

# 雷达直流电源

（供工程班学员用）

中国人民解放军空军雷达学校

一九七六年二月

# 毛主席语录

学校一切工作都是为了转变学生的思想。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

军队要严格训练，严格要求，才能打仗。

政治和经济的统一，政治和技术的统一，这是毫无疑义的，年年如此，永远如此。这就是又红又专。……思想和政治又是统帅、是灵魂。

有两种不完全的知识，一种是现成书本上的知识，一种是偏于感性和局部的知识，这二者都有片面性。只有使二者互相结合，才会产生好的比较完全的知识。

学好本领好上前线去。

# 目 录

## 第一章 整流和滤波电路

第一节 电阻性负载整流电路	1
一、半波整流电路	1
二、全波整流电路	5
三、桥式整流电路	8
四、倍压整流电路	11
五、三相整流电路	12
第二节 电抗性负载整流电路	15
一、电感性负载整流电路	15
二、电容性负载整流电路	17
第三节 平滑滤波器	18
一、电感型滤波器	19
二、电容型滤波器	21
三、 $\Gamma$ 型滤波器	22
四、 $\Pi$ 型滤波器	24
五、 $RC$ 滤波器和有源滤波器	25

## 第二章 晶体管直流稳压电源

第一节 硅稳压管稳压电路	30
一、硅稳压管的特性和参数	30
二、硅稳压管稳压器的工作原理	35
三、硅稳压管稳压电路设计举例	37
第二节 串联型晶体管稳压电路的一般规律	39
一、串联型晶体管稳压电路的工作原理	39
二、串联型晶体管稳压电路基本环节的分析	43
三、串联型晶体管稳压电路设计举例	49
四、稳压电源的调整与测试	52
第三节 串联型晶体管稳压电源改善性能的措施	55
一、改善稳压电源电压稳定度的措施	55
二、提高稳压电源温度稳定度的措施	59
三、减小纹波电压的措施	67

四、过载及短路保护电路	68
第四节 某米波雷达电源部的性能分析	69
一、电路特点和指标	69
二、电路的性能分析	71
三、电路的进一步改进	75
附录:	77
一、晶体管的散热问题	77
二、晶体管的击穿电压	81
三、晶体管的热击穿	83
四、晶体管的二次击穿	84
五、国产晶体管极参数选录	86

### 第三章 小型电源变压器

第一节 变压器的基本工作原理	97
一、变压器的空载运行	97
二、变压器的负载运行	100
三、变压器的折算及等效电路	102
四、变压器的额定值和效率	105
第二节 小型电源变压器的设计	106
一、对变压器的设计要求	106
二、变压器计算的步骤和方法	107
三、整流用的电源变压器的计算	113
第三节 变压器制作的简单工艺及变压器的测试	118
一、变压器制作的简单工艺	118
二、变压器的测试	119
第四节 变压器的维护和故障	120
一、变压器的常见故障	120
二、高压脉冲变压器油的检查和灌油	121
第五节 C型铁芯变压器的计算介绍	122
一、C型铁芯的构造	122
二、C型铁芯变压器计算举例	124

### 第四章 可控硅整流及其在雷达天线 控制系统中的应用

第一节 可控硅的结构和基本工作原理	129
一、可控硅的结构和导通条件	129
二、可控硅的基本工作原理	131
三、可控硅的阳极伏安特性	133

四、可控硅的型号和参数 .....	134
五、可控硅的测试方法和使用注意事项 .....	140
第二节 单相可控整流电路 .....	140
一、单相半波可控整流电路 .....	141
二、单相双半波可控整流电路 .....	147
三、单相桥式可控整流电路 .....	148
第三节 可控硅的触发电路 .....	155
一、可控硅对触发电路的要求 .....	156
二、单结晶体管及其触发电路 .....	157
三、阻容移相桥触发电路 .....	173
第四节 可控硅的串并联及其保护电路 .....	174
一、可控硅的串联 .....	175
二、可控硅的并联 .....	176
三、可控硅的过电流保护 .....	178
四、可控硅的过电压保护 .....	179
第五节 可控硅在雷达天线控制系统中的应用 .....	181
一、某气象雷达天线方位控制电路 .....	181
二、某米波雷达天线可控硅调速装置 .....	184
三、某晶体管小雷达天线方位控制器 .....	186

# 雷 达 直 流 电 源

雷达兵器许多分机需要直流电源供电。为了获得稳定的直流电压，一般都采用了直流稳压电源。直流稳压电源有电子管直流稳压电源和晶体管直流稳压电源两种。这两种稳压电源的组成和原理大致相同，都有以下三个部分：变压器、整流和滤波器、稳压器。为了保证雷达充分发挥战斗性能，适应战备要求，必须对雷达直流稳压电源经常进行维修，有时还需要进行一些技术改进。本书就是为了适应上述需要，在技师班相应教学内容的基础上，着重讲述晶体管直流稳压电源各部分的原理、特点、元件选择和估算方法，并分析典型雷达电源分机的性能和它的改善方法，最后介绍可控硅整流原理及其在雷达天线控制系统中的应用。毛主席教导我们：“学好本领好上前线去”。我们要在无产阶级政治统帅下，努力学好本课程。

## 第一章 整流和滤波电路

雷达许多分机需要直流电。但是，雷达电源车供给的是交流电，市电网供给的也是交流电，整流就是把交流电变为直流电。整流出来的直流电只是极性不变，大小仍然在不断地脉动。为了减小脉动程度，使输出电压比较平稳，在整流电路之后必须有滤波电路。本章就是研究雷达上用到的各种类型的整流电路和滤波电路的原理、特点和估算元件的方法。

