

電壓調整器

壽俊良編譯

電工圖書出版社印行

電工技術叢書

第一集

主編者 楊肇燦 裘維裕 楊孝述

電學與磁學	裘維裕
交流電學	裘維裕
直流電動機與發電機	毛啓爽
交流發電機與電動機	丁舜年
電動機運用與電機試驗	胡汝鼎
整流機與換流機	胡汝鼎
變壓器	周琦
發電廠	毛啓爽 吳玉麟
蓄電池	毛啓爽
保護替續器	丁舜年
磁鐵及電磁鐵設計	丁舜年
司路機鍵	壽俊良
電壓調整	壽俊良
電工儀器及量法	楊肇燦
瓦特小時計	莊標文 楊肇燦
電照學	趙富鑫
電熱	趙富鑫
線路傳輸及計算	曹鳳山
實用電工敷線法	莊標文
工用電子管理論	史鍾奇
電燈線路之電子管控制	李志熙
電動升降機(二冊)	吳沈鈺

凡 例

- (一)本叢書編譯之目的，係爲訓練電機工程事業各項中級工程師及高級技工之用；職業學校，函授學校等採作課本，最爲適合；卽爲有志自修者，亦極合用；而大學生備作參考，以補大學教本略於實用之不足，裨益亦非淺鮮。
- (二)本叢書係用美國國際函授學校 (International Correspondence School) 所編之教本爲依據，延聘專家，從事編譯；原書優點爲 (1) 注重實用，(2) 說理淺顯；(3) 插圖豐富詳明，尤以插圖多經精心繪製，與正文相得益彰，最爲特色。
- (三)本叢書一面採用國外已見成效之書籍爲藍本，一面力求適合國情，盡量加入國內已有之材料及法規，庶免隔閡之弊。
- (四)本叢書對於原書之優點，力爲發揮，惟原書若有舛誤或欠妥，亦不事盲從，而惟求其至是，不憚加以修正，以免遺誤。
- (五)本叢書側重中級電工教育，對於高深精確之理論，大都從略，間有必須牽涉之處，亦祇能取譬於日常切近之事物，出以通俗近似之陳述，精確之度難免犧牲，讀者諒之。
- (六)本叢書中所用各項單位，均取國際制，凡原書用英美制之處，則加註國際制之當量值。

- (七) 本叢書在原則上遵用教育部頒之名詞。凡名詞若爲部頒所無者，或部頒名詞在實用上有窒礙者，則有編輯會議商定之。
- (八) 本叢書各冊名詞力求統一，惟卷帙甚繁，編輯部同人校訂難免疏漏，所望讀者發現矛盾或不一致之處，惠予指正，以期再版時收統一之效。
- (九) 本叢書中重要名詞後均附註英文名詞，並於每冊後附英漢對照名詞彙。
- (十) 本叢書爲普及起見，用語體文撰述。
- (十一) 本叢書第一集共二十三冊，電工各門大致俱備，其他門類，如電信等，擬陸續另出第二集補成之。
- (十二) 本叢書編輯同人均以業餘之暇從事撰述，疏誤在所難免，所望海內方家，不吝見教，俾於再版時得以更正，不獨同人個人之幸，亦中國電工教育之幸也。

編 譯 者 序

在一個供電的區域裏，綫路是多麼錯綜複雜，尤其是規模大的發電系，輸電系，和配電系。有幹路還有支路，有長途和短途，有最簡單的單電路，也有最繁複的電網絡，有單方向和兩方向的供電，有總電站外加許多大小的分電站，有電燈，電熱，電力等負載的專綫和幾種負載混合的普通綫，其中電壓有高低幾級，電流有恆定和改變的，而且改變有慢性和急性的。所以供電是一樁很麻煩的事情，非特要隨時適應需要，並且使各方面都得到相當的滿意。這種問題不僅是要把綫路設計得妥善，更要有精確的調整器來擔任維持電壓穩定的工作。發電廠的規模愈大，供電的範圍愈廣泛，調整器的設備也愈多而愈講究，那是小規模的發電廠所不能在經濟能力下勝任的，而且是不值得的。

