

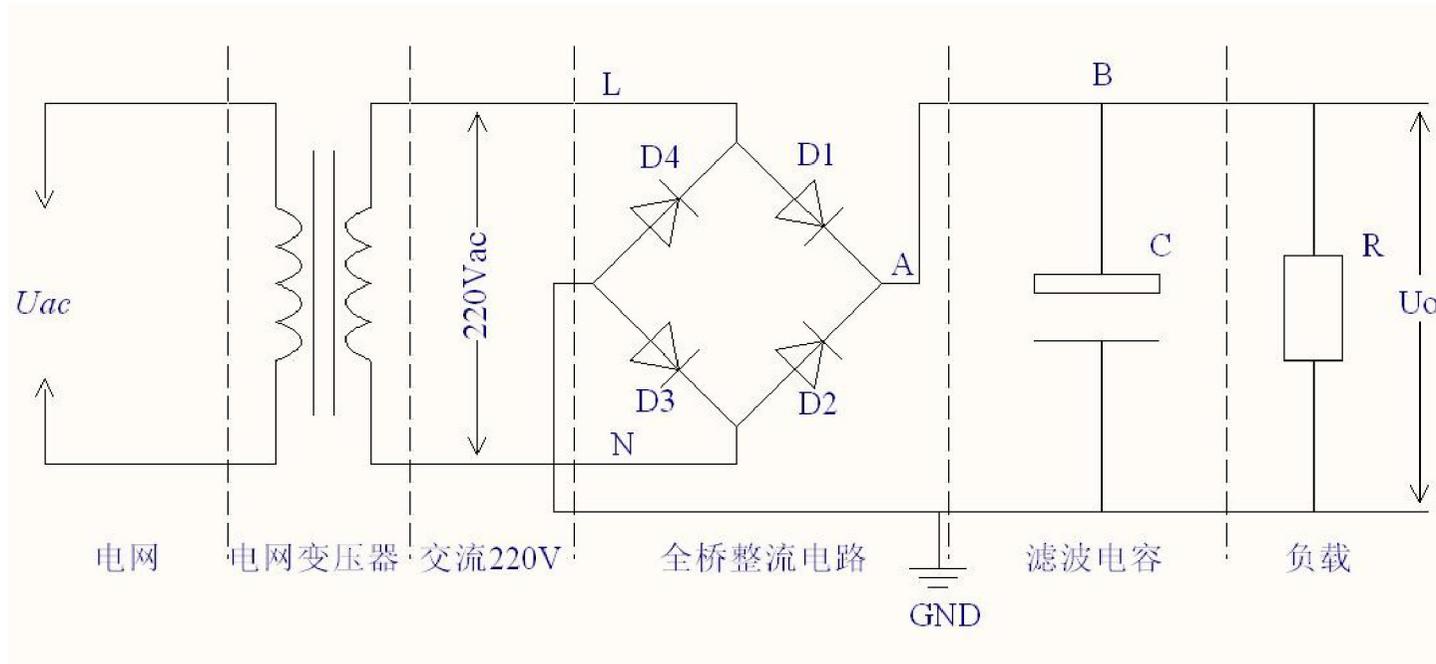
单向全桥整流滤波电路

刘朋飞 2015-2-15

主要内容

- 全桥整流滤波电路组成
- 全桥整流滤波电路原理
- 主要器件选取
 1. 整流桥堆
 2. 滤波电容

1. 全桥整流滤波电路组成



图一

全桥整流滤波电路包括

- 交流电网
- 交流电网隔离变压器
- 全桥整流电路
- 整流滤波电容
- 负载设备

- 交流电网——直接由不同发电厂发电，通过高压电线传送的高压电网络。
- 交流电网隔离变压器——交流电网的电压经过交流电网隔离变压器升压/降压，将能量从变压器的一侧传递到另一侧。此过程主要可以减少电网电压在电网中传送的损耗，提高送电的经济型。
- 全桥整流电路——由四个二极管组成，它是利用二极管的单向导电性，将交流电压转换成含有大量交流成分的直流电压的电路
- 整流滤波电容——用在整流电路之后，主要作用是滤除桥式整流之后的交流成分，使其输出的直流电压更加的平滑，伴随开关电源IC的频率提高，一般的整流滤波电容选用高频电解电容。
- 负载设备——滤波电路之后所带实际整体负载（总功率），用一个假设的电阻负载代替。

