电工学

（放射大专班試用）

上册

胡懋编

長沙市卫生学校

一九八二年

前 言

电工学是一门技术基础课，为适应本专业（放射大专班）教学，在编写时，力求做到以本专业这门学科为基础，着重于基本规律和基本概念的阐述。并考虑到授课的时数，在内容安排上，除必学的内容外，有的只供学生今后为工作的需要作进一步自学之用。同时根据现行中学数学大纲和教材内容，高中数学已学了一定的"微积分学"基本知识，特用註释方法介绍用微积分方法推导一些电学数学公式，以供自学之用。希望能使学生学完本课程后，既能较好地掌握一定的电路理论基础，又为学习X线机科学打下较好的基础。

本书共七章，分上下两册，上册包括复杂电路的分析与计算，正弦交流电路，三相正弦交流电路和电工仪表；下册包括变压器，异步电动机，直流电动机，同步电动机，伺服电动机，以及电子学基础与可控硅及其应用等。

在编写过程中，承易万雄老师、张文龙老师，在内容的编排方面，提出不少宝贵意见，并为编写提供了不少参考资料，在此特表示感谢。

由于编者水平有限，加上时间仓促，缺点和错误在所难免，在教学过程中准备边教边改，并恳切希望大家给以批评指正。

编者 1982.5.14于長沙

目　录

电工学

第一章　复杂直流电路的分析与计标

一·§1—1　基尔霍夫定律

电阻的串联，並联以及既有电阻的串联，又有电阻的并联的混合电路，包括含有反电动势的电路均系简单的电路，对于简单的电路的计标，可运用欧姆定律和电阻的串并联知识，直接求得电路中的电流或电压。但在结构比较复杂的分支电路中各支路的电流和支路的电压之间的相互关係，又如何来确定呢？要回答这个问题，我们先得研究一下既适用于简单电路、又适用于复杂电路的基尔霍夫定律。

基尔霍夫定律共有两个、第一定律应用于节点、第二定律应用于回路。

什么叫节点呢？电路中三根或三根以上的导线的连接点，称为节点。

什么叫回路呢？任何一个闭合的电路叫做回路。

如图1，共有两个节点 B和D，而ABDA，BCDB 以及 ABCDA 就叫做回路。

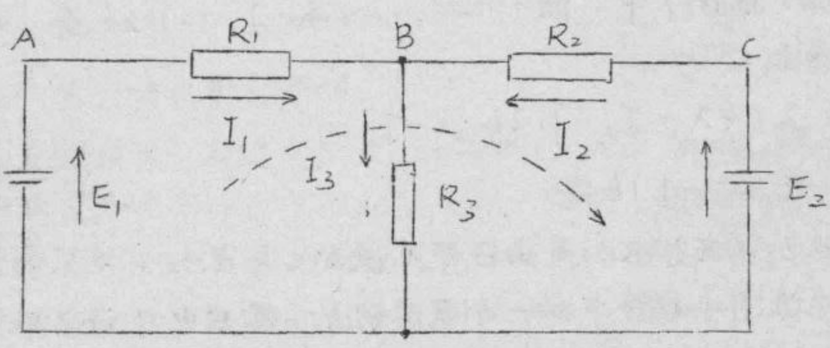


图1—1

（一）基尔霍夫第一定律：

基尔霍夫第一定律是研究电路中各支路电流之间的关系的。它的具体内容是：对于电路中任一节点流入结点的电流之和必等于流出结点的电流之和。这是因为电路中任一结点均不可能发生电荷的自生或消灭。如果流入的电流大于流出的电流，结点上的正电荷或者自行消灭，或者无限堆积；如果流入的电流小于流出的电流，结点上的正电荷就会自行产生，这些当然是不可能发生的事，因为这是违反物质不灭定律的。由此得出结论，流入的电流必须等于流出的电流，这就是电流的连续性原理。

