

电工测量仪表
译文选集

(内部刊物)

第十集

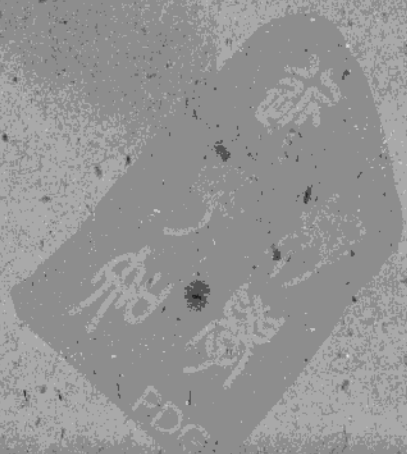
第一机械工业部电工仪表研究所

哈尔滨

1962年6月

目 录

加强计量基础的自动化.....	С. П. 卡拉西夫斯基 (1)
第二届计量和仪器制造学会(ИМЕКО)国际代表大会.....	В. О. 阿鲁邱诺夫和А. Н. 卡甫里洛夫 (2)
超低频电量的测量.....	П. П. 奥爾納特斯基, П. В. 烏薩金 (5)
用霍尔效应传感器遙測視在功率.....	Д. 佛列爾契爾和В. 斯當依卡 (9)
高阻微細導綫測量电阻綫圈.....	Т. М. 克拉希科娃, А. А. 米爾庫洛夫, Г. Ф. 班克拉托夫 (10)
交流有效电阻綫圈.....	(13)
阶梯变化标准电压发生器的参数计算.....	М. А. 杰蔑里曼 (17)
光电补偿仪表的新系列.....	М. Б. 明茨, С. Г. 拉賓諾維奇, Б. А. 謝里別爾和А. Н. 特卡欽柯 (22)
关于光电补偿仪器的计算問題.....	М. Б. 明茨, С. Г. 拉賓諾維奇, Б. А. 謝里別爾和А. Н. 特卡欽科 (25)
电补偿零位法的光电測量.....	М. Т. 巴勞柯 (28)
单相电度表的校驗.....	(31)
談談半导体热敏电阻.....	М. М. 斯維爾德洛夫和Н. П. 烏達洛夫 (44)
321—T水乳漆的应用.....	工程師Ф. В. 魯吉亞諾夫, 工程師Г. С. 西列伯林尼可夫 (48)
获得具有高磁性合金50H和79HM的各种方法.....	В. И. 烈科洛夫 (50)
含有氧化鉛的銀鉄氧体永久磁鉄的制备和磁場热处理.....	米迦勒 西衣維爾 (59)
英国的測量仪器和设备.....	科學技術碩士П. П. 拉夫里諾維奇, 工程師Н. И. 沙坡利克 (62)



加强計量基礎的自动化

С.И. 卡拉西夫斯基

苏共第22次代表大会对生产过程自动化的問題給予很大重視。在代表大会上通过的新苏共綱領上載明“在30年內要实现大規模的生产綜合自动化并很快的向自动化車間和工厂过渡，来保証高的技术经济效益”。要尽一切可能加速自动綫和自动机床、自动化、远动化和电子装备，精密仪表的生产。这个方面的工作具有愈来愈广泛的規模，而科学和技术的发展也影响創造新原理的仪表和自动装备。

与此相联系在計量工作中必須极大的注意现代的仪表創造业的重要部分，特别是和自动化相关的部分。首先要注意到測量过程的自动化和它在国民经济和其他方面的广泛运用，以达到在最近时期处于优势地位。

必須考虑到，自动測量不仅具有很大的独立意义，而且也是其他自动化（包括自动調整和檢驗，綜合的和完善的自动化在內）的基础。

近年来广泛的运用了測量过程自动化的断続电气測量的方法，在仪表方面获得頗大的普及。断続电气測量中的一个特点是可将被測量用数字指示和数字記錄。

測量和記錄的数字方法有它的优越处：可消除讀数誤差，頗大程度地減少統計分析和測量結果在计算机的加工，并能将被測量对象总体的工作参数传送到相当大距离至若干地点。

不仅要創造自动的数字讀数記錄的电气測量仪表，而且要創造用来集中控制表示这些和那些过程的一系列参数的自动化装置。这些装置一般被称为自动多点循环检测装置，它可以輪番地或按要求程序地測量和記錄每个参数。它不仅能实现被測量值的記錄，而且应能将已获得的信息传递给计算机，为得出必要的施于

过程的控制作用，这样的装置在自动化过程中具有最大的意义。

用来变换各种被測量（温度、压力、流量、酸度、湿度等）为相适应标准的电气量和压缩空气信号，广泛的利用統一的标准化的二次測量和記錄仪表，調整和綜合装置。

降低成本和提高仪表可靠性和减少使用维护費用的目的使我們必須去創造標準化和規格化单独的構件和元件（这就是传感—变换器）構成的仪表。由構件易于組裝成檢查和調整生产过程的各種綫路。仪表的独立構件在使用过程中发生了损坏还可以換成新的。

我們的工业已生产了气动的仪表和自动装备的通用系列(AYC)它有成效的用于国民经济中。还大大扩大了实现解决电气和电子装置信号器的系列的課題范围，这也是我們目前正在研究的。ГСКБ自动化机械化委员会拟定了自动檢查、信号和調整的通用的电子系統(YCAKP)。

为了完成共产主义建設巨大任务现代化的測量技术对国民经济是必不可少的。这样就把創造由标准構件和元件構成的統一的国家仪表系列提到了第一位，这就可以实現在最短的时间内以最少的代价滿足所有的要求，消除不必要的很多的型号和型式。

在有意义和更为远景的測量中，首推物理—化学性能的測量。它們不仅用于材料和产品首批的分析和檢驗，而且用于自动化，用于物理—化学測量的仪表应能接入有计算机的調整与控制的閉合系統。換言之他們应能适用于石油工业化学工业，食品工业和其他工业部門的广闊的自动化的复杂工艺过程。

計量系統和国家檢驗實驗室必須对測量技术中的这些問題給予相当的注意。

必須保證研究相应的檢驗和試驗方法，以及必需的标准儀器，显然，今后需要重新审查和扩大属于委员会試驗和批准的仪表品种（2~59条例），包括上述名称的及其他的仪表。

要討論的問題是关于測量儀器及标准委员会对这些复杂的自动化装备試驗起的作用。如調節器，執行裝置，計算技術元件以及計算机本身，虽然在上述2~59条例清单中已包括电位差计和电桥，这种电位差计和电桥不仅用作測量，而且用作信号，記錄和調整生产过程，亦即為一种綜合裝置，本身起調節器的作用。

显然，某些这种儀器和裝置的試驗（及編制相应的标准）应由基層組織进行，但需按其程序取得委员会的同意后，并提出試驗報告，对于大地測量学的、天文学的、矿山測量学的、地球物理学的儀器，时间和頻率儀器，計算技术及一系列其他儀器已規定了这种程序。

由于国内測量儀器的总量不断增加和复杂化，并要求国家和主管監督機構有成万的工作人员，以保證这些儀器使用的准确性和正确性，应对檢驗工作本身自动化用的綫路和儀器的研究設計工作給予极大重視。关于这一件工作如大家所知，还是跟不上需要的。

