

无线电测量与技术监督

(八专业用)

南京无线电工业学校 101 学科編

目 录

绪 言

0—1 无线电测量的意义与任务	1
0—2 无线电测量仪表与无线电测量方法的分类	1
0—3 无线电测量的特点	2
0—4 对无线电测量仪器的基本技术要求	3
0—5 测量误差及提高测量准确度的方法	3

第一章 电 源

1—1 直流电源	7
1—2 对交流电源的基本要求	7
1—3 音频振荡器	8
1—4 射频振荡器	15
1—5 脉冲发生器	17

第二章 音频和高频电流的测量

2—1 高频电流测量的特点	18
2—2 对高频安培计之要求	19
2—3 热电式仪表	19
2—4 扩大高频安培计测量范围的方法	23
2—5 高频安培计的分度或校准	26

第三章 音频与高频电压的测量

3—1 高频电压测量的特点, 对高频伏特计的基本要求	28
3—2 真空管伏特计	29
3—3 A类真空管伏特计	36
3—4 B类真空管伏特计	42
3—5 C类真空管伏特计	46
3—6 用固体整流器的伏特计(氧化铜伏特计)	56

第四章 电子示波器

4—1 概 论	61
4—2 扫描的功用与方式	64
4—3 锯齿波电压发生器	67
4—4 90—5型电子示波器	70
4—5 两波同时显示法	72

4—6 短脉冲研究法	74
4—7 用示波器测量	76
4—8 槽路谐振曲线的测定	80
4—9 现代实验室用示波器方块图	81

第五章 绝缘电阻的测量

5—1 绝缘材料的电阻系数	83
5—2 直接偏转法	86
5—3 电容器充电法	87
5—4 电子管静电计法	88
5—5 无线电元件绝缘电阻的测量	92
5—6 绝缘材料的绝缘强度	98
5—7 击穿场强	100

第六章 阻抗测量的基本方法及通用仪器YM—2电桥和Q表

6—1 测量电容、电感、电阻的基本方法的特点	105
6—2 万用电桥YM—2	111
6—3 Q表	112

第七章 电阻测试及设备

7—1 伏特计安培计法	115
7—2 代替法	116
7—3 电桥法	117
7—4 谐振法	119
7—5 非线绕电阻的测量	124
7—6 射频电阻值的测量	127
7—7 电阻噪音测量	128
7—8 线绕电阻的测量	130
7—9 电阻比较仪	131

第八章 电容的测量及设备

8—1 伏特计安培计法	132
8—2 电桥法	132
8—3 谐振法	134
8—4 电感线圈固有电容的测量	138
8—5 高频时的电容测量	140
8—6 非线性电容的测量	142

第九章 电感的测量及设备

9—1 伏特计—安培计法	144
--------------	-----

9—2 电桥法	144
9—3 谐振法	147
9—4 高阻抗电桥测电感	148
9—5 互感的测量	152
9—6 测量电容器的自感	153

第十章 振荡圈变压器的测试

10—1 铁心线圈电感的测量	155
10—2 用伏安法测量铁心线圈的电感	155
10—3 用电桥测量铁心线圈的电感	156
10—4 用补偿法测阻流圈	157
10—5 T型电桥法	157
10—6 用比较法测阻流圈	157
10—7 变压器的测试	158
10—8 低频变压器一般的试验	159
10—9 漏感的测量	160
10—10 变压系数的测量	160
10—11 对称性的测量	160
10—12 直流电阻的测量	161
10—13 耐压试验	161
10—14 短路试验	161
10—15 相位测量	161
10—16 测量变压器的自生电容	162

第十一章 频率的测量

11—1 概论	163
11—2 频率的消极测量法	163
11—3 频率的比较测量法	167

第十二章 超高频的特殊测量方法

12—1 超高频测量的特点	175
12—2 超高频的辅助测量仪器	175
12—3 功率的测量	177
12—4 波长与频率的测量	184
12—5 行波系数和阻抗的测量	190

第十三章 例行试验及设备

13—1 无线电材料的运用情况	193
13—2 振动性的颤震试验	194
13—3 撞击性颤震试验	196

13—4 加热箱.....	197
13—5 冷冻箱.....	197
13—6 气压箱.....	198
13—7 絕緣强度試驗.....	199
13—8 測量电感电容的溫度系数.....	201

第十四章 技术监督科的任务与工作

14—1 技术监督科的基本任务.....	202
14—2 技术监督科个别部門的任务和工作.....	202

緒 言

0—1. 無線電測量的意义与任务

科学的发展与测量技术的发展有着密切的联系，测量是用实验的方法对任何现象、任何规律性在质与量的方面达到认识的过程。准确度、灵敏度、以及被测数量的范围，在很大的程度上，均决定于科学发展的水平。测量技术达到的水平愈高，则科学的发展就显得愈为深广，而另一方面，科学的发展，又为测量技术的发展创立新的前提，新的途径和新的可能性。

二次大战以后，无线电技术有着飞跃的发展，无线电器械也被广泛地应用在机械制造业、食品工业、航空航海、铁路运输、地质、医学、冶金、农业等方面。在这些无线电器械中，毫无疑问，无线电测量仪器占有重要的地位。假使没有无线电测量仪器，任何无线电器械的调整与检修，将无法进行。这一点特别突出的体现在1958年及1959年苏联发射的人造卫星及宇宙火箭方面。无线电测量中的方法，也广泛的被应用于各种科学的研究中。可以这样说，无线电技术差不多应用到一切科学技术部门中去了，它的飞跃发展，在一定程度上决定于是否有专门的测量仪器及测量方法。

