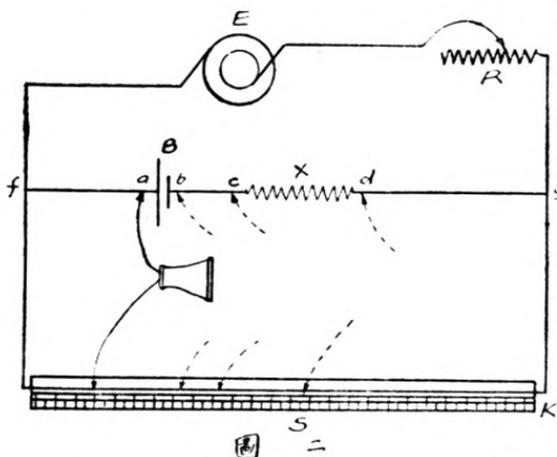
$$r = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

$E_1$ 之內阻與  $r$  相較時,其值甚小,可勿計及,惟電池有極化作用,亦能影響測電計之偏度,故須予以校正。

如被試電池有極化作用,則當電鍵  $S$  閉合時,該電池電壓必減低,致有一電流自  $C$  點向  $d$  點,如以  $R_2$  之值逐漸減小,則流經測電計之電流將相反,故  $R_2$  減小後,電流方向為自  $d$  至  $c$ ,惟因有極化作用之故,立即有一反向之偏度發現,表示仍有一電流自  $c$  至  $d$ ,此時可將  $R_2$  之值逐漸增加,至無偏度為止,所得之  $R_2$ ,即為其校正值。

### (2) 交流 希而登法

此法為希而登氏所設計,應用交流,方法最簡,機械之連接如圖二。



圖二

圖中  $E$  為交流電源,  $B$  與  $x$  為被試之電池及其串聯之定值無感電阻,  $S$  為滑阻橋,  $R$  為一變更電流強度之電阻,輸入  $Bx$  之電流,約為充電電流之二倍,滑阻橋間之電壓降,等于  $f$  至  $g$  間之電壓降。

以聽筒之一端接于  $a$  點,另一端在滑橋

上滑動,尋求橋上與  $a'$  處電壓相同之點,亦即聽筒中聽得聲音最小之點,同樣求出  $b$   $c$  及  $d$ ,相當於滑阻橋上之點及尺寸。

$a$  至  $b$  間因內阻之故,有相當電壓降,此數即等于橋上  $b$  點之記錄或尺寸減去  $a$  點之記錄或尺寸,同理  $x$  之電壓降,等於  $d$  減  $c$ ,假定該電池之內阻為  $r$ ,則

$$x : r = (d-c) : (b-a)$$

$$\text{故 } r = \frac{x(b-a)}{(d-c)}$$

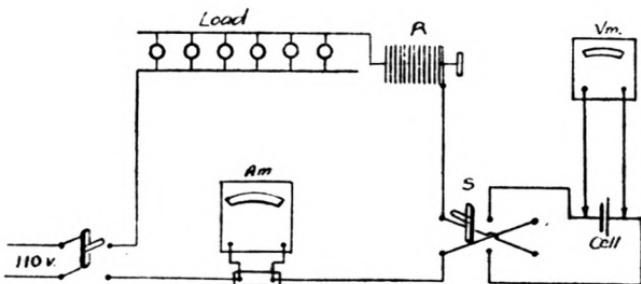
如滑阻橋上之尺寸係從右端量起，則為

$$r = \frac{x(a-b)}{(c-d)}$$

以此法測定內阻，既不須量測經過之電流，亦不必求知  $a b c d$  等處之絕對電壓值，故甚便利，惟  $x$  應為一小電阻，俾橋上之電壓降亦小，而其長度得以讀出，橋阻綫須勻和，則各部之電阻亦能一律，但因不能避免容抗影響，此法所得結果，亦不過一近似數耳。

#### (五) 容量測驗

蓄電池充電時，其充電率應依照製造家之規定，如此數不知，則可按每方吋陽片面積需  $\bigcirc \cdot \bigcirc$  四安之電流，算出其應有之充電率，充放數次，視經過情形再加校正，最大充電率，以在充電時電池溫度不超過室溫之上華氏二十五度，及不發生過量起泡為度，放電率可參照充電率，惟放電之起始，最好密接于充電完滿之後，被試電池如經如此充放，當可達其正則狀況，連接機件如圖三，可開始作容量測驗。



依規定放電率，使該達正則情狀後之被試電池放電，穩定電流之值，注

意並記錄時間與電壓及比重間之關係，採取記錄之疏密，可視該電池性質及其用途而定，大概放電率愈大者，採取記錄相隔之時間應愈短，如在三十分鐘之放電率時，每二分鐘即應記取一次也。

電池最終電壓定為一·八伏，俟放電至一·八伏時，即可停止。

以時間與電壓或電液為橫縱坐標，畫出電池之放電曲綫及電液之比重曲綫，必要時充電曲綫亦應畫出，以資對照。

以放電電流安時數，乘放電經過之時間，即得該電池之安時容量。

以安時容量，乘自曲綫量出（可用測面器或分格法求出）之平均電壓，即得瓦時容量。

安時容量之大小，常隨各種因數而變更，如不同之放電率，能得不同之容量也，故稱安時容量時，嚴格而論，蓋係對照其放電率而言也。

再者，電池電壓及電液比重，祇能表示電池在正則狀況時之情形，如遇容量短少之時，須更作錫極試驗，錫之性質，在電化序中，介乎過氧化鉛及絨狀鉛之間，故置錫條于電池中，能分別量出陽相陰組與錫條間之電位，以測度該陰陽組之情形，斷其優劣，而另籌補救之道也。

#### (六) 擱置電荷損失試驗

蓄電池在充電後，如擱置不用，日久能發生漏電或局部放電作用，電荷常有相當損失，電液比重愈高者，損失亦愈大，其他如室溫高低及電液純否等亦有影響。

普通鉛酸蓄電池充電滿足後，擱置一月之電荷損失，不能超過百分之三十，愛迪生電池則二週以百分之十五，一月以百分之二十為限，如超過此限度，則必有失常之處，應即留意檢查電液隔器及沉澱等情形。

作此試驗前，應將被試電池加以數次完美充放，放電應密接于充電完滿之後，使該電池能達其正則情狀。

量得其最後一次放電時之容量，名之曰安時<sub>1</sub>，再予以完美之充電，擱置于室溫在華氏七〇至八〇度間之室內，經一月後取出放電，量得其容量

名之曰安時<sub>2</sub>，于是該電池之獨置電荷損失率為

$$\frac{\text{安時}_1 - \text{安時}_2}{\text{安時}_1}$$

### (七) 震動影響測驗

車用、飛機用、船用，以及其他不能靜置之電池，運用時受有震撼，其結果能影響電池之種種，故在製造此類電池時，為明瞭其應用時實際情形計，于出廠之前，製造家均作震動試驗。

震動試驗可以一軸端裝有偏輪之電動機為之，以該偏輪擊動一平置之木板，被試之電池即縛于此板上。每分間之震動數，為一千次，震幅為五耗（約合〇・一二二吋）。該蓄電池則以五小時放電率放電，于其放電之最後一小時中，開動電動機，使發震動。放電完畢後，再詳察下列各項：容器破裂否？片組有損壞或折裂否？燒焊接縫處完好否？墊料跌落之情形，尚不十分劇烈否？電液不噴出否？注酸口等處未被侵蝕否？如箱下墊有承盤，則電池在盤內能不滑動否？以上各點，凡屬良好之蓄電池，均不宜發現也。

### (八) 各種效率之測定

蓄電池效率測驗，主要者可分二種：

一曰安時效率，亦稱電流效率，為放電時輸出，充電時輸入之安時數量之比，以數式表示則為

$$\text{安時效率} = \frac{\text{放電時輸出之安時數}}{\text{充電時輸入之安時數}}$$

安時容量之測算方法，前于容量測驗節中，業經述及，如備有安時表，則直接即可讀出其記錄，更為便利。

安時效率，在理論上，可達百分之一百，但實際應用時，如起泡作用不易防止，溫度亦有變化，更因時間關係，又未便將充電之電流及電壓過于減低，故殊難達最高記錄也。

二曰瓦時效率，亦名電壓效率，或電能效率，即為輸出瓦時量與輸入瓦時量之比，亦即安時效率乘放電與充電時平均電壓之比之積，此效率亦可用瓦時表直接測定求出。

瓦時效率，與電池運用之費用有關，測驗時更應注意。瓦時效率普通可達百分之八十五，除與安時效率同受上述之影響外，尚須視極化作用及內阻等之情形如何。如能固定電壓，減低內阻，增加片之多孔性，並有豐富之電液，則瓦時效率亦可有相當增加。

#### (九) 壽命試驗

鉛酸蓄電池之壽命，依其種類而有不同。大概汽車所用者，約為一年半。如客車發光用者，可三年或三年半。愛迪生電池則能延長其壽命至七年或八年。

作電池壽命測驗，甚費時間。製造家為明瞭其出品成績，亦有作粗淺估計者。法以一蓄電池，以其規定充電電流之百分之八十，予以連續之充放。每隔二星期作一放電測驗，以定其容量。其液面應時加校正。直至以規定放電率放電而測得其容量已跌至其定額容量之百分之八十時止。其經過之日數，即為該電池能發揮最高效率之時間，亦即其有效之壽命也。此外尚有以經歷充放之次數作其壽命之標準者。如白郎德式（化成者）為一五〇至一千五百次；福耳式（塗成者）至少應經一五〇次以上，而仍能完好如故者，方稱合格也。實際上電池充放時，常難完全，故所得亦屬一近似數。聞日本蓄電池株式會社，測驗其出品時，曾達二千次以上云。

# 電氣鐵道電動機之選擇

楊耀德先生講 · 徐世功記

## 引 言

溯自電學昌明，電力之應用日廣，各種工業之趨於電氣化無論焉，即在交通事業上，電氣之應用，尤關重要，而蒸氣鐵道之電化，近十數年來，歐美日本諸國之發展，與日俱進，其主因不外下列數端：第一點，利用水力發電以供給動力，燃料之消費可以節省，第二點，電氣機關車無需給水加煤等設備，操縱控速，較為便捷，第三點，在停車時間電力可全不耗費，而當下山坡時，動力之收回，尤為電氣機車之特色，第四點，鐵道電化後，運輸之速度可以增加，在業務上大為便利，至於城市內之街車與短距離之輕便電氣鐵道，在交通上亦有其未可動搖之地位，與經濟便利之特色，本文將電氣鐵道工程上電動機選擇方法與手續，概要略述，並將最近發展之柴油電氣機關車之特性，介紹於國人。

(一)電氣制度 在電氣鐵道上通用之制度，可大別為四(1)直流電制(direct current system) (2)單相交流電制(Single phase system) (3)三相交流電制(Three phase system)及(4)混合制(Combined system)。

直流電制者以直流電配送電能之制度也，其路線電壓自500至3000伏，車上所用之電動機為直流串激電動機，其額定電壓(rated voltage)係600伏，1200伏或1500伏；若將兩具電動機永久串聯，可動作於2400伏或3000

伏電壓之路線。單相交流電制者，以單相交流電配送電能之制度也。電動機用串激或推拒式路線電壓自3300至15000伏，因高壓危險，故不適用於市內。電動機之額定電壓係225或300伏，用自變壓器 (auto-transformer) 或電壓調整器 (voltage regulator) 以調節電壓而控制速度。三相交流電制應用在駛行於山嶺起伏之電氣機關車上，所用電動機為三相感應式，路線電壓普通用3300伏，可直接施於電動機，無需用變壓器降低。混合制度者即以單相制配送電能，在車上用變相器 (phase converter) 使成為三相電流，而應用於三相感應電動機之制度也。

(二) 車身阻力 車身阻力即車輛以常速度在平直軌道上所受之阻力也，其主要因子有三：(1) 軸承摩擦 (bearing friction) (2) 滾動摩擦 (rolling friction) 及 (3) 空氣阻力；在不同情形之下，經多次之試驗，對於此阻力之數量關係，有若干公式可計算，而得極近似之值，本文因篇幅關係，祇引述 Armstrong 氏之公式，亦即通常所用者，在單節車輛，Armstrong 氏之公式為：

$$f = b + cs + \frac{das^2}{w} \quad (1)$$

上式中  $f$  = 每噸車重所受阻力之磅數

$a$  = 車之剖面積

$b$  = 軸承摩擦之不變部份 (Constant component),

$= \frac{50}{\sqrt{w}}$  但此值不得小於 3.5,

$c$  = 軸承及滾動摩擦變動部份之係數，在平常車重時為

0.03，如車身輕而路軌又壞，則最大可達 0.07，

$d$  = 空氣阻力之係數，此值變化甚大，如用尖端之車輛，則為

0.0015，圓端者自 0.002 至 0.0025，平端者為 0.004，

$s$  = 速率，每點鐘哩數，

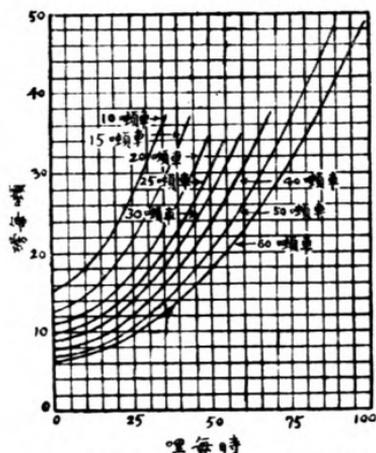
$w$  = 車重之噸數，(每噸作 2000 磅)

若依普通情形，將各數代入則得

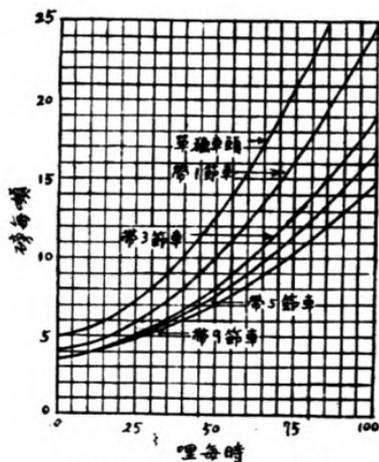
$$f = \frac{50}{\sqrt{w}} + 0.03s + \frac{0.002as^2}{w} \quad (2)$$

若計算列車之阻力，則假定第一節以後，每多一節而各車輛之剖面積均相等，在空氣阻力  $\left(\frac{das^2}{w}\right)$  項中，祇增加十分之一，如剖面積不等，宜依大小而增減之。

