

第十章 直流电源

任何电在设备都需要用直流电源供电。获得直流电源的方法较多，如干电池、蓄电池、直流电机等。但比较经济实用的办法是，把交流电源变成直流。

一般直流电源的组成如图 10.1 所示。

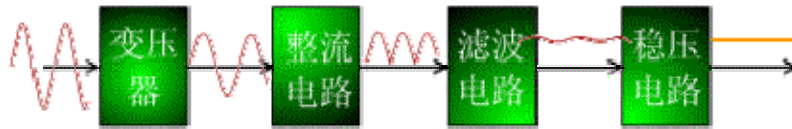


图 10.1

它由源变压器、整流电路、滤波电路和稳压电路四部分组成。电源变压器的作用是把 220V 电网电压变换成所需要的交流电压。整流电路的作用是利用二极管的单向导电性，将正负交替的正弦交流电压变换成单方向的脉动电压。滤波器的作用是将脉动电压中的脉动成分滤掉，使输出电压成为比较平滑的直流电压。稳压电路的作用是使输出的直流电压在电网电压或负载电流发生变化时保持稳定。

10.1 单相整流电路

整流电路是利用二极管的单向导电特性，将正负交替的正弦交流电压变换成单方向的脉动电压。在小功率直流电源中，经常采用单相全波和单相桥式整流电路。单相桥式整流电路用得最为普遍。

10.1.1 单相半波整流电路

1. 电路工作原理

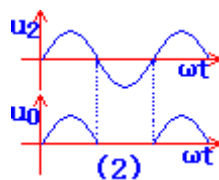
半波整流就是利用二极管的单向导电性能，使经变压器出来的电压 V_o 只有半个周期可以到达负载，造成负载电压 V_L 是单方向的脉动直流电压。

(1) 在变压器次级绕组电压 u_2 为正半周时，二极管导通，则负载上的电压 u_o 、二极管的管

压降 u_D 、流过负载的电流 i_o 和二极管的电流 i_D 为：
$$u_D = 0, \quad i_o = i_D = \frac{u_2}{R_L}$$

(2) 在负半周时，二极管截止。则：
$$u_o = 0, \quad u_D = u_2, \quad i_o = i_D = 0$$

它的整流波形如图 (2) 所示：因为电路只在交流的半个周期二极管导通，才有电流流过负载。因此它被称为半相整流电路。



2. 直流电压和直流电流的计算

输出直流电压为：
$$U_o \approx 0.45U_2$$
，其中： U_2 为变压器次级输出电压的有效值。

输出直流电流为：
$$I_D = I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$
 注：流过二极管的电流即为输出电流。

