

梁天白 編

荧光灯及其照明设计

中国工业出版社

荧光灯及其照明设计

梁 天 白 編

中国工业出版社

本书比較全面地討論了荧光灯和荧光灯照明設計的一些問題，并附有很多設計參考資料。其中特別詳細地敘述了荧光灯的特性、荧光灯照明的一些特殊問題、荧光灯照明的各種計算方法，以及荧光灯照明器的設計与計算等。此外，还举了两个設計实例，借以說明在进行設計时所应考虑的問題。同时，对以白熾灯代替扼流圈作为鎮流器的问题，荧光灯在高頻和直流电源下的运用情况，以及荧光灯街道照明等，也作了比較詳細地討論和介紹。

本书除可供照明設計工作者参考外，并可作为与照明設計有关的人員和高等学校、中等专业学校有关专业师生的參考讀物。

荧光灯及其照明設計

梁 天 白 編

*

中国工业出版社建筑图书編輯室編輯（北京修德閣路丙10号）

中国工业出版社出版（北京修德閣路丙10号）

（北京市书刊出版事业許可证出字第110号）

北京市印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经销

*

开本850×1168 $1/32$ ·印张10·字数185,000

1962年10月北京第一版·1962年10月北京第一次印刷

印数0001—1,586·定价（10-7）1.70元

*

統一书号：15165·1577（建工-219）

序 言

自从荧光灯問世到現在，只有20多年的時間，但是在这个短短的時間內，它却有了惊人的发展，目前，世界上許多国家，已愈来愈多地采用荧光灯照明了。尤其是近年来，人們对荧光灯以及荧光灯照明的研究和改进，花費了巨大的劳动，并获得了显著的成績。

首先是出現了各种新型的荧光灯管，这些灯管的功率既大，发光效率又高，寿命也长，这就更加发展了荧光灯所特有的优点。另外，为了克服荧光灯附件太繁、装置費用太高的缺点，人們也提出了各式各样的新型接入电路，从而使荧光灯照明装置的缺点在很大程度上得到了縮小。

現在，荧光灯照明的应用已经跳出了室內照明的范围，人們开始在戶外照明中采用了荧光灯；另外还在火車上、电車上、甚至在只能用低压电池作为电源的矿井中，也都采用了荧光灯照明。

我国自从解放后，在党和政府的领导下，照明事业有着飞速的发展。早在1952年就采用了国产荧光粉来进行荧光灯的生产。在1958年，电工牌荧光灯在主要特性方面已经超过了英国的亚司令牌荧光灯。最近某些灯泡厂又生产了新型的高功率荧光灯，这标志着我国在荧光灯制造事业上已经迈进了世界先进的行列。

1956年12月，我国頒布了第一个“工业企业人工照明暫行标准”，并通知自1957年6月1日开始試行。在标准中根据劳动卫生上的最低要求，規定了标准照度，从而保证了劳动人民的健康，这充分体现了党和国家对劳动人民的关怀。

近年来，我国在工业企业、机关、学校中采用荧光灯照明的愈来愈多，在照明技术上也不断得到提高；同时，于1957年和1958年先后在上海試装了两处荧光灯街道照明，这些都为更广泛地装設荧光灯街道照明积累了必要的经验。我們相信，在祖国蓬勃发展的社会主义建設中，荧光灯照明事业一定能够得到更大的发展和跃进。

梁天台

1961年11月于上海

目 录

第一章 荧光灯	7
1—1 气体中的放电现象	7
一、气体放电过程的伏安特性(7) ——二、弧光 放电的稳定(11)	
1—2 荧光灯的一般概念	19
1—3 荧光灯的特性	21
一、荧光灯的发光颜色(21) ——二、荧光灯的 发光效率(23) ——三、荧光灯的流明衰退(28) —— 四、荧光灯的亮度(30) ——五、荧光灯的寿命(31)	
1—4 荧光灯及其附件的构造	36
一、灯管(36) ——二、启动器(38) ——三、镇 流器(41) ——四、提高功率因数用的电容器(45) ——五、灯座和启动器座(46)	
1—5 荧光灯的标准	47
1—6 荧光灯的故障与检修	51
第二章 荧光灯照明的一些问题	56
2—1 荧光灯的启点	56
一、荧光灯的启点机理(56) ——二、接入电路中 附件间连接的方法对启点的影响(59) ——三、周 围温度对启点的影响(61) ——四、湿度对启点的 影响(62) ——五、荧光灯的附件对启点的影响 (63) ——六、降低启点电压的方法(64)	
2—2 荧光灯对无线电的干扰	64
2—3 荧光灯的紫光现象及与其有关的频闪效应	65
一、荧光灯的紫光现象及其避免方法(66) ——二、 荧光灯紫光现象的危害及其对劳动生产率的影响 (68)	
2—4 荧光灯的接入电路	72
一、带启动器的荧光灯接入电路(72) ——二、不 带启动器的荧光灯接入电路(78)	