為計算上方便起見，將車速與阻力在各種車重及不同輛數時之關係，畫成曲線，此曲線可向參考書上查之，今略舉數圖如下：

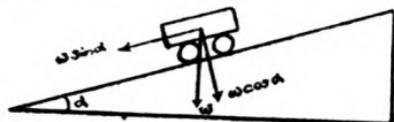


圖(1)一車身阻力，單節車軸



圖(2)一車身阻力，車頭及列車

(三) 坡度效應 (grade effect) 凡車輛在坡度上時，其重量可分析之為兩力， $w \cos \alpha$  與路面垂直，及  $w \sin \alpha$  與路面平行，前者對於車之行動，無甚直接關係，而後者即將車子向下拖之力也。故車輛上坡時，除抵抗車身阻力外，更須有與  $w \sin \alpha$  成正比例之推動力，方能上升，因  $\alpha$  角總是頗小，故  $\sin \alpha$  可以  $\tan \alpha$  代之， $\tan \alpha$  之值，即坡度之百分數也。因此每噸車重在坡度百分



圖(3)

之  $a$  時所需推動力為

$$G = w \frac{a}{100} = 2000 \times \frac{a}{100} = 20 a \text{ 磅。} \quad (3)$$

G 可正可負，視車之上坡與下坡而定，上坡為負，下坡為正。

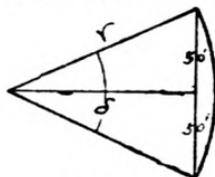
(四) 曲軌阻力 (Curve resistance) 凡車輛在曲軌上行駛時，即有反抗其以定速向前進行之力量，此吾人所習知者，此種力量稱之曰曲軌阻力。在電氣鐵道計算上，此阻力可以下列由實驗而得之公式表示之。

$$c \text{ (每噸車重之曲軌阻力)} = 0.7 \delta \text{ 磅} \quad (4)$$

$\delta$  為曲軌之曲度 (curvature)，以度為單位，曲軌曲度者，依美國之規定，即 100 呎長之弦，在此曲線上所張中心角之度數也，如曲度為  $\delta$ ，則一百呎之弦所張之中心角為  $\delta$  度，因此曲度一度之曲線半徑，可依下式求之。

$$\sin 30' = 0.0087 = \frac{50}{r},$$

$$\therefore r = \frac{50}{0.0087} = 5730 \text{ 呎。}$$



假如曲度甚小，在三度以內，其正弦之值，幾與其兩 (4)

角相等，故得  $\delta$  度曲度之曲線半徑為  $\frac{5730}{\delta}$  呎，或  $\delta = \frac{5730}{r}$  度。

(五) 直線加速進行時之動力 當車輛作直線運動時，如欲使其有 A 哩每時每秒之加速，則所需之力為

$$F = mA = \frac{w}{32.2} \times \frac{5280}{3600} A \text{ 磅，}$$

如車重 w 以噸為單位，即得每噸車重所需之力為

$$F = \frac{2000}{32.2} \times \frac{5280}{3900} = 91.1 A \text{ 磅，} \quad (5)$$

但實際上當車輛進行時，即使其為直線加速，所需之動力亦決不祇此也，因車輪、電樞及齒輪等各部轉動之關係，發生一種旋轉慣性，故需更多之力以推動之，今將小部之旋轉慣性略而不計，單就車輪與電樞，計算如下：

設  $N_w, W_w, R_w$  及  $r_w$  為車輪之個數, 重量, 半徑及迴轉半徑 (radius of gyration),  $I$  為每輪之慣性矩, 則在車速  $S$  時, 其旋轉動能為

$$\begin{aligned} \text{K.E.} &= \frac{1}{2} I N_w \left( \frac{S}{R_w} \right)^2 = \frac{1}{2} N_w \frac{W_w}{g} r_w^2 \left( \frac{S}{R_w} \right)^2 \\ &= \frac{1}{2} N_w \frac{W_w}{g} \left( \frac{r_w}{R_w} \right)^2 S^2 . \end{aligned}$$

同理, 電樞此時之旋轉動能為

$$\text{K. E.} = \frac{1}{2} N_a \frac{W_a}{g} \left( \frac{r_a}{R_a} \right)^2 r_c^2 S^2$$

$N_a, W_a, R_a, r_a$  為電樞之個數, 重量, 半徑及迴轉半徑,  $r_c$  乃齒輪比數 (gear ratio).

因此等同時直線運行, 同時旋轉之結果, 故車輛之總動能增加為

$$\frac{1}{2g} \left[ W_w \left( \frac{r_w}{R_w} \right)^2 N_w + W_a \left( \frac{r_a}{R_a} \right) N_a + W \right] S^2, \text{ 而非 } \frac{1}{2} \frac{W}{g} S^2, \text{ 若與公式}$$

$\text{K. E.} = \frac{1}{2} M S^2$  比較, 則知是時此車之有效重量為  $W_w N_w \left( \frac{r_w}{R_w} \right)^2 + W_a N_a r_c^2 \left( \frac{r_a}{R_a} \right)^2 + W$ , 而非  $W$ , 故所需之力應為

$F = 91.1 A/K$ ,  $K$  為實際重量與有效重量之比數, 普通在 0.9 左右, 為簡便計, 得

$$F = 100 A, \quad (6)$$

從機車曳引力  $P$  中, 除去上述各種阻力外之可用動力淨量為

$$F = 100 A = P - f \pm G - C - B,$$

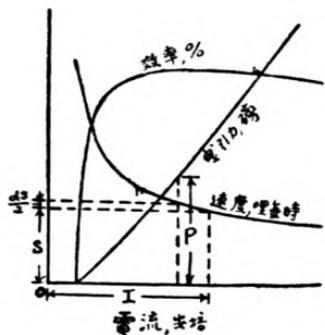
$$\text{或 } A = 0.01 (P - f \pm G - C - B), \quad (7)$$

$B$  為輪掣之阻力 (Brake), 磅每噸。

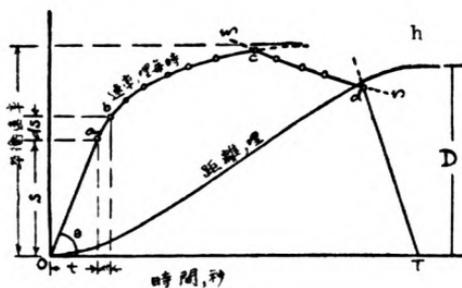
(六) 速率——時間曲線 (Speed-time curve): 此曲線表明車輛開出後, 時間與速率之關係, 對於電動機選擇上, 殊關重要, 應先將其作成, 但因路軌

情形與距離長短等等不同，故各路段之曲線亦互異，今就最簡單之狀況下，加以申述。設有 A, B 兩站，相距 D 哩，其間絕無曲軌與坡度之影響，行駛之規定時間為 t 秒，圖(5)為擬選用之電動機之特性曲線（可向廠家索取），則 A, B 間速率——時間曲線，可依下列手續畫成。

(a) 當車輛開始行動，須予以相當之加速，俾使其速度能漸漸增高，設預定之加速為 A 哩每時每秒，則在圖(6)之 o 點，作一直線 oa，令角  $\theta$  之正切等於 A， $S = t \cdot \tan \theta = At$ ，故此線即以加速 A 進行時速率——時間之曲線也。由圖(1)圖(2)，可知低速時，車身之阻力變化殊微，為便利計，假定其為定量，



圖(5)



圖(6)

數值如何，則可以此時之平均速度，在圖上找尋，阻力既為不變，則電動機之曳引力，應為常數，照電動機原理， $P = k \omega I$ ，在串激式電動機，若曳引力固定不易，則磁流  $\omega$  與電流  $I$  應保持一相當之定量，欲適合此條件，須用一變阻器與電動機接成串聯，迨開動後，將其電阻逐步減少，庶足保持電流之流入，為一定量，（在交流電動機可用電壓調整器）至變阻器之電阻完全割出，即定量加速運動停止之時，設此運動最後所達之速度為 S，則從特性曲線上，可知此時每機之流入電流為 I，是即開動後應保持之定量電流也。

(b) 自 a 點以後，速率照電動機之特性曲線而增加，設在極短時間 dt 後，

速度之增加為  $ds$ ，但  $ds$  甚小，故儘可用均速  $S + \frac{ds}{2}$  計算車身阻力，由圖 (7) 得阻力為每噸  $f$  磅，再由圖 (5) 得電動機此時之曳引力為  $P$  磅，則

$$A' = 0.01(P' - f) ,$$

$$\therefore dt = \frac{ds}{A'} = \frac{ds}{0.01(P' - f)} .$$

$$P' = \frac{n_m P}{W} , n_m \text{ 為所用電動機之只數，應先決定者。}$$

$dt$  已知，即  $b$  點決定矣，其餘各點依此類推，聯接之得曲線  $abc$ 。

但車速決不能無限增加，故  $abc$  曲線，亦必達一相當限度之速率，而成為與時間軸平行之直線，此最後之限度，稱之曰平衡速率 (balancing speed)，即當曳引力與阻力成平衡時之車速也。

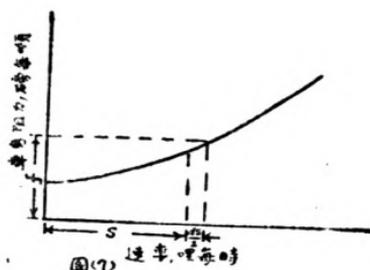
(c) 在時間軸上，取一點  $T$ ，使  $OT$  為預定之行駛時間，由  $T$  引直線  $Td$ ，令  $d$  角之正切，等於加輪掣後之減速率，則與 (a) 節同理，此線即為速度——時間曲線之最後一段。

(d) 往往在未加輪掣以前，將電源切斷，使其速度先事降低，此時速率與時間成下式之關係

$$A = \frac{ds}{dt} = -0.01f .$$

$f$  因車速之大小而變，故此曲線又須依 (b) 節之法，逐步求出，設為  $mn$ ，可畫在另一紙上，然後將其在  $bc$  與  $Td$  間移動，湊至全曲綫所含之面積，等於兩站間之距離時為止，因  $D = \int_0^T s dt =$  曲綫之面積，如是則適合我們之要求，而全段曲綫已告成功；若路軌有坡度與曲軌，則作法並無二致，惟所得曲綫不能如圖 (6) 之平滑耳。

(七) 距離——時間曲綫 (distance-time curve) 因  $D_t = \int_0^t s dt$ ，故用測面



器 (planimeter) 將  $oa$  下之面積量得所得者即在  $t$  時間車輛已經之距離也 (須乘以相當尺度 (scale)), 依此將各時間之距離一一測知, 則此曲線即能畫成矣, 如圖 (6) 之  $oh$ 。

#### (八) 電流—時間曲線 (current-time curve)

此曲線表示某時每電動機流入之電流在  $oa$  間, 已知其為常數故成  $a'a$  直線而  $oa' = I$ , 以後速率增高, 電流漸減, 某時之電流, 可將此時之已知速率, 在特性曲線上求得之, 逐步點出, 即成曲線  $ac$ , 至  $c$  點電源切斷故降而為零。

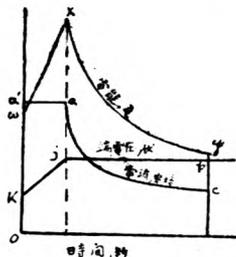


圖 (6)

#### (九) 電能—時間曲線 (Power-time curve)

在直流電制, 當車輛啓動之際, 電動機之端電壓用電阻器控制, 而電能消費總量, 包括電阻器耗損, 等於路線電流與電壓之乘積, 路線電流乃每機之電流乘其並接電動機個數之積也, 在單相交流電制, 電動機之端電壓用變壓器控制, 其耗損甚微, 當啓動之際, 電動機端電壓變化假定為直線關係, 自一最小之啓動電壓 (Minimum starting voltage) 起至額定電壓為止, 以後即作為不變, 故得電壓—時間曲線  $KjP$ , 電壓與電流之乘積, 再乘以工率因數 (Power factor) 即得電能之消費, 工率因數可從電動機之動作特性曲線查出, 是以電能與時間之關係, 極易畫出, 如圖 (8) 之  $wxy$ , 此曲線之面積, 即代表兩站間行駛一次, 電動機所費之電能也。

(十) 電氣鐵道電動機之額定量 (Rating) 電動機之額定量有二, 一曰標準額定量 (Normal rating), 一曰連續額定量 (Continuous rating), 依 A. I. E. E. 之規定, 標準額定量即電動機在額定電壓下行動經一小時之久而得之機械力出量 (Mechanical output), 或以馬力或以瓦時表之, 其整流環溫度之昇高, 不超過  $90^{\circ}\text{C}$  (用寒暑表量之), 其餘各處則以  $75^{\circ}\text{C}$  (寒暑表量) 或  $100^{\circ}\text{C}$  (電阻量) 為限度, 連續額定量者, 即在  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{2}{3}$  或十足額定電壓下行動, 所需流入之電流量, 經連續不斷工作而其溫度昇高, 能不過下列之規定:

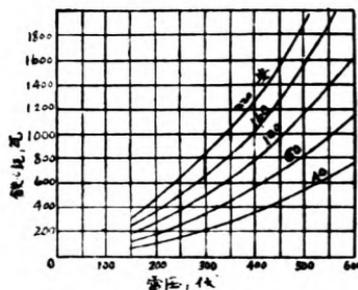
絕緣物體	用寒暑表量	以電阻量
A 種(絲棉,紙等)	65°C	85°C
B 種(雲母,石棉等)	80°C	100°C

(十一) 電動機容量與工作需要之關係 車輛行駛時每電動機所費之平均電能,由上述之方法,已可知之,而其應具之容量已略定矣,凡電動機之容量以耗損(power loss)之多少為限制,耗損多少則視各部溫度之昇高不超出規定範圍為度,故選擇時最精確之方法,厥唯將電動機在實際工作下,量其溫度之有否越出範圍為定,然此選擇方法,既耗金錢,又往往非事實之所許,故普通俱依下列之方法以定去就。

(a) 取一擬選擇之電動機之鐵心耗曲線(core loss curve), (可向廠家索取)如圖(9),依上述工作情形,將各時間之鐵心耗測知,譬如  $t$  時之端電壓為 500 伏,電流為 60 安,則由圖(9),鐵心耗為 800 瓦,立可讀知,畫一鐵心耗—時間曲線,由此求其平均數,再由電流—時間曲線,求電流之均方根(r.m.s.)