### 第一节 电阻性负载整流电路

整流电路的种类很多，按电路形式分，有单相半波、全波、桥式，三相半波、三相桥式等整流电路；按负载性质来分，有电阻性负载和电抗性负载整流电路之分。但无论是哪一种整流电路都是利用二极管的单向导电特性，把交流电变成直流电。下面分别介绍各种整流电路的工作原理和特点。

#### 一、半波整流电路

电路如图 1—1(a) 所示，图中  $B$  为变压器，它将交流输入电压  $U_1$  变为交流电压  $U_2$ ， $BG$  是整流二极管， $R_L$  是负载电阻。

在生产实践中，首先知道的是：(1) 电网电压  $U_1$ ；(2) 负载平均电流  $I_L$ ；(3) 输出电压平均值  $U_0$ 。要解决的问题是如何根据这些数值来 (1) 选择整流二极管  $BG$ 、(2) 确定变压器次级电压  $U_2$  及次级电流  $I_2$  有效值 (设计变压器时要用它)。下面就围绕这两个问题来

讨论。

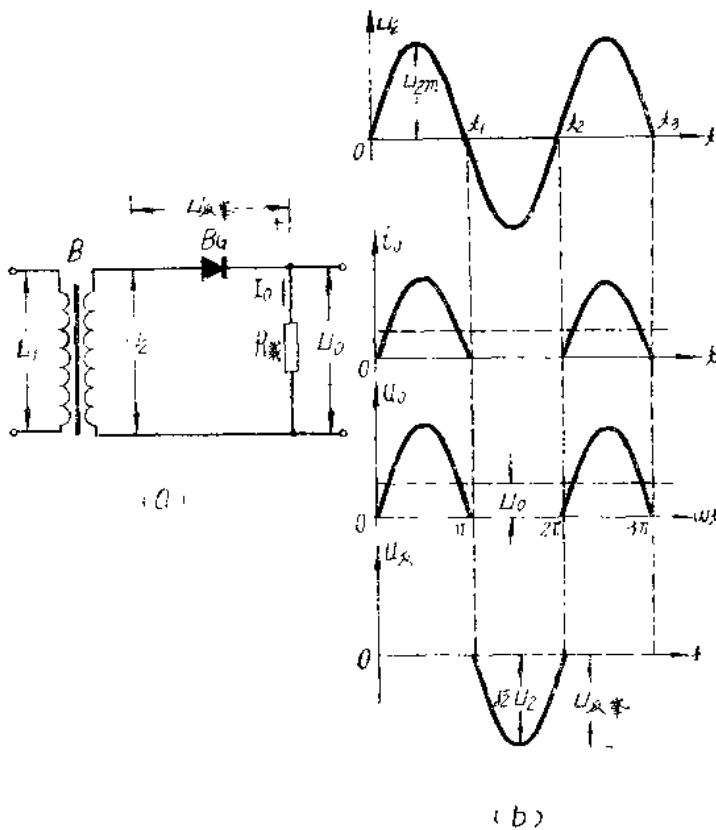


图1-1 半波整流电路

当变压器次级的电压  $u_2$  处于正半周 (即图 1-1(b)  $0-t_1$  段) 时, 二极管  $BG$  导通, 在负载  $R_{\text{载}}$  中有电流  $I_0$  流过, 如果忽略二极管的正向压降, 则  $R_{\text{载}}$  上建立的电压  $u_0$  应与  $u_2$  正半周完全相同。

当  $u_2$  进入负半周 (即  $t_1-t_2$  段), 二极管  $BG$  承受反向电压而截止, 故负载电阻  $R_{\text{载}}$  上的电压为零。可见, 电路中的输出电压是图 1-1(b) 所示的一系列脉动电压, 它的平均电压不为零, 即包含有直流成分。在这种电路中, 只有次级电压  $u_2$  的正半周时才有输出电压, 所以称为半波整流电路。

(一) 选择二极管  $BG$

设  $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$ , 则输出直流电压平均值  $U_0$  为:

$$U_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t = \frac{1}{2\pi} \left[ \int_0^{\pi} U_{2m} \sin \omega t d\omega t \right]$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{\pi}^{2\pi} 0 d\omega t ] = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t \\
 & = \frac{U_2}{\sqrt{2}\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t d\omega t = \frac{U_2}{\sqrt{2}\pi} \cdot 2
 \end{aligned}$$

因此可得

$$U_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.45 U_2 \quad (1.1a)$$

或

$$U_2 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} U_0 = 2.22 U_0 \quad (1.1b)$$

式中  $U_2$  为次级电压有效值。

通过二极管的平均电流为：

$$I_A = \frac{U_2}{R_{\text{载}}} = I_0 \quad (1.2)$$

二极管承受的最大反向电压  $U_{\text{反峰}}$  由图 (b) 可知为：

$$U_{\text{反峰}} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \cdot \frac{\pi}{\sqrt{2}} U_0 = \pi U_0 \quad (1.3)$$