3.脉动系数

整流输出电压的脉动系数，定义为输出电压的基波最大值与输出直流电压值之比。输出电压的基波最大值可通过半波输出电压的富氏级数求得。

4.选管原则

一般根据二极管的电流和二极管所承受的最大反向峰值电压进行选择。即：二极

管的最大整流电流： $I_T \geq I_D$ ；它的最大反向工作电压 $U_R \geq U_{RM} = \sqrt{2}U_2$

10.1.2 单相全波整流电路

1.电路与工作原理

利用副边有中心抽头的变压器和两个二极管构成如下图所示的全波整流电路。从图中可见，正负半周都有电流流过负载，提高了整流效率。

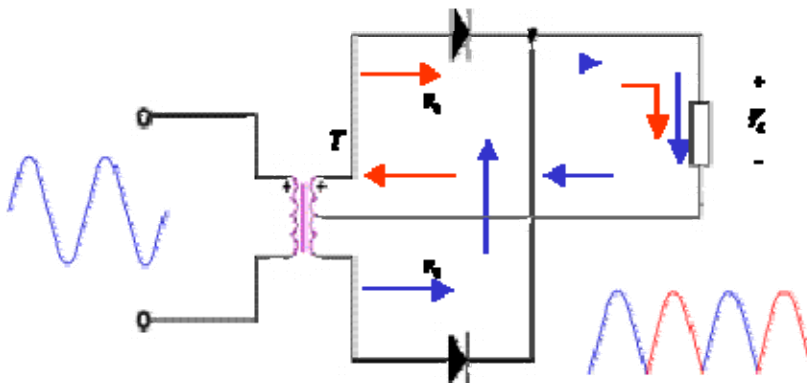


图 10.3

2.直流电压和直流电流的计算

全波整流输出波形是半波整流时的两倍，所以输出直流电压也为半波时的两倍。

3.脉动系数

全波整流电路输出电压的基波频率为 2ω ，由脉动系数的定义，脉动系数较半波有所下降。

4.选管原则

流过每个管子平均电流为输出平均电流的一半。全管整流电路每管承受的反向峰值电压为 U_2 的峰值的 2 倍。

全波整流电路的优点是：电源利用率高，输出电压提高一倍。每个管子仅提供输出电流的一半。但是，要求管子耐压要高，且需要一个具有中心抽头的变压器，工艺复杂，成本高。为此常采用全波整流的另一种形式——桥式整流。

10.3 单相桥式整流

1.电路与工作原理

桥式整流属于全波整流，它不是利用副边带有中心抽头的变压器,而是用四个二极管接成电桥形式，使在电压 V_2 的正负半周均有电流流过负载，在负载形成单方向的全波脉动电压。 u_2 正半周时，D1、D2 导通，D3、D4 截止； u_2 负半周时，D1、D2 截止，D3、D4 导通。流过负载的电流方向一致的。**注：**除管子所承受的最大反向电压不同于全波整流外，其它参数均与全波整流电路相同。

2.直流电压和直流电流的计算

直流电压为: $U_D \approx 0.9U_2$; 直流电流为: $I_D = 2I_D = 0.9 \frac{U_2}{R_L}$

3.脉动系数 S

$$S=0.67$$

10.2 滤波电路

无论哪种整流电路，它们的输出电压都含有较大的脉动成分，这远不能满足我们的要求，因此需要采取措施，尽量降低输出电压中的脉动成分，同时还要尽量保留其中的直流成分，使输出电压更加平滑，接近直流电压。滤波电路即能完成此工作。

电容和电感是基本的滤波元件，主要利用电容器两端电压不能突变和流过电感器的电流不能突变的特点，将电容和负载电阻并联或将电感器与负载电阻串联，即可达到输出波形平滑的目的。

