

簡明電工儀表

金福田編著



上海機電圖書出版社

簡明電工儀表

金 福 田 編 著

上海機電圖書出版社

一九五四年五月・上海

簡明電工儀表

定價：9,300

編著者：金 福 田

出版者：上海松茂圖書出版社

上海中山東二路九號四四室

印刷者：文明印刷廠

裝訂者：北中興裝訂所

發行者：上海松茂圖書出版社

上海中山東二路九號四四室

書號：3-021
印數：1-2,000

25開本·73頁·108千字
1954年5月初版

上海市書刊出版業營業許可證出078號

序

隨着祖國大規模經濟建設的突飛猛晉，歷史上從來沒有過的動力建設，電力工業的大規模發展，以及電能在工業、農業和運輸各種新的範圍內的應用，相應的對於電工量度技術有了新的要求，和高度發展的需要。更重要的是打現在起，電的量度技術對正確地進行生產有了密切的關係，它已經光榮地投入生產建設的偉大熱潮中了。

進行電工方面的量度技術，電工儀表是不可或缺的重要工具，除上述情形中爲着管理或控制電氣化裝置的工作使用電工儀表外，舉凡電的現象的研究，瞭解電路的情況，確定各種電的量之間的關係，以及非電領域包括如聲的、光的、熱的、化學的和機械的方面數量的量度，也都須應用到它。

至於應用電工儀表，又須首先熟悉它的特性和結構，同時又須通曉量度的方法。從而能夠知道在怎樣的量度要求下應有哪些設備，應當怎樣去裝配電路，進行觀察和紀錄，以及對所得數據的處理；必要時又要能夠檢驗與修理。

本書就基於上述情況下着手編寫的。取材以簡明和通俗爲主，而靈活地力求在簡明通俗中提高。內容從電工儀表的起源、分類、構造、工作原理以迄應用，都有扼要的敘述。使讀者可獲得量度方法和儀表方面的必需知識和一般量度技術上必需的經驗。這樣理論和實踐也可完全結合。章節間視需要還列入最低限度和最普通的公式，作爲實際計算的示例。書末又選刊一些附錄，都是實際和量度技術有關的實用參考材料。

編寫的程序，是以命名爲姆·依·加里寧的列寧格勒全技術學院

的電磁量度技術講座教授會所擬定的電工儀器分類標準為依據的。參考材料以 А. В. Фремке 主編的 Электрические Измерения (1950年版)一書為主,並以 А. С. Касаткин, М. А. Перекалин, 和 П. С. Сергеев 合著的 Электротехника (1953年版)和 В. С. Попов 所著的 Электротехнические Измерения и Приборы (1952年版)兩書為輔,將各書有關儀表的原理及構造加以扼要的節譯,另再補選實際應用的材料,以充實內容,因之本書可以用為動力或機電方面初等班級的教材,同時也可用作接觸到電工量度問題的工程技術人員的參考書。

編者個人學力有限,錯漏之處在所難免,還望讀者提出批評和指正。

金福田 1953.4.上海

目 錄

序

第一章 概說..... 1

- §1 電工量度儀器的起源和演進..... 1
- §2 電工量度儀器的定義和分類..... 9
- §3 一系列有關問題..... 12
- §4 電工量度儀器的符號和說明..... 19

第二章 直讀儀器的構造與工作原理..... 25

- §5 引言..... 25
- §6 磁電式電計..... 28
- §7 電磁式電計..... 33
- §8 電動式電計..... 38
- §9 感應式電計..... 42
- §10 靜電式電計..... 46
- §11 熱式電計..... 49
- §12 電解式電計..... 55
- §13 電子(動力)式儀器..... 53

第三章 電流計..... 58

- §14 正切檢流計..... 58
- §15 磁電式檢流計..... 60
- §16 阿·符·烏利托夫斯基自轉水平式檢流計..... 62
- §17 振蕩式檢流計..... 63
- §18 磁電式振動器..... 64
- §19 振動式電流計..... 65
- §20 電磁式振動電流計..... 67
- §21 恆速永磁動圈式電流計..... 68