值,因電動機之發熱與電流之平方成比例,故須將均方根作為計算。

(b) 以平均鐵心耗及均方根電流在圖(9)求相當端電壓,然後比較均方根電流與相當端電壓之連續額定電流量,如均方根電流不超過額定電流則第一步認為合用,否則即容量不足。



(圖 9)

(c) 標準額定量下之電能耗(千瓦),除以一小時工作後之最大溫度昇高,所得之商作為此電動機之熱容量(heat capacity),因此時熱量之散失,殊為稀少,可當作全部被機體所吸收也。

(d) 第二步須研究此電動機在最高負載(Peak load)時,能否合用,由其效率曲線,查知此時之電能耗,設為  $P_1$  預特,又在均方根電流及相等電

歷時之電能耗設為  $P_r$  (銅耗) +  $P_c$  (鐵心耗), 溫度升高為  $t^\circ\text{C}$ , 而  $t$  之計算可用下列公式

$$t = T \frac{P_r + P_c}{P_r' + P_c'}$$

$T, P_r', P_c'$  乃連續額定電流及相等電壓時之溫度增加, 銅耗及鐵心耗, 則得頂高負載時溫度升高之總數為:

$$t + \frac{P_L - (P_r + P_c)}{\text{熱容量係數}}$$

如此值能不超出安全限度, 則第二步可認為合用矣。

(e) 頂高負載時之溫度, 雖能在規定限度之內, 但此機尙未能認為最佳, 因此頂高負載也許超過該機之許可短期過載量 (Short period overload capacity), 而形成火花與機械力上之危險, 如不超過, 方為完全合用矣。

(十二) 電動機容量之初步決定 若依上法將各段路軌及各機逐一計算, 而欲選其最經濟者, 則恐又覺手續之太麻煩矣, 故先將電動機之大小, 作一初步之決定, 俾可為整個電氣鐵道工程計劃及估價之根據, 實為事實上所亟需要, 許多電氣技師, 如奇異公司之 B. A. Widell 氏, 惠司丁好司公司之 S. B. Cooper 氏等, 根據相似之速度——時間曲線與相似之電動機特性曲線, 以算製電氣鐵道電動機應用之圖表, 可作初步選擇之張本, 按圖索驥, 雖不中亦不遠矣, 茲篇因限於篇幅, 未能將是項應用圖表細述, 欲知其詳, 可參考 Richey 氏電氣鐵道手冊 (Electric Railway Handbook) 第四章, 及 Widell 氏論文, 見於 1928 年十月 A. I. E. E. 季刊。

(十三) 柴油電氣機關車之特點 柴油機之熱效率甚高, 且無停車時之耗損, 啓動迅速, 無須預備手續, 運轉發電機, 產出電能以電動機關車, 故控制靈便, 傳力穩健, 而對於調動車輛等工作, 尤為合用, 為蒸氣機關車所勿及, 在運輸業務較稀之路線, 用柴油電氣機關車, 頗屬省費, 至若柴油出產豐盛或供給便利之區域, 則柴油電氣機關車之經濟意義, 更不待言矣。

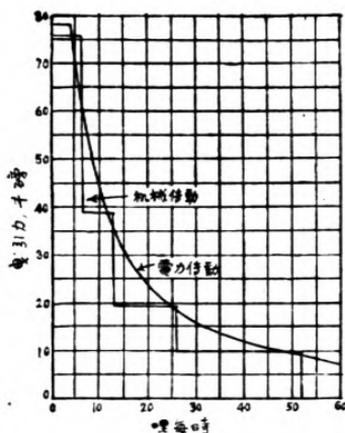


圖 (10)

柴油機關車用機械傳動與電氣傳動之優劣比較，表示如圖(10)，圖中所示為1500馬力柴油機關車，用四級減速齒輪傳動與用電氣傳動之曳引力——速率曲線，觀圖可見電氣傳動之平均曳引力高於機械傳動，且用機械傳動則當從甲級齒輪掉換至乙級齒輪時，運轉不能平滑，故電氣傳動較為優勝無疑，圖(11)表明1500馬力柴油機關車用機械傳動與用電氣傳動之馬力——速率曲線，速率自10哩每

時以上，電氣傳動之平均產出工率約1250馬力，而機械傳動則平均祇約1000馬力，兩者之相差達25%。

(十四) 柴油電氣機關車之電動機容量 圖(12)表明1500馬力柴油

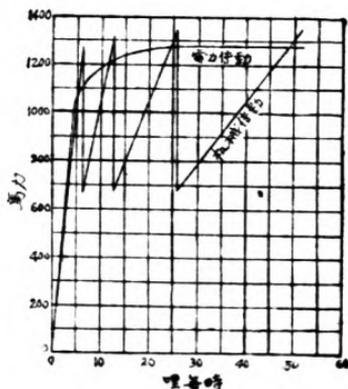


圖 (11)

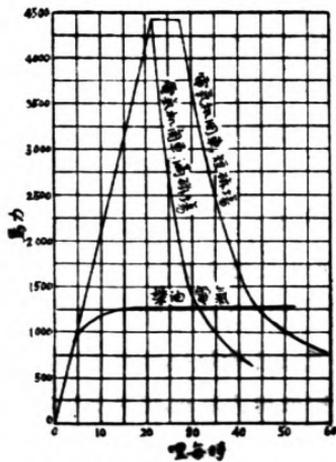


圖 (12)

電氣機關車上，設置之電動機所產出馬力與相同之電動機在電氣鐵道機關車上所產出馬力之比較，前者最高祇約 1275 馬力，而後者最高達 4400 馬力，柴油電氣機關車上電動機之產出馬力，限於原動機之供給電能容量，而並非限於電動機之力，有所未遑也。當電動機起動柴油電氣機關車達較低速率時，電阻器已悉割出，而電動機端已與發電機直接，厥後電動機之加速，由提高發電機電壓得到，最後則由削弱電動機磁場得到，故最大電流與最高電壓係分別施諸電動機，而並非同時施諸電動機，如電氣鐵道機關車然，電動機之產出馬力，雖因最大電流與最高電壓分別施給而限制，但電載與磁載之值，則仍依最大電流與最高電壓而定，此即圖 (12) 中兩曲線互異之根本原因也。

參考書：

- A. S. Richey—Electric Railway Handbook, 2nd. Ed.  
C. F. Harding—Electric Railway Engineering.  
W. J. Davis—"The Tractive Resistance of Electric Locomotives and Cars", G. E. Review, Oct. 1926.  
B. A. Widell—"Selection of Motor Equipment By Similar speed Time curves", Tr. A. I. E. E., Oct. 1928.  
N. W. Storer—"Diesel Electric Rail cars and Locomotives," Electrical Engineering, Nov. 1934.

# 測定副波之簡解法

朱國棟

(一)總論：電子管放大之輸出電波狀態，與其活動特性曲線之式樣，有密切之關係，當放大管所功作之活動曲綫為直線時，則輸出之電波與其輸進柵極者，能完全相同，絕無失真之存在，反之，若其活動特性曲線不為直線，則其輸出電波即失真而含有副波矣。(Harmonics) 此種副波之大小，實為限止該放大輸出量之重要因子也。欲得大量之輸出必先改少副波之存在，故求解副波之成份，實為無線電設計者所不能避免之工作。普通求解副波之方法，大都根據傅力氏級數(Fouier series)展開，再用積分法求得之。但此方法需時頗久手續煩雜，雖有副波分析機(Harmonic Analyzer Machines)之發明，但因其機價之昂貴，終不得普及之運用，本篇所述之方法，較之于以上二法則為簡捷而便利多矣。

凡任何式樣之電波，必能以以下式表示之：

$$i = A_0 + A_1 \sin \theta + A_2 \sin 2\theta + A_3 \sin 3\theta + \dots \dots \dots \\ + B_1 \cos \theta + B_2 \cos 2\theta + B_3 \cos 3\theta + \dots \dots \dots \quad (1)$$

于任何放大管輸出之電波，其每半

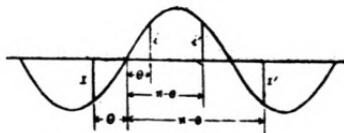
波必二旁相對如圖一所示

$$i = i' \text{ 及 } I = I'$$

若  $i$  以(1)式表示，則  $i'$  之式可將  $\theta = \pi - \theta$

代入(1)式而得之如下：

$$i' = A_0 + A_1 \sin \theta - A_2 \sin 2\theta + A_3 \sin 3\theta - \dots \dots \dots$$



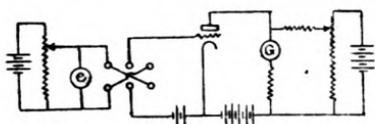
第一圖

$$-B_1 \cos \theta + B_2 \cos 2\theta - B_3 \cos 3\theta + \dots \quad (2)$$

因(1)式與(2)式等,故不論放大管之失真度如何,其輸出之電波,必可以下式表之:

$$i = A_0 + A_1 \sin \theta + A_3 \sin 3\theta + A_5 \sin 5\theta + \dots + B_2 \cos 2\theta + B_4 \cos 4\theta + B_6 \cos 6\theta + \dots \quad (3)$$

(二)“甲”類放大: 圖二所示為一普通之“甲”類放大線路,其輸入電壓



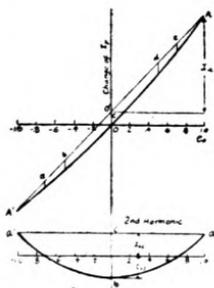
第二圖

之大小及方向,皆可任意調節,屏路內含有負荷電阻 $R_L$ ,及電流表 $G$ ,抵償電流調節至當無柵壓輸入時,其電流表之指示適等于零如是,則電流表 $G$ 之所示,為因柵壓之輸入而

引起之屏流變值也,由此試驗吾人可得第三圖之 $AA'$ 特性曲線,于研究失真時,柵極之輸入電波必須假設為純粹之正弦波,絕無任何之副波存在,則放大曲線之橫座標,可以下式表之:

$$X = e_g = e_0 \sin \omega t = e_0 \sin^2 \theta \quad (4)$$

設 $e_0 = 1$  則 $x = e_g = \sin \omega t$   
 此處 $e_g$ 為柵極之變流瞬電壓,由(4)式可知橫座標乃代表基本波時間角度之正弦(sine)而非其角度之自身。



第三圖

欲得不失真之放大,則輸出電流之瞬值需與其輸入電壓成正比,因此其二者之關係得以下式表之:

$$y = I = I_a \sin \omega t = I_a \sin^2 \theta \quad (5)$$

此式為一直線之方程式,因此可知凡無失真之放大特性曲線,必為直線,不然則必有副波之存在也,今若以該特性曲線之二端,連以一直線 $AO'A'$ 如圖二所示,則輸出電流之是否失真,頗易探察,若該特性曲線與其直線相距

愈遠，則其失真度或副波成份亦愈大。此曲線之所以與直線相差者，乃為其所有之副波之總結果，依此理論，各副波之振幅及其正波大小皆可推測也。為明瞭起見，先假設波內祇含二次副波

$$I_2 = I_{02} \cos 2\theta$$

式中二次副波之振幅  $I_{02}$  即欲測定之未知數也。

$$\begin{aligned} I_2 &= I_{02} \cos 2\theta = I_{02} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \\ &= I_{02} (1 - 2 \sin^2 \theta) = I_{02} (1 - 2x^2) \end{aligned} \quad (6)$$

依此方程式，作二次副波之曲線，如第二圖之下部所示。今再設想輸出電波，可分解成一正波  $I_a$ ，及一二次副波  $I_{02}$ ，混合正波及二次副波即得實測之曲線  $AOA'$ 。於是副波之大小頗易比較  $AOA'$  及  $aba'$  二曲線而求得之。但因此副波曲線之二端，不在橫座標軸上，故欲與放大特性曲線相比，須將其二端  $aa'$  連接一直線，然後再比較該二曲線可得

$$I_{02} = \frac{1}{2} OO' \quad (7)$$

于實際上，輸出電波內決不主祇此二次副波，內部必尚含三次四次五次……等等副波也，欲求解每種副波之值必須依上法求得其各副波曲線之方程式。在普通“甲”類放大內副波之大于六次者往往非常微小而可不計之：

$$\left. \begin{aligned} I_2 &= I_{02} \cos 2\theta & I_2 &= I_{02} (1 - 2x^2) \\ I_3 &= I_{03} \sin 3\theta & I_3 &= I_{03} (3x - 4x^3) \\ I_4 &= I_{04} \cos 4\theta & I_4 &= I_{04} (1 - 8x^2 + 8x^4) \\ I_5 &= I_{05} \sin 5\theta & I_5 &= I_{05} (5x - 20x^3 + 16x^5) \\ I_6 &= I_{06} \cos 6\theta & I_6 &= I_{06} (1 - 18x^2 + 48x^4 - 32x^6) \end{aligned} \right\} (8)$$

有此類方程式，即可作得如第四圖所示之曲線，放大特性曲線之與直線相差者，實受此類副波之總影響。故在某橫座標之數值下，特性曲線  $AOA'$  與直線  $AO'A'$  之縱座標線 (Ordinate) 差，必等于各副波縱座標線差之和。因此各副波之振幅，可于選定之幾個橫座標下，比較特性曲線與各副波曲線之縱座標線差而求解之。此橫座標之選定，須使其解求愈便愈佳。通常往往選得使某幾副波之縱座標差適等于零或適為最大值，今選定  $x$  之值如下。

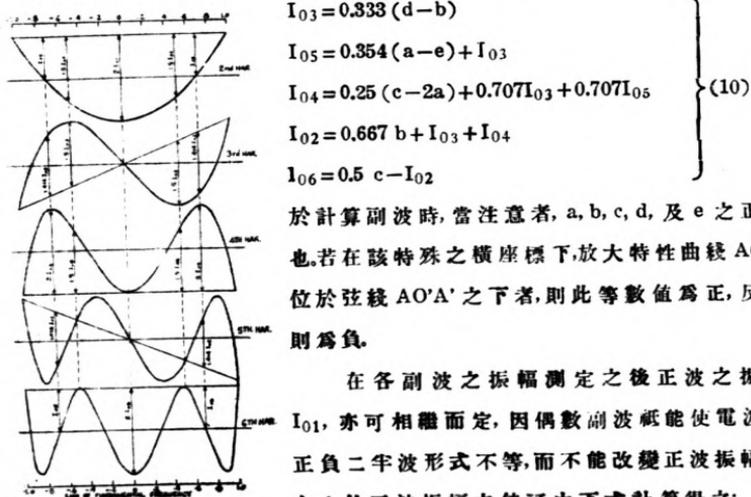
$$x = -0.707; -0.5; 0; 0.5; 0.707$$

此數值相當於正波角度為  $-45^\circ; -30^\circ; 0^\circ; 30^\circ; 45^\circ$

由第三圖之所示混合各縱座標綫差,可得下列數式:

$$\left. \begin{aligned} x = -0.707 & \quad a = I_{02} - 1.414 I_{03} - 2 I_{04} + 1.414 I_{05} + I_{06} \\ x = -0.5 & \quad b = 1.5 I_{02} - 1.5 I_{03} - 1.5 I_{04} \\ x = 0 & \quad c = 2 I_{02} + 2 I_{06} \\ x = 0.5 & \quad d = 1.5 I_{02} + 1.5 I_{03} - 1.5 I_{04} \\ x = 0.707 & \quad e = I_{02} + 1.414 I_{03} - 2 I_{04} - 1.414 I_{05} + I_{06} \end{aligned} \right\} (9)$$