0—2. 无线电测量仪表与无线电测量方法的分类

无线电测量仪表按照其功用可以分为五类：

1. 装备科学研究机关或工厂实验室用的通用实验室仪器：如实验用电子示波器、真空管伏特计、测量电容、电感、电阻的电桥等。
2. 校准工作用的仪器和度量：如原始频率标准，标准电感及电容等。
3. 部件与元件生产测试用的仪器：如将被测电容或电感与已验标准作比较用的电桥；确定变压器中短路线圈用的仪器等。
4. 检验无线电器械运用工作情况用的仪器：如频率控制器；发射电平测量仪器等。
5. 特种无线电仪器：如超级无线电测微仪、探矿仪等。

必须指出，许多仪器按其用途不仅可隶属于上述中的某一些，而且可以隶属于两类甚至三类中。但随着测量技术的发展和复杂化，专门化仪器将得到更大的应用。

测量方法可以根据不同的特征来分类，在实际上最重要的分类法是将许多方法分成两类——直读法和零值法。

直读法是这样的一些方法：被测的量由测量仪表上直接读出，或与该量直接相比较而决定。这些方法的特征是用指针或仪直接测量出数量。这些方法最简单并且进行测量时，所需要的时间也最少，因此在实际工程上用得最泛。但在用直读法时，测量准确度是不高的，因为他至多就是仪表的准确度，而在极大多数的情况下，仪表的准确度是不可能很高的。

零值法是这样的测量方法：被测量所产生的效应与另一已知量所产生的效应相比较，使得它们总的效应缩减为“零”。一般说来，零值法要比直读法复杂得多，并且需要花费很多的时间，但准确度之高无与伦比。零值法的测量准确度大体上决定于标准度量制造的准确度和指零仪表的灵敏度。标准度量的制造可以做得具有很高的准确度；目前仪表的灵敏度，在大多数的情况下能满足所提出的要求而绰绰有余的。

直读法的部分特征与零值法部分特征结合而成的许多方法——差值法——是有一定实际意

义的。在利用这种方法时，和利用零值法时一样，被测量的效应与已知量的效应相平衡，但是并不使得测量电路完全平衡，而利用直讀法測量出被測量与已知量之差。如果彼此相差极小的两个量作比較，那末这些方法能得到很准确的结果。差值法目前广泛应用于作最准确的实验室測量（檢驗标准电阻，檢驗仪用互感器等）。

依据測量結果获得的方法，应分为直接測量和間接測量。

直接測量得到数值，是直接讀出仪表所示数量的結果（例如，用瓦特計測量功率），或者是被測量与度量直接比較的結果（例如，利用电位計与标准电池电势相比較的方法測量电势）。

間接測量是根据一个方程式来决定所求的量，在此方程式中，除了所求的量以外，还有若干量的直接測量数据（例如，根据瓦特計、安培計及伏特計的示数决定功率因数）。

由于包含在算式里的数个量的直接測量誤差相加的結果，在間接測量时，其准确度常比直接測量低得多。

0-3. 无綫电測量的特点

在无綫电測量中，大多数的场合下均測量电工測量中也測量的量。但是无綫电測量却有一系列的重要特点，这些特点是由无綫电器械的特点所产生，如高频电流，高值电阻和小电流等。在无綫电測量中，測量电流用的仪表都具有很高的灵敏度，而測量电压用的仪表通常都具有很高的輸入阻抗。在測量电子管的板极或栅极电压时，就必须使用輸入阻抗很高的伏特計。通常在电工測量中所使用的伏特計，具有較小的輸入阻抗，如果把它并联在几千或几万欧姆阻抗的无綫电线路里，就会使线路中的电压分配显著地改变，而使測量发生錯誤。在某些场合，当接入伏特計时电压分配严重的影响到线路的情况，以致使线路停止工作。此外，接入測量高频电路中的磁电式伏特計和安培計，要給线路引入大的对地寄生电容，而产生高频寄生电路。因此，安培計、伏特計和其他的測量仪器必须尽可能地接在线路中最靠近“地”电位的地方。

无綫电測量具有更多的特点，它的频率高，使得电工測量上的很多型式的仪表不能应用。例如在电力上用的电磁式仪表，就完全不能用在高频线路的測量上。即使在較低频率（100 ~ 500 赫）用这种仪表时，它的感抗和鉄心內渦流損耗，也显著地增加，因而仪表的讀数，不仅决定于被測量电流和电压的数值，且与频率有关。这样的仪表只能用在校正过的那个频率上；可是在无綫电測量中，通常需要利用一个能在宽频带上应用的仪表。由于同样的原因，无綫电測量中也不用动鉄式的仪表。在高频线路里通常也不用电动式仪表，新型电动式仪表，也只在一些特殊场合中应用。

电子式仪表，热电式仪表及检波式仪表在无綫电測量中得到了最广泛的应用。

通常所进行測量的量的性质，主要取决于測量的频段，如果在低频（音频）时測量电压、电流、电感、电容和电阻等，那末，在高频时，測量频率，品质因数，电场强度等便具有更大的意义。在电工測量中起主要作用的功率測量，在低频和高频里就行进得較少，而在超高频里，却又用得很多。在超高频中是測量行波系数，反射系数及一些其它在低频中完全不測量的量，而电流和电压是几乎不測量了。