自從愛迪生發明電燈，建設起發電廠直到現代，綫路上的設備不知有多少改良，其中電壓調整器的進步最是神速。回想到從前電工幼稚時代的燈光閃閃跳動，乍明乍暗，比較現在燈光穩定，效率增高，足見電工界供獻之大了。

本書原作者Fred Von Heimbury為美國本薛凡尼亞電力電燈公司的工程師，對於交流線路的電壓調整，講得特別詳細。茲經編譯者加入第二章直流發電機調整器，第三章直流饋電線的電壓控制，第七章電網絡的調整器，第六章中也重寫一部份，

將全書分章立節，擴充資料，雖不能集調整器之大成，也可說是包羅大概了。

本書對於發電機調整器特別描寫詳盡，都佐以詳細接線圖而按分析法來解釋每種元件的作用，使讀者可感覺到相當興趣。又本書取材力求實用，所以對於調整器的調準方法如何維持適當，其他如用途等，亦有闡述。若使介紹於電廠電機服務人員，最有助益。至於大學讀過發電廠設備的學生，在他們教科書裏悟解得原理後，再去探求本書中的實際學識，更能瞭解透切。作者於編譯完竣後略誌數語，為讀者告。

本書脫稿後，承楊孝述先生校閱一過，多所指正，特此申謝。

壽俊良序 卅五年七月五日

目 錄

第一章 電壓調整	1
1.1 定義 優良電壓調整的需要 (用戶觀點): 1.2 滿意的照明 1.3—1.6 電壓不足的原因和結果 1.7 綜述 (電廠觀點): 1.8 實 電增加 1.9 變壓器的損失 電壓調整不良的原因: 1.10 負載特 性 1.11 發電機和變壓器的特性 1.12 輸電線路內的電壓降	
第二章 直流發電機調整器	7
2.1 總言 2.2 特瑞式調整器 2.3—2.4 高速振動式調整器 2.5 —2.8 反電動勢調整器 2.9—2.13 曳雷調整器	
第三章 蓄電池組和直流饋電線的電壓控制	18
3.1 蓄電池組的利用 3.2 末端電池法 3.3 炭片疊控制法 3.4 浮置電池組 3.5 自動炭片疊式調整器 3.6 用串聯昇壓機控制 饋電線的電壓	
第四章 交流發電機調整器	23
4.1 分類 4.2 控制方式 振動式: 4.3 概說 4.4—4.5 詳述 變 阻器式: 4.6 概說 4.7 主要部分 4.8 主控機件 4.9 反向接觸 器開關 4.10 電動機轉動的變阻器 4.11—4.15 電路 1.16 直 流控制磁鐵的作用 關程式: 4.17 概論 4.18 調整器的部分 4.19 控制機件 4.20 控制線卷的作用 4.21—4.22 替續器 急 應式: 4.23 引言 4.24 特徵 4.25—4.27 構造 4.28—4.31 運用 4.32 調準 4.33—4.34 複合	

第五章 交流輸電綫的電壓控制.....51

5.1 論長短途輸電綫的電壓控制法 5.2 同步機的特性 超閘程式調整器: 5.3 概說 5.4—5.8 超閘程調整器的作用 5.9 限制開關 5.10 手控開關 5.11 倒用替續器 5.12 電抗器 5.13 制止獵覓的機件

第六章 交流配電系的饋電綫調整器.....63

概說: 6.1 用途 6.2 式樣 感應式: 6.3—6.5 單相感應調整器 6.6 多相感應調整器 6.7 效能 6.8—6.12 控制方式 開關式: 6.13 構造 6.14 手控式 6.15—6.16 自動控制 最低級電壓饋電綫的調整器: 6.17 必要條件 6.18 構造原理 饋電綫調整器的應用: 6.19

第七章 電網絡系調整器.....81

7.1 電網絡系調整器的需要 7.2 種類 同步機調整器: 7.3 優點 7.4 遺憾 調換分接頭的變壓器: 7.5 概況 7.6 斷路調換分接設備 7.7 通路調換分接法 單電路變壓器的分接調換: 7.8 佈置和運用 7.9 運用的機械 7.10 電抗器 7.11—7.12 調整變壓器和昇壓變壓器的聯合應用 7.13 感應調整器的利用 7.14—7.15 無分接電抗器法的設備和運用 雙電路變壓器的分接調換: 7.16 佈置 7.17 運用 調整變壓器的用途: 7.18 目的 7.19 優點 7.20 遺憾