第四章 電流計的應用..... 70

- §22 引言..... 70

§23	電流計的用法和量度範圍的擴大	71
§24	電流計量度電壓的用法	76
§25	電流計量度電阻的用法	80
§26	直流電計量度交流	86
§27	複用電計的構成	88
§28	複用電計的使用	90
第五章	相位計與頻率計	93
§29	引言	93
§30	電動式相位計	93
§31	電磁式相位計	95
§32	振動式頻率計	96
§33	緩磁電動式頻率計	97
§34	燈泡式同步指示器	98
§35	電磁式同步指示器	99
第六章	電度計	101
§36	電能和電量的積算	101
§37	單相感應式電度計	102
§38	三相感應式電度計	104
§39	電動式電度計	106
§40	電量式電度計	108
§41	電解式電度計	109
第七章	較量儀器	112
§42	比較量度法	112
§43	電橋	113
§44	簡單直流電橋	116
§45	複式電橋——雙電橋	117
§46	量度電感與互感的電橋	120
§47	量度電容與損耗用的電橋	124
附錄		129
附錄一	複用電計用作間接量度	129
附錄二	蘇聯電工量度儀表型別檢查	134
附錄三	儀器絕緣試驗規範	137

第一章

概 說

§ 1 電工量度儀器的起源和演進

偉大的俄羅斯科學的奠基者，天才的電的現象研究者，米哈依爾·華西列維奇·洛莫諾索夫，和他的戰友格·符·黎赫孟院士，在研究空中電荷的工作過程中，發現量度電量的大小是可能的。這是遠在十八世紀的第四十年代的事。在這時期以前，無論何處的任何人，都未曾進行過這樣的研究工作。

公元 1752 年，開天闢地的第一具電工量度儀器由黎赫孟院士在彼得堡創製成功，他們在研究工作中實際應用了這儀器，從此能夠對有關電的現象，可以有進一步作量的研究。

這具電工量度儀器，當時叫做「電指示器」或叫做「電軌」的，也就是實驗室中的黎赫孟氏靜電計，它的構造見第 1 圖所示。

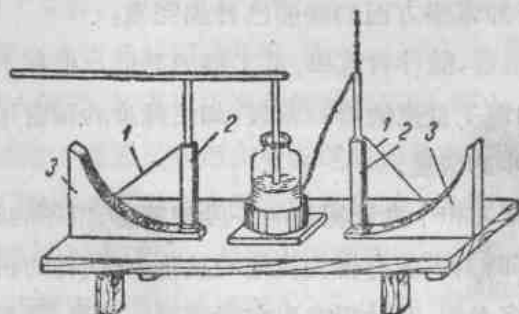


圖 1.

由圖可見這具靜電計是按裝在木板上的，用作偏轉指示的是亞麻絲(1)，效果相當於現代電計的指針，亞麻絲的一端和金屬棒(2)聯繫在一起，金屬棒的旁側安裝着木製的刻有標度的象限儀(3)，作用相當於現代電計的刻度片，它的半徑比亞麻絲稍微長一些，而中心恰巧在亞麻絲和金屬棒的聯繫點上。

現在再講一講這具靜電計的作用情況。如果有一帶電物體和金屬棒相接觸，金屬和亞麻絲因聯繫一起，便荷有相同的電荷，由於同性相斥的作用，亞麻絲和金屬棒互相起了排斥，亞麻絲是可以活動的，所以無異為金屬棒排斥，於是向離開金屬棒的方向上偏轉，從象限儀的標度尺上量度出來的亞麻絲的偏轉程度，就可以判斷出「電氣力」*的大小。

被提供用來研究空中電荷的這具黎赫孟氏靜電計是最初的電工量度儀器，是電計的鼻祖，它是用來量度帶電物體的電位的，雖然「電位」的概念直到很久以後才加確定。重要的是從這具電計上，可以看出它已經裝有近代電計中很重要的一個另件，那就是產生抵抗力矩的彈簧。

作為電的現象尤其是量的方面研究之用的另一種量度儀器，叫做「扭擺」，這是庫倫創造的，它在黎赫孟氏靜電計之後，已是十八世紀後半葉了，那時靜電學方面的發展已日趨完備。

電工量度儀器，隨伴着電學、電工學的發展，也有了新的創造和發明，而這些新的電工量度儀器的創製，却使理論的和實用的電學和電工學得到更進一步的發展。

在十八世紀末和十九世紀初的一段時期裏，電學的研究，成為歷史上的新紀元。那時對電流有伽列伐尼的試驗，和伏特的研究，使從事這方面的電的研究者們，開始對電流有所認識。接着，許多這方面的研究

* 在洛莫諾索夫時代，電的現象都是用「電氣力」的名辭以為說明的。

者中，首推符·符·彼得羅夫最為傑出，他在研究中，發現了電流的化學、光、和熱效應，帶電流回路對磁針的影響，和帶電流導線之間的吸引和排斥現象。

爲使研究上更深入，而對電流作理論上的研討起見，創製量度電流的大小的電工儀器成爲必須且爲必然的要求。物理學家歐姆利用帶電流導線對磁針的作用，可以測知電流的大小，歐姆藉這個儀器的補助，以實驗方法確定了有名的歐姆定律，並且經過俄羅斯院士愛·赫·楞次和勃·斯·耶柯比的多種試驗，使歐姆定律能爲舉世公認。在 1831 年末，法拉第發現電磁感應現象，這在電工量度儀器方面說來，也是極有價值的一件事。

