

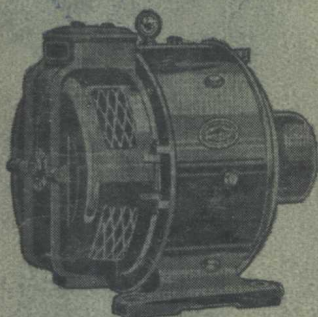
94

116908



电机实验

何金茂 陳世坤 編譯



科学技術出版社

1531

電 機 實 驗

何金茂 陳世坤編譯

科學技術出版社

內 容 提 要

本書介紹實驗電路的元件及一般試驗、實驗的技術及工作法、电机實驗內容和电机實驗室的設備。對於电机實驗的有關問題，有系統地予以詳盡敘述。可供大專學生參考之用。

电 机 实 驗

Руководство к лабораторным
Работам по электрическим
машинам

原 著 者 [苏联] С. А. Николаев

原出版者 Госэнергоиздат 1953年版

編 譯 者 何 金 茂 陳 世 坤

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海延平路336弄1号)

上海市书刊出版业营业許可証出079号

上海市印刷五厂印刷 新华書店上海發行所總經售

*

統一書号：15119·468

(原机电版印4,000冊)

开本 787×1092 1/27·印張 7 13/27·字數 175,000

1957年4月新1版

1957年4月第1次印刷·印數 1—3,500

定价：(10) 1.00 元

序

本書係根據蘇聯國立動力出版社1953年出版的 С. А. 尼哥拉也夫 (С. А. Николаев) 所著“電機實驗室工作指南”(Руководство к лабораторным работам по электрическим машинам) 簡稱“電機實驗”一書編譯而成。原書經蘇聯電站及電氣工業部教育司審定為電力機械及動力中等技術學校的教科書。全書共分四章：第一章為實驗線路的元件及一般試驗；第二章為實驗報告的編纂；第三章為電機實驗；第四章為電機實驗室的設備。

譯者根據國內學校及工廠中實際情況，增加了一些內容，主要為第一章的 §1-6, 1-8, 第三章的 §3-1, 3-2, 3-3, 3-4, 3-15, 3-16, 3-17, 3-20, 3-28, 3-29 各節。原書第三章中有個別實驗內容很多，決非 2-3 小時內所能做完，譯者在保持原書的系統性及不減少其內容的原則下，將個別實驗重新編排，使能在 2-3 小時內將實驗做完，以適應目前國內各工業學校的需要。並將每一實驗的總結報告另行列出，以便利學生們做報告。總結報告的其餘各項詳見第二章 §2-5，不再一一列出。

一部份增加的材料是為配合實驗室目前設備不全而編寫的。如實驗 3-15 單相變壓器的空載及短路試驗及實驗 3-18 三相變壓器的空載及短路試驗；實驗 3-17 單相變壓器的並聯運用及實驗 3-21 三相變壓器的並聯運用都是性質相同的實驗，實驗室中目前若無足夠的三相變壓器則可用實驗 3-15 及 3-17 代替實驗 3-18 及 3-21。

譯者才疏學淺，且係初學俄文，錯誤之處，在所難免，希望讀者隨時提出指正。

何金茂 陳世坤 一九五四年四月於交通大學電機實驗室

原 序

蘇聯共產黨第十九次代表大會的決議賦予我們一個重大的任務，即更進一步地提高蘇聯各族人民的物質福利、衛生及文化水平。在1951——1955年的五年計劃中，預計發電量將增加80%，發電站的電力將得到高速度的發展，以便更完善地滿足日益增長的國民經濟的需要以及人們在日常生活中對於電力的需求。在五年計劃中，發電站總的電力約將增加兩倍，而水電站的電力將增加三倍。遠距離自動控制儀表的產量約將增加2.7倍。現在放在我們面前的一個任務就是在製造機器時，不僅要改進質量，同時要降低每單位功率所消耗的材料。

五年計劃——我們國家和平建設的計劃——任務的完成需要培養大量的幹部，他們要能夠精通和掌握新的技術，並且能不斷地提高它。

在訓練中等技術人才——電力機械和動力技術員——的工作中，我們學校承担着改進所有實驗教學方法的重大而光榮的任務。

實驗室中無論在技術設備或實驗教材方面均須具備很高的水平，因為學生在這裏第一次獲得實際的技能並熟識現代的技術。應該特別注意：實驗必須最大限度地接近於將來的實際技術工作。所做的實驗必須保證測量達到最高的準確度，並且接近於工業上的試驗。