甚至同一量，在不同频段里常常也要求用不同的測量仪表和測量方法来測量。例如，低频电压通常用检波式伏特計測量，但是在高频就广泛地采用电子管伏特計了。在电力上，功率直接用电动式或感应式仪表測量，而在超高频中，則用光电式，热量計式，电阻輻射热式，和其他在較低频率中不用或很少采用的測量原理的仪表去測量。

0-4. 对无线电测量仪器的基本技术要求

任何无线电测量仪器应尽可能正确地测完被测量的量。因此应该采取一切能够消除或减少误差的措施。尤其应该消除外界电场对测量结果的影响。同时必须预先考虑到，如何使测量仪器的准确度尽可能的与频率无关。而测量仪器对于被测量的参数的数值要影响小，在高频时它本身消耗的功率要愈小愈好。测量仪器在所设计的全部频率范围内，都应该满足上述这些要求。

测量仪表过载时应具有足够的过载容量并应该具有均匀的刻度。

在同样的准确度和灵敏度下，以构造上最简单，外形及重量最小的仪器为最好。

0-5. 测量误差及提高测量准确度的方法

在装配和调整无线电器械时，测量电感、电容、频率等常要求有高的准确度。在进行实验工作时要求特别高的测量准确度。在高频时，有时为了得到必要的准确度，必须使用一些特别的测量方法，而这些方法在电工测量时是根本不用或者很少使用的。

无线电测量的准确度也由测量时所得的误差来估计，量得的数值 A 与实际数值 A_0 之差叫做测量误差 γ ：

$$\gamma = A - A_0 \quad (0-1)$$

由上式所决定的误差，通常称为绝对误差以与相对误差区别开来。

相对误差有下面几种：

1. 实际相对误差（或简称误差）——以被测量值与实际数值的分数或百分数表示

$$d_0 = \frac{\gamma}{A_0}, \text{ 或 } d_0\% = \frac{\gamma}{A_0} \times 100\%; \quad (0-2)$$

2. 额定相对误差——以测量仪表读数的分数或百分数表示

$$d_n = \frac{\gamma}{A}, \text{ 或 } d_n\% = \frac{\gamma}{A} \times 100\%; \quad (0-3)$$

3. 测量仪器的引用相对误差——以仪表测量上极限的分数或百分数表示

$$d_{np} = \frac{\gamma}{A_{np}}, \text{ 或 } d_{np}\% = \frac{\gamma}{A_{np}} \times 100\%; \quad (0-4)$$

其中： A_{np} ——仪表的测量上极限。

例如，如果校对一只 150 伏的伏特计的刻度时，该伏特计的 50 伏读数相当于标准仪表 48.5 伏，那末，在测量中，被校对仪表的绝对误差为：

$$50 - 48.5 = 1.5 \text{ 伏}$$

实际相对误差为：

$$\frac{1.5}{48.5} = 0.031 \text{ 或 } 3.1\%$$

额定相对误差为：

$$\frac{1.5}{50} = 0.030 \text{ 或 } 3.0\%$$

仪表的引用相对误差:

$$\frac{1.5}{150} = 0.010 \text{ 或 } 1.0\%.$$

电工测量仪表的准确度等级,由它们的最大引用误差来决定。对电工测量仪表总共规定了五级准确度:0.2、0.5、1、1.5、2.5。等级的名称决定了该级的最大容许的引用误差。例如,1.5级的150伏伏特计,在测量时可允许有不超过 $0.015 \times 150 = 2.25$ 伏的误差,而与被测电压的数值无关。因此,如果测量时,用表中低读数部分,则实际相对误差和额定相对误差可能达到很大的值。例如用上述的伏特计去量10伏的电压,误差也可能达到2.25伏,即达被测电压值的22.5%。由于仪表在低读数部分有着较大的相对误差,所以在选择仪表时必须使测量在标度盘上后面三分之一的部分进行。

无线电仪表的准确度通常决定于它们的最大相对误差,这最大相对误差并不是在被测量数量最大值时的误差。例如,电桥YM-2能够测量5到10毫亨的电感而准确度为 $\pm 2\%$ 。因此,用它测量5毫亨的电感量时,误差不超过 $5 \times (\pm 0.02) = \pm 0.1$ 毫亨;对于10毫亨的电感量,误差不超过 $10 \times (\pm 0.02) = \pm 0.2$ 毫亨。在测量小数值时,仪器的准确度通常同时用相对误差和绝对误差来表示。例如电桥YM-2在测量5毫亨以下的电感量时,其准确度为 $\pm 3\% \pm 5$ 微亨。这就是说,在测量1毫亨(1000微亨)的电感时误差可达 $\pm (0.03 \times 1000 + 5) \pm 35$ 微亨,而在测量100微亨时可达 $\pm (0.03 \times 100 + 5) \pm 8$ 微亨。用这种表示法来表示无线电仪表的准确度时,大数值的测量的准确度基本上决定于相对容许误差,而小数值则决定于绝对容许误差。