到了十九世紀末和二十世紀初，電工量度技術在俄羅斯電工學者，米哈依爾·奧希伯維奇·多里伏-多布羅伏立斯基(見第 2 圖)，在電工發展史上的全盛時期，他實居在主導地位的，他有許多在電工方面的改良和發明，勞績極大：

第一，姆·奧·多里伏-多布羅伏立斯基，他發明了並製造成功了許多電工量度儀器，如電磁式安培計和伏特計，旋轉磁場的感應式儀器，並運用感應式儀器的原理，製成了瓦特計和相位計，許多創製的電工儀器又能用在交流電路的量度，性能極其優良。

第二，在「關於在電磁量度儀器中應用鐵」的一項工作中，他提供了新的鐵磁電動式量度儀器，並指出這種儀器主要是具有較大的轉矩和讀數不受外來磁場的影響的優點。

同時，他提出卓越突出的見解，關於儀器的構造應當怎樣選擇安匝



圖 2.

數和空氣隙的大小，使得磁滯損耗所造成的誤差減到很小，以及獲得磁場強度和安匝之間的直線關係。

第三，他提供直到現在還是極有價值的利用瓦特計來測量鐵磁物質由於來復磁化所產生的滯磁損耗，這是可以應用為可靠的磁性方面的測量，這就是現在叫做「瓦特計法」的一種測量術。

由於革命以前（蘇聯），電工量度儀器製造工業，在俄國沒有獲得發展，姆·奧·多里伏-多布羅伏立斯基的發明和創製，最初竟為外國所利用，那時如德國 AЭГ 公司就是根據他的發明，大量製造的。其次，在多里伏-多布羅伏立斯基的論文和研究報告裏，已經應用了「轉矩」的名辭，還指出了轉矩和儀器活動部分的重量對儀器品質所具的意義。這是個重要的意義，就是現在常稱的「品質係數」。因為它是電工量度儀器最主要的機械特性，也是近代設計各種直讀指示式電工儀器結構的基本問題。

圖 3 是姆·奧·多里伏-多布羅伏立斯基所發明和創製的許多電工量度儀器之一相位計的構造簡圖。它的構造情形和作用，是由一鐵製圓盤（1），它中心裝有帶螺旋彈簧（4）的箭形指針，——這是相位計的活動部份，鐵製圓盤被軸線互相垂直的兩組線圈（2）和（3）包圍着。線圈（2）由粗導線繞製，在量度時是和被测電路串聯的；

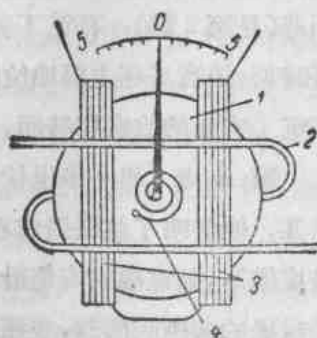


圖 3.

線圈（3）是分繞成兩部份，但彼此是串聯的，它在量度時是和電源電壓並聯的。所以如果電流和電壓之間存在相位差角，則由於旋轉磁場的產生，鐵製圓盤勢將起而旋轉，因為圓盤上附有帶螺旋彈簧的指針，這樣這根指針必定跟着旋轉。不過圓盤的旋轉，因為螺旋彈簧（4）產生

了反抗力矩，所以圓盤旋轉了一定的角度以後，就停止了下來。從圓盤旋轉角度的大小，就可以測定電流和電壓間的相位差角*。

十九世紀後半葉，又有一位傑出的俄羅斯物理學家，從事於電工量度的研究工作，他是公元 1881 年在巴黎召開的第一屆電學會議的俄國



圖 4.