此處 a, b, c, d, 及 e 等代表放大特性曲線 AOA' 與其直綫 AO'A' 之縱座標綫之差,如第二圖所示,解公式 (9) 可得各副波之振幅如下:



第四圖

$$\left. \begin{aligned} I_{03} &= 0.333 (d - b) \\ I_{05} &= 0.354 (a - e) + I_{03} \\ I_{04} &= 0.25 (c - 2a) + 0.707 I_{03} + 0.707 I_{05} \\ I_{02} &= 0.667 b + I_{03} + I_{04} \\ I_{06} &= 0.5 c - I_{02} \end{aligned} \right\} (10)$$

於計算副波時,當注意者, a, b, c, d, 及 e 之正負也。若在該特殊之橫座標下,放大特性曲綫 AOA' 位於弦綫 AO'A' 之下者,則此等數值為正,反之則為負。

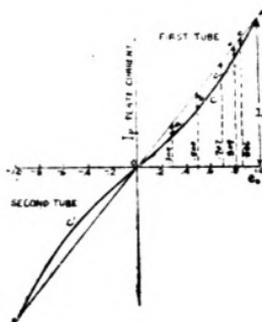
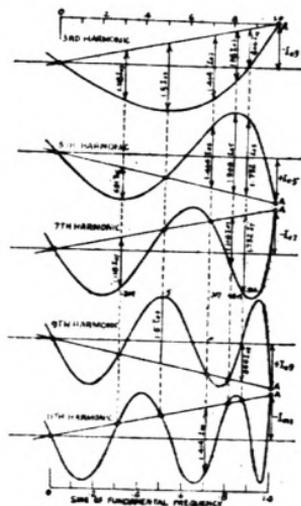
在各副波之振幅測定之後,正波之振幅  $I_{01}$ , 亦可相繼而定, 因偶數副波祇能使電波之正負二半波形式不等, 而不能改變正波振幅之大小, 故正波振幅之值, 可由下式計算得之:

$$I_{01} = I_a - I_{03} + I_{05} \quad (11)$$

(三) 推挽式“乙”類放大或調幅 (Push pull Class E amplifier or modulator) 因“甲”類放大管或“甲”類調幅管之屏效率為極低, 故當於產生較大

之電力時，皆鮮用之。推挽式“乙”類放大既能得較高之屏效率，並在輸出電波中無偶數副波之存在，因此凡需產生大量之成音速率電力時，皆產用此種放大。

第六圖



第五圖

第五圖所示為一推挽式調幅管之特性曲綫，與第二圖相似，於推挽式之輸出電波內，副波之高於第十一次者，常為極小而可忽視之。本篇之分析，亦即分至第十一次副波為至，與第二節內所述之同樣方法，吾人可得第六圖之副波曲綫，在該圖中祇示曲綫之一半，因另一半於求解副波時，並無應用故簡省之。欲解自第三次至第十一次之五副波，須選定五橫座標線如下：

$$\theta = 18^\circ; 30; 46; 54^\circ; 60^\circ$$

$$x = 0.309; 0.5; 0.707; 0.809; 0.866$$

混合於該點之各縱座標線即得下列諸式：

$$\begin{aligned} x=0.309 & \quad a=1.118 I_{03}+0.691 I_{05}+1.118 I_{07} \\ x=0.5 & \quad b=1.5 I_{03}-1.5 I_{09} \\ x=0.707 & \quad c=1.414 I_{03}-1.414 I_{05}+1.414 I_{07} \\ x=0.809 & \quad d=1.118 I_{03}-1.809 I_{05}+1.118 I_{07} \end{aligned} \quad (12)$$

$$x = 0.866 \quad f = 0.866 I_{63} - 1.732 I_{05} + 1.732 I_{07} - 0.866 I_{09} J$$

由 (12) 五式解五未知數得為

$$\left. \begin{aligned} I_{05} &= 0.4 (a-d) \\ I_{03} &= 0.4475 (a+d) + b/3 - 0.578 f - 0.5 I_{05} \\ I_{07} &= 0.4475 (a+d) - I_{03} + 0.15 I_{05} \\ I_{09} &= I_{03} - \frac{2}{3} b \\ I_{011} &= 0.707 c - I_{03} + I_{05} \end{aligned} \right\} (13)$$

已得此副波之振幅其正波之振幅亦可推算之得如下：

$$I_{01} = I_a - I_{03} + I_{05} - I_{07} + I_{09} - I_{011}$$

(四) 應用此法計算副波之一例：第七圖

所示為 uv-863 電子管作為推挽時之調幅曲線， $E_p = 10000$  伏脫，負荷電阻  $R_L = 1680$  歐姆，設因柵極之激勵電波使柵極之電位自  $-100$  變至  $+700$  伏脫連接直線 OA 並量其縱座標差如下。

$$e_g/e_c = 0.309; 0.5; 0.707; 0.809; 0.866$$

$$a = 6; b = 1.5; c = 11.7; d = -14.2; f = -11.3.$$

代公式 (13) 得  $I_{03} = -0.66$  0.32% 失真度

$$I_{05} = 8.04 \quad 3.96 \quad "$$

$$I_{07} = 1.02 \quad 0.52 \quad "$$

$$I_{09} = -1.65 \quad 0.81 \quad "$$

$$I_{011} = 0.43 \quad 0.21 \quad "$$

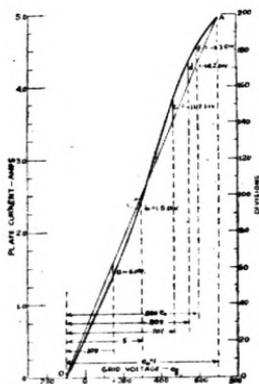
總計 5.82%

$$I_{01} = 198 - 0.66 + 8.64 - 1.02 - 1.65 - 0.43 = 203.6$$

$$= 203.6 \times 0.025 = 5.09 \text{ 安培}$$

失真度乃為副波振幅與正波振幅之比以百分數表之也。

$$\text{電力輸出(每管)} \quad P_o = 5.09^2 \times 1680 \times \frac{1}{2} = 10.7 \text{ kw}$$



第七圖

其平均屏流	$I_{av} = \frac{1}{\pi} \times 5.09 = 1.62$ 安培
屏極輸入電力	$P_i = I_{av} \times E_p = 1.62 \times 10,000 = 16.2$ kw
屏極損失	$P_h = P_i - P_o = 5.5$ kw
屏極效率	$n = 10.7 \times 100 / 16.2 = 65.6\%$

## 生物的發電現象的解說

### 潮

生物的發電現象，曾有多種的解說，但貝隆斯坦氏的膜說，比較最為合理。貝隆斯坦氏以為構成生物體的細胞，為原形質膜所包圍。此膜為半透過性，且亦為選擇的不透過性；即單使某種陽性的游子（ion）通過，不容其他游子通過。所以只有陽游子能外出，陰游子不能逸出膜外。於是膜的內外兩面，發生電氣的二重層，全個表面為等電位（Same potential），無電流的現出。但是一度受了損傷，陰游子即逸出膜外，損傷部與正常部間就生電位差，此即損傷電流也。假使原形質膜受了刺激而興奮，透過性起變化，能使不能通過之游子通過，所以興奮部恰等於受傷部，也和正常部發生電位差，此即動作電流也。

# 電力網之通信,保安,監察及其控制系統<sup>®</sup>

張家仁

引言:一年來電氣事業隨工業之發達,社會之需要而日益進展,強電流方面因電力網組織之完成而電能輸送益以經濟,服務更臻可靠,舉凡僻處一隅之水力站及煤礦等各方源,皆可以極經濟之成本變為電能,而於極可靠之輸送,連絡供給於各方,然以諸發電所與配電所之散處各方,故相互之通信連絡,實一至重要之問題,差幸近年弱電流方面因各種儀器之發明,電訊符號之改良,而通話通報方法之便利與可靠,其進步亦不可以道里計,是以二者之合作,不特事實上之需要與可能,為電氣事業發展前途計,亦吾人所至盼者,作者不自揣其簡陋,敬以流覽見聞所及,集此強弱電流合作可能各點,及其已經實用之例,述以供諸讀者之參考。

電力網之需要:一電力網完成以後其相互間人事上之連絡,機件之監察與控制,適宜之饋綫保安等,厥有多端,今概括列舉於次:

(1) 各站間控制與受制人員之相互通訊,一此則可以(a)電報,(b)打字式電報,(c)工作室信號電訊,三種方法以完成之。

(2) 饋綫保安,一各站間饋電綫保安所用儀器,須有通訊綫路以完成其作用者。

(3) 全副機構,以便控制技師視需要情形而開關遠方發電廠之電閘以取捨其所發之電能。

(4) 自動表徵以指示遠處某一發電所或配電站任何機件之現時地

位與狀況於控制技師以便其審定運轉進行之步驟。

(5) 控制技師閱讀遠方各站電表之設備。

通訊徑路：—上述各項之需要，各有其所需之徑路以完成其任務。此各通訊徑路自當以經濟之設備為第一前提，茲將通訊徑路之必需另設引導綫者約述如下：—

- (1) 地下護甲電纜。
- (2) 若電力綫路係架空者，掛裸電綫於電力綫之支柱上。
- (3) 架空裸電線，另立支柱。
- (4) 架空電纜，另以懸鍊掛於輸電綫之支柱上。
- (5) 架空電纜，另立支柱。
- (6) 架空通地電纜，其中心絕緣之電線用為通信導線。
- (7) 公共電訊機關租用綫路。

此外尚有二種不需特設引導綫之通信法列述如次：—

- (8) 遞流 (Carrier Current) 疊置於架空電力綫中。
- (9) 無線電。

通訊徑路之討論：—各個電力網各有其特殊情形，而依環境之限制而各有其所需之服務，故徑路之選擇，亦當因地制宜，豈能一概而論，茲將各徑路之主要特性及其限制分別研討如次：

護甲地下電纜：—此式可得一極可靠而不受外界干擾之通訊徑路，每一電纜之中，可以包含數對電綫，以應各項之需要，惟經濟方面若電力綫不為地下式或為地下式而非同時與通信綫敷設者，則此法甚昂貴。

架空電線掛於電力綫支柱上：—在三萬三千電壓以下之電力綫路，電訊綫路常可掛於同一支柱上，惟因電力綫之干擾及地面輻射之影響，技術上極難使長途之通話清晰，惟用於打字式電報時，困難尚少，惟因電力綫通訊綫及地面三者間之間隔須有一定，因此支柱必須加高，或其距離加密，凡此皆足使成本增多矣。

架空電線另設支柱：一此法雖可使外界干擾減至極小，但以此項另立支柱之不克與電力線支柱之同其強度，在大風暴之下，常先之而摧毀，故若用此為控制徑路時，問題將不堪設想，是以此式不常採用焉。

通地綫及電訊綫之綜合電纜：一此為近年之新產品，其中心含有四根絕緣之電綫，其外包有一層之鍍鋅鋼綫，因之牽力甚強，用時可不另需懸鍊，故對風壓力之面積甚小，而支柱之設計，便宜多多矣。此種電纜之特點，在於同時可任架空電力綫頂之通地綫用，誠一舉兩得之物。

電訊機關租用線路：一租自電話局之線路可用架空綫，或全為地下電纜，或為二者之混合綫，各種通訊徑路皆可應用，但若距離較長時，因線路必有變壓器及電話複述器之故，所用交流電流之週波率，不得超出聲波週率之上，且自經濟立場而言，此種租價常較自建者為昂，因電訊管理規則，對於電訊線與高壓綫路有接觸機會時，則各部儀器之保護與安全將格外考究，此則大費設備成本，其次此等租用綫路之維持與修理，常不能由電力主管者之意志以行事，因此差誤必多，故此法以不採取為佳。

電力線上疊置遞流(Carrier current)：一遞流之應用，為近年電訊事業大進步之一，尋常電力輸送綫不特用以輸送定週波率之電能，同時亦可以遞送自 50 至 200,000 週波率之疊置電能，而此遞流電路即用為遙控 (Remote Control) 遙示 (Remote indication) 遙計 (Remote metering) 以直流電衝動式之饋綫保安，同時亦可用以通話，僅需一方疊置音波週率之電能於遞流之上，而在受方截取而調整之即可矣。用此式時主要設備，即為徑路兩端各備一副遞流儀器，用以分離低週率之電力，使直至石板間，而使高週率之電能至通訊儀器中以動作一切，至於其間之連絡，即完全利用電力輸送綫路，存與俱存，毀與俱毀，經濟實用，他法所不及也，但如各站間之距離甚短，建設專用副綫之費較遞流設備為廉時，則以採用第一法為宜。

無線電訊：一無綫電報或電話，至于今日，固已進步至極可靠之成績，但須注意者，除以遠語言之外，季候天時之變化，足以影響於符號電訊之收發

者至大，因若某一控制信號繼續發送時，其中一個電碼模糊或失真，則其勢可使控制之步驟，全部紛亂，其結果將不堪設想，故據經驗所得，用無線電以爲電力網通訊徑路時，毋寧採取逐流制或導線制之爲安全可靠也。

各項服務性質之討論：一誠以電力網制進步之速，各散處異地之分站事務與營運，皆得集中於一總站以控制，以是更得有效完善之電能產生與輸送，茲將前述各項服務要求，作更詳細之介紹如次：

電報電話：一凡各分站間有可以利用爲通訊之徑路者，皆可取以爲電報或電話之用，特須詳審各該處電力網佈設之實際情形耳，故如無論爲人工接線，自動電話，或共用制，皆當視需要與事實之經濟便利而決定，例如各電開間與總控制站之連絡，實較其與分站爲重要，因其電話交通之需要在經常工作維持中，故當擇一種適當之器械，俾能同時用於控制符號收發之徑路上，至於電報之傳送，通常採用打字機式而以約定工程符號代號碼，且雙方各有留底之記錄，可資考驗，至爲便捷。

饋綫保安：一饋電綫路之保安，大別有二，其一不需通訊徑路，其二則必需通訊徑路以傳達保安信號，俾資動作者，本文以後者爲主，而此又可分为質與量之保安系統，所謂質的保安法者，係傳送一種直流之衝動於饋綫兩端而以之安定或動作饋綫兩端連接於電流變壓器之交流力來，此直流之衝擊所傳送者與交流變動之大小無關係，Kapp Carro thers Duplex 式即其一例，所謂量的保安式者，係將比較不同相及大小之交流電流輸送進出於饋電綫兩端之保安力來內，因此必備相當徑路以輸送一部分自電流變壓器所得之交流電，此徑路必須能勝任五十週率電流之傳送，並能使其電流大小及相之變更與饋綫上電流情形成正比者，此式可以著名之 Mc Coll 式爲例。