10.2.1 电容滤波电路

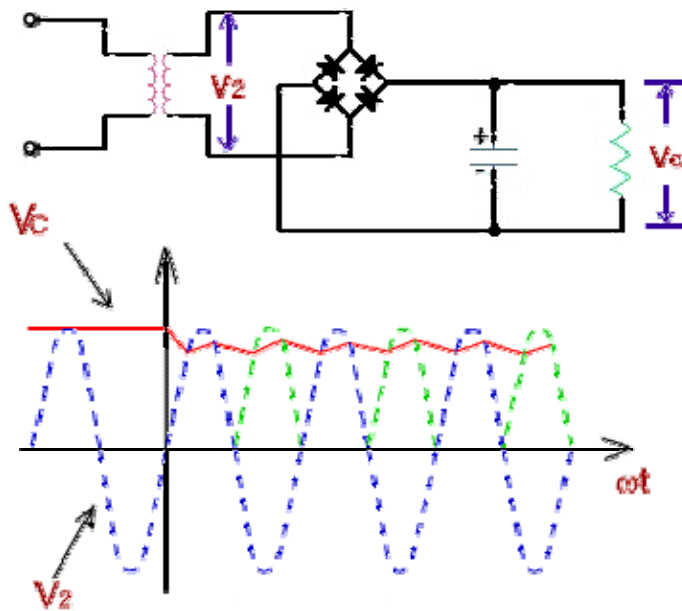


图 10.5

图 10.5 分别是桥式整流电容滤波电路和它的部分波形。这里假设 $t < 0$ 时，电容器 C 已经充电到交流电压 V_2 的最大值（如波形图所示）。

结论 1: 由于电容的储能作用，使得输出波形比较平滑，脉动成分降低输出电压的平均值增大。

$$\text{当 } R_L \rightarrow \infty \text{ 时, } V_c = \sqrt{2} V_2$$

当 $R_L C$ 的值适当，且整流电路的内阻较小（几欧）时，

$$I_2 = (1.1 \sim 1.2) I_1$$

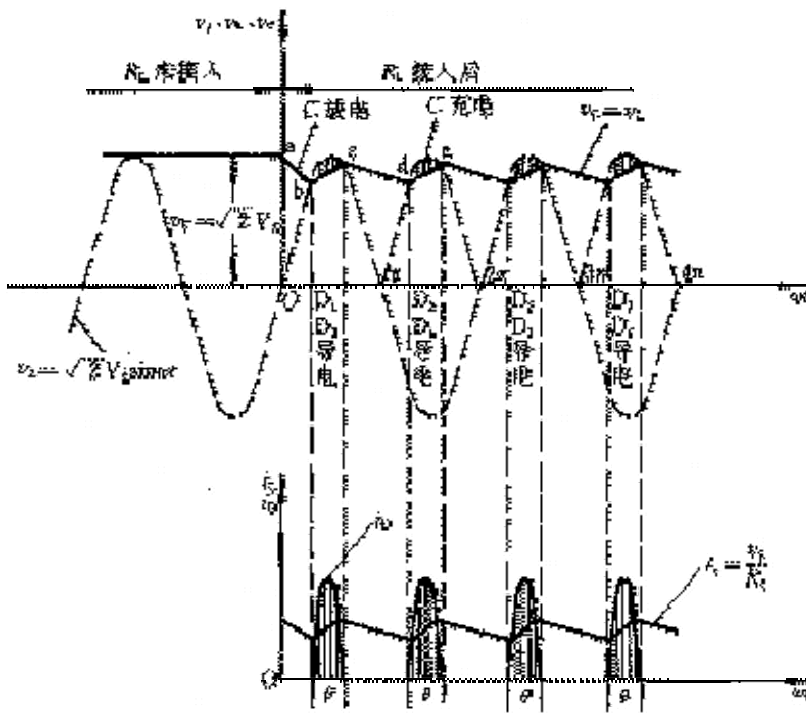


图 10.6

结论 2: 从图 10.6 可看出, 滤波电路中二极管的导电角小于 180° , 导电时间缩短。因此, 在短暂的导电时间内流过二极管很大的冲击电流, 必须选择较大容量的二极管。

在纯电阻负载时: $I_1 = (1.5 \sim 2) I_2$

有电容滤波时: $I_1 = 1.1 I_2$

结论 3: 电容放电的时间 $\tau = R_L C$ 越大, 放电过程越慢, 输出电压中脉动(纹波)成分越少, 滤波效果越好。一般取 $\tau \geq (3 \sim 5) T/2$, T 为电源交流电压的周期。