在图1所示电路中，对节点B来说，在图示电流正方向下可得

$$I_1 + I_2 = I_3$$

移项后得 $I_1 + I_2 - I_3 = 0$

写成和的形式： $\Sigma I = 0$

由此看来基尔霍夫第一定律又可以这样说，任何一个节点上电流的代数和恒等于零。

必须指出，在计算复杂电路时，各条路径中电流的方向总是预先假定的，如果求得的电流是负值，是说明该路径中的实际的电流方向与所假定的方向是相反的。

例如：在图1中，设 $I_1 = 2.42$ 安，$I_3 = 1.26$ 安，在图示电流正方向下

$$2.42 + I_2 - 1.26 = 0$$

$$I_2 = -1.16 \text{安}$$

所以 I_2 的实际方向是由B节点流向C节点的。基尔霍夫第一定律不仅适用于电路中的一个实际结点，而且也可将它推广，应用于一个假定的封闭面。

例如图2的晶体管电路中我们可以假定

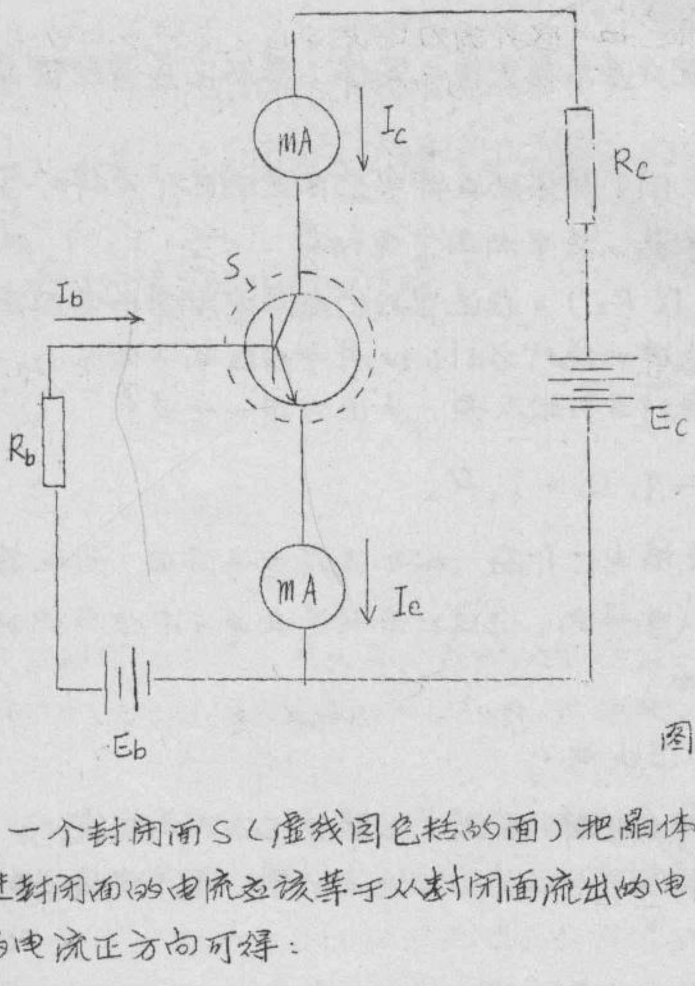


图 1—2

一个封闭面S（虚线图包括的面）把晶体管包围起来，那么流进封闭面的电流应该等于从封闭面流出的电流．根据图中所选定的电流正方向可得：

$$I_c + I_b - I_e = 0$$

(二) 基尔霍夫第二定律：

基尔霍夫第二定律在前面我们提到过是应用于回路的。在一个闭合的直流电路中各个电动势电阻一定时，电路的各点上都具有定值电位．它们之间的关系究竟怎样呢？要回答这个问题，我们必须研究回路中各部分电压之间的关系。在任何一个闭合回路中，单位正电荷沿回路绕行一周，则其电位能的变化必为零，也

就是说它所获得的能量与放出的能量必相等。由此可见，各电动势的代数和等于各电阻上电压降的代数和。用数学公式表来示为

$$\Sigma E = \Sigma (IR)$$

这一关係，就是基尔霍夫第二定律，显然它是遵循能量守恒定律的。

下面我们结合图1所示的具体电路来说明这个定律的含义，对ABCDA回路来说，其中有两个电动势（E_1 E_2）和两个电阻压降（I_1R_1 I_2R_2）。在这里我们规定电动势和电阻压降的正方向与我们所选择的绕行方向（如图中虚线箭头所示）一致者其值为正，而与绕行方向相反者，其值为负，于是有