問題.....91

電壓調整器

第一章

電壓調整

1.1 定義 在一個線路中每個電器上的電壓能維持不變時，這個電路的電壓調整(Voltage regulation)就算盡善盡美。不必所有的電器上的電壓相等，只要任何一電器上的電壓不變就算了。這種完美的電壓調整只是一種理想而已，實際上做不到。通常頂多只能維持電壓的變動在額定電壓的百分之一或二，這就可叫做優良調整了。

優良電壓調整的需要，用戶的觀點

1.2 滿意的照明 電壓調整優良，無論對電廠或是對用戶都是有益的。要想照明達於滿意的程度，電壓調整一定要好。因為雖然電壓下降很微，已經足以使燈光變暗。而且電壓變動急促的話，燈光就要閃爍(flicker)，比燈光不足還要討厭。太高的電壓減低燈泡和電熱器的壽命，在其他方面也是有弊無利的。

1.3 電壓不足的原因和結果 電燈的電壓不足有三種原因，各有不同的補救辦法。(一)電廠發出的電壓不足，(二)燈泡上標

稱的電壓比電路電壓高，(三)從用戶的瓦時計到燈頭之間的電壓降太大。燈點著時，燈頭上的電壓比瓦時計所在處電壓小，所差的就是瓦時計接到燈的電線內的電壓降。

在任何裝置之中，如果路線內的電壓降太大，那麼線路上電燈開得最多的時候，一切電燈所接受的電壓都小於正常電壓。換句話說，最需要電燈的時候，電燈所放的光最暗。如果只開幾個燈的話，路線內的電壓降也減小，因此燈上受到的電壓高而發光也亮。這種情形由圖 1.1 中畫出，後面還要說明。從用戶方面

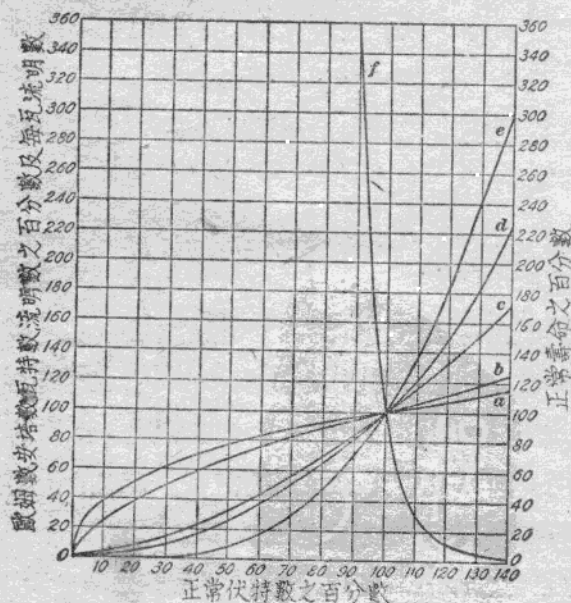


圖 1.1 關於電燈的特性曲線

看來，有兩點最重要。一是電燈上所受到的平均電壓應該和燈泡所需要的電壓相等，再一點就是電壓的變動必須很小，免得燈光明暗無定。

現在舉例說明電壓不足對於電能耗費和發光的關係。假定一個 115 伏的燈泡

用在 105 伏電路上。如果這電壓的不足是由於電廠發出的電壓低的話，那麼這個燈泡所費的能要省百分之 13，而發出的光也比在正常電壓時少百分之 26。如果電壓不足完全由於路線裏電壓降太大，那麼電計上記下來所費的電能只省了百分之 5。在這種情形下，如果所用的電加多百分之 5，發光可多百分之 35。在不足的電壓下點燈，用戶所付電費比用正常電壓點燈來得少。然而所得到的光還不值他所付的電費。如果電壓正常的話，同樣電費可得到更多的光。