必須加强对自动控制和調整儀器的国家和主管監督，并提高地方委员会機構和工厂測量實驗室在国民经济中贯彻新儀器和新方法的作用。

苏共第22次代表大会決議和苏共綱領中所提出的技術进步为任务，要求研究所和标准，量具，和測量儀器委员会的實驗室研究下列方面的自动化問題：

a) 創造国民经济中为自动測量裝置計量，服务用的标准儀器和方法（《自动化中的計量工作》）；

6) 研究和贯彻新的标准測量儀器和檢驗工作及測量工序的自动化方法（《計量工作中的自动化》）。

必須于最近研究提出关于重新审查属于在委员会系統机关內試驗和批准的量具和測量儀器品种的根本建議，以及提高这些試驗的科学技术水平，因此重新拟制和創造測量儀器的計量指标，此外显著扩大属于这些方面的标准化工作。

加强国民经济自动化方面的計量作用，檢驗工作本身必須自动化，設計和贯彻先进的測量儀器，在委员会机关面前提出了一系列新的重要任务，而且要求即刻解决，这不仅要求重新审查属于委员会試驗和批准的測量儀器的品种清单，而且要显著的加强研究所和国家設計實驗室在自动化先进生产服务方面的各项活动。

王 銓、云山譯自（苏）“測量技術”1962年
第2期
郭志堅校對

第二屆計量和儀器制造学会(ИМЕКО)國際代表大會

B.O. 阿魯邱諾夫和A.H. 卡甫里洛夫

1961年6月26至7月1日，在布达佩斯召开了第二屆国际科学技术委员会測量技术与儀器制造学会代表會議，有25个国家参加。會議的筹备与組織工作是由国际筹备委员会进行的，筹委会由英国、比利时、保加利亚、匈牙利、德意志民主共和国、丹麦、意大利、中

国、波蘭、羅馬尼亞、苏联、美国、德国、捷克、瑞典等国的代表組成。全部实际組織工作都經過了由匈牙利一般測量技术与自动学会組成的ИМЕКО常設秘書处的通过。

由22个国家的专家提出了142篇報告，其中英国—10篇，匈牙利—21，德意志民主共和

国—18，中国—4，波蘭—16，阿拉伯联合共和国—2，美国—11，苏联—17。

在第一次全体代表大会上，曾做了6篇一般性的报告：B.O.阿魯邱諾夫（苏联）—测量技术的发展主要方向；C.卡列伊（英国）—测量技术—自动学基础；E.Г.斯拉姆可夫（苏联）—关于国际电工辞典“测量仪器与测量”分类的报告；И.捷林（德国）—关于光波单位的新的定义和国际度量衡局的工作；M.亞可比（比利时）—关于度量衡学的制定；P.卡拉斯（匈牙利）—关于测量技术高等教育的任务。

以后會議分11組进行了工作：即度量衡学及术语；仪器计算与设计；生产工艺与組織电子学在仪器制造和测量技术中的一般应用，测量技术和自动学的相近問題；几何量与机械量、热量、物理—化学、电与磁量的测量方法及仪器；无线电及离子射綫测量方法和仪器。

在最后的全体代表會議上由X.卡多姆（德意志民主共和国）、馬尔姆斯特拉姆（瑞典）和B.O.阿魯邱諾夫（苏联），提出了三个分組委员会的总结报告。

最近ИМЕКО常設秘書处将出版以《Акта и меко》合訂本的形式出版代表会的所有报告。报告将摘要譯成俄文、英文和德文供应。

現引入某些报告的内容并提出我們的評價意見。

И.阿巴利斯基（波蘭），提出了他們所拟制的度量衡术语辞典，引用了波蘭文、俄文、法文、英文和德文。并且在此工作中他也利用了苏联正式出版的科学技术文献。

A.包塔魯比，报告了关于在意大利編制好的关于标准的詳細术语和在测量技术方面的定义。

A.安甫拉基（匈牙利）报告了关于在大量或成批生产的条件下，静态检查无线电元件参量（电容器、晶体三极管、电子管等）用的专用计算机的设计。

C.欧也包夫斯基（波蘭），提出了利用半导体无线电传送装置测量机器轉动部分参数

的报告。无线电装置同一次变换器相联并与固定的无线电接收設備用无线电波联系。提出了保证高稳定性和足够准确度的方法。

B.沙克尔（英国）报告中提出了人的机体在生产工作中的心理和生理过程，测量仪器在工作时也不例外。这些問題他用新的术语《Эргономика》来解釋。他認為系統化和对他們的研究应该对于测量仪器的已創出的形式重新提出要求。

K.馬納，与Г.买烏冒稻（日本）提出了电视在粒子计数上的应用，如《Эфитроцит》粒子的影象直接反映在光屏上，給予了测量粒子平均直徑的可能性。

报告的很大一部分，其中苏联专家报告有四篇，曾提出了自动测量和检查的問題。

T.凱明（匈牙利）报告了关于摩擦无接点自动补偿器。

A.阿古斯頓（匈牙利）探討了非綫性元件在自动补偿器中应用的問題，即在目前补偿器的設計中有现实意义。

И.奧斯海木（日本）提出借助于利用矩形脉冲的专用随动分析器，为了自动調整頻率特性系統的自动記錄方法的設計的报告。

3.特倫卡（捷克）报告了关于創制为測綫性元件頻率和过渡特性的电机械式仪表的结果和綫路。

B.克阿倫士特雷姆（瑞典）提出了自己关于研究仪器动态性质的各种方法的評價的报告。

A.拉申特（阿联）在自己的报告中提出了不光温度测量的数学处理结果，并証明不在二軸而在三軸坐标上测量的必要性。

E.沙巴基（匈牙利）的报告詳細的論述了空气测量端头κ的计算方法，并提出了新的方法，研究了一系列的重要因素。

Ф.瓦沙，Г.哥巴（羅馬尼亞）在报告中探討了为检查零件标准尺寸的电气仪器，提供了加工零件的机床的自动控制装置。

E.奧申（东德）提出用校正电路的方法校正变换器的动特性。

B.斯特倫里特(美国)提出了測量在軸承中油層厚度的方法,詳細探討了一系列方法,指出了溫度關係和應用,實際的建議。

X.拉包特(东德)提出了自己的关于千克基準質量变化原因的研究报告。

Г.魯飞努(意大利)报导了新的干涉顯微鏡,其中有可同時測量長度和溫度的裝置。

A.卡沙(匈牙利)表面接觸式溫度計和热电偶的刻度方法的科學根據。

关于標準射線原有價值的報告是由P.別耶洛、M.勞埃諾、Г.伍別納(法国)提出,作者比較了某些帶狀灯和評價了確定實際溫度的誤差。

T.別尔塞(美国)做了熱輻射測量的展望。

特別值得注意的是哥尔欽和拉保沙(英国)关于宇宙火箭外表面材料,吸收反射能力特性变化的報告。

仪器和物理化学測量方法組的報告包括酸鹼儀、pH計、石墨銘酸鹽真空測量,光譜學,溫度計和氣體分析問題。在此組特別應該注意,D.斯特里卡拉与K.塔尔納(匈牙利)的報告,新的补偿式电离真空計的理論、結構和技术特性的叙述。小批生产的《Модион》仪表測量範圍是 $10^{-1} \sim 10^{-6}$ 毫米,水銀柱高度。