的出席代表，亞歷山大·格列戈列維奇·司托萊托夫，見圖 4。他以研究「軟鐵的磁化函數」而馳名，首先研究出導磁係數隨磁場強度而變化的規律*。他爲了研究「磁化函數」，設計了一種特別方法，他將被試驗的鐵磁物質樣品製成圓環，環上繞有正副兩組線圈，正線圈通電流

以後，樣品即被磁化，磁化的程度，由副線圈所產生的感應電流決定，這感應電流則利用衝擊電流量度出來。

第 5 圖就是上述司托萊托夫當時研究「軟鐵的磁化函數」時所設計的試驗設備情形。

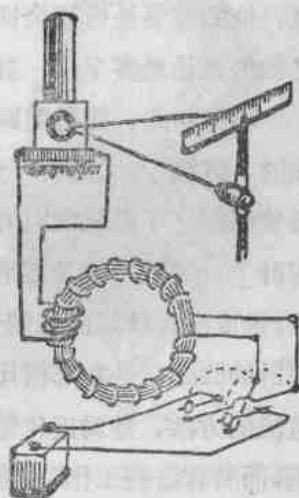


圖 5.

自十九世紀中葉起，隨着電工量度儀器

* 即 $i \sin \varphi$ ， φ 即代表電流和電壓間的相位差角。

* 阿·格·司托萊托夫所研究「軟鐵的磁化函數」，指出鐵磁物質的磁化程度隨磁場強度的變化而異。表示這種關係的數量，司托萊托夫當時稱爲「磁化函數」，現在我們叫做「導磁係數」。



圖 6.

的廣泛被利用，因而電和磁的單位有了統一規定的需要。最先為這方面努力的——企圖給電流規定量度單位的學者之一，是俄羅斯學者，鮑里斯·西米諾維奇·耶柯比院士（見第6圖）

，由於他在電機理論方面的許多貢

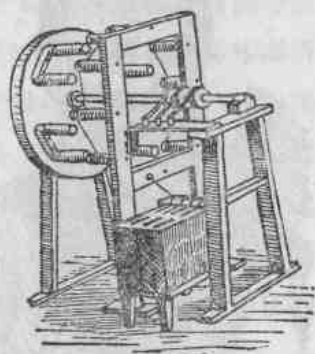


圖 7.

獻，他的聲譽是傳遍全世界的。第7圖便是他的也是世界上第一具電動機式樣。

不但如此，他還開闢了電工技術新園地的「電鍍」，又創製了量度電阻的電計，當時叫做伏特-檢流電計*。他曾經假定了銅線電阻的標準，分給了許多物理學家；又改進了「電解計」，這是一種量度電流強度的儀器，把電流通入這儀器內的電解液，量度得每秒鐘內電解生成物的重量，從而決定電流的大小。這種電解計的改進，是和耶柯比院士發明的電鍍是分不開的，而且這種量度電流的方法，是為近代電工科學上提供了以硝酸銀溶液電解鍍銀的技術，而所有這些工作，對電工量度技術的發展更是具有極其重大的意義的。

關於校正電工量度儀器工作的創立，是根據俄羅斯天才學者特米忒利也·伊凡諾維奇·曼傑列也夫提議，彼得堡的度量衡總局，在十九

* 是編者所譯，原文為 Вольтаметр

世紀和本世紀之際，曾經設立專門校正電工量度儀器的分局。1909年阿·恩·蓋奧爾干也夫斯基和姆·弗·馬里科夫已經着手確立歐姆和伏特的標準。在偉大的社會主義十月革命以後，政府以度量衡總局為基礎，設立了命名為特·伊·曼傑列也夫的全蘇度量衡科學調查研究院，這個研究院成為全蘇度量衡問題的科學中心。

偉大的社會主義十月革命開始給國民經濟的所有部門打下了廣泛發展的基礎。在1920年和1921年，列寧-斯大林的國家電氣化計劃即著名的 ГОЭЛРО 計劃，不管國內戰爭的進行和經濟建設的遭受破壞，仍被擬製和採納。

發展國民經濟的五年計劃給創立專門的電氣工業，以及其中所包括的電工量度儀器製造工業帶來了迫切的要求。這個情況，比較1917年以前的沙皇時代是大不相同了。雖然那時各別的俄羅斯學者，在電工量度技術方面有了很大成就，但是這個工業還是處在萌芽時期。著名的俄羅斯發明家，巴甫爾·尼科拉也維奇·耶柏羅契科夫（見第8圖）曾在十九世紀末企圖建立本國（蘇聯）的電工儀器製造工廠，但是他的計劃終是失敗了。



圖 8.