本書是根據蘇聯電站及電氣工業部的動力、電力機械學校的實驗大綱編纂的。在編寫時，試驗的組織與進行是利用以 Л. Б. 克拉辛 (Красин) 命名的莫斯科電力機械技術學校的實驗室及莫斯科動力技術學校的實驗室進行的。

本書是配合蘇聯國立動力出版社1952年出版的 Л. М. 朴德羅夫斯基 (Л. М. Пиотровский) 著“電機學”編寫的。每個實驗所引證的章節均標出於實驗標題下。祇有當需要時，才另添補充材料。

本書承蒙技術碩士，副教授 П. С. 賽爾艾也夫 (П. С. Сергеев) 及

工程師 В. А. 貝爾伐卻夫 (В.А. Первачев) 校閱,並蒙提供寶貴的意見,特此誌謝。

由於本書是電力機械技術學校實驗教本的首次創作,希望讀者多多提供意見,作者將萬分感謝。

著 者

目 錄

序

原 序

第一章	實驗線路的元件及一般試驗	1
1-1.	實驗線路的電源	1
1-2.	電機的啓動，調節及負載變阻器	2
1-3.	電動機的負載設備	5
1-4.	繞組電阻的測定	10
1-5.	溫度的測定	12
1-6.	決定電機最後溫昇的間接方法	15
1-7.	轉速及轉差率的測定	17
1-8.	相序的決定	23
第二章	實驗的技術及工作法	26
2-1.	概論	26
2-2.	實驗的預習	26
2-3.	熟識設備及裝接線路	27
2-4.	線路接入電源及試驗的作法	28
2-5.	實驗報告及其編寫	30
2-6.	實驗的安全技術	32
第三章	電機實驗	34
3-1.	認識實驗	34
3-2.	測量直流電機各繞組的電阻及直流電機的構造	34
3-3.	直流電機的電樞繞組的繞法	38
3-4.	直流他激發電機空氣隙中磁通分佈及電樞反應	39
3-5.	求取直流電機附加磁極的外加電流曲線以研究其換向	43
3-6.	他激，並激直流發電機的空載，負載，調整及自激特性	45
3-7.	他激，並激，複激直流發電機的外特性	54
3-8.	並激直流電動機的轉速特性及調節特性	56

3-9. 複激及並激直流電動機的運行特性.....	60
3-10. 直流串激電動機的特性.....	63
3-11. 直流發電機的並聯運用.....	67
3-12. 空載法測定直流並激電動機的效率.....	71
3-13. 還館法測定效率.....	75
3-14. 電機放大器.....	78
3-15. 單相變壓器極性、空載及短路試驗.....	80
3-16. 單相變壓器的相反試驗.....	88
3-17. 單相變壓器的並聯運用.....	91
3-18. 三相變壓器的空載及短路試驗.....	93
3-19. 三相變壓器的聯接組.....	99
3-20. 變壓器的V形接法及相數的變換.....	102
3-21. 三相變壓器的並聯運用.....	107
3-22. 變壓器的不平衡組接.....	109
3-23. 三相三繞組變壓器.....	113
3-24. 感應電動調整器.....	119
3-25. 感應電動機的啓動及轉動方向的改變.....	121
3-26. 三相感應電動機的圖圖.....	126
3-27. 負載法求取感應電動機的運行特性.....	136
3-28. 還館法求取感應電動機的溫升.....	141
3-29. 重疊頻率法求取籠繞式感應電動機的溫升.....	143
3-30. 三相同步發電機的空載、負載、及短路特性.....	146
3-31. 三相同步發電機的外特性及調整特性.....	159
3-32. 測定同步發電機的效率.....	161
3-33. 同步發電機與電力網的並聯運用.....	165
3-34. 三相同步電動機.....	170
3-35. 測定同步電動機的參數.....	175
3-36. 單相排斥式電動機.....	180
3-37. 三相並激換向器式電動機.....	182
第四章 電機實驗室的設備.....	185
4-1. 實驗室的籌劃及佈置.....	185
4-2. 實驗桌、機器基礎及測量箱.....	187
4-3. 儀表及電機的連接法.....	189
4-4. 實驗室基本設備一例.....	190
原書參考書目.....	194