无线电测量的准确度与被测量的性质,绝对值及测量用的频率有关。频率可以测定得很准确,用被测频率与标准频率比较的方法测量高频时,误差可小到 10^{-5} — 10^{-7} 。其他量的测量,其准确度就小得多了。通常电阻、电感、电容的测量误差都在0.5%—5%,而有时甚至达10%,但在某些特殊场合测量的准确度也可以大大提高。高频电压、电流的测量误差自0.5至3—5%。在测量品质因数、电场强度、调制系数等时误差更大,在某些场合可达到2%甚至20%以上。

进行测量的频段,对测量的准确度有很大的影响。通常测试准确度随着频率的增高而减低。频率本身的测量是个例外,在高频时的相对误差比低频时高。可是到了超高频时这种测量的准确度要减低。

为了便于估计和决定它们的规律性,测量的误差分为三类:常在误差,偶然误差和错误。以不变的数值和不变符号引入测量结果中的误差,或按照一定规律而变化的误差称为常在误差(例如刻度不精确的误差,由于寄生电感和寄生电容的影响所产生的误差,由于测量时仪表发热所产生的误差等)。数量和符号不固定,或者并不按照某种规律变动的误差,称为偶然误差。由于偶然误差的影响,在同样的情况下,同一量用同样的仪器去测量会得出不同的结果,虽然数值相差并不大。偶然误差在测量时是不可能除去或估计的,可是它对测量结果的影响可以理论地用统计学的方法和或然率理论去决定。显然歪曲了测量结果的非常大的误差称为错误(例如,读错了表的读数)。具有错误的测量通常不予考虑。

按照产生的原因,常在误差又分为下面几种:

1. 仪器误差——由测量仪器构造上的缺点所造成的误差。例如,摩擦、标尺描繪与装置不正确等。可以在校对这些仪表时来确定,并可用适当的修正从测量结果中去除掉。
2. 安置误差——由于测量仪表不正确的安置所引起的误差。例如仪表内指针位置不对,

引綫太长，周圍溫度过高或过低等。

3. 人为誤差——由于观测者的特点所引入的誤差。例如記錄信号時間过早或过迟，在指针或光点移动时将讀数少看或多讀了。

4. 方法誤差或理論誤差——这是由于对测量的情况沒有足够了解，或者由于拟定测量方法时所作的假定有錯誤所造成的。例如，当利用安培計伏特計根据欧姆定律 ($R = \frac{U}{I}$) 测量电阻时，沒有运用到仪表本身电阻的影响等。

按照表现的特征来分，常在誤差又可分为：一、固定性誤差，它們的数值和符号在测量时是保持不变的；二、累进性誤差，其数值在測試时不断地增加（例如测量仪器电源用的蓄电池的电压逐步降低）；三、周期性誤差，其数值和符号周期性地变化着，（例如指针偏心地装在仪器軸上时）；四、接着复杂规律变化着的誤差。

常在誤差地存在而未发见时，是最可怕的。因此在进行测量之前必須检查一下所有可能产生常在誤差的来源，并消除它，或者决定它的大小。为此可以指出某些通用的方法。其中首先是預先找出誤差并給以适当的修正。也就是說，預先校对所有的测量仪器，和各种不同外界因素对于讀数的影响。此外还应細心做好仪器的测量准备工作，来消除誤差的来源（如减少接綫长度，严格水平地装置或垂直地装置指示器等）。

在可能的场合，为了除去固定性的常在誤差可采用下列方法之一：代替法，测量时用标准量去代替被测的量。补偿法，此法进行两次测量，而这二次测量应使引入测量的誤差具有不同的符号（例如，用电桥来测量阻抗时被测阻抗和标准阻抗的位置互調一次）。

正确地选择測試仪器的类型，可以减少常在誤差。在选用仪器时，必須考虑被测量的性质，而且还要考虑进行测量时的頻率，被测的量的約数及将在怎样的情况下进行测量等。仪器准确度的級別决定了这些仪器在正常运用下最大誤差的数值。因此测量仪器只能用在它們預定使用的场合。例如将普通实验室的仪器用在低气压或异常高的溫度下，在测量时可能得到远超过技术规范或仪器級別所规定的誤差。此外，测量仪器使用在不正常的情况以后，当重新使用在正常情下况时，也可能会失去它的准确性。在某些不正确使用的场合下，会使仪器完全变成不能用。

为了得到最可靠的测量結果，每一个步驟必須重复許多次。此时偶然誤差将按各种方式影响到测量的結果，而最可靠的被测量的将是所有数据的算术平均值。如果在 n 次测量中所得到的数据是 $C_1, C_2, C_3, \dots$ 和 C_n ，那末算术平均值将是：

$$C = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n}{n} \quad (0-5)$$

应当指出，选用算术平均值只能够减少偶然誤差对测量結果的影响，但不能减少常在誤差对测量結果的影响。

如果测量得愈准确，那末偶然誤差也就愈小，在若干次测量中得到的各个值之間的差別也就愈小，而算术平均值与各次测量所得数值間的差別也就愈小：

$$v_1 = C - C_1,$$

$$v_2 = C - C_2,$$

$$v_3 = C - C_3,$$

$$\dots\dots\dots$$

$$v_n = C - C_n$$

这些差值称为剩余误差。

测量的准确度用某一测量的均方根误差值来表示，它由下式决定：

$$\sigma = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2}{n-1}} \quad (0-6)$$