1.4 圖 1.1 中的曲線表明電壓調整不良對於燈泡的影響。這些曲線並不是單指許多燈裏的一個，而是表明一般情形的。 a 是燈泡的電阻， b 是燈泡所耗的電流， c 是瓦特數， d 是每瓦特所放的光的流明數 (lumens)， e 是燈光的流明數， f 是燈的壽命。這些都和燈泡受到的電壓有關，所以曲線都是照正常伏特數之百分數畫出來的。

照圖上看起來，如果電壓只有正常伏特數的百分之 93，那麼所放的光只有正常值的百分之 80 (圖 e)；而在電壓為正常值的百分之 105 時，燈光是正常值的百分之 120。由曲線 c 可見，電燈所費的電依電壓的增減而增減。曲線 d 表明每瓦特所放的光量在電壓低於正常值時減少而隨電壓之加增而增加。燈的壽命在電壓不足時來得長，電壓過高就要縮短，這可從曲線 f 上看出。例如在正常電壓百分之 95 時，燈的壽命要增到正常電壓下壽命的百分之 180，而在百分之 150 正常電壓時，壽命減去百

分之 50。

1.5 用戶不但應該用正常電壓的燈泡，而且用錄也要注意使瓦時計至燈頭間的電壓降不超過 2 至 3 伏。路錄用得細，雖然可載正常電流而不被燒壞，但其電阻所引起的電壓降也許太大。兩根 14 號皮錄可以載 15 安培的電流而不致過熱，然而如果長過 25 呎的話，15 安培所生的電壓降就不止 2 伏特了。如果要通 15 安培的電流到 100 呎遠的負載，而電壓降只許有 2 伏，就應該用兩根 8 號錄。

1.6 不良電壓調整的另一種結果，就是電熱器（電熨斗，電爐煮水器等）不能發出充分的熱。還有一種結果就是電動機的工作不能滿意。因為電動機的額量，速度和始動轉矩 (Starting torque) 都和電壓有關。如果要電動機速度不變的話，電一定要穩定。然而通常即使電壓稍些改變，所引起速度上的小出入不足為病。

1.7 總述 依用戶看來，電壓調整不良的結果總計有下列四種：(一)電壓不足則燈光不亮，用電也不經濟；(二)電壓過高，燈泡壽命縮短；(三)電熱器發熱不足；(四)有時電動機的工作不能令人滿意。

電 廠 觀 點

1.8 售電增加 在電廠方面看來，電壓調整必須良好，一則可以按照負載發出一定電能，二來售電也可增加。顯而易見的，

如果用戶滿意的話，一定添置種種電器，電能銷路必可激增。在另一方面說來，調整不良以致工作不滿意，一定會減少銷路；同時，每個用戶所用的電比正常值少，也是電廠銷路上的損失。

1.9 變壓器的損失 變壓器內各種損失是與電壓的平方成正比。如果一個大規模綫路裏有許多變壓器，電壓過高所致的損失比正常值時大得多。這種損失頗值得考慮，因為負載低時，電壓往往超出正常值，電廠收入既少而損失却增多，不經濟得很。

電壓調整不良的原因

1.10 負載特性 電壓調整不良，最主要的原因是負載不穩定。負載不穩定使發電機的速度和電壓都受到影響，此外還要影響到輸電時電壓的損失。原動機（引擎，蒸汽輪機或者水輪機等）的速度調整所以很是重要。因為原動機的速度倘使改變而發電機的磁場不變，那麼它的電壓隨著改變，兩者的改變成正比。新式機器上都有自動節速器來調整速度。

1.11 發電機和變壓器的特性 無論原動機的速度調整是如何的好，如果發電機本身調整得不好，那麼遇到負載變動時，它所發出的電壓仍不穩定。除非發電機設計得好而且調整得好，即使原動機速度不變，負載改變時發電機的電壓也隨着改變的。

發電機和變壓器的電壓永遠有改變的趨勢。一方面固然由於負載的特性，而它們本身的設計也有關係。交流發電機的固有調整 (inherent regulation) 載着無感負載時比載着有感負