Г.馬托克与E.威利木斯(英国)報告了关于玻璃电极pH計的新型玻璃。

E.包其尔(波蘭)報告的內容是具有小惰性的新式熱磁氣分析儀。

П.盖里赫(东德)詳盡的提出了《蔡斯》工厂的乘法器及其进一步改善問題。

在电气和磁量測量方法和儀器組中,有七篇報告談到了準確度的問題,并提出此問題在当前条件下的迫切性和重要性。

И.巴甫拉特(匈牙利)報告了关于誤差0.02%和角差1.5'的二級電流互感器的設計研究工作。

赵国田等(中国)提出了关于檢准儀用互

感器提高準確度問題。

X.麦拉(瑞士)与A.Я.別茲柯維奇、D.H.卓林、T.E.拉止金斯特文斯克(苏联)的兩篇報告,提出了关于在50赫到20千赫準確測量電流、电压和功率的問題。

尤德斐(中国)提出了关于利用霍尔效应測量功率,也包括三相电路功率的測量報告。

D.木斯切拉(美国)提出在波形畸变时相移測量方法的報告。

A.巴达日夫(保加利亚)提出了直接測定导磁氏的儀器。

在無線電測量組曾研究了測量、材料檢查和在生產無線電和电子裝置時的半制品問題;無線電广播联系技术中的儀器和測量方法,以及为研究各种無線電裝置过程用的儀器。

E.費塞拉(东德)詳細研究了为測錯和硅晶軸导电性的儀器。

D.阿馬申、M.烏着基(匈牙利)報告了他們所研究測量水波功率的新方法,是在專門加工的水波薄壁部份測量溫度差的方法。作者指出用這些方法在測量功率時得到準確結果的可能性,測量範圍達15瓦。

П.布魯諾尔(东德)叙述了对强的或弱輻射強度的實現光譜分析閃爍法的技术問題。在П.卡洛特(意大利)介紹了关于中子標準的製造和檢准問題。引入对制成球型并在其平面上放有251.18毫克 $RaBr_2$ 的曲瓶中子源強度值的測量方法与結構問題。

T.塔那斯庫(羅馬尼亞)舉出利用 γ 射線發送器測量水平的例子,研究了关于 γ 射線安全性的問題和避免射線的有效測量儀器。

И.別列捷(德国)報告了关于应用 α 射線測量紙的厚度和共同 β 射線的比較結果。

国际籌委會決定第三屆ИМЕКО代表大會于1964年仍在布達佩斯召开。

刘占华譯自測量技术1961年10期
刘繼昇校對

超低頻電量的測量

В.П. 奧爾納特斯基, П.В. 烏薩金

在工業及許多研究工作中不久已開始採用頻率低於15赫芝的，亦即超低頻或超聲頻的交流電流。這些頻率的電流，在0.5~1.5赫芝範圍之內，用於鋼的電磁混合；在10赫芝左右的範圍內——用於電焊大型零件；試驗自動調節儀器（頻率由0.01赫芝及此以上時）等。測量技術面臨着超低頻電量測量的任務。

超低頻測量的主要困難何在？在標準上規定儀表適用的最低頻率界限等於10赫芝，因為在比較低的頻率下儀表的可動系統得以追蹤轉矩瞬時值的變化，故而完成連續的振動運動。讀取被測量變得不可能。超低頻下儀表偏轉角的瞬時值將等於

$$\alpha = \alpha_{\text{пост}} + \alpha_{\text{пер}} = \alpha_{\text{пост}} \left(1 + \frac{\alpha_{\text{пер}}}{\alpha_{\text{пост}}} \right)$$

$\frac{\alpha_{\text{пер}}}{\alpha_{\text{пост}}}$ 的量和符號都是可變的。用下式表示此量的振幅值

$$K_{\text{мех}} = \frac{|\alpha_{\text{пер}}|_{\text{max}}}{\alpha_{\text{пост}}}$$

式中：

$K_{\text{мех}}$ ——可以大於和小於1的振幅係數。

當 $K_{\text{мех}} \ll 1$ 時，偏轉角的交流分量實際上消失了，因此 α 等於 $\alpha_{\text{пост}}$ 。

現在簡單介紹一下鎮定或補償阻礙讀數的偏轉角交變分量的各種方法的可能性和特點。

1、機械慣性的增大或儀表的過阻尼。

當轉矩與通過測量機構繞組的電流成平方關係時，分析超低頻所用電機械類儀表可動部分運動的微分方程，可以證明，振幅係數將等於(1, 2)

$$K_{\text{мех}} = \frac{1}{\sqrt{(1-4\eta^2)^2 + (4\eta\beta)^2}}$$

式中：

$$\eta = \frac{T_0}{T_b}, \quad T_0 \text{——儀表的固有振盪；}$$

$$T_b = \frac{1}{f}, \quad \text{式中 } f \text{——被測電流的頻率；}$$

β ——阻尼級。

如果用儀表的過阻尼來減小 $K_{\text{мех}}$ ，則 $K_{\text{мех}}$

$$\frac{1}{4\eta\beta} \text{ 和 } t_{\text{ycн}} = 1.25\beta T_0. \text{ 要想使 } K_{\text{мех}} \text{ 減小到}$$

0.01，必須有很強的過阻尼 ($\beta \sim 50$) 但在儀表內產生這種阻尼幾乎是不可能的； $t_{\text{ycн}}$ 在此時也將是不允許有的；約為 $\sim 50-70$ 秒。

若用增大 T_0 的方法減小 $K_{\text{мех}}$ ，則 $K_{\text{мех}} \sim \frac{1}{4\eta^2}$

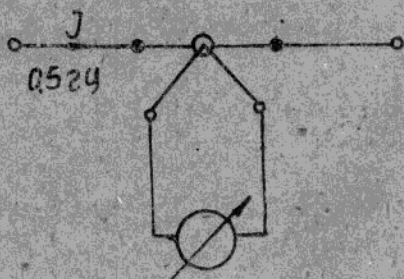
$$\text{和 } t_{\text{ycн}} = \frac{0.31}{\beta f \sqrt{K_{\text{мех}}}}. \text{ 此時，當頻率不低於0.5}$$

赫芝和 $t_{\text{ycн}} = 6-10$ 秒時，使 T_0 增大到8~10秒，可以保證給定值： $K_{\text{мех}} = 0.01-0.02$ 。然而，這種儀表在機械上的可靠性將要降低。

頻率0.5赫芝上 $T_0 = 10$ 秒和 $\beta = 0.5$ 的儀表試驗結果表明，力矩交變分量的相對振幅不超過(0.07~1)%，相當於計算值。攜帶式指針讀數的拉絲指示儀表具有增大的 T_0 。這種儀表的頻率適用範圍大大低於10赫芝。

2、熱慣性的提高。

這種方法可以用在熱電類儀表中，即熱工儀表和雙金屬儀表中，以及熱電系儀表中。超低頻上的熱變換器的熱慣性是不夠的，溫度差



和热电动势中出现交变分量(圖1)。

$$E = E_{\text{пост}} + E_{\text{пер}} = E(1 + K_T); K_T = \frac{E_{\text{пер}}}{E_{\text{пост}}}$$