根据以上数据，即可选二极管。查手册时二极管的极限参数应满足下列条件：

最大整流电流  $\geq I_n$

最高反向工作电压（峰值） $\geq U_{\text{反峰}}$

(二) 确定变压器次级电压及电流的有效值：

$$U_2 = \frac{\pi}{\sqrt{2}} U_0 = 2.22 U_0$$

当 BG 导电时，流过次级绕组的电流瞬时值为

$$i_2 = \frac{u_2}{R_{\text{载}}} = \frac{\sqrt{2} U_2}{R_{\text{载}}} \sin \omega t$$

通过次级绕组的电流有效值，根据有效值定义，可得

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_2^2 d\omega t}$$



$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi i_2^2 d\omega t + \frac{1}{2\pi} \int_\pi^{2\pi} 0 d\omega t} \\
&= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \left(\frac{\sqrt{2}U_2}{R_{\text{总}}}\right)^2 \sin^2\omega t d\omega t} \\
&= \frac{U_2}{R_{\text{总}}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t) d\omega t} \\
&= \frac{U_2}{R_{\text{总}}} \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \frac{\pi}{2}} = \frac{U_2}{R_{\text{总}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\pi U_0}{\sqrt{2} R_{\text{总}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}
\end{aligned}$$

因此可得：

$$I_2 = \frac{\pi}{2} I_0 = 1.57 I_0 \quad (1.4)$$

变压器次级绕组的功率为：

$$P_2 = U_2 I_2 = 2.22 U_0 \times 1.57 I_0$$

所以

$$P_2 = 3.48 U_0 I_0 \quad (1.5)$$

在设计半波整流电路时，整流二极管的选择和所用变压器功率的大小应根据上述关系式。

小结：

- (1) 二极管  $BG$  导电角为  $180^\circ$ 。
- (2) 输出电压  $u_0$  具有很大的脉动分量。
- (3) 变压器次级绕组只工作半周，没有充分利用。

【例1—1】 已知单相半波整流电路，纯电阻负载。要求输出直流电压平均值  $U_0 = 30V$ ，负载平均电流  $I_0 = 80mA$ 。试选择二极管型号并计算变压器次级电压和电流有效值  $U_2$  和  $I_2$ 。

解：由 (1.3) 式得  $U_{\text{反峰}} = \pi U_0 = 94.2V$

而  $I_a = I_0 = 80mA$

查晶体管手册，选用  $2CP35C$  硅整流二极管，其最大整流电流  $= 150mA > I_a$ ，

最高反向工作电压 (峰值) =  $225V > U_{反峰}$  所以符合要求。

由 (1.1b) 式得  $U_2 = 2.22 U_0 = 66.6V$

由 (1.4) 式得  $I_2 = 1.57 I_0 = 125.6mA$

变压器次级绕组功率

$$P_2 = U_2 I_2 = 8.40VA$$

半波整流的特点是输出电压只有半个正弦波, 因此输出电压的直流成分较低, 交流成分较多, 脉动程度较大。同时, 负载  $R_L$  上的直流电流流过变压器次级绕组而产生直流磁化, 引起无用的损耗, 使变压器的效率降低。此种电路通常只适用于小功率整流, 且对纹波因数要求不高的场合。它的优点是电路结构简单, 所用的元件少。为了减小交流分量, 提高变压器的利用率, 一般常采用全波整流电路。

## 二、全波整流电路

图 1-2(a) 所示是全波整流电路, 它实际上是两个半波整流电路的组合。变压器次级绕组有中心抽头,  $u_2 = u_2'$ 。相对于中心抽头来讲,  $u_2$  和  $u_2'$  正好是反相位的。电路各点波形如图 1-2(b) 所示。

当正半周时 (即  $0-t_1$  段),  $u_2$  为正,  $u_2'$  为负, 极性如图 1-2(a) 中不带圈的符号所示, 则  $BG_1$  导通,  $BG_2$  截止。负载电阻  $R_L$  上的电流  $i_o$  即为  $BG_1$  中的电流  $i_{a1}$ , 它流经负载后回到变压器的中心抽头成一闭合回路。实际上这时  $BG_1$  起着半波整流的作用, 使  $0-t_1$  段  $u_o$  与  $u_2$  相同。

当次级电压为负半周时 (即  $t_1-t_2$  段),  $u_2$  为负,  $u_2'$  为正, 极性为图 1-2(a) 中带圈的符号所示。二极管  $BG_1$  截止,  $BG_2$  导通, 流过  $R_L$  的电流

$i_o$  即为  $BG_2$  中的电流  $i_{a2}$ , 它流经负载后回到变压器中心抽头成闭合回路。 $BG_2$  也起着半波整流作用。由于  $BG_1$ 、 $BG_2$  轮流导通, 使正负半周都有电流流过  $R_L$ , 都建立输出电压  $u_o$ , 而且方向相同。其波形如图 1-2(b) 所示。