第三章 荧光灯照明器	86
3—1 控照器的一般概念	86
3—2 荧光灯照明器的保护角和遮光格框	87
3—3 荧光灯照明器的效率及其计算方法	90
一、带有漫反射罩的荧光灯照明器的效率(90)	
——二、带有遮光格框漫反射罩的荧光灯照明器的效率(97)	
3—4 荧光灯照明器的配光曲线及其光度的计算方法	102
一、带有漫反射罩的荧光灯照明器的配光曲线的计算(103)	
——二、带有遮光格框漫反射罩的荧光灯照明器的配光曲线的计算(105)	
3—5 荧光灯照明器的类型	112
3—6 荧光灯照明器选择的一般原则	136
第四章 荧光灯照明计算	138
4—1 荧光灯照明计算的特征	138
4—2 逐点法的理论基础	138
4—3 相对等照度曲线及其应用	149
一、“点”的相对等照度曲线及其应用(150)	
二、“线”的相对等照度曲线及其应用(153)	
4—4 逐点法的计算方法	163
4—5 利用系数法	181
一、利用系数法的理论基础(181)	
——二、利用系数表的编制(183)	
——三、利用系数法的计算方法(193)	
4—6 耶帕森什尼科夫算法	197
4—7 比功率法	199
4—8 特殊情况下的计算方法	205
第五章 荧光灯照明器的布置	214
5—1 荧光灯照明器布置的研究和分析	214
5—2 荧光灯照明器的装设	221
5—3 在建筑结构中荧光灯的布置	225
一、发光天花板(226)	
——二、在墙壁上的发光部	

分 (230)——三、发光檐檐 (光檐) (230)

第六章 荧光灯照明设计	233
6-1 设计内容	233
6-2 光源的选择	234
6-3 照明方式的选择	238
6-4 荧光灯照明设计实例	243
一、缝紉工厂中缝紉車間的荧光灯照明 (243)——	
二、学校教室中的荧光灯照明 (252)	
第七章 特殊荧光灯照明	262
7-1 以白熾灯作为鎮流器时荧光灯的工作情况	262
一、以白熾灯作为鎮流器的荧光灯的接入电路(263)	
——二、电的特性 (267)——三、光的特性 (271)	
——四、装置費用 (273)	
7-2 高频荧光灯	275
一、在高频电源下荧光灯的工作特性(275)——二、	
在高频电源下荧光灯的启动調节設備(279)——三、	
頻率变换器 (281) ——四、高频荧光灯的应用(282)	
7-3 直流荧光灯	284
一、荧光灯在直流电源下工作的一些理論問題(285)	
——二、在直流电源下荧光灯的接入电路(288)——	
三、直流荧光灯的构造 (290)——四、直流荧光灯	
的应用实例 (291)	
7-4 電池式荧光灯	296
7-5 荧光灯街道照明	302
一、在戶外照明中荧光灯的发光和保温問題 (302)	
——二、在戶外照明中荧光灯的接入电路(306)——	
三、苏联和我国采用荧光灯街道照明的經驗 (308)	

第一章 熒光燈

1-1 气体中的放电現象

熒光灯是一种气体放电灯，因此在具体介紹熒光灯之前，我們必須对气体中的放电現象有一个概念。

气体中放电过程很为复杂，有許多現象尚待进一步地研究，但是放电的基本过程目前已经明确。大致說起来是和气体的种类、气体的压力、电极的材料和构造，以及外加电源的性质等等因素有关。