经过对加热器絲热状态方程式的分析结果, 常数热变换器的振幅系数等于

$$K_T = \frac{1}{4\pi f \tau}$$

式中

f ——频率,

τ ——加热器的热常数(3)。

确定热电系仪表指示器的交变偏轉振幅时, 也必须考虑到仪表可动部分机械慣性的影响。

$$K_{\text{оум}} = \frac{a_{\text{пер}}}{a_{\text{пост}}} = K_T,$$

$$K_{\text{мех}} = \frac{1}{4\pi f \tau} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1-4\eta^2)^2 + (4\eta\beta)^2}}$$

τ 值受规定阻尼时间的限制。可以証明, 在这种情况下 t_{yon} 等于

$$t_{\text{yon}} = \tau \ln \frac{1}{\Delta},$$

式中

Δ ——指示器定位的规定准确度。

当 $t_{\text{yon}} = 10$ 秒和指示器定位准确度等于 $\Delta = 0.02$ 时, τ 不应超过 2.6 秒。因此, 频率 $f = 0.5$

赫芝时, K_T 将等于 $\frac{1}{16}$ 。所以采用热电系仪表

可以使用在 0.5 赫芝频率上仪表的偏轉的交变分量减小約十六分之十五。在基輔工业大学测量装置教研室实验室内对 0.5 赫芝频率的几

种热电系仪表进行了試驗, 这些試驗証实了所得的結論。热电系仪表可以十分准确地偏轉交变分量值小的情况下测量超低频电流和电压的实际值, 因此可以作为标准仪表。

在双金属电工测量仪表上决定于机械慣性作用的振幅系数等于 1, 因此

$$K_{\text{оум}} = K_T = \frac{1}{4\pi f \tau}$$

根据这一公式, 当 $f = 0.5$ 赫芝和 $K_{\text{оум}} = 0.02$ 时, τ 的最小值等于 8 秒; 此时, 阻尼时间在定位准确度为 2% 时大約等于 30 秒, 亦即比其它仪表上的大好几倍。

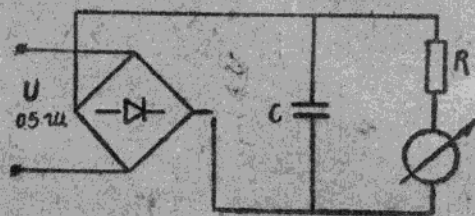
然而双金属系的仪表在机械方面比較可靠, 因此可用于作为开关板仪表。

3、用正流和电气以及电机械式滤波器的方法减小交流分量 (P. P. Харченко 教授的方法)。

在不帶平滑滤波器的正流式仪表中, 偏轉角交变分量振幅的减小决定于 $K_{\text{мех}}$ 和由于正流而使电流交变分量相对值减小的情况。 K_B ——决定于正流的振幅系数, 等于一次諧波振幅与直流分量的比值; 半波正流时 $K_B = 1.57$, 全波正流时 $K_B = 0.67$ 。振幅的降低系数 $K_{\text{оум}} = K_B \cdot K_{\text{мех}}$ 。

由于电流交变分量的频率增加一倍, 决定于机械慣性的振幅系数 $K_{\text{мех}}$ 在全波正流的情况下較小。全波正流的振幅降低系数

$$K_{\text{оум}} = \frac{K_B}{\sqrt{(1-4\eta^2)^2 + (4\eta\beta)^2}}$$



采用电容式滤波器(圖2)是减小交变分量的最簡單的补充方法。但遺憾的是有电容滤波器时仪表不能测量被测量的平均值, 在测量被测量的振幅值时, 由于电流和电压波形不是正弦的而产生誤差。

大家知道(4)在小截止角时有效电容负载的全波整流器的脉动系数等于

$$K = \frac{0.141}{RCf} = \frac{0.141}{\tau_b \cdot f},$$

式中

R——仪表的电阻;

C——电容器的电容(法拉);

τ_b ——断开时电路的时间常数。

要减小K,最好增大 τ_b ,然而 τ_b 值受断开时仪表规定阻尼时间的限制。可以看见与带惯性很大的热变仪器的热电式仪表的情况相似,有滤波器的正流式仪表的阻尼时间在断开时将等于

$$\tau_{yон} = \tau \cdot \ln \frac{1}{\Delta}.$$

故

$$K = \frac{0.141 \ln \frac{1}{\Delta}}{\tau_{yон} \cdot f}.$$

利用上述比例关系,可以进行给定 $\tau_{yон}$ 的超低频带电容滤波器的正流系仪表的计算。在此情况下有可能使 $\tau_{yон}$ 在 $K_{cym} = 0.01 - 0.02$ 时减小到10~15秒,这适用于超低频开关板安培表和伏特表。测量装置研究所的实验室曾经制造出这种仪表的模型,对这些仪表进行了试验,取得了满意的结果。在“振荡器”工厂按

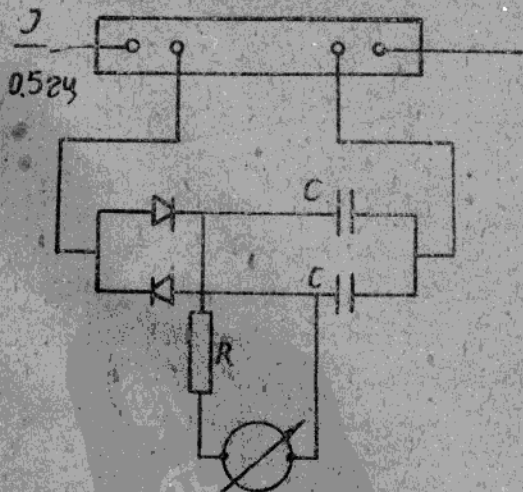


圖 3

照有电容滤波器的正流系仪表的线路,制出一

种 $\tau_{yон} = 15$ 秒的2.5级U130型伏特表和按照双倍电压全波正流线路制出 $\tau_{yон} = 15$ 秒的有300毫伏外分流器的2.5级U130型安培表(5)(圖3)。

P. P. Харченко教授提出了利用电机机械式滤波器求解超低频正流电流平均值的测量问题(6)。

4、人工反相交变分量

这种装置是两个有转矩值不同的电磁测量器组成的,测量器的轴上固定着磁电式仪表的动框。磁电式测量器的动框绕组相连接起来,以便在运动时感应产生反相电流。此时比较大的测量器感应产生较大的电流,从而抑制较小测量器的可动系统的振荡。在较小测量器的可动系统的轴上固定着指示器,按此指示器的偏转测定被测量(圖4)。