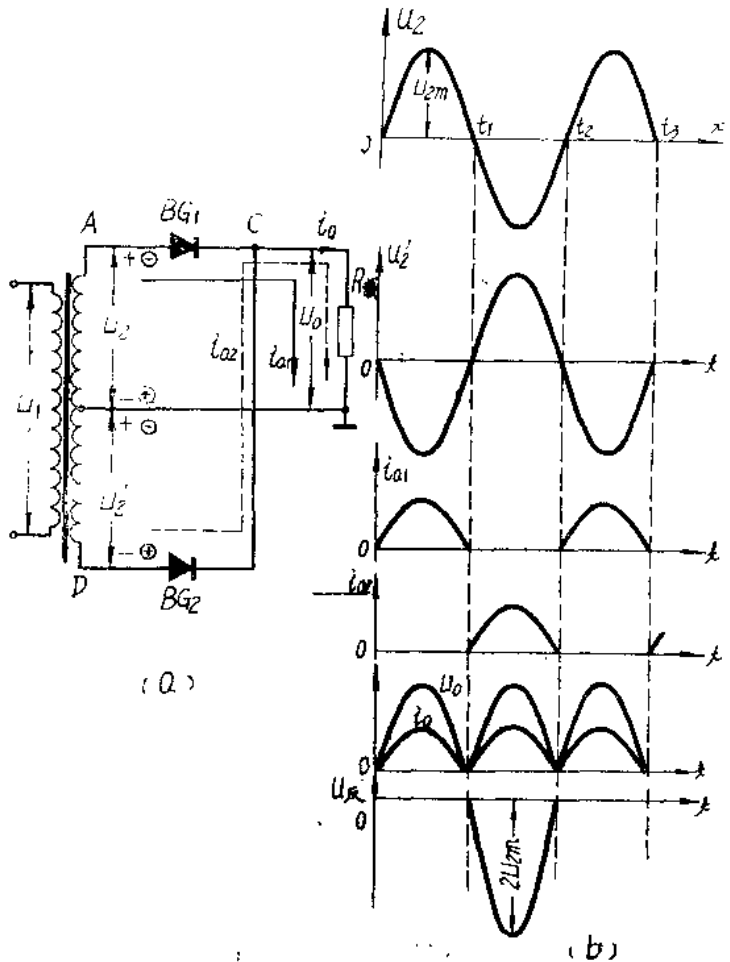


图1-2 全波整流电路

从  $R_{\text{载}}$  上的输出电压波形可见，全波整流电路输出的直流成分比半波整流电路增加了一倍。即：

$$U_0 = 2 \times \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0.9 U_2 \quad (1.6)$$

或

$$U_2 = \frac{1}{0.9} U_0 = 1.11 U_0 \quad (1.7)$$

通过任何一个二极管的平均电流  $I_a$  应为负载平均电流  $I_0$  的一半，即

$$I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{2} I_0 = \frac{1}{2} \frac{U_0}{R_{\text{载}}} \quad (1.8)$$

在第二半周时， $BG_2$  导通， $BG_1$  承受反向电压而截止。忽略  $BG_2$  正向压降，则  $C$  点电位等于  $D$  点电位，所以加在  $BG_1$  上的最大反向电压就是  $AD$  两点最大电压，即

$$U_{\text{反}} = 2\sqrt{2} U_2 = \pi U_0 \quad (1.9)$$

如果半波整流电路变压器次级电压  $U$  和全波整流电路的  $U_2$  相等，则全波整流输出电压  $U_0$  增加一倍，每个二极管的最高反向电压也增加一倍。

全波整流时，通过变压器次级一个绕组的电流有效值  $I_2$  为

$$\begin{aligned} I_2 &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\pi i_{a1}^2 d\omega t + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \left( \frac{\sqrt{2} U_2 \sin \omega t}{R_{\text{载}}} \right)^2 d\omega t} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{U_2}{R_{\text{载}}} \end{aligned}$$

所以

$$I_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{U_0}{R_{\text{载}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{1.11 U_0}{R_{\text{载}}} = 0.78 I_0 \quad (1.10)$$

变压器次级两个绕组的总功率为

$$P_2 = 2 U_2 I_2 = 2 \times 1.11 U_0 \times 0.78 I_0 = 1.73 U_0 I_0 \quad (1.11)$$

上式和 (1.5) 相比较，半波整流时  $P_2$  为  $U_0 I_0$  的 3.48 倍，而全波整流时  $P_2$  只要  $U_0 I_0$  的 1.73 倍就够了，所以全波整流时次级绕组的利用率显然是提高了。

小结：

- (1) 每个二极管  $BG$  导电角为  $180^\circ$ ；
- (2) 输出电压的交流分量较半波时显著减小；
- (3) 变压器次级绕组利用率有所提高；
- (4) 当  $U_2$  和流过整流管的平均电流  $I_a$  与半波电路相等时， $U_0$  增加一倍，二极管承受的反向电压增加一倍， $I_0$  也增加一倍。

【例 1—2】和前例一样，已知  $U_0 = 30V$ ， $I_0 = 80mA$ ，纯电阻负载，但采用全波整流电路，试选二极管的型号，并计算变压器次级绕组的电压和电流有效值  $U_2$  和  $I_2$ 。