$$E_1 - E_2 = I_1R_1 - I_2R_2$$

因为电动势是指电位升高，电压是指电位降低，所以基尔霍夫第二定律也可以这样说，电位升高的总和等于电位降低的总和用数学式来表示为

$$\Sigma V_{升} = \Sigma U_{降}$$

我们可以这样来理解：在图1电路中，从A点出发

沿A ⟶ B ⟶ C ⟶ d — a走一圈，各点电位φ的变化情况如下：

A ⟶ B点电位变化量：$\varphi_A - \varphi_B = I_1R_1$即电位降低了$I_1R_1$

B ⟶ C 〃 〃：$\varphi_B - \varphi_C = -I_2R_2$即电位升高了$I_2R_2$

C ⟶ D 〃 〃：$\varphi_C - \varphi_D = E_2$即电位又降低了$E_2$

D ⟶ A 〃 〃：$\varphi_D - \varphi_A = -E_1$即电位又升

高了E_1

将上列等式左边相加可得

$$(\varphi_A-\varphi_B)+(\varphi_B-\varphi_C)+(\varphi_C-\varphi_D)+(\varphi_D-\varphi_A)=0$$

即从电路A点出发走一圈，又回到原来出发点A，电位没有任何变化。

将上列等式右边相加可得

$$I_1R_1-I_2R_2+E_2-E_1$$

所以 $0=I_1R_1-I_2R_2+E_2-E_1$

把等式整理得

$$E_1-E_2=I_1R_1-I_2R_2$$

这结果证明基尔霍夫第二定律的正确性，总的说来，基尔霍夫第二定律可以用公式$\Sigma E=\Sigma IR$来表示，也可以用公式

$\Sigma U_{升}=\Sigma U_{降}$（或$\Sigma U=0$）来表示。

但在计算复杂电路时，常应用公式$\Sigma E=\Sigma IR$，因为应用这个公式比较方便。应用时只要把回路中所有的电动势写在等号的一边，而把所有的电阻上的电压降写在等号的另一边。但必须严格掌握电动势和电阻电压降的正负号。在计算时，我们可以先任意确定绕行方向（如图1虚线箭头的方向），当电动势的方向与回路绕行方向一致时，取正号，反之取负号。当电阻上的电流方向与绕行方向一致时，则此电阻上电压降取正号，反之取负号。

在计算时，首先还要注意分析电路中共有几个未知电流。有几个未知电流就要列出几个独立的方程式，在列方程式时，要尽量应用第一定律，不足的方程再用第二定律列出。

例如图1中我们设$E_1=15$伏，$E_2=12$伏 $R_1=1$欧，$R_2=0.5$欧，$R_3=10$欧，求I_1、I_2、I_3。

这里有三个未知数，所以必须列出三个方程式来求解

解：首先由节点B可得

$$I_1+I_2=I_3 \cdots\cdots (1)$$

沿回路ABCDA得

$$E_1-E_2=I_1R_1-I_2R_2 \cdots\cdots (2)$$

沿回路ABDA得

$$E_1=I_1R_1+I_3R_3 \cdots\cdots (3)$$

将已知各数代入得联立方程

$$\begin{cases} I_1+I_2=I_3 \cdots\cdots (1) \\ 15-12=I_1-0.5I_2 \cdots\cdots (2) \\ 15=I_1+10I_3 \cdots\cdots (3) \end{cases}$$

解之得 $I_1=2.42$安

$I_2=-1.16$安

$I_3=1.26$安

二、结点电压法

所谓结点电压法主要是应用欧姆定律和基尔霍夫第一定律推导出来的，应用它求解只具有两结点的复杂电路比较方便。如图3所示为多个电动势并联的复杂电路，我们若只用基尔霍夫两个定律来计算各支路电流，就需要分别列出四个方程式和三个方程式求解，但这个电路有显著特点，就是只有两个结点A和B，对于这种电路，如果我们能求出两结点间的电压（简称结点电压），那么各支路电流便很容易用欧姆定律计算出来，并不需要解联立