知道了这个量以后，便可以决定出极限误差：

$$\delta = 3\sigma \quad (0-7)$$

或然率理论中证明，在只有偶然误差存在的情况下，超过极限误差的数据，在370次相同情况下所进行的测量中平均只可能出现一次。因此实际上可以认为测量是在具有 $\pm \delta$ 的准确度进行，而测量中假定的最可能的误差等于 $1/3\delta$ 。

为了提高准确度，在进行同一量的若干次测量，这一系列测量的处理次序如下：

1. 由已得的测量结果决定算术平均值以及剩余误差；
2. 决定一种测量的均方根误差；
3. 决定所得算术平均值的均方根误差值。

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (0-8)$$

在多次测量法中所得到的极限误差不超过 $3S$ 。

以一个测量电流的情况为例；为了增进准确度，这一测量进行了五次而得到不同的读数：1.01、0.98、1.00、1.03、1.02毫安。那么算术平均值将等于：

$$\frac{1.01 + 0.98 + 1.00 + 1.03 + 1.02}{5} = \frac{5.04}{5} = 1.008 \text{ 毫安。}$$

剩余误差将分别等于：+0.002；-0.028；-0.008；+0.022；+0.012毫安。因此一种测量的均方根值误差：

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.002^2 + 0.028^2 + 0.008^2 + 0.022^2 + 0.012^2}{5-1}} = 0.019 \text{ 毫安，}$$

所得算术平均值的均方根误差。

$$S = \frac{0.019}{\sqrt{5}} = 0.0086 \text{ 毫安，}$$

而此时可能发生的极限误差将是：

$$3 \times 0.0086 = 0.026 \text{ 毫安。}$$

这样，按照五次测量电流的结果，电流值可决定为 1.008 ± 0.026 毫安。

第一章 电 源

1-1 直 流 电 源

在无线电测量中经常用到所需要频率的电源。音频和高频电子管振荡器就是这类电源，这些电源本身又必须由直流电源供电。有时还需要用直流电源对测量设备本身供电。

测量用振荡器和测量设备用的直流电源计有：

1. 干电池，对于移动式的设备，用干电池供电极为方便；
2. 蓄电池，要电压高度稳定的时候，可以用蓄电池供电。但是现在在无线电测量仪器中蓄电池的使用减少了；
3. 整流器，用二极管整流管、充气管或其它的类似设备将交流变为直流；几乎所有的近代的无线电测量仪器都是用整流器由市电供电的。这些整流器都装置有稳压器（磁饱和式的或电子式的），以保证整流后电压的高度的稳定性，使之完全适宜于对极为灵敏的和准确的测量设备供电。

现在我们仅研究交流电源。

1-2 对交流电源的基本要求

对于交流电源的要求要看测量的性质、条件和准确程度而定。因此以下所讲的对于交流电源的要求应是一般性的。

在大多数情形下，交流电源的波形应当尽可能近于正弦波形。但是现有的交流电源都远不能满足这个要求，实际上供电电流中都会有一定数量的谐波存在。谐波用所谓非线性系数来估计。非线性系数的定义是电流（或电压）所有谐波的有效值和电流（或电压）基波有效值之比，即

$$v = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1} \quad (1-1)$$

或

$$v = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \quad (1-2)$$

其中， v 是非线性系数； $I_1, I_2, I_3, \dots, U_1, U_2, U_3$ 分别是电流与电压的基波、二次、三次……谐波的有效值。良好的音频振荡器的非线性系数的数值大约是 1—3%。

如果非线性系数很大，可以利用特别设计的滤波器，这样就能将非线性系数降低到 0.1—0.2%。

在粗略的测量中或在测量结果不随频率变化的时候，可以用非线性系数很大的振荡器进行测量（10—15%）。

至于高频交流电源，在许多情况下对于非线性系数的要求也是不高的。

在振荡频率的稳定度方面（特别是射频测试振荡器）有严格的要求。在这一方面，如果测

試振盪器的振盪頻率只有一個，可以利用石英或音叉實施頻率穩定。如果振盪器應在一定頻率範圍內均勻調節它的頻率，就必須利用其它穩定措施，這些措施將在研究各式振盪器時部分地講到。

在準確測量頻率時用的特种振盪器中可以得到非常高的頻率穩定度。在這些振盪器中頻率的穩定度可以達到 10^{-6} — 10^{-7} ，甚至還會更高。這就是說工作頻率為100千赫，頻率穩定度為 10^{-7} 的振盪器，其產生的振盪頻率就是 $(10^5 \pm 10^{-2} \text{ 赫茲})$ 。一般類型的振盪器頻率的穩定度約為 10^{-2} — 5×10^{-4} 。

音頻振盪器通常的輸出功率約為0.2—2瓦。在某些情形下可以達到或大或小的輸出功率。振盪功率的變化範圍很大，因為其大小在很大的程度上由振盪器的用途而定。例如，根據差拍法測量頻率或檢驗接收機時用的振盪器，功率就可能很小（幾分之一瓦）。測量振盪電路的電阻和對諧振式波長表進行分度或校準的時候，就需要有大功率的振盪器（數瓦）。而在試驗振盪電路的電容器或絕緣子試驗等測量中就需要功率很大的振盪器了。

6—3 音 頻 振 盪 器

1. 音頻電子管振盪器

電子管振盪器是現代的音頻振盪電源，可以作成單頻率振盪器，也可以作成可變頻率振盪器，振盪頻率和功率的調整方法很簡單，而且還可以得到滿意的頻率穩定度。電子管振盪器的這些特性，成為它們在測量技術中獲得廣泛應用的因素。