解： 1. 选择二极管：

$$\text{通过二极管的平均电流 } I_{a1} = I_{a2} = \frac{1}{2} I_0 = 40 \text{ mA}$$

$$\text{而 } U_2 = 1.11 U_0 = 33.3 \text{ V}$$

$$\text{二极管承受的最高反向电压 } U_{\text{反峰}} = \pi U_0 = 94.2 \text{ V}$$

根据  $I_a$  和  $U_{\text{反峰}}$  之值查手册，选用 2CP6A 硅管，其参数为：

$$\text{最大整流电流} = 100 \text{ mA} > I_a$$

$$\text{最高反向工作电压 (峰值)} = 100 \text{ V} > U_{\text{反峰}}$$

故 2CP6A 符合要求。

2. 计算变压器次级绕组电压、电流：

$$U_2 = 1.11 U_0 = 33.3 \text{ V}$$

$$I_2 = 0.78 I_0 = 62.1 \text{ mA}$$

次级绕组的功率

$$P_2 = 1.73 U_0 I_0 = 4.20 \text{ VA}$$

与例 1—1 相比较，可见采用全波整流后，变压器次级功率减小了一半，二极管的平均电流也减小了一半。

如果整流二极管用电子管，其计算方法和原则也是一样的。

【例 1—3】 如图 1—2 (c) 所示为某微波雷达高压整流器，由高压变压器，整流管  $G_1$ 、 $G_2$ 、 $G_3$ 、 $G_4$  (均为 E 1—0·1/30 型) 和滤波电容  $C_1$  等元件组成，它是单相全波整流电路。高压变压器初级输入为 110V 频率为 127 周的交流电压。整流器输出为 7.5KV 直流高压，供给发射机调制器作为高压电源。整流器输出的直流电流为 220mA。现在验算每个管子通过的电流和承受的反峰电压是多少？变压器次级的功率是多少？看看留有多少余量 (保险量)？

解：已知发射机工作时要求  
整流器输出电压  $U_0 = 7.5 \text{ KV}$ ，  
输出电流  $I_0 = 220 \text{ mA}$ ，

$$\text{则 } U_2 = 1.11 \times 7.5 \text{ KV} \\ = 8.325 \text{ KV}$$

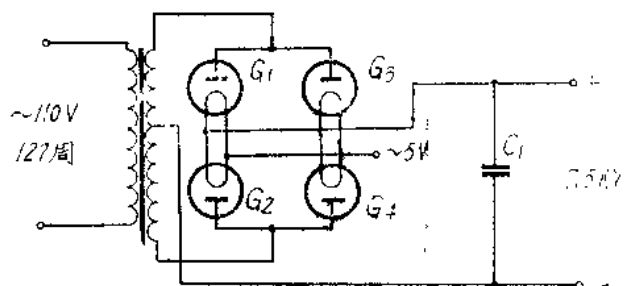
二极管承受的反向电压为：

$$U_{\text{反峰}} = \pi U_0 \\ = 3.14 \times 7.5 \text{ KV} \\ = 23.55 \text{ KV}$$

通过每一管子电流为：

$$I_a = \frac{I_0}{4} \quad (\text{因为二个管子并联}) \\ = \frac{220}{4} \text{ mA} = 55 \text{ mA}$$

$$P_2 = 1.73 \times U_0 \times I_0 = 1.73 \times 7.5 \text{ KV} \times 0.22 \text{ A} = 2.85 \text{ KV} \cdot \text{A}$$



(c)

图1-2

现整流二极管选用E1—0.1/30型电子管，其参数为：

最大整流电流为  $0.1A = 100mA > I_a = 55mA$

最大反向电压（峰值）=  $30KV > U_{反峰} = 23.55KV$

都留有余量。

雷达上变压器的实际容量为：

$P_2 = 2 \times 7130V \times 0.28A = 4KV A > 2.85KV A$

轻负载工作，可使工作温度低一些。

### 三、桥式整流电路

桥式整流电路由四个二极管组成，如图1—3(a)所示。它的整流过程如下：在  $0-t_1$  时间内，变压器次级绕组电压  $U_2$  方向如图中不带圈的符号所示。此时  $BG_1$ 、 $BG_3$  导电，电流沿着图中实线箭头方向通过负载电阻  $R_{载}$ （即由A点  $\rightarrow$   $BG_1 \rightarrow R_{载} \rightarrow BG_3 \rightarrow$  D点）。在  $t_1-t_2$  时间内，变压器次级绕组电压  $U_2$  方向如图中带圈的符号所示。此时  $BG_2$ 、 $BG_4$  导电，电流沿着图中虚线箭头方向流经负载电阻  $R_{载}$ （即由D点  $\rightarrow$   $BG_2 \rightarrow R_{载} \rightarrow BG_4 \rightarrow$  A点）。因此，不论  $U_2$  为正半周或负半周，电流都能分别经由相对的两个二极管由上而下地流过负载  $R_{载}$ 。电路中各处波形如图1—3(c)所示。

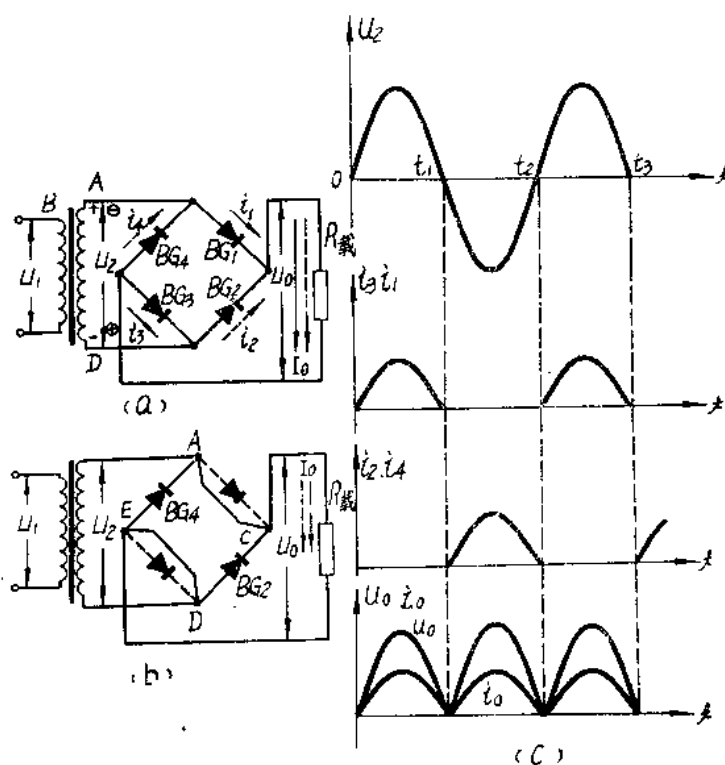


图1—3 桥式整流电路及其波形图

桥式整流电路与全波整流电路一样，只不过每半周导通的的整流管不是一个，而是相串联的两个，所以在负载上的直流电压  $U_0$  和直流电流  $I_0$  分别为（与全波整流一样）