第一章

實驗線路的元件及一般試驗

1-1. 實驗線路的電源

在電機實驗室中進行實驗一定需要直流和交流電源。爲了佈置實驗的便利和安全起見，最好採用電壓爲 110 伏的直流電源和 127 伏的交流電源。

學校實驗室中直流電源大都取自電動機發電機組，電動機發電機組把交流轉換成直流。電動機通常爲感應電動機，它拖動一具直流發電機。

當實驗室中有許多小組同時進行實驗時，負載時常變動，而且變動很大。因此，實驗室的直流電壓將常發生波動。這種情形對於實驗的結果有不良的影響。所以，每次實驗時，不論直流電源電壓需維持於那一數值，但電壓總須保持穩定。

爲了這個目的，直流發電機應爲複激的。如果沒有複激發電機，則可裝置並激發電機，但在每次實驗時，電壓須儘可能維持不變。

交流電源通常是和城市的電力網相連接的，然而，上面已經指出，所採用的電壓應爲 127 伏。

在許多實驗中不僅需要降低交流電壓，而且電壓要改變得很均勻，並且範圍要很廣。爲了這個目的，我們大都採用旋轉自耦變壓器（Поворотный автотрансформатор），或稱爲感應電壓調整器。

我們通常利用制動的感應電動機，把它的轉子繞組適當連接後作爲電壓調整器之用。

1-2. 電機的啓動、調節及負載變阻器

啓動直流電動機時我們採用啓動變阻器，它的線路圖之一示於圖 1-1, a。電流自電源流向接柱 J (線)，經過活動把柄 1 沿電阻器 2 到接

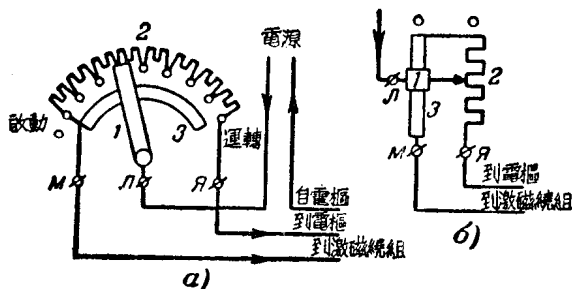


圖1-1. 啓動變阻器的接線圖

柱 R (電樞)，然後流到電樞繞組。另一路電流流過第二個並聯支路，自把柄 1 經過弧形銅條 3，到接柱 M (磁鐵)，然後流到激磁繞組。

圖 1-1, b 所示爲這種變阻器的簡圖。這種簡圖將應用在以後的電動機線路圖中。變阻器和電動機的接線圖可在圖 3-24 中見到。

變阻器把柄的啓動位置用字母“啓動”標示，運轉位置用字母“運轉”標示(圖 1-1)。電阻 2 的第一個接觸點是和弧形銅條相連的，因此，

當變阻器開斷時(當電源開斷時)，激磁繞組經激磁變阻器的電阻及電樞而自成短路(圖 3-24)，避免了電路開斷時高電壓的產生。

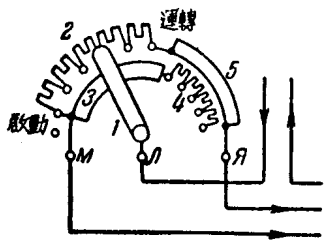


圖1-2. 啓動調節變阻器接線圖

當變阻器開斷時(當電源開斷時)，激磁繞組經激磁變阻器的電阻及電樞而自成短路(圖 3-24)，避免了電路開斷時高電壓的產生。

圖 1-2 所示爲啓動調節變阻器。這裏與圖 1-1 所示的變阻器不同，弧形銅條是和電阻 4 相聯接的。如果電動機啓動好以後再將把柄 1 自“運轉位置”向右移動，則它將在弧形銅條 5 上滑動，這樣，電樞電路中的電阻沒有改變；同時把柄將在電阻 4 的接觸點上滑動，在激磁電路中就有附加電阻串聯進去。