我們現在討論当长管中充有低气压（3~5个毫米汞柱）惰性气体或金属蒸汽时，在外电源的作用下放电的情况。

一、气体放电过程的伏安特性

像图 1-1 所示，充气放电管的两个平板电极和可变电阻 R 串联起来接到电压 U_0 上。 U_0 可以是直流也可以是交流，我們当它是直流电压来进行討論。

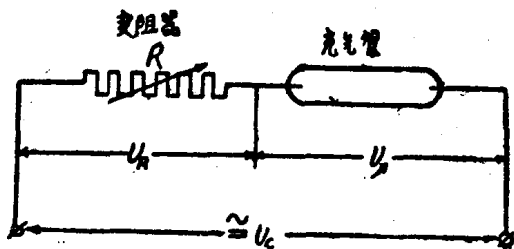


图 1-1 测量充气管伏安特性的线路

当外施电压 U_0 不变时，改变电阻 R 的数值，使它由

大到小，我們就可以测到气体放电管上的电压降 U_d 和管中通过的电流 I 的一系列数据。它們之間的关系如图 1-2 所示的曲线，这条曲线就是充气放电管的伏安特性。我們把这条曲线分成几个区域，逐一加以討論。

1. 微光放电 I、II 两段属于微光放电区域，或者叫做无声

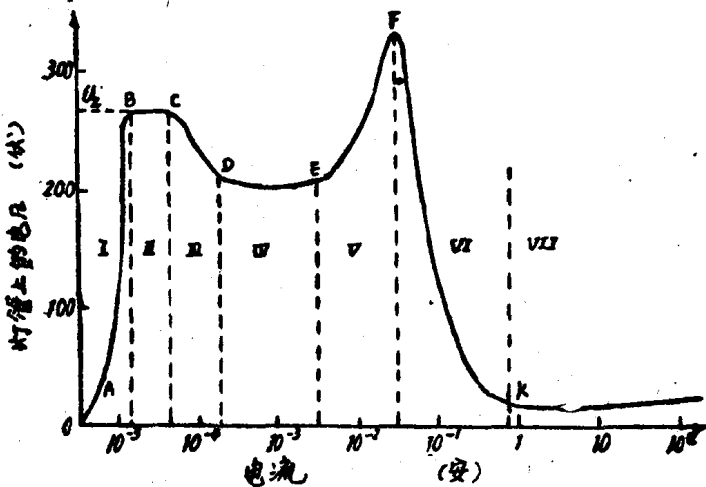


图1—2 气体放电的伏安特性曲线

放电区域。在第I区域中，纯粹是由于外界电离因素产生的原始电离而形成的电流。例如管内的原子受到大气中的紫外射线、宇宙射线等的影响，于气体中激起了原始的电离。在两极间的电场作用下，电子就跑向阳极，而离子则移向阴极。此时，在气体放电管中就有电流通过，这个电流的数值是非常小的，以致用一般的办法测量不出来。

由于电阻R的继续减小，当充气管两极间的电压达到B点后，此时飞向阳极的电子就获得了足够大的动能，并在飞向阳极的路径上和原子相碰撞，使气体的原子受到激励和电离。因碰撞而电离出来的新电子（称做二次电子）又以极大的速度飞向阳极。同样，在二次电子飞向阳极的路径上又和气体的原子相碰撞并使之激励和电离。这样，一个产生两个，两个产生四个……，二次电子就像雪崩似地增多起来（图1—3），因此，在气体放电管中的电流也将急速地增长。

气体放电管中的电流由两部分组成，一部分是飞向阳极的电子，另一部分是移向阴极的离子。由于离子的质量重、速度慢，

所以后一部分电流所占的比例很小，一般仅为全部电流 $\frac{1}{200} \sim \frac{1}{400}$ ，在实际上，可略去不計。

假若放电情况达到了这样的程度，即每一个电子在由阴极到阳极的路径中，由于碰撞电离而产生了 n 个二次电子和同样数目的离子，这些离子轰击到阴极的表面上，使阴极在接受这个动能后，仍能从阴极放射出一个电子，这样循环下去，放电现象就可以依靠放电本身来维持，通常我们称这种放电现象为“自持放电”。伏安特性的BC段就已属于自持放电，它只有当外加