$$U_0 = 0.9U_2 \quad \text{或} \quad U_2 = 1.11U_0 \quad (1.12)$$

因此得

$$I_2 = \frac{U_2}{R_{\text{载}}} = \frac{1.11 U_0}{R_{\text{载}}} = 1.11 I_0 \quad (1.13)$$

次级绕组总功率

$$P_2 = U_2 I_2 = 1.23 U_0 I_0 \quad (1.14)$$

通过二极管的平均电流  $I_{a1} = I_{a2} = I_{a3} = I_{a4} = \frac{1}{2} I_0$

再来看看电路中每个二极管所承受的最大反向电压。在  $0 \sim t_1$  时间内由于  $BG_1$ 、 $BG_3$  导电，其电阻值极小，相当于两根短路导线，如图 1-3(b) 所示。这时  $U_2$  也同时加在  $BG_2$ 、 $BG_4$  上。所以  $BG_2$ 、 $BG_4$  上承受的最大反向电压都是  $U_{2m}$ ，或写为：

$$U_{\text{反峰}} = U_{2m} = 1.41 U_2$$

或

$$U_{\text{反峰}} = \sqrt{2} \cdot \frac{\pi}{2\sqrt{2}} U_0 = \frac{\pi}{2} U_0 = 1.57 U_0$$

同样，在  $U_2$  的另半周时间内，二极管  $BG_3$ 、 $BG_4$  导电， $BG_1$ 、 $BG_2$  承受的最大反向电压也是  $U_{2m}$ 。

从上述全波整流电路和桥式整流电路工作原理可知，正负半周负载上的直流电流，以相等的数值，相反方向流过变压器的次级绕组，产生的直流磁场相互抵消，因此变压器不存在直流磁化的问题，所以全波和桥式整流电路的变压器效率比半波整流为高。

【例 1-4】和前面例题一样，已知需要  $U_0 = 30V$ ， $I_0 = 80mA$ ，纯电阻负载，现采用桥式整流电路，选二极管型号，并计算变压器次级绕组的电压和电流有效值  $U_2$  和  $I_2$ 。

解：1. 选择二极管：

$$\text{因 } U_0 = 0.9 U_2, \quad \text{故 } U_2 = \frac{1}{0.9} U_0 = 1.11 U_0 = 33.3V$$

二极管承受的最高反向电压

$$U_{\text{反峰}} = \sqrt{2} U_2 = 1.41 \times 33.3 = 47V$$

通过二极管的平均电流  $I_a = \frac{1}{2} I_0 = 40mA$

查手册，选用 2CP52 型硅整流二极管，其参数是：

$$\text{最大整流电流} = 75mA > I_a = 40mA$$

$$\text{最高反向工作电压（峰值）} = 100V > U_{\text{反峰}} = 47V。并留有余地。$$

如选用 2CP51 型，因其最高反向工作电压为 50V，勉强大于  $U_{\text{反峰}}(47V)$ ，当工作温度升高时，最高反向工作电压就可能下降到小于  $U_{\text{反峰}}$  而引起击穿，所以决定选用 2CP52。

2. 计算次级绕组的  $U_2$  和  $I_2$ ：

$$U_2 = 1.11 U_0 = 33.3V$$

$$I_2 = 1.11 I_0 = 88.8mA$$

$$P_2 = U_2 I_2 = 2.95VA$$

与全波整流相比较，桥式整流要求变压器次级功率又减小了，而且变压器次级只要一个绕组，不需要中心抽头，每个二极管承受的反向电压也减小了一倍。

【例 1-5】某超短波雷达的稳压电源是用桥式整流电路，负载近似为纯电阻负载，输出

的直流电压  $U_0 = 300V$ ，直流电流  $I_0 = 300mA$ ，试选二极管型号，并计算变压器次级绕组的电压和电流有效值。

解：1. 选二极管：

二极管承受最大的反向电压

$$U_{\text{反峰}} = \sqrt{2} U_2 = \frac{\pi}{2} U_0 = 1.57 \times 300 = 470V$$

通过二极管的平均电流

$$I_a = \frac{1}{2} I_0 = \frac{1}{2} \times 300mA = 150mA$$

查手册，选用2CP26型硅整流二极管，其参数为：

最大整流电流 =  $300mA > I_a$  ( $150mA$ )

最高反向工作电压 (峰值) =  $600V > U_{\text{反峰}}$  ( $470V$ )

都留有余地，但不多。

2. 变压器次级绕组的  $U_2$  和  $I_2$ ：

$$U_2 = 1.11 U_0 = 1.11 \times 300 \approx 330V$$

$$I_2 = 1.11 I_0 = 1.11 \times 300mA \approx 330mA$$

$$P_2 = U_2 I_2 \approx 110VA$$

“有比较才能鉴别。”以上三种电路各有优缺点，现将它们的特性列表于下，在相同的  $U_0$  和  $I_0$  条件下，它们的优缺点是：

表 1-1 三种单相整流电路特性比较 (给定  $U_0$  和  $I_0$  的情况下)