圖 1-3 所示為以 С. М. 基洛夫命名的“電力”(Электросила) 工廠所生產的 РЗП-3 型啓動變阻器的接線圖。它有保護電動機過載用的過載釋放器 1, 以及電源電壓降低時開斷電路用的低壓釋放器 6。變阻器的把柄在啓動位置時是和接觸點 4 及弧形銅條 5 相連的, 低壓釋放器被把柄所分路, 因此主電路中的接觸子 2 是開斷的。當把柄移動到接觸點 7 時, 電流自接柱 Π_1 沿導線 8 流到接觸點 7, 然後經過把柄 3 到銅條 5, 再經過低壓釋放器 6、過載釋放器的接觸子 9 而達接柱 Π_2 , 回到開關的另外一端。低壓釋放器 6 閉合主電路中的接觸子 2, 電流自接柱 Π_1 經過接觸子 2 而到連接點 10, 自連接點 10 電流分成兩路: 一路為串聯電路的電流, 經過電阻 11, 接柱 Π 流進電樞; 另一路為激磁電路的電流,

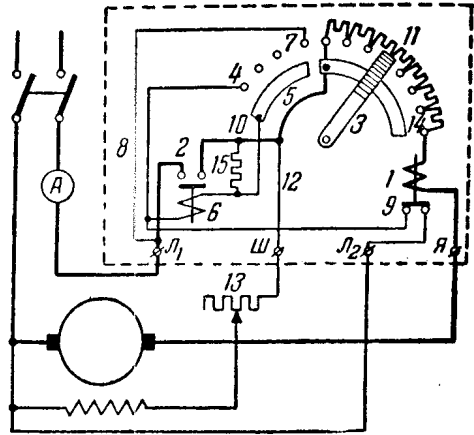


圖 1-3. 以 С. М. 基洛夫命名的“電力”工廠出產的 РЗП 型啓動變阻器的接線圖

流經導線 12, 接柱 Π , 調節變阻器 13 而到激磁繞組。把柄 3 繼續向右移動, 則電阻 11 逐漸被銅條 14 所分路。當過載時, 過載釋放器 1 開斷接觸子 9, 低壓釋放器中就沒有電流, 而把接觸子 2 開斷, 因為這時它的吸力減弱不能繼續維持接觸子 2 閉路。電阻 15 作為接觸子 2 閉路時減弱低壓釋放器中的電流之用, 亦即減低它的損耗。

直流電動機啓動變阻器線路圖之一如圖 1-4 所示 (又稱四點啓動器)。當啓動電動機時, 把柄 5 和觸點 K_2 接觸, 把柄 6 和觸點 K_3 接觸, 電流自電源開關 1 經過保險絲 2 流向過載釋放器的作用線圈 3, 經過過載釋放器的接觸子 K_1 、把柄 4 和 5、接觸子 K_2 到接柱 Π_1 , 經過把柄 6 到輔助觸點 K_4 , 自輔助觸點 K_4 電流分成二路: 一路為電樞電路的電流, 經過電阻 7, 接柱 Π , 流進電樞; 另一路為激磁電路的電流, 流經導線 8 接柱 Π , 磁場變阻器 R_0 而到激磁繞組。把柄 6 繼續向右移動, 則電阻 7 逐

漸自電樞電路移入激磁電路，而為磁場電阻的一部份。當過載時，過載釋放器使搭鉤 9 脫鉤，因而接觸子 K_1 開斷，低壓釋放器 10 中就沒有電流，把柄 6 被彈簧拉回到啟動位置。激磁繞組經磁場變阻器 R_θ ，電阻 7 及電樞而自成短路，避免了電路開斷時高電壓的產生。