5、仪表转矩交变分量的补偿

利用平方变换的双测量器使相移 90° 电流

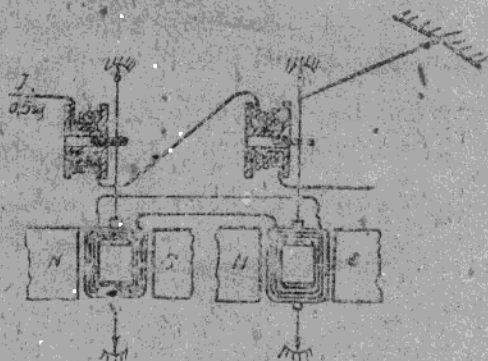


圖 4

从其中通过的方法可以实现偏转交变分量的补偿。在这种情况下当电流相等时总力矩没有交变分量(圖5)。

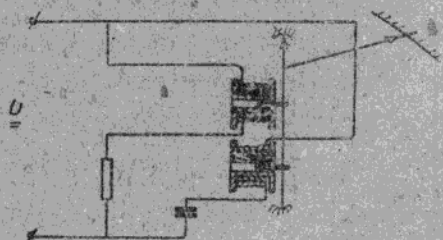


圖 5

※ 原文漏——譯者加

上述偏轉交變分量的補償方法首先被巧妙地應用在“振動器”2T的超低頻Д310/1型雙相雙元件瓦特表中(5)。在這種情況下不需要有移相

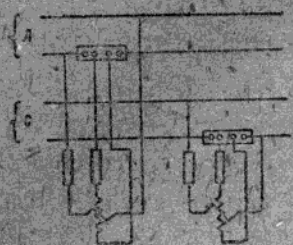


圖 6

綫路，因為在採用儀表的双相系統中，電流相位之間的位移等於 90° (圖6)。

利用人造移相綫路會引出頻率誤差。

基輔工業大學測量裝置教研室曾經提出和驗證了上述原理的相位移為 90° 的電流全波整流法的磁電式儀表的利用(圖7)。

6、超低頻交流頻率的測量

振動脈沖系指針式頻率表最适于進行這種測量。低頻電壓作用到極化繼電器上，繼電器触点依次實現電容器C自直流電壓V的充電和此電容器通過鎮定電阻而放電。電容器充電的電流平均值 $I = CV$ 與頻率成正比，用磁電式毫安表測量之。

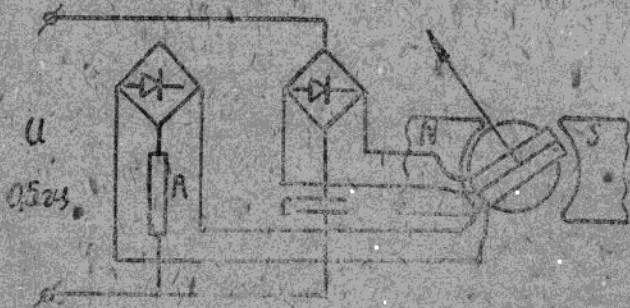


圖 7

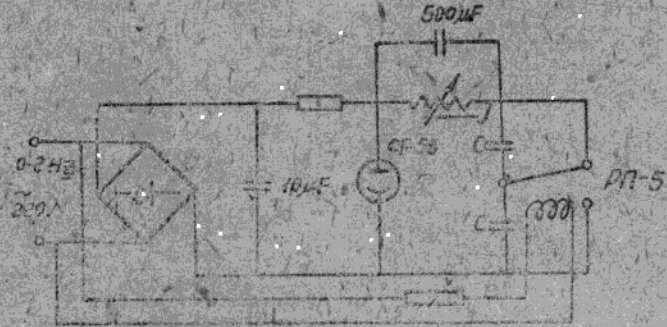


圖 8

用電容濾波器抑制儀表可動部分的振盪——儀表動框用大電容電容器分接。“振動器”工廠正在出產額定電壓220伏量限0~2赫芝的В136型這種頻率表(圖8)。在這種儀表中用使低頻電壓整流和用氣體放電穩壓管穩定的方法得到直流電壓。

最後應該指出，必須進一步改進超低頻電量的測量方法，尤其是在創造攜帶式儀表，提高靈敏度，擴大頻率範圍，研究儀表檢驗與刻度方法等方面。

參 考 文 獻

1. Пономарев, Н. А. Теория, расчет и конструирование электрических измерительных приборов, 1943. Ленинград.
2. Орнатский, П. П. Некоторые вопросы динамики движущихся систем электрических измерительных приборов для инфранизких частот. Известия К. П. И. 1957, Б. 25.
3. Орнатский, П. П. Применение пре-

Образователей у инфранизких частот. Измерительная техника, 1978, №5.

4. Гогинский, В. Я. Снабжение током радиотехнических устройств. Госэнегиздат, 1967.

5. Усатин, П. Б. Доклад о развитии ряда приборов для инфранизкой частоты, Завод измерительных приборов "Вибратор".

8. Харченко Р. Р. Электромеханический резонансный фильтр для низкочастотного тока. Автоматика и Телемеханика, 1954, №6.

程逸嵐譯自 "АСТА ИМЕКО" 58, 1-1 集中

215~226頁

劉繼昇校對

用霍尔效应传感器遙測視在功率

Д. 佛列尔契尔和 В. 斯当依卡

(罗马尼亚人民共和国)

視在功率在变压器变电站中, 具有重要的特性值, 对称負載时, 它显示出在变压器中的总損耗, 此外, 并显示出有效功率的最大值及在此損耗下可以輸給綫路的功率值, 变压器变电站視在功率的測量, 特別是遙測, 具有重要意义, 为此, 作者設計了一种利用霍尔效应的仪表。

大家知道霍尔效应感应器輸出端的电压 U_h 与通过感应器的操縱电流 i_c 和装有感应器的磁場 B 值成正比, 如此, 如磁感应 B 与使用电流成正比 $B = k_1 i$, 而电流 i_c 与端鈕 $i = k_2 U$ 上的电压成正比 (或相反 $i_c = k_1 i$ 和 $B = k_2 U$), 則霍尔电压:

$$U_h = k u i = k [U_m i_m \cos \varphi - U_m i_m \cos(2\omega t - \varphi)]$$

式中

$$U = U_m \sin \omega t;$$

$$i = i_m \sin(\omega t - \varphi)$$

在这种情况下, 霍尔电压的直流組成部分与使用有效功率成正比, 而交流組成部分的振幅与視在功率成正比, 因此, 一个感应器可以測量有效功率, 又可以測量視在功率。

研究一下按上述方法測量誤差的可能来源。

在霍尔电压交流組成部分的振幅与視在功率間的直綫关系并不是很严格的, 因为由于磁感应的增加而减少霍尔常数値, 可見, 必須要選擇一种綫路, 其磁感应 B 及产生 B 的参数变化是在狭小范围内, 在此情况下, 这个参数即为电压。

由交流磁場对霍尔接触电路中的感应电动势以及由于霍尔电极間的不等电位, 可能出现一系統誤差。两种誤差可在設計尺寸上加以减少。一方面, 导綫的排列移动可以减少霍尔电极电路內的磁流。另一方面制成这些接触点十分仔細, 以致在沒有磁場时不等电位差非常小, 因此专用补偿綫路就无必要性了。