电路形式	每管通过电流平均值 $I_a$	每管承受的最高反向电压 $U_{\text{反峰}}$	变压器次级绕组电压有效值 $U_2$	次级绕组电流有效值 $I_2$	次级绕组总功率 $P$
半波	$I_0$	$\pi U_0$	$2.22 U_0$	$1.57 I_0$	$3.48 U_0 I_0$
全波	$\frac{1}{2} I_0$	$\pi U_0$	$1.11 U_0$	$0.78 I_0$	$1.73 U_0 I_0$
桥式	$\frac{1}{2} I_0$	$\frac{\pi}{2} U_0$	$1.11 U_0$	$1.11 I_0$	$1.23 U_0 I_0$

1. 半波电路：优点：电路简单，所用二极管少。

缺点：(1) 输出交流分量小；  
(2) 通过二极管电流大；  
(3) 管子承受的反峰电压高；  
(4) 次级绕组的利用率低。

2. 全波电路：优点：(1) 输出电压中交流分量小；  
(2) 通过二极管的电流较小；  
(3) 次级绕组的利用率较半波电路高。

缺点：(1) 管子承受的反峰电压高；  
(2) 次级绕组有中心抽头；  
(3) 要用两个管子。

3. 桥式电路：优点：(1) 输出电压中交流分量小；

- (2) 通过二极管的电流较小;
- (3) 次级绕组的利用率高, 且不用中心抽头;
- (4) 管子承受的反峰电压低;

缺点: 使用二极管的数目多, 共四个。

#### 四、倍压整流电路

在雷达兵器或电子设备中, 经常要用到一个电压高但负载电流很小的直流电源。如果采用以上讨论的三种整流电路, 就要求变压器次级绕组有较高的电压, 这样, 次级绕组匝数就很多, 变压器制造就比较复杂, 体积比较大, 造价也比较高。如果采用如图 1—4(a) 所示的倍压整流电路, 就可以得到满意的结果。

当  $u_2$  为正时, 通过  $BG_1$  对  $C_1$  充电, 如图中实线箭头所示。于是电容器  $C_1$  被充到  $u_2$  的最大值  $\sqrt{2}U_2$ , 极性是左端为正, 右端为负。当  $u_2$  为负时, 则  $C_1$  两端电压和  $u_2$  加在一起通过  $BG_2$  对  $C_2$  进行充电, 同时也通过  $BG_2$  供给负载  $R_{\text{载}}$  电流, 如图 1—4(a) 中虚线所示。于是电容  $C_2$  被充到  $2\sqrt{2}U_2$ , 极性下端为正, 上端为负。可见  $BG_1, BG_2$  二极管轮流导电。当  $BG_1$  导电  $C_1$  充电时,  $BG_2$  截止。这时  $C_2$  对  $R_{\text{载}}$  放电, 因为一般  $R_{\text{载}}$  阻值很大, 放电时间常数  $C_2 R_{\text{载}}$  很大, 所以  $C_2$  两端电压 (即负载两端电压) 下降很少, 基本上维持在  $2\sqrt{2}U_2$ 。由于输出电压基本上等于变压器次级电压最大值的两倍, 故称为二倍压整流电路。

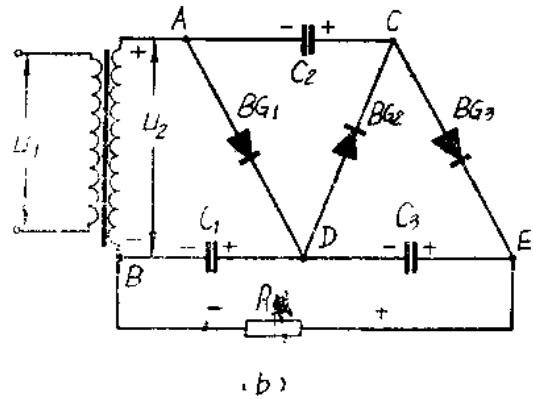
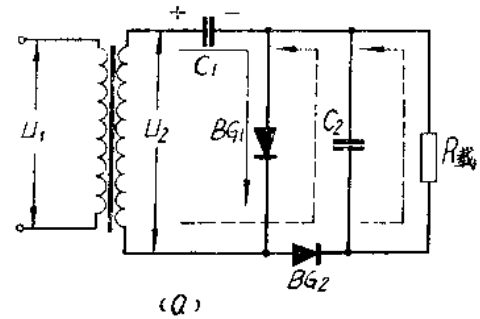


图 1—4 倍压整流电路

电路中所有二极管承受的最高反向电压均为  $2\sqrt{2}U_2$ , 电容  $C_1$  的耐压应大于  $\sqrt{2}U_2$ , 电容  $C_2$  的耐压应大于  $2\sqrt{2}U_2$ 。使用时必须根据这些数据来选择元件。