依照工作原理可以將電子管振盪器分為下列數種類型：

- 1) LC 振盪器，其振盪電路由能夠激勵音頻振盪的線圈和電容組成；
- 2) RC 振盪器，其振盪電路由電阻和電容組成，電阻和電容的選擇應能在振盪電路中產生音頻振盪；
- 3) LC 差拍振盪器，音頻振盪頻率是由兩個高頻振盪間的差拍而產生的。

(1) LC 型電子管振盪器

通常 LC 型音頻振盪器是自激振盪器，其線路與高頻振盪器在原則上並無區別。振盪電路參數 L 、 C 的選擇盡可能產生音頻的激勵。所以要音頻振盪器中得到穩定的頻率和近於正弦波形的振盪所用的方法和射頻 LC 型振盪器是一樣的。

頻率穩定的基本條件之一是保持振盪器電子管燈絲電壓的穩定。為此目的，在電子管燈絲電路中採用整流管、電壓穩定器或其它類似設備，以便使振盪器的電源供電條件保持穩定或對電源進行調整。

負載對於振盪頻率的穩定度也會發生影響。為了減少這種影響，在線路中可以應用緩沖放大器，就是和振盪器振盪電路作松耦合的中間放大器。緩沖放大器作為振盪器的固定負載，使振盪器和負載之間沒有直接耦合，所以負載阻抗的變化就不致影響振盪頻率了。

其次能夠影響頻率穩定的因素是線路溫度和參數的變化。為了減弱這些影響，振盪器振盪電路應由高質量的零件組成，並採用不同方法的參數穩定措施。參數穩定指的是在線路中加入一些輔助元件（電感、電容、電阻），以便補償溫度和參數變化後而引起的頻率變化。

LC 型電子管振盪器的電源由直流或交流供給。在直流供電的情況下，6、12或24伏的電壓供給燈絲電路，80—300伏的電壓供給鉅極電路，交流電源電壓用110—220伏。

圖1—1所示是蘇聯出產 LC 型ГОВ音頻振盪器的簡化線路圖。

由圖可知振盪器是由激勵器、緩沖級和輸出放大器組成的。

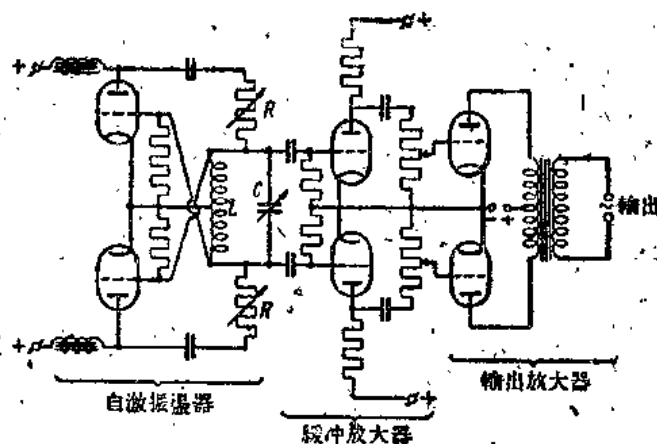


图 1—1 LC型TOY音频电子管振荡器线路图

推挽式激励器是并联供电的三点式振荡电路。每个管子的板极电路中和振荡电路串联的电阻 R ，是为了参数稳定和改善振荡波形的电阻。后者之所以可能是因为振荡电路对屏流中的谐波所呈现的阻抗并不太大，所以谐波实际上仅在 R 上产生电压降，而不在振荡回路中产生电压降。

电感 L 由几个线圈组成，装置在仪器里面，并且由一个波段变到另一波段的时候，用波段开关变换。至于可变电容器则作成电容箱的形式，它和附加的空气可变电容器等都装置在仪器里面。

缓冲放大器是电阻耦合推挽电路。输出放大器也是推挽电路。变压器是它的输出电路。改变输出放大器电子管栅极的电压就可以调节振荡器的输出功率。

上述振荡器的振荡频率为由50到60000赫兹，输出功率为0.4瓦特，频率高于300赫兹时非线性系数小于2%，频率的稳定度约为 $\pm(0.3-0.5\%)$ 。

RC型电子管振荡器由于简单而用得很多。这种类型的电子管振荡器建筑在有回授电路的电阻耦合放大器的基础上。为了使RC型振荡器给出正弦振荡波，回授电路必须设计得使第一电子管栅极上的原始电压，与由放大器某级输出端回授到它上面的电压，二者的相位互相重合的条件只发生在一个频率上。