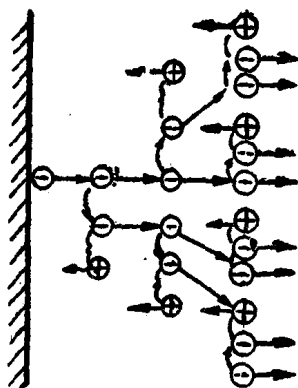


图 1-3 电子雪崩似地增多

电阻 R 相当大的时候才能稳定。否则，将很快地过渡到辉光放电阶段。

2. 辉光放电 在外施电压不变的条件下，电阻 R 再减小时，就发现通过气体放电管中的电流迅速地增大，而管上的电压降 U_m 却急速地降低（CD段），以后又有个阶段几乎保持不变（DE段）。在伏安特性曲线上，第Ⅲ区域是个过渡阶段，而第Ⅳ区域则为辉光放电区域。下面来解释一下，为什么在这一区域中电流是增大了，而管子上的电压降却反而小了。

当外加电阻 R 减小时，放电空间的电离程度就加剧，因而被电离出的离子和电子就增多。这些离子，由于本身质量很大，所以只能很缓慢地移向阴极。因此，在放电空间就经常保持着大量带有正电荷的离子，就电的效应来讲，它们可以补偿掉空间带有负电荷的电子的效应。此时，在单位体积内的正、负电荷接近相等，其相对数值约为气体中的中性原子的 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 倍，而其绝对数值却很大，在 1 立方厘米中约有 $10^9 \sim 10^{13}$ 对电子和离子。这个正、负电荷接近相等的空间，我们叫做“等离子区”，它从靠

近阳极的地方一直扩展到阴极附近。这个空间从电的效应方面来看完全和一个导体相似。

在两个极板的放电空间内，由于正离子所在的那些区間（即等离子区）的电位被提高了，而使放电管内的电位重新分布，它的特点是将全部管压降主要集中在阴极的附近区域，我们称为“阴极位降”。在这种不用单独加热的冷阴极低气压的充气管中，维持辉光放电的阴极位降可达几百伏，而阴极位降区的距离又很短，因此在这段空间的电场强度就很大。离开阴极的电子，在阴极位降空间内能够获得足够大的速度飞向阳极，并在路程上使足够数量的原子产生电离；同时，也使移向阴极的离子获得足够大的动能，它们轰击到阴极表面后，使阴极能发射出足以维持自持放电的电子。

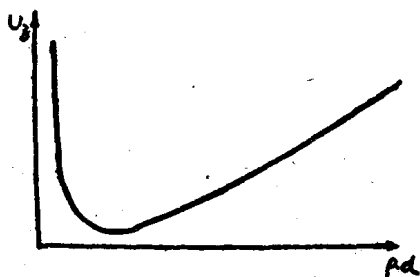


图 1—4 破裂电压与气体压力和极间距离的关系

伏安特性曲线中，区域 II 的最高点 B 所对应的纵坐标电压值，称为辉光放电的“破裂电压”，在此点后就引起气体激烈的电离，由非自持放电转变成自持放电。破裂电压的数值与气体的性质、电极的材料和构造、以及周围

环境的温度、湿度等情况有关。在上述各项都已确定的情况下，破裂电压 U_b 将是 $P \cdot d$ 的函数，其中 P 是管内所充气体的压力， d 是两极板间的距离（图 1—4）。若 P 为恒定时，则存在着一个使破裂电压为最小值的最佳距离 d 。等离子区的作用相当于导体，它好像是将阳极移至阴极附近，实验证明，这个距离是最佳值，亦即灯管两端的压降是最小。这就是为什么进入辉光放电区域后，电流增大了而电压却反而降低了（由 B 降到 D）的原因。

由于外加电阻 R 的限制，在电流较小时，只有一部分的阴极表面被辉光所盖罩。当 R 继续减小时，电流值就增大，阴极上的

輝光面积也跟随着成比例地增加。因此，在这一段中电流的增加并不需提高两极之间的电压，因为阴极表面上的电流密度并未发生改变。这就是在DE段中，为什么电流增大了，而管上的电压降却保持不变的道理。

3. 弧光放电 在輝光放电时，继续减小电阻R，使得阴极表面全部布满輝光后，再要想使电流增加，就要依靠着阴极表面电流密度的增加了。这样，就需要提高两极间的电压，但此时当极间电压提高后所增加的二次电子的数量并不多。因而电压虽然急速地增长，但电流却增加的很缓慢，这就是EF段，通常称它为“非正常輝光放电”。在这段区域内，由于两极间的电压升的很高，使得阴极位降增加的很大，带有正电荷的离子在阴极位降的区域内将获得更大的动能。带有大量动能的离子轰击到阴极表面上后，除掉增加阴极的二次电子发射，提高阴极表面的电流密度外，还使阴极的温度升高，最后发生热电发射。此时，电子的发射已经变了性质。輝光放电阶段主要是二次电子形成电流；而弧光放电阶段的电流主要是由热电发射的电子所形成。因此，在两极板之间的电压较之輝光放电可大大的降低，这就是第VI区域的FK段。