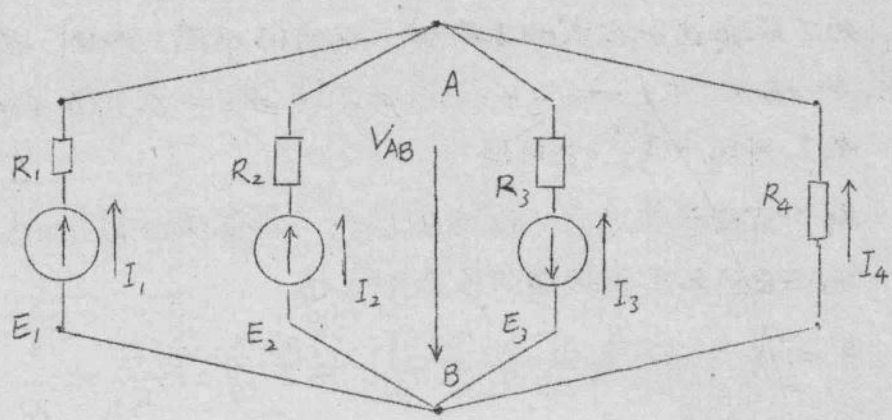


图 1—3

方程式，这样可以简化许多计算手续。关键是如何求出结点电压，我们假定各支路电流的正方向是由B流向A，结点电压正方向是由A指向B，如图中箭头所示，应用欧姆定律和基尔霍夫第一定律进行推导结果（推导从略）得

$$U_{AB}=\frac{E_1g_1+E_2g_2-E_3g_3}{g_1+g_2+g_3+g_4}$$

或将它写成和的形式：

$$U_{AB}=\frac{\Sigma(Eg)}{\Sigma g}$$

式中g为电导即电阻R的倒数 $g=\frac{1}{R}$

上式说明：结点电压V_{AB}等于各支路的电动势与相应支路电导的乘积的代数和对所有支路电导之和的比值。

但在应用这一公式时，必须注意每个电动势的正负，如果我们所求的电压是V_{AB}那么凡是电动势的正方向指向A点的作为正

如E_1、E_2；指向B点的作为负，如$-E$。

为了验证这一公式的正确性，我们仍以图1为例，前面举例设$E_1=15V$，$E_2=12V$，$R_1=1\Omega$，$R_2=0.5\Omega$，$R_3=10\Omega$。

求I_1、I_2、I_3。

解：首先求节点B、D电压U_{BD}（注意U_{BD}与U_{DB}）

E_1与E_2之正方向指向B点取正值

$$g_1=\frac{1}{R_1}=1,\ g_2=\frac{1}{R_2}=\frac{1}{0.5}=2,\ g_3=\frac{1}{R_3}=\frac{1}{10}=0.1$$

代入公式得：

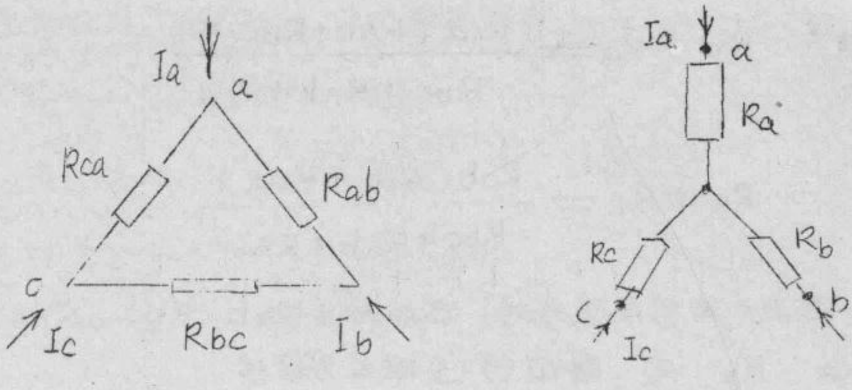
$$U_{BD}=\frac{15\times1+12\times2}{1+2+0.1}=\frac{39}{3.1}V.$$ 由欧姆定律$I=\frac{V}{R}=Vg$

$$得\ I_1=(E_1-V_{BD})\cdot g_1=(15-\frac{39}{3.1})\times1=\frac{46.5-39}{3.1}=2.42A$$

$$I_2=(E_2-V_{BD})\cdot g_2=(12-\frac{39}{3.1})\times2=\frac{37.2-39}{3.1}=-1.16A$$

$$I_3=U_{BD}\cdot g_3=\frac{39}{3.1}\times0.1=\frac{3.9}{3.1}=1.26A。$$

计算结果与应用基尔霍夫第一、二定律列出联立方程求解的结果完全一致。



（a）　　　　　　　　　　（b）

图1—4

如图1-5(a)的桥形电路本是一个复杂电路，但如果将三角形联接的电阻R_1，R_2和R_3化为等值的星形联接的电阻R_a R_b和R_c如图1-5(b)，或将星形联接的电阻R_2 R_3和R_5化为等值三角形联接的电阻R_{ac}，R_{cd}和R_{da}如图1-5(c)，这样复杂电路就变成可以用串，并联方法进行计算的简单电路。