通常饋綫保安法之用一定大小之電流週流於保安徑路者，則此徑路不得更作別種利用，若保安機構僅恃瞬息間之電流以動作之者，則此保安電流之徑路可以利用爲通話之用，因在通話之時，保安機構必須有所動作，

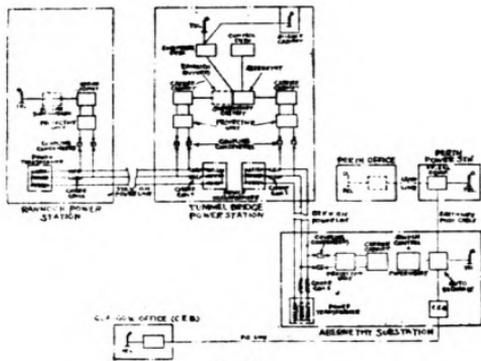
可由一種機構自動將此線另接於保安徑路，待動作完畢，再自動恢復通話，此瞬息之間斷，對於通話固無大妨害也。惟此種利用，不得行於遙制，或遙示徑路，蓋若一命令之延遲，或一符號之重複，足以引起嚴重之禍變也。

遙制—最簡單之電力網集中控制，莫如以電話直接通知各處，使各發電所及配電站中各以人工運轉之，然以新建設之組織日益繁複，此簡單人工轉運，人自為政之控制法，已不合近代得心應手之需要，且以前辦法，各站必須雇用全部運轉人員，近代有若干電力站經若干儀器之佈置及適宜之設計，已可完全不需雇人看守其旁，例如分站中電閘之啓閉，變電機之開動或停止，或電壓之調整，無論交流直流，皆可由中央控制站直接一手包辦之。此外發電廠之遙制，除汽力發電廠因情形複雜不易遙制外，如水力發電廠已可全部遙制，毫無困難，惟凡事以經濟為前提，各種遙制機械之設備，通訊徑路之選擇，俱當因地制宜，譬之吾人可以設專用之徑路，以直接控制各該站，或採用自備選擇機式，以便隨意依次控制各站，是在設計者之審計耳。

遙示—遙示與遙制 (Remote Indication and Metering) 必須合作而不可分離，因在控制之時，若控制技師不明遠處所被控制之情形，則其動作之次序緩急，祇得全憑猜想，此何可者，故遙制機構必同時附有遙示器，每一控制動作之發出，其遠方受主必複述一次，以報告遙制機械動作之是否正確，此所以策萬全也，遙示儀器通常分為兩種，其一對方某一部分之情形，需經控制者發送察看信號後，始顯示其報告，其次則僅須控制者將指示徑路連接至某一機件之指示器上，立時即得顯示之回覆，或有某種電表常不斷的放送遠處某站之電表指針地位者，總之電器製造之進步，已不難將相隔千里以外之事物，指揮自如一室之內，其親切便捷，有如目視而手觸，予不信，請觀下例。

實例—茲將英國 Grampian 電力公司實施遠流制之通訊監督控制介紹於讀者，該公司為蘇格蘭發電及供電之中心，其管業區域在 4,214 方哩以上，高壓輸電線已建者計四百餘哩，種類兩大水力發電所，一在 Loch Ran-

noch, 發電量 32,000 kW, 一在 Tummel Bridge, 發電量 34,000 kW, 公司配電中心點為 Abernethy 站。於此且與蘇格蘭供電網相接通之外各有饋線接至 Cupar, Leoch 及 Perth 各站。本文所述者約如第一圖, 所宜注意者為十三萬



二千伏及三萬三千伏高壓送電綫均已用為遞流電路也。初次之建設始於 1931 年, 溝通 Loch Rannoch 及 Tummel 間之十三萬二千伏綫遞流電話徑路完成, 因此事為英國實用高壓電力綫建設遞流電流之空前舉動, 且自 Abernethy 至 Glasgow 辦事處之一綫, 係租自公用電信局, 故英

國郵政部當局對此極為注意, 其於高低壓綫間之安全試驗, 曾詳細測定而認為滿意焉。

第一圖中所示之設計為: (1) Rannoch 及 Tummel Bridge 間之遞流電話, 用三萬三千伏電力綫路, (2) Tummel Bridge 及 Abernethy 間之 132 伏電力綫遞流電話及監督控示, (3) Abernethy 及 Perth 電力站之電話徑路係用通地電纜, 建於 33 伏電力綫上, 此電纜內含兩副導綫, 用為饋綫保安及通地綫等, (4) 自 Abernethy 至 Glasgow Office 接通公司租用綫, 此外更有下列準備以便將來可 (5) 利用現有遞流徑路改造 Rannoch 及 Tummel Bridge 間之監視控制, (6) 將 Perth 電力站之電話綫展延至該地之公共電訊局, 從 (1) 至 (4) 可知 Rannoch 與 Tummel Bridge 電力站及 Abernethy 配電站均有遞流監督制之設備。

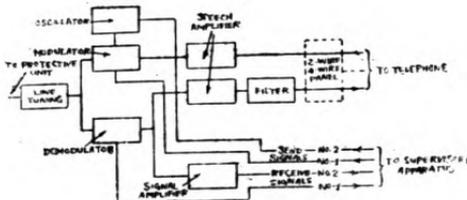
監督設備:— Tummel Bridge 控制櫃上繪有 Abernethy 配電站中電力

接綫之舉擬圖,圖中設有顏色電燈以示油電閘之位置(開或閉)並有選擇電鍵以便遙制之用,更有四電壓表,四電流表,升壓機線徑指示器一具,及各該運轉之電鍵,此項設備可作如下之動作:—(1)九具油電閘之啓閉控制,及各該位置之繼續指示,(2)控制升壓機上十五個線徑電閘及其各該位置之遙示,(3)可任意求知33 瓩匯電條上之電壓或電流量,(4)可任意求知兩 132 瓩饋電綫上之電壓或電流。

所有全部機構之運轉係依有規例之電流衝擊(Impulse)作用,一如自動電話然,為安全及準確起見採用 G. E. C. 之回證制,所以保證選擇電鍵工作之無誤俾工作得以順利進行也。

遞流裝置:一饋綫兩端各裝有遞流線圈於電力線路中以免高週率電流之通入電力變壓器,在遞流線圈之饋綫,一方裝有耦合電容器(Coupling Condenser),然後導入遞流機室,此等耦合電容器均係高度絕緣,以防任何電力電流導入遞流機件而危害之,在 33 瓩綫上,此等電容器裝於絕緣支柱上,在 132 瓩綫則用懸空式,其保安裝置計有保險絲,及低壓火花隙等以防萬一絕緣之損壞,各機件裝置序如次:—(1)來自耦合電容器之引入綫,經保險盒而至室頂之二套管,而引入室中,(2)配諧板設有可變電容器及可變感應綫圈,以便與綫路遞流配諧(Tuning)另有千分之一安培表以量

輸出電流,(3)振盪板,此乃產生遞流之電源,(4)調音板(Modulator Panel),語言之音波於此加於遞流之上,此板裝有音波擴大器,(5)雜件板裝有各種電閘保險絲,電表電鍵,各部綫路之報警燈及警鈴亦裝集其上,(



第二圖

6) 正音板 (Demodulator Panel) 所以將遞流所載之音波或電符恢復原

狀，此處亦置有音波擴大器，(7) 濾波器或二線四線板以減去高壓電流之騷擾，在 Abernethy 者不用濾波器，而代以二線四線板，因其混合變壓器 (Mixing Transformer) 有濾波作用也，(8) 全部供電電池、報警器、電話、指示器等之線路皆裝於此室之底下，Tummel Bridge 及 Rannoch 間所用遞流速率為 94 及 15,000 兩種，第二圖簡單說明其作用，語言經過擴大器而至調音器，由此載於遞流電流，經配諧板而自饋綫送出，遞流輸至線路之他端，經配諧板、正音器而至音波擴大器，經過濾波器之檢波，而還原為語言。

遙示法之動作如下，遞流自振盪器發生，欲經調音器 (Modulator) 送入線路時，必待調音器中某一力來之動作，此力來之動作又必待監督室之力來以“Positive”動作於“第一送信號”時，而此後者之動作又需受方之力來收到遞流後，以“Positive”動作於“第一受信號”時，他端之動作類此，由是往來兩種速率之遞流，可以互證其動作之正確，萬一有某遞流發生障礙時，另一遞流即可給一警號，以引起控制者之注意，其次當“Positive”動作於“第二送信號”線時，可使遞流成一約在每秒七十週率之斷續狀態，由振盪器之作用以送出之，在受方可因此動作而使“Positive”移至“第二受信號”線上，此時前此之監督室力來亦即動作，當“第二受信號”收得時，故遞流之輸出得不間斷。

#### 參考資料

Communication, Protection and supervisory Control System for electrical power net works, by Engineers of G. E. C. Telephone works. G. E. C. Vol IV. page 165-174., vol. V. page 115-122.

Electrical equipment for the British Grid. Part IV. By N. G. Smart. G. E. C. vol. V. page 135-144.

The Communication and supervisory control system of the Grampian Electricity supply company. by F. B. Wills. G. E. C. vol. V. page 234-244

# 電話線路內電力干擾之減免

邵培梓

## (一) 引言

目前雖尚有少數電力線與電話線不相平行而傳輸者，然因兩者對於商業上有密切之關係，及其性質之相類似，從實際情形及商業需要上而論，將來此少數綫路，亦不得不趨向于平行傳輸之一途。電力綫與電話綫既有不得不平行之趨勢，則平行後所發生之影響，吾人須加以適當之研究。最顯著者，厥惟高壓線所產生之感應作用，而在電話綫發生干擾聲。此種現象，在長途綫尤為重要。本文所討論者，即對於此種干擾聲減免之法也。

## (二) 干擾之基本原因

凡在電話線與電力線平行之路綫內，藉電磁感應、靜電感應，或兩者兼有之作用，在電話線路內可產生一干擾電流。茲將電磁感應與靜電感應之原理分述如下：

(1) 靜電感應——當一帶電物體與一未帶電物體為鄰時，因兩者之間有電容之存在，同時帶電物體產生電力線于其四周，結果在未帶電物體上，能產生一感應電壓。此電壓之大小，隨帶電物體所帶電壓（非電流）之大小而定。

(2) 電磁感應——當電流通過一導綫時，在導綫四周有磁場發生。倘電流之值不時更動，則磁場亦隨之變動不



圖一

息。結果在鄰近導綫內產生一感應電壓。其作用尤似變壓器之初級線圈通過電流時，在次級線圈內產生一感應電壓。此種感應電壓之值，隨電力線上

電壓(非電流)之大小及頻之高低而定。

上述兩種干擾孰重孰輕並無定現，全視電力線上之電流與電壓之大小而定。圖一表示上述兩種感應作用之情形。

### (三) 頻與干擾

一般商業上電力線所用之頻數多為六十週／秒，此即有效電力部份之基本頻，然除基本頻以外，尚有高頻電壓及電流之存在，其頻皆為基本頻之倍數，通稱之謂高次波，其值與基本頻者相較，雖屬甚小，然所產生之干擾，反為電力干擾之主要部份。蓋基本頻在吾人聽覺範圍之下，且電話聽筒此種低頻之效力甚小，故其干擾聲並不顯著，反之高次波之頻，有高至數千者，雖其值甚小，然因高頻對於人耳易受感覺，及聽筒易生效力之結果，于是發生極大之干擾。

### (四) 減免騷擾之調位法

免除感應之最佳方法莫過于高壓線與電話線有充分距離之間隔，當電力公司預備敷設新線時，在可能範圍內，恆避免與電話線平行，或則改變路線，不與長途電話線平行，而與次要之市內電話線平行，普通電話線與電力線有八分之一哩至一哩之間隔時，足以避免感應干擾，但電力線之電壓過高，或其線路過長者，尚須例外，證諸實際，往往不能有如許寬大之間隔，以避免感應干擾，且電力線與電話線大多架設在公路兩旁，在此種情形之下，吾人不得不採“調位法”(又名交叉法)矣。

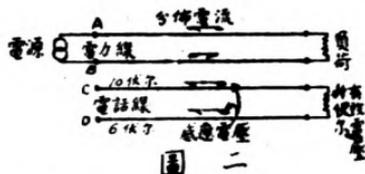
調位者，即交換傳輸線地位之謂也，其目的在改變兩平行線間之靜電與電磁的交連作用之值及其相角。

吾人欲求感應干擾之完全免除，非電話線與電力線兩者皆用調位法不可，同時各線又須力求電的平衡，否則仍失其效用。

### (五) 調位法之原理

關於調位法能減免感應干擾之理，可以一電力線與其平行之電話線(如圖二)解析之，為簡明計，祇講電磁交連之調位法原理，至于靜電交連之調

位法原理，亦可推論得之。按圖二：電力線內之電流自 A 至 B，兩線內電流，時時在反對方向，故兩線四周所產生之磁場亦相反。此兩種相反磁場，不時切割電話線 C D，由是在 C 與 D 內產生感應電壓，因而發生電流，其方向如箭頭所示。此感應電壓顯然為兩磁場之差別作用而產生，倘能將二電力線在空間佔同一線內，則電話線路內之有效電壓可以使之為零。蓋兩磁場在電話線路內產生值相等而相相反之兩感應電壓，結果互相對消。然實際上兩電力線決不能合而為一。



圖二

一。換言之，兩線與電話線之距離不能相同，因而兩磁場在電話線之強弱亦不同。故在 C, D 線內所產生感應電壓不能相消，其中之淨電壓決不能等于零，而電流以生，其方向與接近電力線所產生之感應電壓同。

今舉一簡例：設在接近電力線之電話導線內有一感應電壓十伏爾，而在他線內祇六伏爾，則有效感應電壓（即所謂淨電壓）為四伏爾。此即產生干擾電流是。

### (六) 電力線之調位法

上述電力線與電話線平行架設後，不用調位法所發生之影響，已甚明顯。茲在電力線之中途設一調位點，電話線則仍不調位（圖三）于是導線 C 內之感應電壓之半——五伏爾——與另一半——五伏爾——彼等之值相等而相相反。同理在導線 D 內之感應電壓亦然。結果使電話線內之有效電壓等于零，而無干擾電流產生。調位法能減免感應之干擾，其理甚明。不過除設置調位點外，對調位點距離之長短亦須加以討論。