10.2.2 电感滤波电路

电感滤波电路利用电感器两端的电流不能突变的特点, 把电感器与负载串联起来, 以达到使输出电流平滑的目的。从能量的观点看, 当电源提供的电流增大(由电源电压增加引

起)时,电感器L把能量存储起来;而当电流减小时,又把能量释放出来,使负载电流平滑,所以电感L有平波作用。

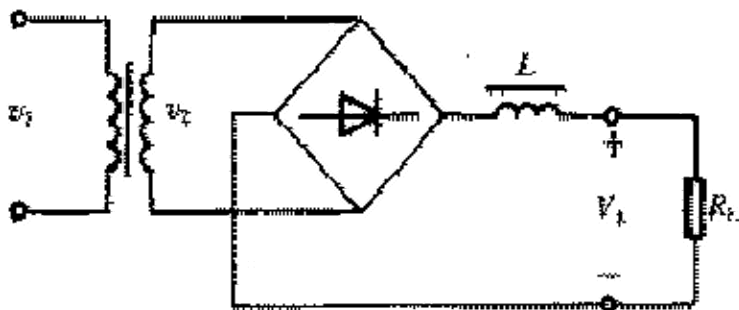


图 10.7

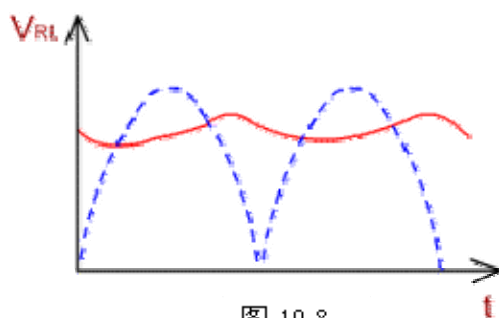


图 10.8

优点: 整流二极管的导电角大,峰值电流小,输出特性较平坦。

缺点: 存在铁心,笨重、体积大,易引起电磁干扰,一般只适应于低电压、大电流的场合。

例 10.1.1 整流滤波电路如图所示,已知 V_1 是 220V交流电源,频率为 50Hz,要求直流电压 $V_L=30V$,负载电流 $I_L=50mA$ 。试求电源变压器副边电压 v_2 的有效值,选择整流二极管及滤波电容。

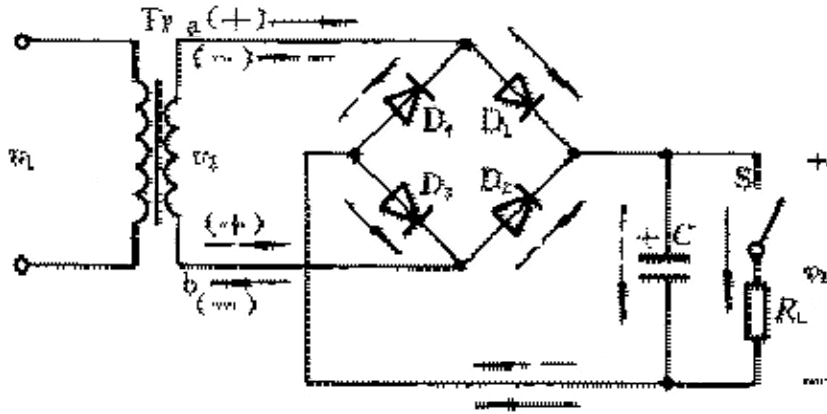


图 10.9

解：(1) 变压器副边电压的有效值

$$\text{由 } U_2 = (1.1 \sim 1.2) U_1, \text{ 取 } U_2 = 1.2 U_1, \text{ 则 } U_2 = \frac{30}{1.2} = 25\text{V}$$

(2) 选择整流二极管流经整流二极管的平均电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_L = 25\text{mA}$$

二极管承受的最大反向电压为 $V_{\text{max}} = \sqrt{2} U_2 = 35\text{V}$

(3) 选择滤波电容

$$R_L = \frac{U_L}{I_L} = \frac{30}{50} \text{k}\Omega = 0.6 \text{k}\Omega$$

因为负载电阻

$$\text{根据 } R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}, \text{ 取 } R_L C = 4 \frac{T}{2} = 4 \times 0.01\text{s} = 0.04\text{s}$$

$$C = \frac{0.04\text{s}}{R_L} = \frac{0.04\text{s}}{600\Omega} = 66.6\mu\text{F}$$

由此得滤波电容

考虑到电网电压波动 $\pm 10\%$ ，则电容所承受的最高电压为

$$V_{\text{max}} = \sqrt{2} U_2 \times (1 + 10\%) = 38.5\text{V}$$

因此选用标称值为 68mF/50V 的电解电容。

10.3 稳压电路

交流电经过整流滤波可得到平滑的直流电压，但当输入电网电压波动和负载变化时，输出电压也随之而变。因此，需要一种稳压电路，使输出电压在电网波动、负载变化时基本稳定在某一数值。

10.3.1 稳压电路的主要指标

稳压电路的主要指标指稳压系数和稳压电路的输出电阻。

1. 稳压系数

稳压系数是在负载固定的前提下，输出电压的相对变化量与稳压电路输入电压的相对变化量之比。该指标反映了电网波动对输出电压的影响。此处稳压电路输入电压就是整流滤波以后的直流电压。