另一种誤差原因是霍尔常数与温度有关。温度升高时直流霍尔常数减少, 根据此原因, 接通与感应器操縱电极并联的相应选择电阻时, 可以消除所产生的誤差。

这种补偿方法是根据温度增加而减少感阻器的电阻, 这导致操縱电流增加, 如此, 补偿了霍尔常数的降低。

霍尔感应器輸出端的电压值約为数百毫伏, 一般測量时可用普通仪表測量, 短距离遙測比較一般測量要求有較高的电压, 因此, 遙測时交流視在功率所組成的霍尔电压利用互

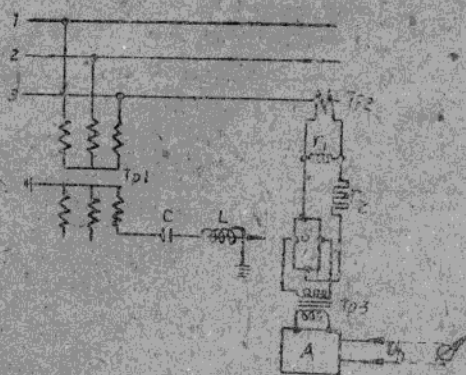


图 1

感器与直流电压分开，然后利用十分稳定的放大系数的电子放大器放大，输出端上所得交流电压是用锗电桥整流并用毫安表测量，将毫安表按装在遥测通道的另一端上，通道中的电流当视在功率在额定值，通道的电阻为 10000 欧姆时等于 1 毫安。测量的整个线路见图 1。

利用霍尔半导体的尺寸为 $6 \times 3 \times 0.5$ 毫米，用锦化钢制造，当温度在 20°C 时，导电率 $\sigma = 60$ 欧姆 $^{-1}$ 公分 $^{-1}$ 和霍尔常数 $R_H = 218$ 公分 $^3 \cdot k^{-1}$

额定电压时中心体内的电感应 $B = 2000$ 高斯，用电子管伏特表测量得的霍尔电压交流组成部分有一有效值，与操縱电流 i_c 严格地成比例，而其与 B 的关系则与直线性有偏差，其相对误差少于 1%，在試驗中磁感应由电压形

成，而电流与使用电流成正比，操縱电流值小于 100 毫安。

用試驗方法将三种电压值 U (图 2) 由于负载电流 I 的变化構成输出电压 U_h 的曲线变化，这些关系与直线性的偏差仅在开始部分 ($I = 0.05 I_H$)，这种情况是由于没有操縱电流时，在霍尔接触线路中存在感应电动势，以及由于放大器噪音的影响，在实际线路中相对测量误差不超过 3%。

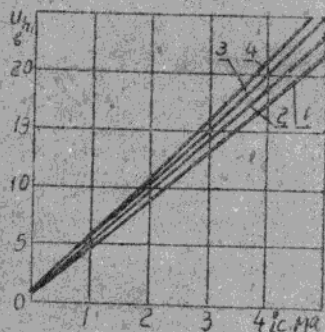


图 2

1 ~ 50 伏; 2 ~ 55 伏;
3 ~ 60 伏; 4 ~ 65 伏。

結論，利用半导体材料的霍尔效应可以实现远距离中测量视在功率，而准确度很高。

云山譯自“测量技术”1960年第12期
郭志堅核校

高阻微細導綫測量电阻綫圈

T.M. 克拉希科娃, A.A. 米尔庫洛夫, Г.Ф. 班克拉托夫

在全苏电工测量仪器科学研究院(ВНИИЭП)制出的 P70 型额定值为 10^6 和 10^7 欧姆的高电阻测量线圈，已被应用在量度直流电路和频率为 1000 赫兹 (线圈为 10^6 欧姆)、及频率为 100 赫兹 (线圈阻值 10^7 欧姆) 的交流正弦电路中的电阻的性质。

到目前为止，国内 (指苏联——譯註) 工

业生产的线圈额定值不超过 10^6 欧姆。某些外国公司 (例英国的苏利万) 正在生产着额定值为 10^6 欧姆的线圈，但仅把它们用在直流电路上。

最近几年，在全苏电工测量仪器科学研究院曾制出了在工业工程上直接由液态金属得到的用玻璃絕緣的超精密鑄造錳銅導綫 (微細導

繞)。錳鋼微細導線的直徑比最細的拉制錳銅線還細，因此它的單位長度上的電阻達到每米幾萬歐姆。微細導線的這一特性使得能在不大的範圍內制作高阻繞線電阻到(100兆歐)也就是不超過工業非繞線電阻額定值的界限。研究微細導線電阻的性質指出，按其本身的電學參量它們不僅不比最精密的拉制錳銅線電阻差，而且在許多方面超過了它們。微細導線電阻具有小的溫度系數並有對時間較高的穩定性(1)。

用玻璃絕緣的微細錳鋼線是實際上能夠作成額定值高於 10^5 歐的高阻測量繞線圈的唯一材料。

下面敘述PTO繞線圈的特性(參看圖形)

把微細錳鋼線1繞在圓柱形玻璃骨架2上，並鉗在銀制的導電帶3上，把電同在骨架內由合金鑄成的導電體4連通。在骨架的末端是鑄環5，用來把它焊在金屬壳6里以使繞線圈得到密封的保證，包圍在骨架外面的金屬壳保護着繞組以防止空氣的影響和機械損壞。同時內壳又是一個電屏，以屏障外來電磁場對繞組的影響。在繞線的蓋7上安置有兩個端鈕8以便在電路中接通繞線圈。端鈕中的一個用聚苯

性，在繞組的下端與電屏相連接(1)。繞組的上端與絕緣端鈕相接。

密封的屏以及同它焊接在一起的骨架和蓋，安置在另一個金屬罩里這個金屬罩有可拆卸蓋11(從里面絕緣的)。這個罩和蓋防止繞線圈受機械損壞並使繞線圈能夠應用在有等位屏蔽的線路里。蓋上裝有孔以便把導線接向繞線的端鈕。

表 1

電阻的額 定值歐姆	功率，瓦特		時間常數 $\sim 10^{-8}$ 秒	絕緣電 阻歐姆
	額定值	最大容 許 值		
10^6	0.3	3.0	600	10^{12}
10^7	0.1	1.0	6000	10^{11}

在罩的底部有三個橢圓弓形的切口，形成三個支撐點以增加繞線圈的穩固性，同時保證空氣通過格形的底12和屏蓋上的孔在骨架里流通。

罩上裝有端鈕13，以便在使用繞線圈的時候同線路中所需要連接的點連接起來。

繞線圈額定值的有效偏差不超過 $\pm 0.05\%$ 。
電阻值的變化在一年里不超過 $\pm 0.02\%$ 。

繞線圈供溫度範圍為10到35°C和空氣的相對濕度不大於80%的條件下工作。

繞線圈在溫度變化範圍為10到35°C之內的有效電阻用下式表示

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2],$$

式中：

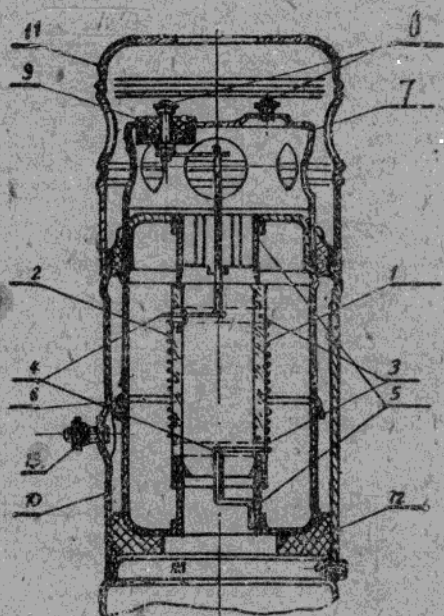
- R_t ——電阻繞線圈在 $t^\circ\text{C}$ 時的有效阻值；
- R_{20} ——電阻繞線圈在 20°C 時的有效阻值；
- α 和 β ——對每一個繞線圈用實驗方法被確定的係數。