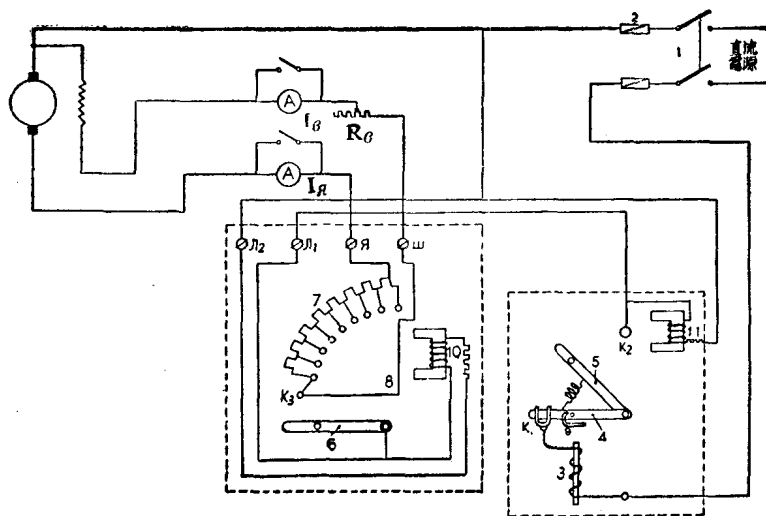


圖 1-4. 直流電動機啟動器接線圖之一

啟動直流電動機的步驟如下：

- (1) 閉合安培計 I_R 及 I_θ 的短路開關。
- (2) 調節 R_θ 之電阻到最小，並使電樞電路內的外加變阻器之電阻最小(圖 1-4 中未接外加電阻)。
- (3) 閉合開關 1。
- (4) 移動把柄 5 使與接觸子 K_2 接觸並被低壓釋放器 11 所吸住。
- (5) 把柄 6 逐漸向右移動，並注意電動機是否轉動或有其他現象。
- (6) 開斷 I_R 的短路開關，觀察 I_R 是否正常。

啟動感應電動機時，我們採用各種不同型式的變阻器。圖 3-80 所示即為其中之一種。三個電阻 6 經由電刷 5 接到轉子的滑環 4，藉變阻器把柄上的接觸點 7 接成星形，把柄向下移動時(見圖 3-80)，電阻逐

漸減小。把柄在啓動位置時不把轉子電路開斷，這樣可避免電源開關拉斷時定子線端間高電壓的產生，即磁場能量在轉子的變阻器裏轉化爲熱能。

爲了調節直流電機或同步電機的激磁電流，我們採用級數很多的變阻器，其接線圖表示於圖1-5。這種變阻器中備有接觸點1，當把柄移動得過右時，激磁電路不會開斷，而自成短路，避免了激磁電路中高電壓的產生。

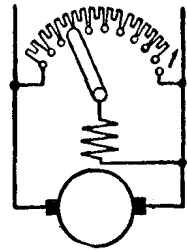


圖1-5. 調節變阻器的接線圖

我們採用特殊的變阻器作爲直流發電機的負載。這些變阻器有各種不同的結構，大都由實驗室自己製造。

1-3. 電動機的負載設備

圖1-6所示爲小型電動機的測功器。電動機的轉軸上套有

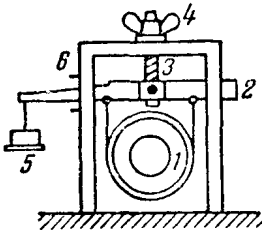


圖1-6. 機械測功器

輪1，滑輪用固定在稱桿2上的鋼帶或皮帶包住。稱桿固定在一吊軸上，吊軸支持在螺桿3上，轉動螺母或手輪4，稱桿就上下移動。它的末端懸掛重量5，使稱桿平衡。稱桿上尚裝有水平儀以便測量時決定稱桿的水平位置。支架上裝置限制器6避免稱桿翻倒。在進行負載試驗時滑輪須用水加以冷卻。

如作用在稱桿末端的力爲 F 〔鈺〕，臂長爲 l 〔米〕，則轉矩

$$M = Fl \text{ [鈺米]}.$$

測量轉速，以轉/分計，則可決定軸上功率：

$$P_2 = 1.027nlF \text{ [瓦]} \dots\dots\dots (1)$$

圖1-7表示另一小型電動機的機械測功器。1爲空心滑輪，2爲鋼帶和滑輪接觸的一面襯以殺車皮。3爲硬木塊，4爲手輪，6爲水平儀，7爲檯式公斤稱；5爲安全架，用洋元製成，裝置在電機的基座或鐵軌上，當電動機反轉時，避免測功器倒轉傷人。8爲測功器的臂，用鐵製成。負載試驗時，滑輪須用水加以冷卻。在開始進行試驗以前，須先量出公斤稱上的測功器臂重。測量方法如下：旋鬆螺絲帽9使鋼帶2和滑

輪 1 脫離接觸，在硬木塊 3 與滑輪 1 間放置一刀邊形的物件，同時調節螺帽 10 的位置使測功器臂 8 水平，讀取公斤稱上的讀數 F_0 。即為臂重。若進行負載試驗時，公斤稱的讀數為 F' ，則電動機軸上實際輸出的力為 $F = F' - F_0$ 。代入公式(1)即可算出軸上功率。