类似地可以画出三倍压整流电路, 如图 1—4(b) 所示。在第一个半周时, 设  $U_2$  的极性如图所示, 这时  $BG_1$  导电, 电容  $C_1$  被充到  $U_{2m}$ 。当第二个半周时,  $U_2$  极性反过来 (上端为负, 下端为正), 这时  $BG_2$  导电, 电压  $U_2$  加上电容  $C_1$  上的电压  $U_{2m}$  一起向电容  $C_2$  充电到  $2U_{2m}$ 。当第二个周期开始时 (即第三个半周时),  $U_2$  极性又是上端为正, 下端为负, 这时  $BG_1$  又导电,  $A$  点与  $D$  点联通, 同时由于电容  $C_2$  上已充了  $2U_{2m}$  的电压, 故使  $BG_3$  也导电, 即  $C$  点与  $E$  点也联通, 所以使电容  $C_3$  也充到  $2U_{2m}$  (与  $C_2$  上的电压一样), 于是负载  $R_{\text{载}}$  上所得到的电压将是  $C_1, C_3$  上电压之和, 即为  $3U_{2m}$ 。

以此类推, 用  $n$  个整流二极管和  $n$  个电容就可组成  $n$  倍压整流电路。



## 五、三相整流电路

### (一) 三相半波整流电路

图1—5为某超短波雷达的高压整流电路，它是三相半波整流，我们现在讨论一下，如何选择管子及计算变压器次级功率。

设次级绕组的相电压  $u_a = \sqrt{2} U_2 \sin \omega t$ ， $u_b = \sqrt{2} U_2 \sin (\omega t - 120^\circ)$ ， $u_c = \sqrt{2} U_2 \sin (\omega t - 240^\circ)$ ，波形如图(b)所示。

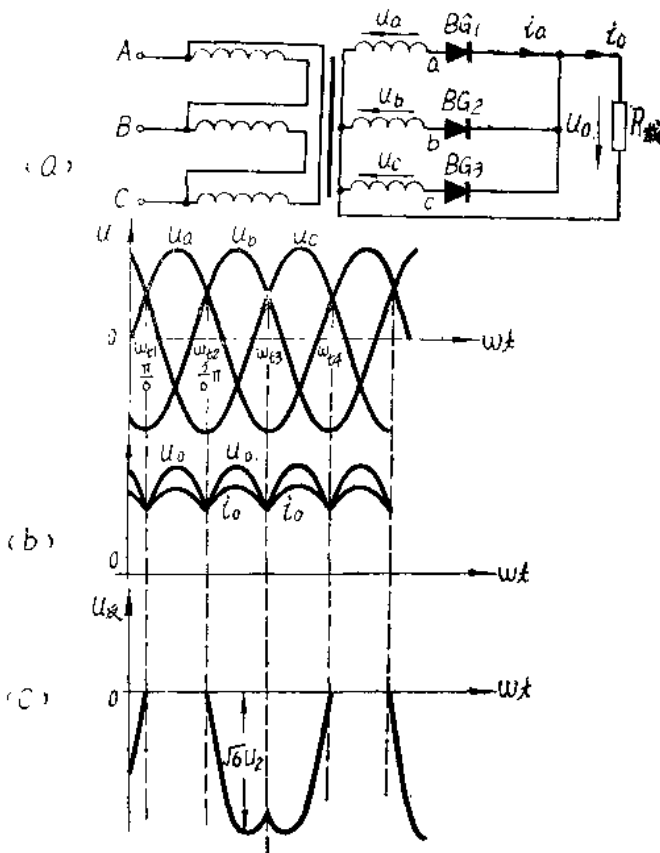


图1—5 三相半波整流电路及其波形图

正包络线。每一个管子在一个周期内导电 $120^\circ$ ，各相绕组只是在正半周的部分时间内有电流流过，所以也是属于半波整流电路。因负载为电阻性，所以输出电流 $i_o$ 波形和 $u_o$ 相似，如图(b)所示，和单相全波纯电阻负载的 $u_o$ 相比较，显然三相半波的 $u_o$ 中包含较小的脉动。

$$\begin{aligned} \text{输出电压的平均值为} \quad U_o &= \frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} u_a d\omega t = \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t \\ &= \frac{3\sqrt{2} U_2}{2\pi} \left[ \cos \omega t \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5}{6}\pi} = \frac{3\sqrt{2} U_2}{2\pi} (\cos 30^\circ - \cos 150^\circ) \end{aligned}$$

为简便起见，略去二极管导电时的正向压降。

因为三个二极管的阴极电位联接在一起，它们具有相同的电位，所以决定哪一个管子导电的原则就是：哪个二极管的阳极电位最高，哪个管子就导电。换句话说，哪一相的电压最高，和该相联接的管子就导电。例如图(b)中， $\omega t_1$ 到 $\omega t_2$ 期间， $u_a$ 最高，所以 $BG_1$ 导电。 $BG_1$ 导电后，由于三个管子的阴极具有相同的电位， $BG_2$ 、 $BG_3$ 均承受反向电压而不能导电。 $\omega t_2$ 到 $\omega t_3$ 期间， $u_b$ 最高，所以 $BG_2$ 导电，其余两个承受反向电压而截止。 $\omega t_3$ 到 $\omega t_4$ 期间， $u_c$ 最高，所以 $BG_3$ 导电，其余两个承受反向电压而截止。随后又轮到 $BG_1$ 导电，如此循环导电。由此可见，当 $\omega t = \omega t_1$ 、 $\omega t_2$ 、 $\omega t_3$ 、 $\omega t_4 \dots$ 时，电流从一相转移到另一相，这种现象叫“换相”。由图(b)看出，负载两端的电压波形就是三相电压波形的