係數 α 應不大於 $20 \cdot 10^{-6}$ 。

繞線圈的補充工程數據列於表1。

繞線圈的高度為258毫米；直徑115毫米。

為了保證高電阻微細導線測量電阻繞線圈的工業生產，須推行現有的ГОСТ 6864—54《測量電阻繞線圈》對錳鋼繞線圈的要求。為的是在這個ГОСТ里嚴格的規定了高電阻測量繞線圈在度



乙炔絕緣套墊9與蓋絕緣，另一個直接裝置在蓋上。為了電容對繞線圈繞組影響有可靠的穩定

是衡学的和使用的特性但須按着我們的見解作一系列相应的改变。

譬如，ГОСТ6864—54第5项对所有綫圈的額定值規定：1) 最大容許功率与額定值相比大十倍；2) 仅对0.01級的綫圈最低額定功率为0.1瓦特。

表 2

参 量	功率, 瓦特	电压, 伏	
額定阻值欧姆	10^6	0.1	320
		1	1000
		0.3	550
		3	1700
	10^7	0.1	1000
		1	3200
		0.3	1700
		3	5500
	10^8	0.1	3200
		1	10000
		0.3	5500
		3	17000

表 3

綫圈精密級別	在最大容許功率时测量电阻綫圈变化不超过%
0.01	±0.005
0.02	0.01
0.05	0.02

表 4

綫圈精密級別	規定的温升不超过 (度)
0.01	5
0.02和0.05	20

表 5

綫圈的額定值 欧姆	綫圈最大容許功率 瓦特	絕緣試驗 电压千伏
10^6	1.7	5
10^7	3.2	7.4
10^8	10.0	19

如果綫圈拟定为 10^6 、 10^7 和 10^8 欧姆，从这些要求出发，那么它們的額定和最大容許的工作电压應該符合示于表 2 中的数值。

显然，表 2 里所列的电压(5.5~17千伏)当使用高阻綫圈时没有任何实际意义。

測量綫圈P70和 10^8 欧姆綫圈將被用来作为检查精密电阻仪器(例如，MCLII—70和MCLII—72型电阻箱)和电压不超过500~550伏的各种精密測量綫路的原器。此外，由于要求最大容許功率比額定值增加十倍必然导致綫圈的精密密度降到0.05級。

按着ГОСТ6864—54第10和11项，当功率由額定值改变到最大容許值时，在規定的热状态下綫圈的有效电阻变化不應該超过，表 3 所示电阻和做成綫圈其它元件的規定温升，在最大容許功率时不应增加到表 4 所示温度范围界限以上。

在极限負載 3 瓦特时，P70 綫圈綫組的温升比周圍空气高达40℃。

为了保証第10项要求，綫組必須采用温度系数不超过 $20 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 的导綫，这与ГОСТ6864—54第9项要求发生某些矛盾，因为对于0.05綫圈允許采用温度系数为 $40 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 的导綫。

依靠增加骨架直徑的办法可使誤差由过热降到 $\pm 0.02\%$ ，但这导致了綫圈尺寸不可容許的增大。

由于將要对ГОСТ6864—54的修改和使測量綫圈的上限扩大到 10^8 欧姆，对于 10^6 、 10^7 和 10^8 欧姆綫圈若額定工作电压大約不超过500伏，而最大容許值不超过1000~1500伏，那么就可使这些綫圈的精密密度提高到0.02甚至0.01級。

此外，建議对ГОСТ6864—54作如下的修改。

1、在ГОСТ6864—54的第12项里提出所有綫圈額定值的时间常数决定于最大容許功率值的要求。对于P70綫圈(即当 $R \geq 1 \cdot 10^6$ 欧姆时，最好使时间常数 τ 只依赖于綫圈的額定阻值，因为对于同一个固定的阻值不可能有几个不同的功率值。

2. 按着ГОСТ6864—54第15項，罩和繞圈接通電流的電路之間的絕緣應該在1分鐘內經得住正弦波頻為50赫茲的2千伏試驗電壓的作用。

如果規定額定值為 10^6 、 10^7 和 10^8 歐姆的繞圈的最大容許功率的額定值增大十倍的話，這項要求就不能擴大到這些繞圈上。

在這種情況下 10^7 和 10^8 歐姆及 10^6 歐姆繞圈的一個級的工作電壓將比試驗击穿電壓（參看表2）大幾倍。

按照ГОСТ1845—59《電工測量儀表》，在這種情況下的試驗击穿電壓應符合表5中所列數值。

在同樣的情況下，額定值為 $10^6 \sim 10^8$ 歐姆的繞圈在電壓不超過1500伏的條件下使用時，這些繞圈的試驗击穿電壓應當等於5千伏（按ГОСТ1845—59第34項）。

3. 額定值為 $10^6 \sim 10^8$ 歐姆的繞圈必須在車廂里或用別種工具和方法運送，以便在運送的時候使它們的溫度能在 10°C 以下。

這個要求就決定了繞圈的骨架和它的繞組應該具有不同的線膨脹系數，以便當溫度大大降低的時候導線拉緊並且適應於電阻繞圈達0.05%的變化。

被建議修改的ГОСТ6864—54應使工業能夠生產具有足夠嚴格地度量衡學標準和使用特性的高阻測量繞圈并用這些繞圈保證了擴大在直流電路中精密測量大電阻的範圍。

參考文獻

1. 《玻璃絕緣微細導線和它的制品》文集，ЦИНТИЭП，М，1961

魏岱海譯自（蘇）“測量技術”1962年第1期。
孫究平校

交流有效電阻繞圈

根據交流有效電阻繞圈的設計，應僅具有相當於歐姆電阻的有效電阻，亦即是應絕對無感，並在各種頻率下保持有效電阻的不變化。但是，儘管使用特殊方法繞制，但在繞圈內仍存留有由於繞匝電感所產生的某些磁場，和由繞匝間電容所確定的電場。

此外在交流電路中，特別是在高頻時，下列的因素開始產生影響，如繞線導體內的表面效應，繞圈金屬零件內渦流電流的損耗，繞組和骨架絕緣體內的非電量損失（如果骨架是用絕緣材料制成的）等等。

所有上述因素的影響，亦為產生有效電阻起變化，和出現某些剩餘電抗的原因，交流電路中的繞圈全電阻不等於在直流電路中所測得的歐姆電阻 R ，而在寫成 $Z = Ze^{i\theta}$ 式中 θ ——由於繞圈剩餘電抗所形成的角。

顯然，有效電阻繞圈應有最小的電抗合成

值，並滿足直流繞圈所應具備的各項要求，由於繞圈是在交流電路中調整，則交流時的全電阻，在一般情況下，頻率變化在寬頻率範圍內，與歐姆電阻的區別可能較少。

電阻繞圈的等效線路可由圖79所示的線路表示之。圖中 L ——繞圈電感，而 C ——繞阻的分布電容，可看作接入於繞圈兩端間的集中電容。上述一系列的影響因素對於附加電阻亦應如此，但是，為使問題不複雜化，以及為了注意附加電阻的計算不十分困難，利用計算方法，則這些影響因素在很高頻率時起影響作用，一般被圖79上所示的繞圈線路所限制。