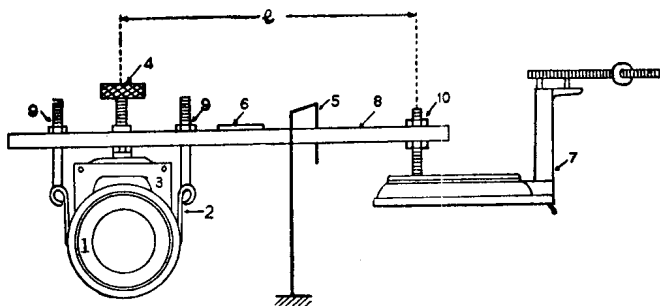


圖1-7. 機械測功器的另一圖

圖 1-8 所示為以 Л. Б. 克拉辛命名的莫斯科電力機械技術學校實驗室所採用的 Панасенков 式電磁測功器。

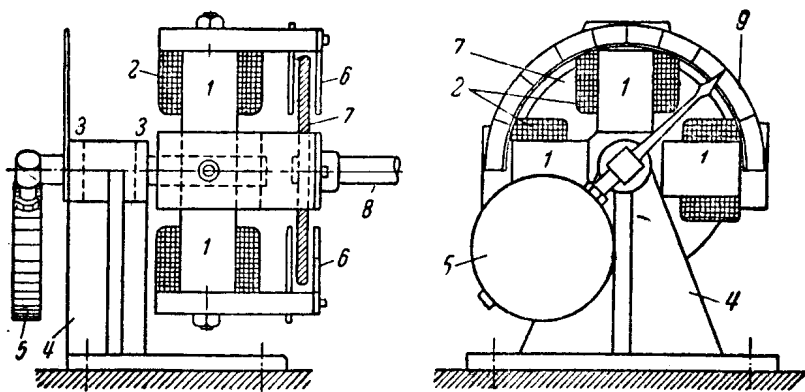


圖1-8. 電磁測功器

四極電磁鐵 1 固定在軸上，軸可在支架 4 的軸承 3 上轉動，其繞組 2 的截面表示於圖中，在同一軸上尚裝有重量 6，可與磁鐵一起轉動。圖 1-8 右圖表示重量不在垂直軸的位置上，這時它處在重力作用之下

產生轉矩。鋼盤 7 可在磁極的極靴 6 中間自由轉動，鋼盤 7 固定在被負載的電動機的轉軸 8 上。當電動機轉動時，電磁鐵繞組通以直流，則轉盤中就有渦流產生。轉盤 7 和磁鐵 6 間就有力的作用，使電磁鐵順電動機的旋轉方向轉動。但重量 5 阻止電磁鐵轉動故重量 5 和電磁鐵偏轉一定角度後，力矩平衡，便不再偏轉。調節電磁鐵繞組中的激磁電流，即可改變制動轉矩，可得出不同的偏轉角度。跟重量和磁鐵一起轉動的指針在標尺 9 上指出轉矩的數值¹。

電動機負載的另一種形式為校正發電機 (Тарированный генератор)，受試電動機用聯軸節與發電機相接。用變阻器作為發電機的負載，任何其他形式的傳動裝置 (如皮帶等等) 都是不合適的，因為它們的損耗很難估計，測量時將引入誤差。

採用他激發電機要算最簡便了。試驗時量出電動機的輸入功率：

$$P_0 = I_0 U_0,$$

及發電機的輸出功率：

$$P_i = I_i U_i.$$

則電動機的軸上功率 P_2 等於 $P_2 = \frac{P_i}{\eta_i}$,

這裏 η_i ——發電機的效率，是預先決定好的。在發電機的負載範圍內效率的數值均保持相當準確。

電動測功器或稱平衡電機 (Баласирная машина) 兼有機械測功器和負載校正發電機兩者之優點。它可以簡單而準確地決定受試電機的轉矩，且能把能量還饋給電源。它可以當作電動機，亦可以當作發電機。

電動測功器從電的方面來講即是一具普通的直流或交流電機，不過它的定子可在特製的支柱上轉動。最常用的為直流他激發電機。

圖 1-9 即為此種測功器的構造。直流電機的定子 1 可在軸承 2 中轉動某些角度，軸承 2 安裝在支架 3 上。轉子 (電樞) 可在裝置於定子中的軸承 4 上轉動。激磁繞組 5 接到獨立的直流電源，激磁電流可用變阻器來調節。電樞經由電刷接到負載電阻，或和直流電源並聯運行。在這