F点的电压，就是决定自持弧光放电的着火电压。

由于在电子放射过程中某些条件的不平衡，整个阴极的热电发射是不均匀的，在阴极表面上出现了发射电子较强的点，也就是电流密度最大的地方，因而离子轰击这点的数量也就最多，这样互为因果下去，在阴极上形成了一些热点。这些热点有大量的电子发射，随着温度的增高，电流急速地增加，这就是K点以后的第VII区域。

二、弧光放电的稳定

我们从图1—2及以上所讨论的情况知道，从F点后，充气放电管就具有着下降的伏安特性(FK段)。气体放电灯的放电特性就是在这一段上(图1—5)。具有这种下降伏安特性的气体

放电灯，假若直接接在恒定的电源上，灯管的工作是不容易保持稳定的，只有在电路中再加一种稳定电弧的设备，对气体放电管的两端电压进行自动地调节，才能使得放电电弧稳定。

这种稳定电弧的设备我们叫做“镇流器”，它起着镇定电流的作用。

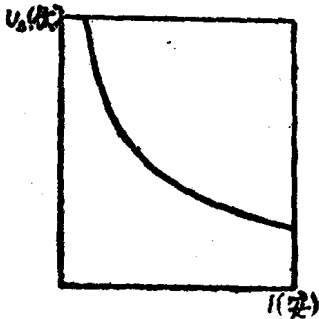


图 1—5 气体放电灯的伏安特性

为流过灯管的工作电流。

按照克希荷夫第二定律，可以列出下列回路方程式：

$$U_0 = U_n + IR \quad (1-1)$$

假若由于某些原因，使灯管上的电压变化 ΔU_n ，则从图 1—5 的曲线中看出，电流也将相应的变化 ΔI ，而符号和电压的变化相反。这时，原来平衡的情况就被破坏了，为了迅速的达到新的稳定，必须保证下列条件：

$$R + \frac{dU_n}{dI} > 0 \quad (1-2)$$

式中 $\frac{dU_n}{dI} = R_d$ ，我们称它为放电的“动态电阻”，它的符号是负的。为了使放电稳定，电阻 R 要比放电动态电阻 R_d 的绝对值要大。也就是说，只有在整个电路中摆脱了负阻的情况后，才有可能达到新的平衡。

由此可见，只有在同时能满足式 (1—1) 和式 (1—2) 的条件时，才能使电弧稳定的工作。

在直流电源的情况下，我们采用电阻作为镇流器；在交流电源的情况下，可以采用电阻、电抗器（扼流线圈）、电容器以及具有高漏磁的变压器和自耦变压器等作为镇流器。

1. 直流电源上采用的镇流器

如图 1—1 所示，采用和灯管相串联的电阻 R 作为镇流器。 U_0 为电网电压， U_n 为灯管上的电压降落， I

图 1—6a 中的曲线 AA 就是气体放电的伏安特性中的电弧放电的一段，它的方程式为 $U_{\pi} = f(I)$ 。平行于横轴的直线 B_1B_2 表示电网上的直流电压 U_0 ，从点 B_1 引直线 B_1A_2 ，它和直线 B_1B_2 的交角