圖三

電力線之運用調位法，甚為簡單。然有時因電力線內之電壓及電流不

平衡而產生感應電壓，及多對電話線相互間互相發生漏話事情時，為平衡計，電話線本身，亦須應用調位法。

### (七) 干擾與漏話

前述調位法能免除感應干擾之功效，然其範圍限于單純電話線與電力線，其構造極為簡單，例如圖四，祇將電話線與單相或三相電力線之調位點，照樣排列即可。

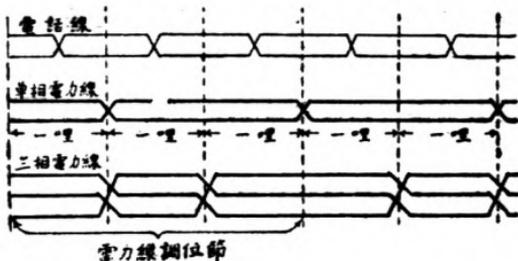


圖 四

倘電話線之數自一對增至十對時，則調位法之設計亦隨之複雜，在多對電話線內之調位法，除如單純線路內之需要電磁與靜電交連作用等于零外，尤須顧及避免諸電話線本身之漏話，及保持電話線對於大地容量之平衡，因此電話線路對數愈增，其調位法則亦愈趨複雜，每一對電話線之調位法，除免除電力線之干擾，及同一扁担上與其他話線所發生之漏話外，又須免除與他扁担上話線產生漏話之機會。

電話線路之幻通式，亦陷調位設計于複雜之境，關於調位法之設計，在



圖 五

1918年七月出版之“Proceedings of the American Institutes of Electrical Engineering”內，曾有一文討論種種複雜調位問題，該文完全將培耳系(Bell system)採用之架空線標準調位法所獲得之結果，加以回述，此法有伸縮性甚為應用。

在小公司中，無過長之長途線與鄰線者，線路可依簡單調位法設計之，此種簡單調位法，祇能在兩種情形下應用之，即(1)鄰線之長度不超過十哩

或十五哩者，(2)鄉線或長途線之架設無兩個以上之扁担者，查小公司之鄉線與長途線實際上比較

甚短，不妨用簡單調位法設計之，例如圖五所示，1

-2與3-4兩對線之間隔甚小，必須以調位法以免

除相互間之漏話，1-2與9-10兩對線之間隔較大，

可以不必用調位法，此兩對線之長度在五十哩以內時，所產生之漏話並不顯著，在漏話之立場上而言，多條扁担之話線，某對與某對既不調位，又不發生顯著之漏話，是有一定長度，表一示其大概。

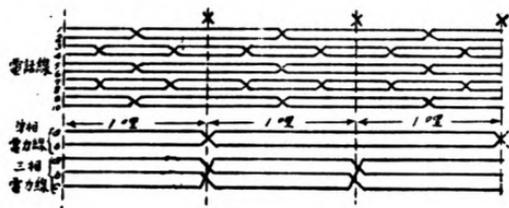


圖 六

表 一

以表一作參考，可得圖六、七、八之調位設計，此三種設計，適宜于鄉線與短距離長途線。

圖六示在無幻線之鄉線與比較短距離之長途線內所用之適當調位法，此種設計，每間隔之距離，最好在一哩左右，倘電力線調位點不在相隔一哩時，則調位節必須縮短或伸長，使聯絡點×或在電力線調位點上或在電力線調位節之末端。

倘電話線之數在十對以上者，圖七之調位設計可以應用之，此法亦適宜于鄉線及短距離長途線，圖七上層扁担之設計與

圖六設計之不同點，前者之線路內增加數個調位點，用以避免上下兩層扁担上之線路所產生之漏話，圖七併適用於五對以下之設計。

對線與對線	不調位線之最長距離
1-2與 3-4	0.5 哩
1-2,, 5-6	4.25 ,,
1-2,, 7-8	35.50 ,,
1-2,, 9-10	55.50 ,,
1-2,, 11-12	0.80 ,,
1-2,, 15-16	9.50 ,,
1-2,, 19-20	55.50 ,,
1-2,, 37-40	100.00 ,,
邊線與幻線	
1-2與 1-4	0.20 ,,
1-2,, 7-10	11.50 ,,
1-2,, 11-14	0.60 ,,
1-2,, 17-20	16.20 ,,
1-2,, 21-24	1.80 ,,
1-2,, 37-40	62.50 ,,
幻線與幻線	
1-4與 7-10	1.30 ,,
1-4,, 11-14	0.13 ,,
1-4,, 17-20	2.45 ,,
1-4,, 37-40	55.50 ,,

如鄉線或長途線有幻線時，幻線與邊線皆須用調位法。幻線使用調位法之目的與邊線同為免除漏話及感應干擾。然幻線與邊線之漏話關係甚密，故需四種形式之幻線調位法。此四種形式之目的相同，皆為幻線對於邊線之調位法。其對於外來之感應影響雖同，在本組自身內之漏話關係，則各不相同也。圖八表示四種形式之調位法。

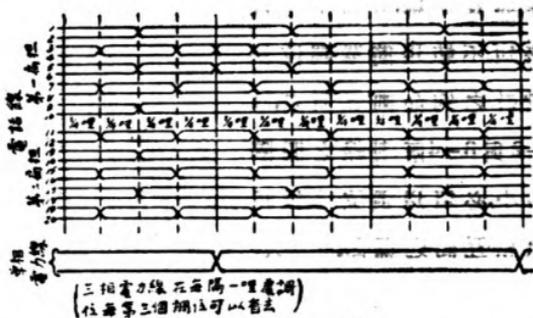
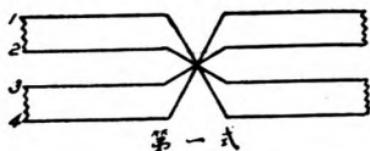


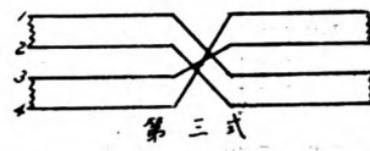
圖 七



第一式



第二式



第三式



第四式

圖 八

圖九示絕緣瓶1-4及7-10所配成之二對幻線的簡單調位法。從漏話與感應立場上而言，此種設計，極適宜于鄉線之用。

實線調位法，通常用一長絕緣瓶(九吋)及兩個磁瓶，或用一特製懸掛鐵脚。圖十示其構造之大概。

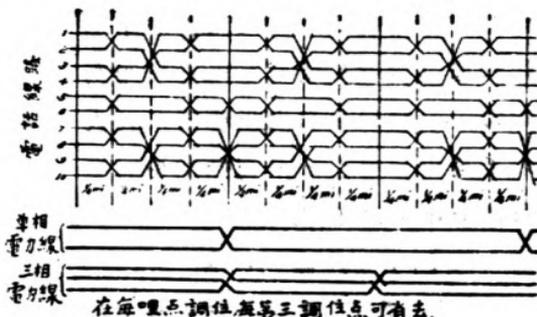
幻線調位法之敷設較為困難，且易發生錯誤，而漏話隨生，是應特別注意。幻線調位法，普通用懸掛鐵脚，圖十一示四種形式幻線調位法之構造。

再將電話公司與電力公司相互關係略述之：1. 凡電力公司敷設新線路時，電話公司須特別注意，使新設電力線與已設話綫得適當之調位法。電力綫架設時，得依適

當之調位法施行之。2. 電力公司新綫路之敷設，應注意電話公司之報告，俾電力綫何處應加調位。

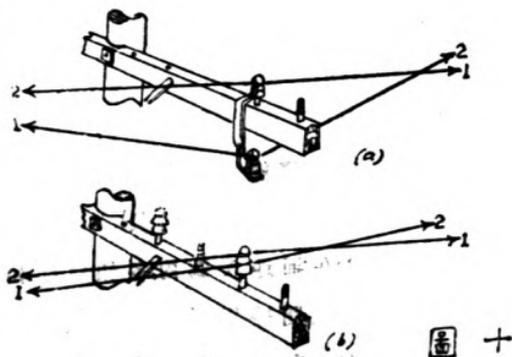
(八)平衡電壓電流及剩餘電壓電流

電話線路內由電力線所產生干擾之有效電壓與電流，可分為兩部份。即(1)平衡部份與(2)剩餘部份。平衡部份即尋常情形時電力線內所有之電壓及電流。其所發生之干擾，已如上述。剩餘部份，則為電力線在反常情形下之電流及電壓。能產生極大之干擾聲。欲求此種干擾聲之免除，非注意剩餘部份之產生不可。



圖九

圖十二示平衡部份與剩餘部份之不同點。電力線之第二線，有一觸地點。與變壓器之接地點成一電路。因有局部電流產生，結果第二線中之電流較第一線為多。兩電流之代數差，即所謂剩餘部份。平衡電流者，即第二線無觸地時，電力線內通過之電流是也。



圖十

(九)剩餘部份能產生較大干擾之理由

電流通過導線時，在其四周發生磁場。因磁場不斷消失與成立，在鄰近電話線路內產生感應電流，因而發生干擾。此點早已論及。同時單相電力線路之兩導線內之電流，永久在反對方向。其產生之兩磁場，亦永相反。則電話線路內所產生之感應電壓，必為兩磁場所產生電壓之差。電力線一經調位後，則在電話線路內之有效電壓，當然為零。

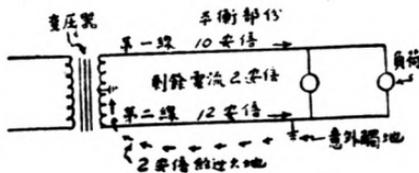
剩餘部份一經發生後，則情形迥異。剩餘部份祇通過第二線，由大地回至變壓器，並不經過第一線。此剩餘部份存在于第二線內，必產生剩餘磁場。然第一線無剩餘電流，故第二線中之剩餘電流所產生感應電壓必較平衡時為大，而無以中和之影響所及，較大之干擾生焉。圖十三示剩餘部份與平衡部份作用之不同。

#### (十) 剩餘電壓

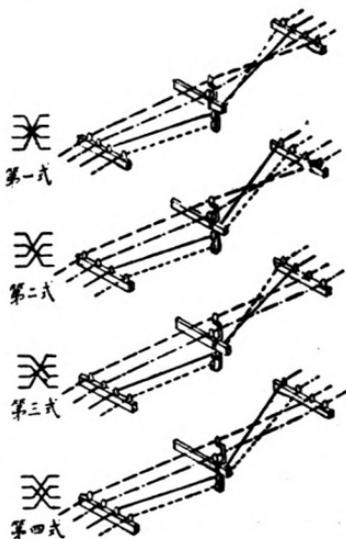
“剩餘電壓”之稱，即單相或三相電力線對於大地電壓之代數差。圖十四，示一電力線意外觸地後，所產生之剩餘電壓。剩餘電壓與剩餘電流同樣能產生極大干擾，吾人應盡力保持至最低值。

剩餘電壓與剩餘電流之產生原因，約有下列四種：

(1) 各導線與大地電容量之不平衡(以 $\Delta$ 制為最)



圖十二



圖十一

(2) 各導線對於大地洩漏之不平衡(以 $\Delta$ 制為最)

(3) 在通地Y制內，各相與中和線間接以不平衡之負荷。

(4) 因在通地Y制之電力線內，接有某種機件或由某種接線法致產生第三高次波及其奇

數倍數之高次波之剩餘電流與電壓。

此頁內容未完

上述四種原因，吾人于了解後，須設法免除之。

(十一) 電力線對於大地電容量之不平衡

產生剩餘電壓之最大原因，為電力線與大地電容量之不平衡所致，尤

以三相線為甚。電力線與大地電容量之大小，視導線截面之大小，距地之遠近及其在扁担上之地位而定。

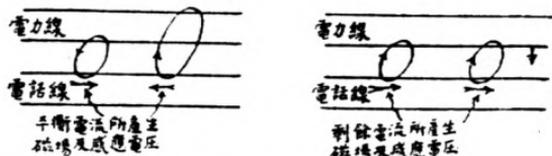


圖 十三

在單相電力線線路內，祇有兩根導線，平行繫于扁担上，彼等同在一平面上，且相對稱，故此兩線對大地之電容量相等，而剩餘電壓則為零。然在三

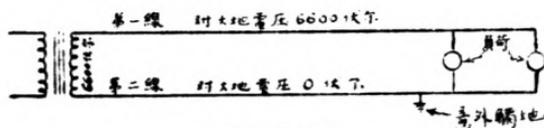


圖 十四

相線路內，欲得平衡電容量較為困難。電話公司與電力公司雙方有密切關係者，須共同研

究種種三相線電之構造形式，力求其對大地電容量平衡之道。

圖十五，示三相電力線之排列形式，略加比較，即知何者對大地電容平衡，較為優越。(c最好，d次之，a最劣)

實際上三相線路對於大地電容量之平衡，不若理論上之困難。吾人若採取不平衡程度較低之一種形式，並

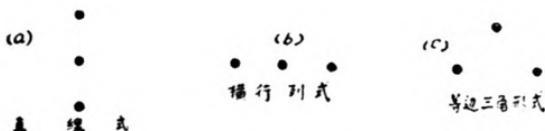


圖 十五

利用調位設計，約每隔三哩，定一調位點，則可得一完全平衡之三相線路。此種調位應使各線在三種不同之地位佔同一之線長。

另一事必須注意者，即三相電力與電話線平行部份，固須調位，即與話

線不平行部份，亦須用調位，否則剩餘電流仍將產生而起干擾，因此凡電力公司欲敷設新三相線路時，即使祇有一部份路線與話線平行，電話公司仍須堅持其全線每隔三哩應用調位法。

圖十六示電力線與電話線平行時，電力線所用之調位法則。

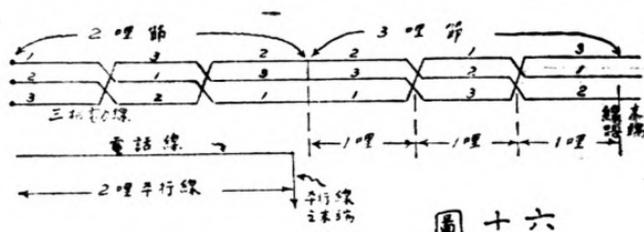


圖 十六

### (十二) 三相伸展成單相之線路

三相伸展成單相之線路，其電容量極不平衡，未經伸展之第三線對於大地之電容量，必較低與其他二線之有伸展部份者。結果能產生極大之剩餘電壓，而發生極大干擾于平行電話線路內。

伸展之單相線所發生之剩餘壓，無論在本身及三相線路內皆有之。此種缺點，現已有法免除之，用一變壓器接入于三相線之伸展二線及單相線間，從傳導連接而變為感應交連。如是無論在三相方面或單相方面之棧路，對於大地不平衡之電容量，皆可消滅。一九二二年美國電力電信聯合委員會 (General Joint Committee on Physical relations between Supply and Signal Companies) 已言及之。