載的時候要好得多。平常用的電燈就是一種無感的負載，而電動機是有感的負載。發電機和變壓器的電壓調整和它們的繞組(Winding)的電阻和電抗有關係。裝發電機和變壓器時，應該慎重選擇，可以幫助得到良好的電壓調整。

1.12 輸電線路內的電壓降 交流發電機在機身出綫處也許電壓調整很好，然而在遠處電燈燈頭上的電壓就大不穩定，這是因為配電綫路內有電壓降的緣故。電壓降低多少和電流成正比。因此，如果幾根饋電綫載着不同性質的負載，它們之中的電流當然也就不同，要想燈光充足而且穩定，一定要個別調整每個綫路的電壓。

饋電綫上電廠方(Station end)的電壓應該比電燈方所需的電壓高，高得足以補償從電廠到電燈這段綫路裏的電壓降。電燈全開的時候，電壓降最大，所以那時饋電綫電廠端的電壓一定也要最高。

第二章

直流發電機調整器

2.1 總言 直流發電機的固有調整是很好的，尤其是複激發電機的電壓調整是交流發電機根本比不上的，原因是直流發電機的額量較小而輸出距離不廣，並不像交流發電機必需注重到限制短路電流(Short-circuit Current)方面和穩定方面而設計。論到綫路的調整，因為沒有電抗和電容作用，所以很是簡單，有時全憑發電機調整器(Generator regulator)來保持負載電壓於恆定值；負載變動較為廣泛的綫路像市區電車的直流饋電綫，那是特殊情形，因為電壓調整是根本很壞，所以往往採用串聯發電機，亦即串聯昇壓機(Series booster)來補救，使每個饋電綫各自調節它遠處盡端的電壓。

直流發電機的調整器普通所用者有下列三種：(一)特瑞式(Tirrill type)，(二)反電動勢式(Counter-Emf. type)，(三)叟雷式(Thury type)。其實還有第四種叫做直接作用式(direct-acting type)，這式用者不多，並且亦有交流用的一種，將在下一章裏說明，用直流的與此大體相同，僅僅是換去電動部分而代以直流的電動部分，所以這裏只提及名稱，不加詳細說明了。現在把上述的三種普通式樣的內容分別敘述在下面。

壓降低到相當數值時，錄卷 E 的拉力足夠被彈簧 S 克服，主接觸 M 閉合，這時候錄卷 A 受激，抵消了錄卷 B 的磁通，彈簧 C 重行閉合起來，再捷接變阻器的一部分電阻，磁場電流立即增加起來提高匯流排電壓。這樣的循序重復再演下去，動作是非常迅速。所以電壓的變動是一些也感覺不到。爲了抑止這裏槓桿系的自然振動，磁鐵 E 下面還連着一個緩衝壺(dashpot)。

要是發電機額量小的話，輔助的替續器不妨省去，靠主接觸直接去捷接變阻器 R 。但是有一點要說明的，主接觸的工作能力是有限的，在磁場電流十分大的時候，那替續器還是需要的。

2.3 高速振動式調整器 中型直流電機的磁場不能立刻響應着普通振動式調整器裏替續器的振動，所以綫路上電燈往往發生閃爍(flicker)。原因是由於主接觸運用前，匯流排電壓必先變動。這種不愜意的特徵用了高速度振動的調整器才能免除。怎樣辦到呢？方法是只需在外電阻器一部分接上一個電阻 4 和主控錄卷及替續器串聯，像圖 2.1 所示。

2.4 分析調整器的作用，我們可以看到錄卷 B 是經常電激的，錄卷 A 因爲主接觸 M 的閉合而被激時產生反向磁通，把磁鐵去磁化。在這佈置中，串聯於錄卷 E 的外電阻 1—6 有一分接頭引出，經過電阻 4 而接在另一組外電阻的交接點 y 上。因此，當接觸 M 開着的時候，電阻 3 和 1 並聯相接。但等到接觸閉合，電阻 1, 2, 和 3 成並聯了。這樣的變換接法就使電阻 1 上的電壓降減低，錄卷 E 中隨着有更大的電流通過，把接觸吸開。但是接