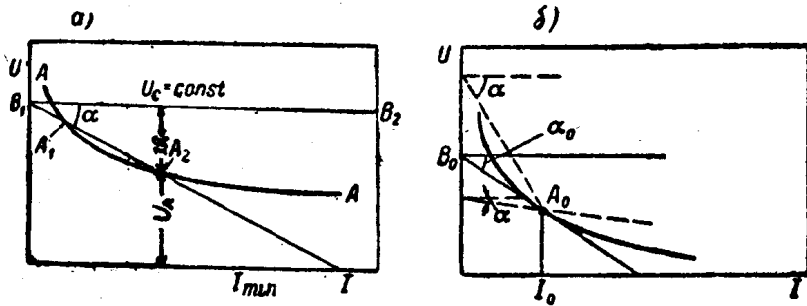


图 1—6 弧光放电的稳定

a—弧光放电的稳定条件；b—在某一电流 I_0 时的最小外加电阻和电网电压

为 α ，而 $\alpha = \text{arc tg } R$ 。 B_1A_2 直线和曲线 AA 共有两个交点 A_1 和 A_2 ，这两点都能满足方程式 (1—1)，而只有 A_2 才能满足方程式 (1—2)。这点在图 1—6a 中很容易看出来，假设在 A_1 和 A_2 两点分别引曲线 AA 的切线，而此切线和横轴的角度为 β (图中未画出)，则动态电阻 $R_d = \frac{dU_{\pi}}{dI} = \text{arc tg } \beta$ 。从几何关系上显然可以看出只有点 A_2 才能满足 $|R| > |R_d|$ 的条件，即 $\text{tg } \beta < \text{tg } \alpha$ 。

在某一放电电流 I_0 的情况下，我们能够确定维持稳定放电的最小外加电阻 R 和最低的电网电压 U_0 。在图 1—6b 中， A_0 点作曲线 AA 的切线，则 $R_{\text{最小}} = \text{tg } \alpha_0$ ，切线和纵轴相交的 B_0 点就确定了最小电网电压的数值。假若电网电压 U_0 再增大时，若要维持电弧稳定在原来的情况，则 R 应增至 $R = \text{tg } \alpha$ 。假若 U_0 再减小时，由于不能够满足方程式 (1—2)，故电弧将不稳定。

由图 1—6b 中看出，假使采用最小的电网电压和电阻，实际上当电网电压有刹那间的降低时，电弧就要熄灭。十分显然，采用作为镇流器的电阻 R 愈是大，则由于电网电压的波动对放电电流影响的程度就愈小。所以在实际上，为了可靠的保证放电的稳定

定性，必須使电阻鎮流器上的电压降落 $IR \geq U_0/2$ ，也即 $U_n \leq 0.5 U_0$ 。当然，在满足这个条件的情况下，在电阻鎮流器 R 上就要有大量的电能被消耗掉。这也是在直流中运用气体放电灯所遇到的不利因素之一。

2. 交流电源上采用的鎮流器 因为在交流电路中，电压和电流都是随着時間而作周期性地变化，而且由于在交流电源下，气体放电电阻不是一个常数，因而在气体放电灯中的电流和电压也往往不能够成为正弦波形。現在我們介紹几种在交流电源时采用的鎮流器，并对电压、电流瞬时变化的情况加以分析。

(1) 电阻鎮流器如图 1—7 所示，我們从它的等值电路和矢量图中看出，由于电路中都是电阻性的元件，所以电压和电流是同相的。

作用在灯管两极上的电压是交变的，也即在每个周期中，极間的电压有两次达到零值。因此，在每个半周的末尾灯管中的电流将被停止。在电流以相反的方向建立以前，中間有个時間間隔，即要经过 Δt 的时间后，在两极之間的电压重新达到气体电弧放电的点燃电压时，反方向的电流才被建立。由于电流有一段时间等于零，所以灯所发射出的光通量 F_n 也是断续的，在一周期中中間断的时间約占全周期的 30% (图 1—7 中光通量 F_n 曲线)。

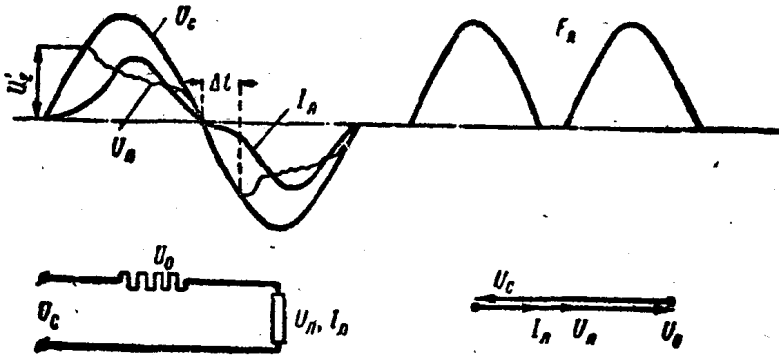


图 1—7 电阻鎮流器电路

上面讲过，在直流电源上采用电阻作为镇流器时，其显著的缺点就是在镇流器上将要损耗掉全部电能的50%。在交流电源中，也同样要损耗大量的电能，因此，电阻镇流器一般是不被推荐的，除非另外有其他的特殊目的（见第七章第一节）。