註(1) “電氣” 1952, No. 7, М.А. Панасенков: 電磁測功器

種情況下測功器是當作發電機，由受試電動機藉聯軸節 7 拖動。

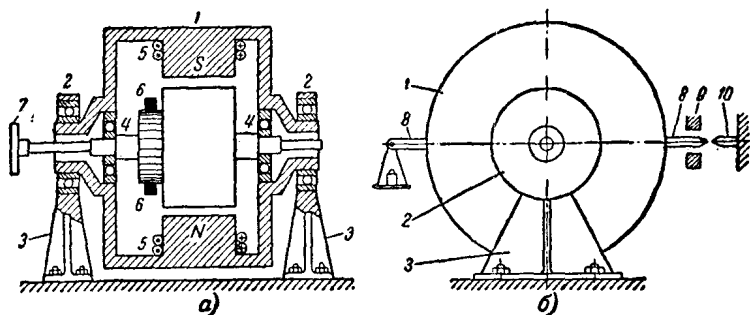


圖1-9. 電動測功器

如果電源電流送入激磁繞組同時亦送入電樞，則測功器是當作電動機運轉，藉聯軸節 7 拖動受試發電機。

當電樞轉動時，定子受到力的作用，驅使定子順電樞旋轉方向轉動（如果測功器作為發電機用），反電樞旋轉方向轉動（如果測功器作為電動機用）。這個作用力可被懸掛在稱桿 8 上的重量所平衡（圖 1-9, b），稱桿固定在定子上可在兩個擋板間擺動，並應根據記號 10 校正到水平位置。

稱桿上的轉矩以及測功器的功率的計算法是和其他機械測功器相同的。

如果定子不能平衡，則必須在稱桿上再加重量。此外，轉矩的讀數須加以校正，下面是校正的方法。測功器當作電動機在空載下啟動。在這種情形下聯軸節上轉矩等於零，然而定子受到力的作用而離開中性位置。稱桿上加以重量 F_0 使它回到水平位置。這樣就得出校正轉矩 $M_0 = F_0 l$ （呎米）。在各種不同的轉速和不同的旋轉方向下（如果測功器將用作在兩個方向轉動），校正轉矩的數值都應事先求出。

當測功器作為電動機運轉時，聯軸節 7 上真正的轉矩（圖 1-9）：

$$M_{06} = Fl - M_0.$$

當作為發電機運轉時，聯軸節 7 上的轉矩：

$$M_i = Fl + M_0.$$

電動測功器適用於試驗所有轉速調整範圍很廣的電機，特別適用於

試驗交流換向器式電動機，交流換向器式電動機的試驗差不多祇能採用直接負載的方法。

電動測功器可用來測定電動機在各種不同轉速下的轉矩。

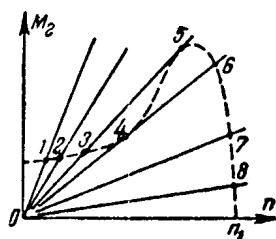


圖1-10. 電動測功器接有電阻時的工作原理

圖1-10所示為測功器的轉矩 M_1 和轉速的關係，這時測功器作為發電機運轉，負載為電阻 R 。大家知道，他激發電機的掣動轉矩為：

$$M_1 = k_1 I \Phi.$$

當激磁及電阻 R 都不改變時，則

$$I = k_2 E, \quad E = k_3 \Phi n.$$

由此

$$M_1 = k_1 k_2 k_3 \Phi^2 n = k \Phi^2 n.$$

這樣，在每一個磁通數值下， $M_1 = f(n)$ 是為經過坐標原點的直線。激磁愈小或電阻 R 愈大，則直線的斜率愈小。

如以感應電動機拖動測功器，則電動機的轉矩曲線（用虛線表示於圖1-10）和傾斜的直線相交於數點。這些交點表示在相應的轉速下電動

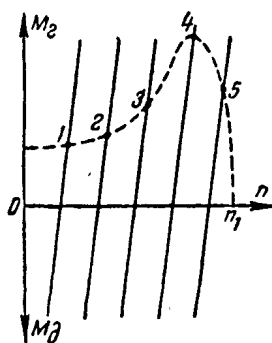


圖1-11. 電動測功器和電源並聯的工作原理

機的轉矩和測功器的轉矩得到平衡。

當我們研究電動機的轉矩曲線時，如由轉子轉速 $n=0$ 開始，則可決定 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 各點，因為在這些點子上測功器能穩定地運轉。如由空載 ($n \approx n_1$) 開始，則可決定 8, 7, 6, 5, 3, 2, 1 各點，而不能得出點 4 與點 6 間的