在图1—2a中画出了RC型音频振荡器的原理图，而在图1—2b则是说明这个电路工作

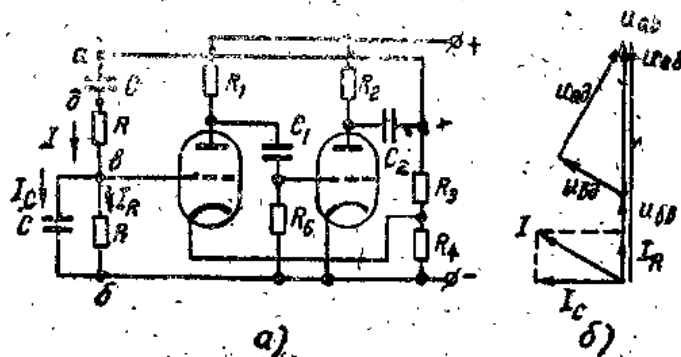


图 1—2 RC型音频振荡器

a—原理图

b—说明电路图工作的矢量图

的矢量图。在这个线路中，电压从放大器输出端经电容器 C_2 、与两个相同电阻 R 、和相同电容 C 的组合，重又加到它的输入端。倘若第一电子管栅极上的起始电压为 $\dot{U}_{c1}$ ，而放大器的放大系数等于 K ，则放大器输出端的电压等于：

$$\dot{U}_{a1x} = K \dot{U}_{c1} \quad (1-3)$$

电容 C_2 通常很大，它的电抗可以忽略不计。此时，由回授电路在第一电子管栅极上所激起的电压 $\dot{U}_{o6p}$ ，可以由关系式：

$$\dot{U}_{o6p} = K \dot{U}_{c1} \frac{Z_{6B}}{Z_{a6}} \quad (1-4)$$

来决定。式中： Z_{a6} ——a与6点间电路的阻抗；

Z_{6B} ——a与6点间电路的阻抗。

为了发生振荡，回授电压 $\dot{U}_{o6p}$ 的相位，必须与第一电子管栅极电压 $\dot{U}_{c1}$ 的相位相合，而这只有在一种场合下才可能，即在 Z_{6B} 与 Z_{a6} 上的端电压，和它们内部流着的电流之间都产生相同的相位差。满足这个条件时，阻抗 Z_{aB} 上电流与电压之间将也有与上相同的相位差。

$$Z_{aB} = Z_{a6} e^{j\varphi} - Z_{6B} e^{j\varphi} = (Z_{a6} - Z_{6B}) e^{j\varphi} \quad (1-5)$$

而因为

$$\operatorname{ctg} \varphi_{aB} = R \omega C$$

及

$$\operatorname{ctg} \varphi_{6B} = \frac{1}{R \omega C}$$

所以

$$R \omega C = \frac{1}{R \omega C}$$

及

$$\omega = \frac{1}{RC} \quad (1-6)$$

此时

$$Z_{aB} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{2} R$$

$$Z_{6B} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2}} = \frac{R}{\sqrt{2}}$$

而

$$U_{6B} = U_{a6} \cdot \frac{Z_{6B}}{Z_{aB} + Z_{6B}} = U_{a6} \frac{R}{\sqrt{2} \left(\sqrt{2} R + \frac{R}{\sqrt{2}} \right)} = \frac{U_{a6}}{3} \quad (1-7)$$

此时，可不必考虑相角，因为相角在电路的两段中是一样的。

从得到的式子里可以看到，在放大器输入端加上了放大器输出端所得电压的 $\frac{1}{3}$ 。为了使这样强的回授不致引起大的非线性畸变，在 RC 型振荡器中除了正回授以外，通常也给予负回授。因此，电压从放大器输出端加到由电阻 R_3 及 R_4 组成的分压器上。一部分电压从电阻 R_4

加到第一管的栅极上，其相位与正回授的电压的相位相反。

振盪器ЛИГ-19-45 (电子管测试振盪器-19型, 1945年) 为RC型振盪器的例子。它可作为音频与超音频的振盪电源。振盪器的频率范围自10至100,000周分成三个波段。最大输出功率在200至60,000周的频率间为1瓦, 而在其余的频率上为0.5瓦。最大非直线性畸变系数 (在频率200至3000周、输出功率为0.5瓦、负载为300欧时) 为3%。频率的调节误差在10至200周时为1.5%, 200至40,000周为2%, 40,000至11,000周为5%。

音频振盪器ЛИГ-19-45的外形示于图1-3, 而其原理图则示于图1-4。仪器由两个部分组成: 振盪器与放大器。振盪器线路大致重复图1-2a所示线路, 在振盪器ЛИГ-19-45中采用了白炽灯Л, 作电阻, 而从其上取得负回授电压。白炽灯的电阻随振盪器输出端电压的增大而加大 (由于灯丝电流加大而灯丝温度升高) 因而加大了负回授的电压。结果在第一电子管栅极上的电压降低, 而振盪器输出端的电压大致维持不变。为了使振盪波形近于正弦波, 负回授电压的数值应近于振盪器输出端电压的 $\frac{1}{3}$, 因为