俄國在革命時期，總共只有二個電工儀器製造工廠，一個叫「西門子和伽列斯坎」工廠，另一個叫蓋依斯來爾工廠。但在1927年，規模相當的電工量度儀器製造工廠，即專門製造電計的工廠建立起來了。除了生產舊型的量度儀器外，又對新型的，比較複雜的量度儀器感到極端的必要，高溫計便是其中之一，所以在1929年又建立了專業生產高溫

計的工廠。

電工量度儀器製造工業獲得了發展，而保證發展這項工業所必需技術干部，也是重要的一個環節，列寧格勒加里寧全技術研究院，爲這個任務開辦了儀器製造的專業。之後其他高等技術學校和專科中學也開始辦了這種專業。

由於電工儀器製造工廠企圖構造新穎型式電工量度儀器之際，討論如何設計這些儀器問題的文獻也展開了，1927年蘇維埃作者恩·恩·拉蘇莫夫斯基發表第一篇關於這方面的論文，那時國外還沒有這些工作以及進一步的電計理論方面的工作，都是由恩·恩·柏諾馬列夫教授的學生們進行的，並且在他主編的「電磁量度儀器的理論，設計和製造」的一書上發表，這本書係在1943年列寧格勒出版，本書的內容極爲新穎，材料又充實，直到現在在國外還沒有相與並比的書本。這樣，由於電工儀器的理論和設計方法獲得發展，使新型的儀器又有大量的被創製了出來。在衛國戰爭以前，研究新型儀器的主要任務是由測量或量度分類實驗室的全體人員，和列寧格勒的高溫(度)計學院共同擔任的。

在衛國戰爭後第一個斯大林五年計劃中，根據國民經濟的要求，電工儀器製造工業在蘇聯獲得了空前的發展，儀器的增產比戰前水平要提高七倍，爲了完成這個任務，在蘇聯着手建立了許多規模宏大的儀器製造工廠。在斯大林五年計劃期間，特別是在戰後恢復和發展國民經濟的五年計劃裏，許多學院、設計局和製造工廠都曾研究出和熟練於生產各種不同型式的電工量度儀器和其他電器。這些工作，在整個電工量度技術的範圍裏，成績都是十分巨大的，具體的說來可列出如下：

(A) 在度量衡方面：

1. 實現了電流的定準器，這種定準器再生電流的絕對單位值，準

確程度達到 $3 \cdot 10^{-6}$ 安培。

2. 實現了磁單位的標準器，這是舉世第一次有的事。

(B) 在設計和生產電工量度儀器方面：

1. 擬製和大批生產了振動式示波器。

2. 擬製及大批生產了電子管式自動指示、自動紀錄及自動控制的補償器和電橋。

3. 大量製造了用於實驗室的交流指示電計。

4. 擬製了不用分流器而能量度很大直流的電計。

(B) 在用電的方法，量度非電數量方面：

1. 擬製及生產了新型的電的輻射高溫計。

2. 擬製了電的光-聲氣體分析器。

3. 擬製及製造了多種工作原理、互不相同的電工儀器電計，以供機械量度之用。

(Г) 在磁的量度方面：

擬製了航空測磁器，創造了空中磁測，來探覓鐵礦礦藏的新方法。

以上各種設計和創造的功績，是這方面從事研究工作者的不朽成績。許多工作人員，都榮獲了斯大林獎金。也由於這樣的勞績，使電工量度儀器，日新月異，精益求精地，有着實用、新型、許多種類的不斷創製出來。因此蘇維埃電工量度技術和儀器製造，永遠站在世界的領導地位。

§ 2 電工量度儀器的定義和分類

定義

以某種量和它的常用作單位的某值相比較的過程，叫做量度。所有用來實現量度的技術上的工具，都叫做量度儀器。而專門用在電工方面

的，包括電學上的、電工學上的、電磁學上的等等有關方面量度用的儀器，統屬為電工量度儀器的。

分類

I. 所有的電工量度儀器，原則上可以分成兩大類：

1. 直讀式

所謂直讀式儀器，乃是可以直接讀出量度結果的數值的。這種儀器預先藉與作為標準的定準器作比較的方法而行分度，並有可以讀取數值的裝置，這些如常見一般電計上的標度片，旋轉顯示設備等都是。

2. 較量式

所謂較量式儀器，是採用比較的方法來量度的，所以也是被稱為比較式的。它是和定準器聯合應用的，被量度的量，藉以和定準器作比較，從而定出這量的大小，常用的電橋量度儀器便是一例。

II. 根據電流的種類，電工量度儀器又可分为：

1. 直流量度儀器

是專用於直流電路，及直流範圍的量度儀器。

2. 交流量度儀器

是專用於交流電路，及交流範圍的量度儀器。

3. 交直流兩用式儀器

可以在交流或直流兩種電流的範圍內應用。

III. 根據用途性質，又可分为：

1. 固定式

固定的裝置在一定的地方，或按裝在某件器具上，而是不予移動的，一般體積比較大，重量較為重些。

2. 便攜式