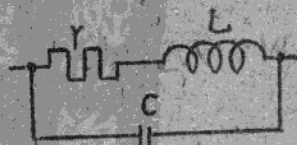


圖 79

根据圖79上的綫路，綫圈全电阻为：

$$Z = \frac{(r + j\omega L) - \frac{1}{j\omega C}}{r + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{r}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 r^2} +$$

$$+ j\omega \frac{L - Cr^2 - \omega^2 L^2 C}{(1 - \omega^2 CL)^2 + \omega^2 C^2 r^2} = r_a + jX \quad (3.6)$$

或 $Z = r_a(1 + jtg\theta) \quad (3.7)$

达到最高頻率时 $\omega^2 LC \ll 1$ ，并可用下式

$$Z = r(1 - \omega^2 r^2 C^2 + 2\omega^2 CL) + j\omega(L - Cr^2 - \omega^2 L^2 C) \quad (3.8)$$

电阻相位移动的正切角。

$$tg\theta = \frac{\omega(L - Cr^2 - \omega^2 L^2 C)}{r} \quad (3.9)$$

圖79上所示的綫圈綫路与某些振盪电路相

似，其本身角頻率 $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ，等式(3.9)可

写成下列形式：

$$tg\theta = \omega \left(\frac{L - Cr^2}{r} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \frac{L}{r} \right) \quad (3.10)$$

假如綫圈是在角頻率 $\omega \ll \omega_0$ ($\omega \ll 0.1\omega_0$) 时工作，則公式(3.10)中括号内的第2项很小，而且可以写成下式：

$$tg\theta \approx \omega \left(\frac{L}{r} - Cr \right) \quad (3.11)$$

一般綫圈的角頻率 ω_0 相当于 f_0 ，约为数兆赫，因此，公式(3.11)的实际值可認為达到100—200千兆。

公式(3.10)括号内由表示式所确定的值实际上等于上述頻率范围 $\left(\frac{L}{r} - Cr \right)$ 内的

值，时间常数的名称一般以 τ 标记之。

亦即是

$$\tau = \frac{L}{r} - Cr = \frac{L_{\Phi}}{r}, \quad (3.12)$$

式中 L_{Φ} ——由于存在L和C而产生的有

效电感。

电阻相位角等于，

$$\theta = \arctg \omega \tau = \arctg \frac{\omega(L - Cr^2)}{r} \quad (3.13)$$

当 $\tau = 0$ 时，亦即是当剩余电抗接近于零时，电阻即成为无感电阻。

假定电感以亨利为单位，电容以法拉为单位和电阻以欧姆为单位，則时间常数以秒为单位。

当时间常数达到很高頻率时，即具有交流綫路内所用的电阻綫圈的万用特性，因为此特性，从下文中可看出，是确定綫圈的誤差，利用时间常数比采用綫圈的质量因素Q較方便，因为这首先与頻率无关。

在綫圈与质量因素和时间常数间的联系是以等式 $Q = \omega \tau$ 表示之。

在低阻綫圈中，綫匝间的电容有一极小值，几乎可以等于零，則这些綫圈的时间常数仅以繞組的电感确定之：

$$\tau = \frac{L}{r} \text{【秒】} \quad (3.14)$$

在高阻綫圈中，綫匝间的电容很大，繞組电感可以不考虑，因此这些綫圈的时间常数为：

$$\tau = Cr \text{【秒】} \quad (3.15)$$

由于关系到在什么綫路内使用该綫圈，必須知道綫圈的这种或另一种合成值。这样，当將綫圈作为平衡綫路桥臂中的一个桥臂使用时，必須知道其有效和无效合成值，假如在这种情况下，由于全电阻或有效电阻是采用欧姆电阻，則对于这一点容許有所謂求积法的一定誤差（參閱第5章），此誤差使引致产生未知組合值的一定測量誤差。

当綫圈用作与相位无关綫路中的元件时，如用作伏特表电路中的附加电阻，安培表的分流器，或电压分压箱中的元件，則必須知道綫圈的全电阻（模数），將全电阻模数代替以欧姆电阻，引致产生由欧姆电阻和全电阻模数之间的差所确定的誤差。

当频率达到很大时，全电阻模数Z的表示式可由以下列形式表示之：

$$Z = r \left(1 + \frac{\omega^2 \tau^2}{2} \right) [1 + \omega^2 C (2L - Cr^2)] \quad (3.16)$$

而有效电阻的表示式：

$$r_a = r [1 + \omega^2 C (2L - Cr^2)] \quad (3.17)$$

令以欧姆电阻代替有效电阻，误差容许等于下列公式：

$$\xi_r = \frac{r - r_a}{r_a} \cdot 100 = -\omega^2 C (2L - Cr^2) 100 [\%] \quad (3.18)$$

从实际经验中证明，双线圈制的线圈的某些平均值r（约50—70欧姆） $\tau=0$ 当电阻值很大时（ $r > 50-100$ 欧姆），当 $\tau < 0$ （电容C的作用基于电感L的作用），公式（3.17，）括号中的第一项可以不考虑，则误差为：

$$\xi_r = \frac{r - r_a}{r_a} \cdot 100 = -\omega^2 C r^2 \cdot 100 = -\omega^2 \tau^2 \cdot 100 [\%] \quad (3.19)$$

对于低电阻值的线圈（ $r < 50$ 公分），表示式（3.17）中的第二项实际上等于零，

$$\xi_1 = -2\omega^2 LC \cdot 100 [\%] \quad (3.20)$$

这样，低值电阻线圈的有效电阻交流时大

于欧姆电阻，而高值电阻线圈少于欧姆电阻。

令线圈的全电阻（模数）等于欧姆电阻值，则容许误差：

$$\xi_z = \frac{r - Z}{Z} \cdot 100 = \frac{r - \frac{r \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}{1 - 2\omega^2 LC + \omega^2 C r^2}}{\frac{r \sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}}{1 - 2\omega^2 LC + \omega^2 C r^2}} \cdot 100 = \left[-\frac{1}{2} \omega^2 \tau^2 + \omega^2 C r^2 - 2\omega^2 LC \right] 100 [\%] \quad (3.21)$$

对于低值电阻线圈（ $\tau < 0$ ，并可认为 $C \approx 0$ ）

$$\xi_z = \left(-\frac{1}{2} \omega^2 \tau^2 + \omega^2 \tau^2 \right) 100 = 50 \omega^2 \tau^2 [\%] \quad (3.23)$$

确定电阻线圈相位角的误差，当此角等于零时：

$$E_\theta = -\arctg \frac{L}{r} - \omega \tau \quad (3.24)$$

为说明时间常数对有效电阻模数的值和角误差（质量因数）的影响，在表5中列有在各种频率和线圈的各种时间常数的情况下这些数值的值，而误差是按公式（3.13），（3.19）和（3.23）计算之。

表5

千兆	特 性	时 间 常 数 τ 秒			
		10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
1	$Q, \%$	0.63	0.063	0.0063	—
	$\theta = \arctg Q$	22'	2'	0.2'	—
	$\frac{r - r_a}{r_a} 100, \%$	0.004	0.00004	—	—
	$\frac{r - Z}{Z} 100, \%$	0.002	0.00002	—	—