圖十七示其連接法。

又須注意者，即凡在一境內，已有單相引線之存在，電話公司宜察其是否係三相伸展而出者，蓋伸展而得之單相線愈長，不平衡電容量愈大，剩餘電壓亦隨之增高矣。

### (十三) 遵守之原理

剩餘電壓干擾聯合委員會 (General Joint Committee on Inductive Inter-

[ference)之報告,申述電力線與電話線之干擾甚詳,實為美國獨立電話公司(Independent Telephone Companies)之規範,該委員會在加州(California)研究所得之結果,得減免干擾之要則數條,茲分述如下,以便遵守:

(1)電力線與電話線避免過分之接近—過分接近,免除干擾極為困難。

(2)阻止或消滅高次波之發生—在尋常情形下,大部份干擾由于高次波,關於此種干擾,祇須注意購置適當之新機件及機件運用之適當方法。

(3)剩餘部份之限制—剩餘電壓及電流之感應,其比率較平衡電壓及電流所產生為大,且剩餘部份所產生之感應作用,不能單以調位法中和之,減少之道,惟有利用變壓器聯接法,使線路與負荷,得其平衡,且變壓器鐵心內之磁力線密度,須避免過高。

(4)採適當之排列法—電力線與電話線之排列形式,與感應作用之改變甚大,如能排列適當,則干擾自小,電力線之用偶路法(Twincircuit)者,倘將其導線之相的關係,加以適當之固定,則感應作用,可減小不少。

(5)用調位法以中和感應—其理已詳言之,不贅述。

(6)電信線路之平衡—電話線之平衡,可減免感應干擾,如遇不平衡時,亦可以利用調位法及線路之精細設計,構造和管理而減免之。

(7)電力線之精良敷設及適當運用與管理—吾人已知除電力線與電話線有充分之問隔以外,幾無良法可以免除干擾,然充分之問隔,在事實上極不易得,因此對於電力線路之構造運用及管理,不得不加以十二分之注意。

推論(1)即知凡欲架設電力線或電話線互相平行時,雙方公司在可能範圍內,應設法改換路線,在萬不得已時,不如將底壓電力線(如供給本地用



圖十七

戶者)與主要電話線(如長途線)平行,而將高壓電力線(如遠距離電力轉輸線)與次要電話線(如本地用戶線)平行。

前述高次波係基本波之倍數,例如六十週/秒之第二高次波為一百二十週/秒;第三高次波為一百八十週/秒,又其值與基本波相較罕有極大者。然其干擾程度,却數倍于基本波,因此非設法保持其最低值不可,高次波最易發生于下列數種情形:(i)數個變壓器用Y接法者(ii)電力變壓器在過份負荷時(iii)設計不良之電動機或發電機接入電力線路時(iv)有特殊電氣機件,如汞弧整流器接入電力線,以供給電氣鐵道時,大部份電力公司,對此種高次波亦願校正之。然在平常時,高次波與傳輸無多大妨礙,因此非經電話公司之請求,電力公司每漠然置之。

#### (十四) 波形之分析

當電話線與電力線平行而發生猛烈干擾時,電力波形之分析,甚為需要,此種分析,用以斷定干擾由于何種高次波,並有效值幾何。波形分析,恆用波形分析器(Wave analyzer)及電話干擾因素表(Telephone Interference Factor meter),波形分析器,包含可讀週數之調諧電路,當此器接入某電路後,將調諧電路調節之某高次波,然後再用噪音測量器(Noise measuring Instrument)決定其值,至于電話干擾因素表,用以決定各高次波所產生干擾程度之比率,此器包含一靈敏之熱偶千分安流表(Thermo couple type millimeter),用以測量複雜線網內之電壓及電流,該線網之頻特性,與電話線內干擾程度之頻特性類似,全部機件價頗昂貴,在必要時,可採用之。

#### (十五) 導線排列形式之影響

在(十二)(4)(5)節中,業已詳述之。

#### (十六) 感 應 引

在(十二)6 述電信線路能得真正平衡時,則感應干擾可以消除,是以電力公司對於電力線路有盡力使電平衡之義務,以免在平行電信線路內發生干擾,電話公司本身對於線路方面,亦須使各線之串聯抗阻及對大地電

容量保持電平衡。換言之，電話公司對於各線路之感應引(Induction Susceptiveness)宜減至極小。電話線路平衡之基本條件為(i)各綫之串聯電阻相同(ii)每綫對於鄰近綫路及大地電容量相等。通地綫路之不平衡，可自為百分之百或，因此電話公司務使通地綫路之可能性極少。全金屬綫路如能附合下列條件時，即可保持平衡。(i)各處接合點，應極良好。電纜接頭，宜用優良之套管。(ii)綫路不與樹枝接觸。(iii)時應調位，以求平衡。

關於綫路本身者外，凡用戶與公司內所用之機件，亦須保持平衡。綫路之採用通地振鈴法者，能產生極猛烈之干擾。普通鈴之抗阻，在音波一千週/秒時，約一萬至二萬五千歐姆間。故將鈴通地時，相當于接一抗阻于綫路與大地間，而產生局部電流。且此電流祇在一綫內有之，其值足以在聽筒內聞之。因而干擾發生。其補救方法，惟有將電鈴直接橋接于二綫間，或改用一特製高抗阻之電鈴，則局部電流可以減低。此種特製電鈴在一千週/秒音波時，約有二十萬歐姆之抗阻。故與平常電鈴相較，其干擾電流可以降低，好多倍。

倘電話公司欲將平衡振鈴綫路改為通地振鈴綫路時，必須先行作一試驗，觀察改用通地振鈴法後，所產生干擾之程度，是否妨礙通話。線路內之復演線圈(Repeating Coil)及其線圈也須具電的平衡，否則亦可產生干擾。

推(十三)(7)節之意對於暫時擾亂換言之，對於電力線在“反常”態况下之干擾，須保持最低值。“反常”二字之意義，指電力線因運用不當，而產生一極大電壓在電話線路內結果發生猛烈之干擾聲。此種特殊情形，由于線路驟然不平衡所致。或則由于不適當機件之運用，或則由于短路，通地，斷線，或則由于機件之運用錯誤。後者之例如次：(i)各相電力傳輸線之開關，不同時運用。(ii)某種避雷器，須按時通電。

反常情形在極猛烈之時，能使鄰近電話服務暫時被其破壞。有時引起火警。補救之道，祇在維持工作上線路敷設工程上加以注意。而良好之機件，亦為必要條件也。(完)

## 第九屆理事會職員一覽

總務部長 曹寅亮 文書股長 陳寵錦 會計股長 陳世昌  
庶務股長 王以儀  
學術部長 汪 乾 出版股長 徐世功 研究股長 許興潮  
調查股長 沈曾蔭  
俱樂部長 劉純俠 體育股長 汪聞濤 娛樂股長 卞華年

## 歷屆畢業會員新通訊處之調查

(本屆畢業會員之通訊處未錄入)

徐壽松	民十六級	南京交通部九省長途電話工程處
楊道錠	民十七級	上海吳淞永安二廠
范崇武	民十九級	南京建設委員會
吳式梓	民十九級	無錫麗明紗廠
錢孫錢	民十九級	上海福照路四〇三號紹敦電器公司
沈尙賢	民二十級	北平清華大學
莊漢開	民廿一級	武昌行營交通處
車久享	民廿二級	交通部電信機料試驗所
葛祖彭	民廿二級	北平清華大學
朱丙生	民廿二級	上海四川路電報局水線處
樓世武	民廿二級	南京大方巷兵工署技術司
殷元章	民廿三級	湖北宜昌光耀電氣廠
郭秀傑	民廿三級	鎮江建設廳長途電話交換所
唐光勳	民廿三級	杭州笕橋航空學校

# 國立浙江大學工學院二十三年度入學試題

## 黨義試題

### (一) 問答題:

1. 試就孫文學說述國家貧弱之原因。
2. 中國民族革命的方略是什麼?
3. 增加農業生產的方法是那幾種?
4. 民生史觀在中國哲學理論的根據如何?

### (二) 測驗題:

1. 主義是一種\_\_\_\_\_一種\_\_\_\_\_和一種\_\_\_\_\_。
2. 行易知難是\_\_\_\_\_主張的行難知易是\_\_\_\_\_主張的。  
知行合一\_\_\_\_\_主張的。
3. 我們對於弱小民族要\_\_\_\_\_他對於世界強大民族要\_\_\_\_\_他。
4. 國民是\_\_\_\_\_就是有\_\_\_\_\_的人政府是\_\_\_\_\_就是有\_\_\_\_\_的人。
5. 人類生活的四種重要資料 1\_\_\_\_\_ 2\_\_\_\_\_ 3\_\_\_\_\_ 4\_\_\_\_\_。
6. 人類求生存的兩件大事,第一是\_\_\_\_\_第二是\_\_\_\_\_。
7. 人類穿衣的四種需要原料 1\_\_\_\_\_ 2\_\_\_\_\_ 3\_\_\_\_\_ 4\_\_\_\_\_。
8. 民生就是\_\_\_\_\_。
9. 東方大港的計劃是建築在\_\_\_\_\_灣,\_\_\_\_\_兩地之間。
10. 中華民國的名稱定於\_\_\_\_\_時期。

## 國文試題

## (甲)作文題

- 一、新生活運動中應認識之舊道德
- 二、興趣與學業

## (乙)標點及改作

將下列游記文加以標點，並譯作語體。

入棲賢谷，谷中多大石，巖巖相倚，水行石間，其聲如雷霆，如千乘車，行者震悼，不能自持，渡橋而東，依山循水，水平如白練，橫觸巨石，匯為大車輪，流轉洶湧，窮水之變，石壁之陡，僧堂在焉，狂峯怪石，翔舞於蒼上，杉松竹箭，橫生倒植，葱蒨相糾，每大風雨至，堂中之人，疑將壓焉。

[注意]一、作文題任擇一題。

二、(甲)組題任作一題(乙)組題全作認為完卷。

## 英文試題

- I. Make one sentence with each of the following words.
- II. Correct grammatical mistakes in following sentences.
- III. Fill the following blanks with suitable words.
- IV. Write a composition of about 200 words on one of the following subjects

## 數學試題(甲)

1. 用行列式解聯立方程式:

$$2x + 4y - 3z = 2,$$

$$3x - 8y + 6z = 1,$$

$$8x - 2y - 9z = 4,$$

2. 設  $-|a| < a < |a|$ ,  $-|b| < b < |b|$ , 證  $-| \frac{a+b}{1+ab} | < | \frac{a+b}{1+ab} |$ .

3. 解釋下列術語:

(A) 平面上一點之直交座標

(B)圓錐曲線之焦點.

(C)一點關於一圓之極線.

4. 求直線  $lx+my+n=0$  切於圓  $x^2+y^2+2ax+2by+c=0$  之條件.  
5. 求  $18^\circ$  之三角函數.

### 數學試題(乙)

1. 下列兩級數

$$\frac{1}{1 \times 2} + \frac{1}{2 \times 3} + \frac{1}{3 \times 4} + \dots$$

$$1 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \dots$$

孰為收斂孰為發散?

2. 方程式  $8x^3-14x^2+ax+27=0$  之三根成等比級數,求  $a$  之值.  
3. 三圓錐曲線  $C, C', C''$  皆通過二定點  $A, B, C$  及  $C''$  再交于  $P', Q'$ . 又  $C''$  與  $C, C'$  與  $C''$  順次再交于  $P''Q'', P'''Q'''$ . 證三直線  $P'Q', P''Q'', P'''Q'''$  相會於一點.  
4. 通過直交座標系之原點引直線使與二直線

$$\frac{x-a}{l} = \frac{y-b}{m} = \frac{z-c}{n},$$

$$\frac{x-a'}{l'} = \frac{y-b'}{m'} = \frac{z-c'}{n'}$$

相交,求此直線之方程式

5. 設  $x+y+z=180^\circ$ , 證  
 $\tan x + \tan y + \tan z = \tan x \tan y \tan z$ .

### 物理試題

1. 試以天平在海面及高山衡一物體,其所示之重量相同否?若易以簧秤,則又何如?  
2. 吾人呼出之氣能見於冬日而不能見於夏日者,何故?  
3. 磁棒與未帶磁性之鐵棒如何檢別?  
4. 試任選一法以量音叉在空氣中所發波之波長.  
5. 日光透過三稜鏡後現美麗之色,何故?試解釋之.  
6. 試述各種生電之主要方法.  
7. 有一圓筒直徑 20 厘米,高 10 厘米,筒頂裝一直徑 4 厘米,高 25 厘米之小管,筒及管均滿盛以水,試計算水之重量及筒底所受之力,問此二數量是否相同?試解釋之.  
8. 質量 20 克之石塊以每秒 500 厘米之初速度向上拋射,問該石塊之最大動能

若干?試計算該石塊能達之高及其達最高點所需之時間。

9. 一公升氧在  $0^{\circ}\text{C}$ . 及一氣壓時重 1.43 克, 求氧在  $27^{\circ}\text{C}$ . 及三氣壓時之密度。
10. 今有平行聯結之 200 伏特電燈二盞, 其瓦特數為 200 及 400, 若以 8 歐姆之導線聯此燈於內抵抗 2 歐姆電動力 230 伏特之發電機, 試計算各燈之電阻並通過各燈之電流。

### 化學試題

- (I) (a) 試述下列術語之意義: (1) 溶解度 (2) 電離  
 (b) 試舉三種化合物之名詞及其化學式, 其溶解度高而電離度低者。  
 (c) 試舉三種化合物之名詞及其化學式, 其溶解度低而電離度高者。
- (II) (a) 何謂加水分解?  
 (b) 何種鹽類起加水分解作用?  
 (c) 試舉例說明各項鹽類起加水分解者並以反應方程式表明其作用。
- (III) (a) 試述普通溶液與膠狀溶液之區別。  
 (b) 簡單說明丁鐸爾現象。
- (IV) 試述下列術語之意義并舉例以明之:  
 (a) 氧化 (b) 還原 (c) 兩性化合物  
 (d) 放熱反應 (e) 同位素
- (V) (a) 何謂原子序?  
 (b) 原子序與原子量有何關係?  
 (c) 原子序與原子量二者孰為重要? 何故?
- (VI) 試舉下列化合物之化學式:  
 (a) 普魯士藍 (b) 鉛白 (c) 鎘黃  
 (d) 燒石膏 (e) 巴黎綠 (f) 洛瑟爾藍  
 條

- (g)吐酒石                      (h)明礬  
(i)石炭酸                        (j)硃砂

## (VII) 完成下列方程式:

- (a)  $\text{HBr} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{濃}) \rightarrow$   
 (b)  $\text{Cu} + \text{HNO}_3(\text{濃}) \rightarrow$   
 (c)  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  加熱  $\rightarrow$   
 (d)  $\text{KMnO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$   
 (e)  $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{NaOH}$ (蘇打石灰) 加熱  $\rightarrow$   
 (f)  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{FeCrO}_2$  加熱  $\rightarrow$