在进行变换时，必须遵循三个等值条件：

① 任意两对应端间的电压大小相等、方向相同；

② 流经任一对应端的电流大小相等，方向相同；

③ 变换前后星形联接与三角形联接的网路所消耗的功率也是相等的。

根据这个等值条件，我们来推导图1-4由三角形变星形电阻的计算，我们是这样来确定的。

只在b、c点间加电压，而a点不加电压（即$I_a=0$）这时三个电阻是R_{ab}与R_{ca}串联，再与R_{bc}并联，因而有：

$$R_b + R_c = \frac{R_{bc}(R_{ab}+R_{ca})}{R_{bc}+R_{ab}+R_{ca}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots ①$$

同理 $$R_c + R_a = \frac{R_{ca}(R_{ab}+R_{bc})}{R_{bc}+R_{ab}+R_{ca}} \cdots\cdots ②$$

$$R_a + R_b = \frac{R_{ab}(R_{bc}+R_{ca})}{R_{bc}+R_{ab}+R_{ca}} \cdots\cdots ③$$

当由三角形变星形时，已知的是 R_{ab}、R_{bc}、R_{ca}，要求的是 R_a、R_b、R_c 解①②③联立方程得

$$\left.\begin{aligned} R_a &= \frac{R_{ab}\,R_{ca}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}} \\ R_b &= \frac{R_{bc}\,R_{ab}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}} \\ R_c &= \frac{R_{ca}\,R_{bc}}{R_{ab}+R_{bc}+R_{ca}} \end{aligned}\right\}$$

当由星形变三角形时，已知的是 R_a、R_b、R_c 而要求的是 R_{ab}、R_{bc}、R_{ca}，同样解①②③联立方程得

$$\left.\begin{aligned} R_{ab} &= R_a + R_b + \frac{R_a\,R_b}{R_c} \\ R_{bc} &= R_b + R_c + \frac{R_b\,R_c}{R_a} \\ R_{ca} &= R_c + R_a + \frac{R_c\,R_a}{R_b} \end{aligned}\right\}$$

当星形和三角形的三个电阻相等时即

$$\left.\begin{array}{l} R_a = R_b = R_c = R_Y \\ R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R_\Delta \end{array}\right\}$$

得：

$$\left.\begin{array}{l} \Delta \Longrightarrow Y = R_Y = \frac{1}{3} R_\Delta \\ Y \Longrightarrow \Delta = R_\Delta = 3R_Y \end{array}\right\}$$