(2) 电容镇流器采用电容器作为镇流器的等值电路如图1—8所示。在这种情况下，只有在电容器充电和放电的时间内，在灯中才有电流通过。在曲线图上看出，每个周期内只有很短的时间内有电流通过，所以灯管所发射的光通量是脉冲的形式，这对于照明来讲是很不利的。在实际上，都不单独采用电容器作为镇流器。

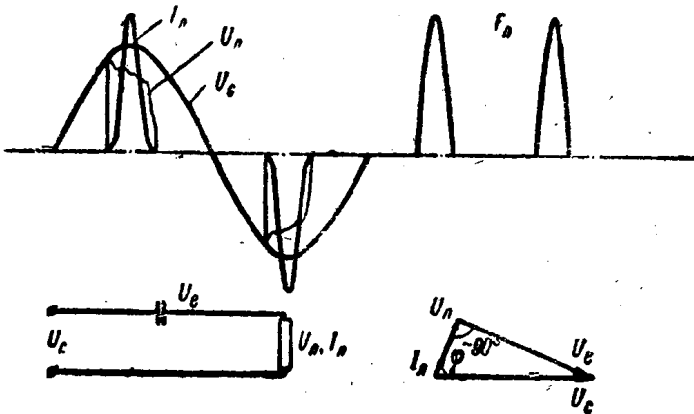


图1—8 电容镇流器电路

(3) 电感镇流器用电抗器在交流电路中作为稳定电弧的镇流器实际上是最流行的。它和电阻镇流器、电容镇流器相比较，有着很多的优点。首先，假若电抗器的参数选择的很适当，在电路中的电流将很接近于正弦波形（图1—9），而灯管上的电压降落 U_n 是带有极短时间脉冲的方形波，电网电压 U_0 和灯管电流 I_n 间有着一定的相位差，这对电弧的重复点燃是很有利的；其次，在电抗器上的电能损耗比起电阻来要小得多，一般仅为灯管功率的10~30%。

由图1—9的曲线中看出，当灯管电流通过零值的瞬间，由

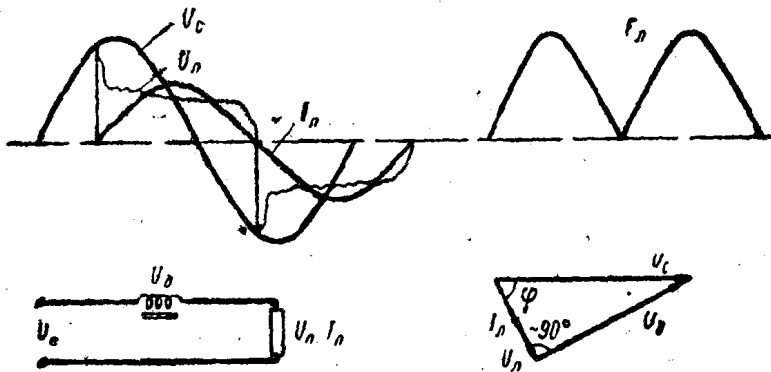


图 1-9 电感镇流器电路

于电流滞后于电网电压，所以电网电压已经有相当高的数值，而且，在该瞬间由于电路中没有电流通过，全部电网电压将都加在灯管的两极上。在设计 and 选择电感镇流器时，应当使得这个电压能够使电弧重新点燃。

应当指出，应用电抗器作为镇流器也有着缺点：

- ① 它的重量和尺寸都比较大。
- ② 整个线路的功率因数很低。

对于第②点，我们可以作以下简要的分析：

整个线路（包括灯管和电抗器）的功率因数：

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{灯}} + P_{\text{电抗器}}}{I_{\text{c}} U_{\text{c}}}$$

式中： $P_{\text{灯}}$ ——灯管的功率；

$P_{\text{电抗器}}$ ——电抗器所消耗的功率；

U_{c} ——电网电压（有效值）；

I_{c} ——电路中电流（有效值）。

而

$$P_{\text{灯}} = U_{\text{n}} I_{\text{n}} K_{\text{n}}$$

式中： U_{n} ——灯管上的电压（有效值）；

I_{n} ——灯管中的电流（有效值）；

K_{n} ——灯管的功率因数。灯管在电路中的等值阻抗我们一