## (VIII) 由下列事實求原用氯化銨液中所含氯化銨之重量:

氯化銨液與25C.C. 苛性蘇打液(濃度每1000C.C. 含40克苛性蘇打)混合後煮沸之待無鹵精之發生為止此時混合液中殘餘之苛性蘇打恰可為1C.C. 硫酸液(每1000C.C. 中含49克之硫酸)所中和。

(H=1, N=14, Cl=35.5, Na=23, S=32, O=16)。

## 地理試題

## (甲) 世界地理

- 試言日本在亞洲之位置、領土(包括日本本部及屬地)及其重要城市之名稱及經濟情形。
- 英帝國屬地遍全球。試列舉各地方之名稱、在經濟上或軍事上之重要、及在帝國組織中之地位。

## (乙) 中國地理

- 試說明我國海岸之成因
  - 鞏固國防為我國當今之急務其方法應如何試抒所見以言之
  - 試略言我國歷代經營灌溉事業之狀況及現在利用電力屏水之成效
- 歷史試題

## (甲) 西洋史

- 維也納會議中曾根據何種原則、此等原則如何運用、試略言之。
- 試述德意志統一之經過、及比士麥之外交政策

## (乙) 中國史

- 魏晉以後門閥之風甚盛其原因安在其影響之及於當時之政治者如何試申言之
- 唐室陵替之原因頗多而宦官亂政實居其一試將其盡國病民之情形撮要以述之
- 試述清代考據學特甚之原因

# 編 後

徐 世 功

自籌備以來，蒙諸教授、畢業會員及同學之指導與輔助，紛賜傑作，意注乃得如期出版，殊深感謝，第以篇幅限制，下列各篇未能刊出，留待下期登載，望乞見諒。

變壓器漏電抗之分析	汪開濟
磁流計	李 乙
直流電樞中導體之熱損耗	江德耀
電刷接觸	陳世昌
變壓器溫度昇高之計算	段毓瑾
繼電器簡述	汪 乾
等電流變壓器	許興潮
直流並列電動機的起動	翁廣慶

沈嗣芳先生之“公用事業之特性”一文，及毛啓爽先生之“定向天線制”之下部，均因時間關係，本期不能與讀者見面，亦祇待諸下期，深為歉仄。

本刊創行之目的，在介紹電機工程之學術著作外，欲藉此與畢業會員互通聲氣，故本期起，擬于工專畢業之會員，亦加分贈，同時希望吾畢業會員亦能本此意旨，對於本刊之各方面，常賜協助，時加教導，使能如日月之長久，且得發揚而光大，成為電機工程界之主要讀物，則幸甚幸甚。

本刊年出二期，原定為一月一日與六月一日，但在款送本屆畢業同學及會員聯歡會中，經多數之通過，已修改為一月一日與七月一日矣。

功此次擔任出版事宜，自愧能力薄弱，不足副諸會員之期望，尚希諸君請多多原諒，本期中之錯誤，更盼讀者加以指正，是幸。

六月廿四日于工院義



# 浙江大學四大雜誌之一

土木工程學會主編

## 程工木土

### 第三卷第一期要目

錢塘江橋工程大概.....	羅英
今日中國之公路問題.....	葉家俊
空氣調節法之簡易設備.....	黃述善
灌溉事業與其他水利之關係.....	周鐵倫
Reinforced Concrete Roof Trusses.....	黃中
The Beccari Process of Garbage Disposal.....	余勇
Moment Analysis of 2F rype Suspension Bridge.....	潘碧年
江蘇省建設廳疏竣鐵武運河工賑情形.....	屠達
黃河問題之普通認識.....	鄒元輝
單位曲線推測流量之簡解法.....	蘇世俊
淮南灌溉事業之述略.....	徐士榮
關於橋樑的一些問題.....	郭仲常
偏心之鑄釘結合.....	孫懷遠

二十四年三月出版

定價 全年二期每期大洋三角郵費國內五分國外二角五分

代售處 杭州浙江大學本會

杭州現代書局

上海雜誌公司

上海現代書局

漢口雜誌公司

南京花牌樓書局

北平國立圖書館

長沙金城圖書公司

贈聲明由浙江大學電機工程學會「電機工程」介紹

浙江大學四大雜誌之一

機械工程學會主編

機 械 工 程

創刊號要目

列車載重與組成	茅以新
汽車原動機與其燃料	沈三多
整理開封電廠紀事	柴志明
特種鋼(Special steel)	阮季候
機械製造之情況及估價之我見	朱亮臣
伸脹灣管之「應力」(Stress)及其「抗力」(Reaction)	紀士寬
機車載重(Tonnagerating)	謝子成
馬力測定法	杜靖宇
「移動性的動力設計問題」原則上之商討	林循經
煙道氣之討論	卜昂華
現代飛機發展之可能性	吳維正
變距螺旋槳(Variable pitch propeller)	許邦友
飛機機翼桁樑之極限分析法	沈乃斌
飛行機飛行原理淺釋	李永焰
汽缸磨損之研究	劉炳照
公共汽車設計之要素	李保森
出版日期	民國二十四年六月十五日
定 價	每冊定價三角，外埠附郵票五分
地 址	杭州國立浙大機械工程學會

上海市工業安全協會編輯  
天廚味精廠出版部發行

# 工業安全全

(刊月兩)

版出期二第卷三第

零售每冊五分  
全年六冊三角  
國內郵費一元  
國外郵費一元五角  
郵票五角  
通用足票

本月刊旨在謀工廠之安全，研究災害之防免方法，討論各廠規劃防止工業災害及改善衛生狀況之設施，一面介紹新的知識，一面交換意見，公開商榷，并詳載國內外消息及統計等，為研究工業安全及衛生之唯一專刊，非特工廠所必備，即工業學校，工科教員及學生，亦應置備一冊，以供參考。

## 工業安全 叢書之一 鍋爐安全使用法

每冊實價五角

本書詳述蒸汽鍋爐在使用前工作時應注意各點附件使用及管理法損壞時之注意及其他管理概要等實為防止鍋爐爆炸必要書籍

總發行 天廚味精廠出版部  
上海菜市路一七六號

# 工業中心第四卷第六期目錄

- 1 解決我國汽油問題之途徑(續)
- 2 本所煤樣分析第一次報告
- 3 調查江西紙業報告書
- 4 植物油製造潤滑油試驗報告
- 5 年紅燈及乾溼電池之製造
- 6 動力試驗中蒸汽超飽和之探討(續完)
- 7 鉛鎳容量分析新法
- 8 本所材料強弱試驗規則
- 9 工業問答
- 10 工業專利

定價：每冊大洋二角預定全年國內每份二元二角國外每份三元

陸角郵費在內

發行者：南京下浮橋實業部中央工業試驗所

代售處：各大書局

李爾康  
顧毓珍  
范敬平  
史德寬  
顧毓珍  
鄭栗銘  
蔣軼凡  
袁軼羣  
范敬平譯

## 杭 州 興 業 五 金 電 器 行

地址 下羊市一路五二 電話 二二三二六轉

本行專辦 歐美各國 大小五金 電器材料 鋼鐵管子 國產電具 路礦物件 油漆皮帶 建築工具 應有盡有 倘蒙 光顧無任 歡迎價自 克己願客 比較

# 浙 江 省 立 圖 書 館 附 設 印 行 所

浙江省立圖書館爲流行舊藏珍本圖書起見，特設印行所（分木印鉛印兩部），以事翻印，於印行本館出版物之外，並設營業股，承印各界刊物，以期推廣文化，不重牟利，茲將鉛印部優點列下：

(一)設備：備有新式印機，出品迅速，無論大小印件，定期不誤，至印刷清晰，套色均勻，俱有獨到的創造，藝術的革新；並自製銅模，優美整齊，足能邀願主愛美和滿意！

(二)技術：聘請精藝技師，悉心研究，精益求精，印成物品，式樣新穎醒目，能博閱者之稱譽。

(三)工價：兼印各界刊物，志在推廣文化，與專爲營利之印刷商店不同，價目格外低廉，絕無營利意義，如蒙各界惠顧，無不竭誠歡迎！

電話一六一三號

杭州新洲路六十七號：印部地點

電話三二八〇號

杭州水陸寺巷七號：印部地點

# 杭 市 州 申 洋 服 號

專製各種  
西裝禮服  
呢絨大衣  
軍裝制服  
風雪雨衣  
時樣新式  
價格從廉  
如蒙惠顧  
無任歡迎

號二十四坊鑫思路士學 址地  
號 一 一 一 二 話 電

# 局 務 印 門 龍

前塔念紀士英陳門西小

號 五 六 一 路 廟 文 海 上

本局用最近發明  
之新法  
承印各種文字  
之書籍講義  
印刷裝訂備  
極精良  
出書迅速  
定價低廉  
定印章程書籍價  
目及印刷樣品如  
蒙函索當即寄奉

## 志 達 洋 紙 號

本號專營歐美各國  
上等名紙如牛皮紙  
報紙各色有光紙銅  
版紙各磅道林紙模  
造紙等名目繁多不  
盡細載定價克己如  
蒙賜顧無任歡迎

地址：上海交通路二十三號

電話：九〇九〇九號

## 正 大 杭 州 煤 號

本處專運各種高等白  
煤。火爐白煤焦炭名  
產烟煤。烟屑上江力  
炭，貨色道地。價目  
核實。如蒙惠顧。任  
憑選擇。輸送迅速。  
分量十足。各界諸君  
。請試交易。

趙賢三謹啓

設開  
新民路永甯橋邊

電話二三四二

# 鼎昌 煤 號

聚記

杭 州 東 街 路 堂 子 街 口

本號自運  
各區礦煤  
銷售素稱  
貨真價實  
所備之煤  
質地純良  
火力極佳  
兼售各種  
力炭經久  
耐燃歡迎  
惠顧

# 協 成 源 記 營 造 廠

本廠承包土木  
工程特聘高等  
技師諸凡中西  
院舍工廠市房  
官邸公寓均可  
代為設計建築  
歡迎惠顧

辦事處

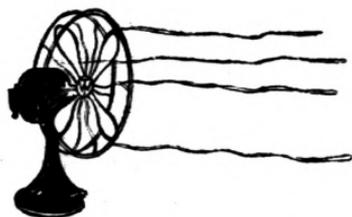
杭州上西大街  
第五十九號

# 華通電業機器廠

商  
標



註  
冊



用電極省  
保久不壞  
式樣美觀  
定價低廉

華通國貨風扇

廠址：上海周家嘴路九五號

# 杭 州 大 來 鐵 工 廠

廠址 杭州新橋長道街

電話一九〇五號

樓子間 杭州東街路七七三號

專 造

織 綢 機 械

兼 營

精 細 機 械 工 程

經 銷

上海維昌洋行經理

瑞典萬康電機廠出品

各種 馬達



# 電 機 工 程

THE JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING SOCIETY  
NATIONAL CHEKIANG UNIVERSITY

編輯及發行者 國立浙江大學電機工程學會

會 址 杭 州 大 學 路

代 售 處 上 海 四 馬 路 推 誌 公 司  
上 海 四 馬 路 推 誌 公 司  
杭 州 西 湖 代 花 牌 樓 林 書 局  
蘇 州 京 花 牌 樓 林 書 局

出 版 日 期 民 國 二 十 四 年 七 月 一 日

出 版 委 員 會

委 員 長 徐 世 功  
編 輯 徐 世 功 汪 乾 汪 開 濤  
徐 慶 功 汪 乾 汪 開 濤  
翁 慶 廣 陳 龍 陳 龍  
雷 覆 曹 寅 亮 王 天 一  
朱 繪 許 典 潮 王 以 儀

## 廣 告 定 價 表

Advertising Rates Per Issue

甲 種(封面前後)	三十元
乙 種(普通封面七十方吋)	廿四元
丙 種(普通封面)	十五元

廣告概用白紙，精圖制圖，工價另議。

## 本 刊 定 價

零 售 每 冊 大 洋 三 角  
外 埠 另 加 郵 費 五 分  
定 閱 全 年 大 洋 陸 角 郵 費 在 內

### 杭 州 分 行

地 址：杭 州 三 元 坊  
經 理 室 一 二 三 五  
電 話 營 業 部 一 二 三 六  
信 託 部 二 二 二 六  
電 報 掛 號：六 八 九 二

庫 倉 聖 湖  
橋 婆 娑：址 地  
一 九 一 九 話 電

全 國 各 地 有 分 支 行  
世 界 各 國 有 代 理 處  
倫 敦 大 阪 自 設 分 行  
辦 理 一 切 銀 行 業 務

中 國 銀 行  
政 府 特 許 之  
國 際 匯 兌 銀 行



**METROPOLITAN**  
**Vickers**  
ELECTRICAL CO. LTD

Self-Contained Turbo Set

英國茂偉連座透平發電機已  
裝置者數逾壹百五十  
OVER 150  
曷故！因——廉價



- ↓ 廉價
- ↓ 可省廠房建築及底腳費
- ↓ 用汽少
- ↓ 附件不用馬達不受外電影響
- ↓ 開車簡便可省工人
- ↓ 可供給低壓蒸汽為煤熱之用藉以省煤
- ↓ 經久耐用
- ↓ 及其他種種利益

欲知此種透平發電機之詳細情形請駕臨 安利洋行

總行 上海沙遜房子三樓

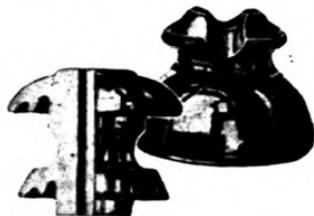
(電話一四三〇)

分行 漢口 天津 奉天 香港 青島

哈爾濱

益中福記機器瓷電公司出品

器壓變式桶子管內屋



高壓瓷瓶

出品項目

- 各種變壓器直
- 流交流配電板
- 變壓器油濾清
- 機高低壓瓷料
- 各種電氣瓷料
- 各種美術瓷磚

事務所：上海福州路八十九號

電話一四四〇八

製造廠：第一廠 浦東洋涇

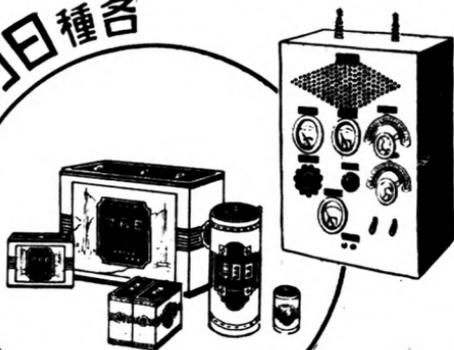
第二廠 霍必爾路

# 建設委員會電機製造廠

收發報機

各種日牌電池

變壓器



電動機



上海

半路六五〇號