星形三角形的等值互换对于某些复杂电路简化是很有用的。对于上面推得公式要求能正确理解其含义，並且能正确地加以运用，但不要死記硬背。

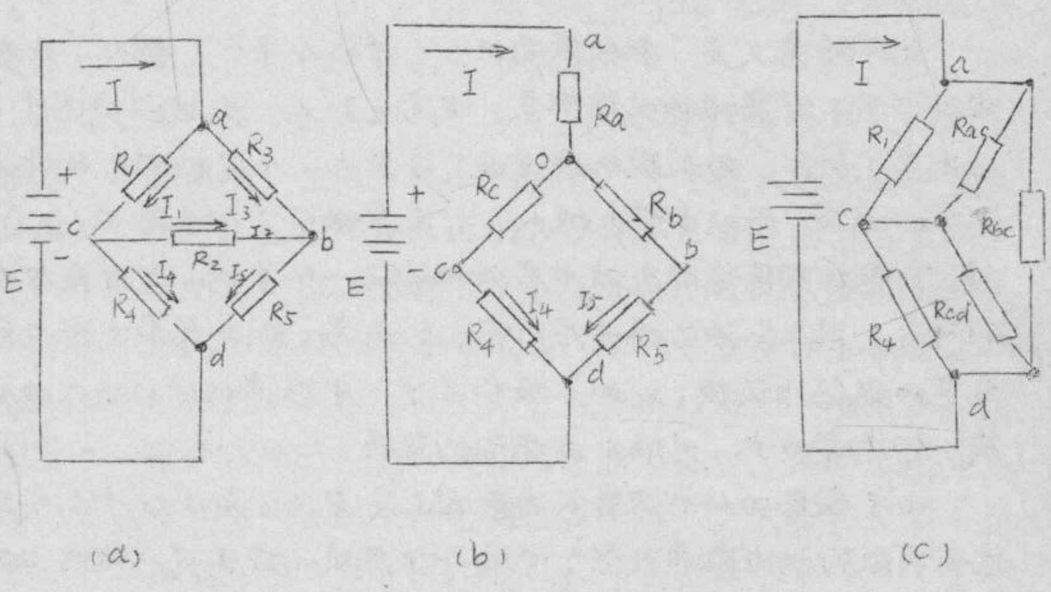


图 1—5

§1－3 电容器及其充电和放电

一、电容器　用绝缘体隔开的两个导体的组合就叫做电容器，组成电容器的导体叫做电极。如果在电容器的两极加上电压则在两个电极上将分别出现数量相等而符号相反的电荷，这种现象称为电容器充电。每个电极上的电荷Q与加在电容器两端的电压V成正比即　Q＝CV　式中比例常数C（$C=\frac{Q}{V}$）称为电容器的电容。

一个电容器的电容大小与哪些因素有关系呢？可以证明，电容器的电容的大小仅仅决定于其极板的形状大小和相对的位置，以及其间绝缘介质的性质。例如平板电容器的电容为

$$C=\frac{\varepsilon S}{d}$$

此式的意义是，当极板面积S（单位是米^2）越大，在相同电压作用下能容纳的电荷越多，电容也越大；极板间距离d（单位是米）越小，两极板的静电吸引力越大，于是极板上就能吸附更多的电荷，所以电容也越大。介质常数ε（单位是法/米）是计及极板间绝缘介质对电容的影响的一个系数，它决定于介质的种类。因此，为了得到尽可能大的电容，例如纸质电容器就用常见的铝箔作极板，以加大极板面积；用极薄的优质纸作绝缘介质，介质常数大，又缩小极板间的距离。

由于电容器的介质并不是绝对不导电的，所以在电压作用下还会有微弱的电流通过这个电流叫做漏流。或者说，电容器两极板间的电阻并不是无穷大，而是一有很大数值，一般在千兆欧以上这个电阻叫做绝缘电阻。绝缘电阻当然愈大愈好，它和介质的种类及厚度有关，和环境条件也有很大关系。温度高了或电容器受潮，绝缘电阻会显著下降，形成严重漏流现象，所以一般电容器都用蜡封，质量好的电容器甚至要密封，绝缘电阻太低的电容器一般不能使用。

电容器的介质在外加交流电压作用下，由于有漏流现象及其他原因等，都会引起能量损耗，称为介质损耗。它的大小与介质的种类有关。介质损耗大的电容器很容易发热，并且环境温度愈高，介质损耗愈大，严重时甚至会烧坏电容器，一般情况下会降低电容器的寿命，使电路的工作状态发生变化。

当加在电容器上的电压高到一定值时，介质的绝缘会被破坏变成了导体，就不能再使用了，这种现象叫做击穿。电容器所能承受的最高电压（不被击穿的电压）叫做耐压。其耐压程度与介质的种类及厚度有直接关系。一般在电容器的外壳上都标明它的电压指标，如250伏直流工作电压，600伏直流试验电压。工作电压是指长时间工作状态下的额定电压；试验电压是指在短时间（通常是5秒至1分钟）能承受而不被击穿的电压。使用时加在电容器的电压不应超过它的工作电压值。

综合上面分析可知，衡量一个电容器的性能和质量的指标有电容量，绝缘电阻，介质损耗和耐压等，其中最主要的是电容量和耐压两个指标。在选择电容器时，电容量和耐压要满足要求。此外，根据不同的用途和需要，尚应适当考虑对其他指标的要求。例如在电力系统和高频无线电电路中，都必须采用低介质损耗的电容器，在X线机中旋转阳极X线管旋转阳极启动电路内用的移相电容器，除了要求有一定的耐压和电容量外，并绝缘电阻不能太低，太低了漏电严重会破坏电路正常工作。电容器是X线机限时回路非常重要的元件，它常与电阻等组成限时电路，在电子管限时电路中用作限时的电容器更要求性能稳定，否则，将使限时不准。

二、电容器充电和放电

电容器在电子仪器和理疗机中是非常广泛应用的元件，X线机中也要用到它，X线机的限时电路里利用它的充电和放电进行计时。它最基本的特点就是可以贮存电能。如图6所示，当开关