在这种场合下, 输入电压是小的, 而非线性畸变也是小的。

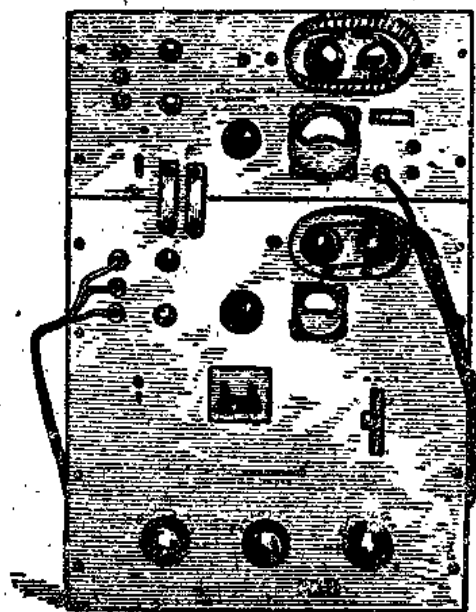


图1-3 音频振盪器ЛИГ-19-45外形

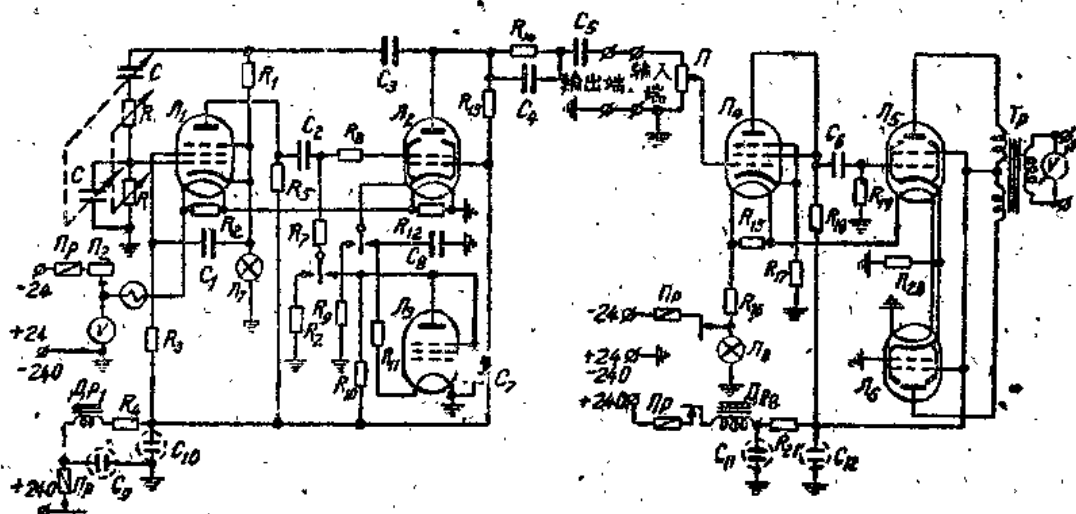


图1-4 音频振盪器ЛИГ-19-45原理图

放大器由前置放大级与功率放大级组成。功率放大级具有输出阻抗为600Ω的变压器。为了消除输出变压器铁心的磁化所引入的畸变, 在线路中连接电子管Л₆, 它的屏流补偿电子管Л₅的屏流中直流成分的磁化作用。

振盪器与放大器应该由两个单独的直流电源供电。除了振盪器与放大器外, 在仪器线路中

有一个检波式伏特计接在输出端上以用来测量输出电压的大小。

(2) 电子管差拍振荡器

拍频振荡器是基于两个频率相近的高频振荡波的变频作用。由于这个变频作用，在振荡器输出端便得到二高频振荡频率之差的振荡波。在图 1—5 中画出了这类振荡器的作用原理的方块图。

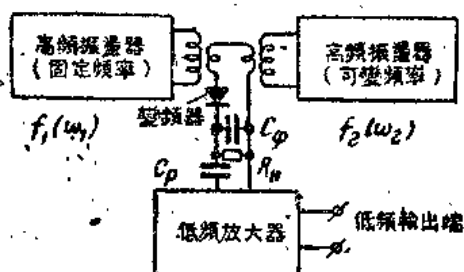


图 1—5 说明拍频音频振荡器作用原理的方块图

在拍频振荡器中，两个独立的振荡器用来产生高频振荡，一个产生固定频率 f_1 的振荡，而另一个则产生频率 f_2 的振荡， f_2 的值可以连续地在 f_1 至 $(f_1 + F_{Max})$ 或 f_1 至 $(f_1 - F_{Max})$ 的范围内变动，由两个振荡器所产生的振荡波加到混频检波器或简称检波器的变频器上。使用多极电子管作为变频器，在电子管的控制栅极加上两个振荡器所产生的电压。工作点选在板栅特性曲线的平方律部分，当在这部分工作时，有下列关系：

$$\Delta i_a = a_1 \Delta u_c + a_2 \Delta u_c^2, \quad (1-8)$$

式中： Δi_a ——变频器电子管板流的增量；

Δu_c ——控制栅极上电压的增量；

a_1 与 a_2 ——固定系数。

当来自两个振荡器的交流电压（一个振幅为 U_1 、频率为 f_1 ，另一个振幅为 U_2 、频率为 f_2 ）同时加到电子管控制栅上时，控制栅上电压的增量是：

$$\Delta u_c = U_1 \sin \omega_1 t + U_2 \sin \omega_2 t \quad (1-9)$$

此时板流增量的表示式应是：

$$\begin{aligned} \Delta i_a = & a_1 (U_1 \sin \omega_1 t + U_2 \sin \omega_2 t) + a_2 (U_1^2 \sin^2 \omega_1 t \\ & + 2U_1 U_2 \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t + U_2^2 \sin^2 \omega_2 t) \end{aligned}$$

因为

$$\sin^2 \omega_1 t = \frac{1 - \cos 2\omega_1 t}{2}$$

$$\sin^2 \omega_2 t = \frac{1 - \cos 2\omega_2 t}{2}$$

$$2 \sin \omega_1 t \sin \omega_2 t = \cos(\omega_1 - \omega_2)t \cos(\omega_1 + \omega_2)t$$

所以板流增量的表示式为：

$$\Delta i_a = \frac{a_2}{2} (U_1^2 + U_2^2) + a_1 U_1 \sin \omega_1 t + a_1 U_2 \sin \omega_2 t$$