2. 稳压电路的输出电阻

输出电阻可以衡量稳压电路受负载电阻的影响程度。

除上述两个指标外，有时还用其他指标：电压调整率；电流调整率；最大波纹电压；温度系数等。

常用的稳压电路有硅稳压管稳压电路和串联型直流稳压电路。

10.3.2 硅稳压管稳压电路

硅稳压管稳压电路是利用二极管反向击穿特性，其电流变化时，管压降基本不变的特点，组成稳压电路。

1. 稳压原理

稳压管是利用稳压管调节自身的电流大小来满足负载电流的变化，它和限流电阻配合，可以将电流的变化转换成电压的变化以适应电网电压和负载的波动。

2. 指标计算

稳压系数：
$$S_r \approx \frac{r_z}{R} = \frac{U_i}{U_o}$$
，其中： r_z 为二极管的等效电阻。由此可见 r_z 愈小 R 愈大，稳压系数

愈大。输出电阻： $r_o = r_z \parallel R \approx r_z$

10.3.3 串联型稳压电路

射极输出电路（如图 10.13）的输入是固定值的 V_z ，因而输出电压 $V_o = V_z - V_{BE}$ 也为固定值。当电网电压波动时，由于 V_z 基本不变，所以 V_o 也基本不变， V_i 的变化由 V_{CE} 调节，因此三极管被称为调整管。当 R_L 变化引起 I_o 的变化时，只要 ΔI_z 在稳压管的正常范围内， V_z 就基本保持不变。即 V_o 基本恒定。

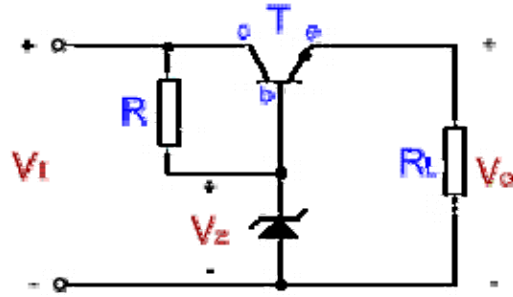


图 10.13

该电路输出电流的变化可扩大为 $(1+\beta)\Delta I_z$ ，因此称为扩流型稳压二极管电路；由于三极管与负载是串联的关系，因此电路也称为串联型稳压电路。

为了改进稳压性能和使输出电压可随意调节，可引入深负反馈使输出电阻降低，引入可随意调节放大倍数的放大器以改变输出电压。

下面分几个方面进行分析：

电路组成：

如图 10.14 所示的电路是由运放组成的串联反馈稳压电路。它由基准电压、比较放大、调整管和取样电路四部分构成。

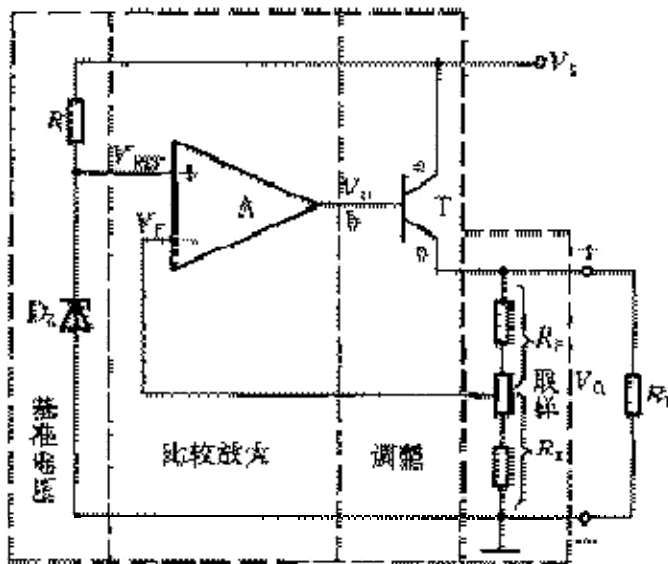


图 10.14

稳压过程： $V_o \uparrow \rightarrow V_f \uparrow (\because V_{ref} \text{ 不变}) \rightarrow V_o \downarrow \rightarrow V_o \downarrow$

$$\begin{aligned} \therefore V_1 &\approx V_2 - A_v(V_{out} - V_1) = A_v V_{out} - A_v V_1 \\ \therefore V_1 &= V_{out} \frac{A_v}{1 + A_v R_f} \approx V_{out} \frac{1}{R_f} = V_{out} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \end{aligned}$$

稳压范围:

可见，该稳压电路输出电压的调整范围取决于 R_1/R_2 。

10.3.4 集成稳压电路

1、三端固定式集成稳压器的封装和引脚功能

以 7800 系列和 7900 系列为例, 其封装形式和引脚功能如图所示。应用时必须注意引脚功能, 不能接错, 否则电路将不能正常工作, 甚至损坏集成电路。

正电压 (7800系列) 负电压 (7900系) 列

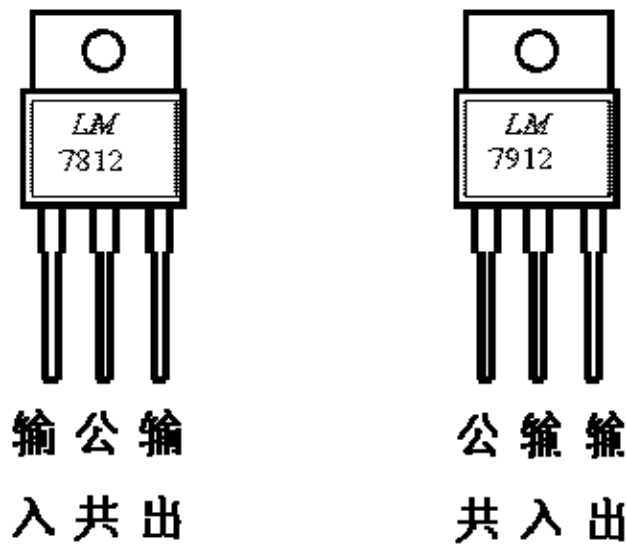


图 10.15

2、三端可调式集成稳压器的封装和引脚功能

电路结构、外接元件 (以 LM317 为例)、外形封装和引脚功能如下图所示。应用时必须注意引脚功能, 不能接错, 否则电路将不能正常工作, 甚至损坏集成电路。

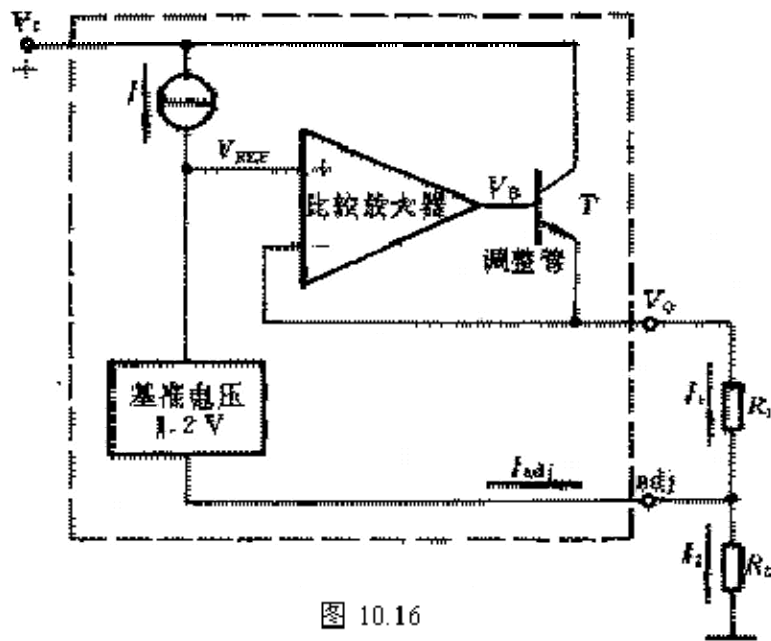
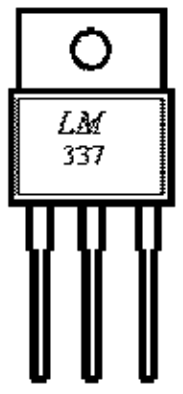
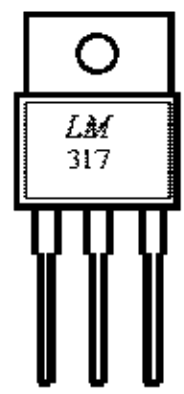


图 10.16

正电压

负电压



调 输 输
整 出 入

调 输 输
整 入 出

图 10.17