一、全桥整流电路

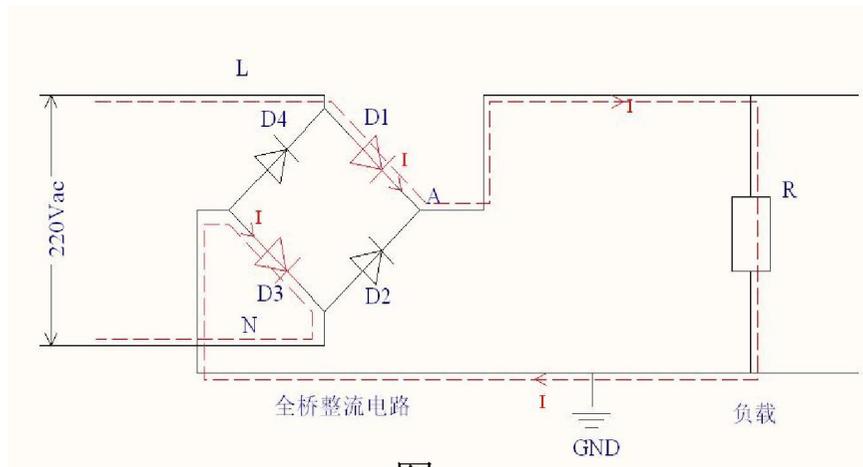
桥式整流电路是使用最多的一种整流电路。电路如图二所示，利用四个二极管将正弦交流电压转换成含有交流分量的直流电压。

全桥整流电路工作原理：当交流电压上正下负时（正弦波上半个周期），二极管D1，D3正向偏置导通，D2，D4反向截止，此时正弦交流电压的正半周期电压通过D1，D3整流，负半周期由于D2，D4截止不导通，如图三所示为D1，D3导通时A点电压电流波形。

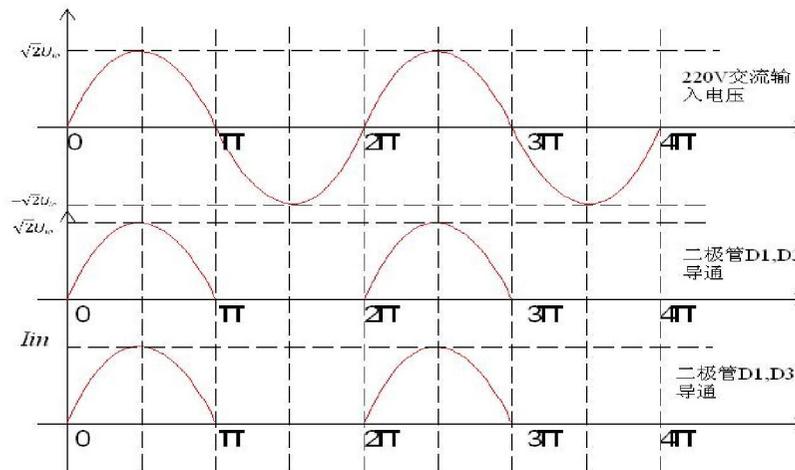
整流输出电压的最大值 U_{omax} 为：

$$U_{OMAX} = \sqrt{2}U_{in} = 220 * \sqrt{2} = 375V$$

$$I_{inmax} = U_{omax} / R$$



图二



图三

当交流电压上负下正时（正弦波下半个周期），二极管D2, D4正向偏置导通，D1, D3反向截止，此时正弦交流波形的负半周期通过D2, D4整流，正半周期由于D1, D3截止不导通，如图四所示为D2, D4导通时A点电压电流波形。

整流输出电压的最大值 U_{omax} 为：

$$U_{OMAX} = \sqrt{2}U_{in} = 220 * \sqrt{2} = 375V$$

$$I_{inmax} = U_{omax} / R$$

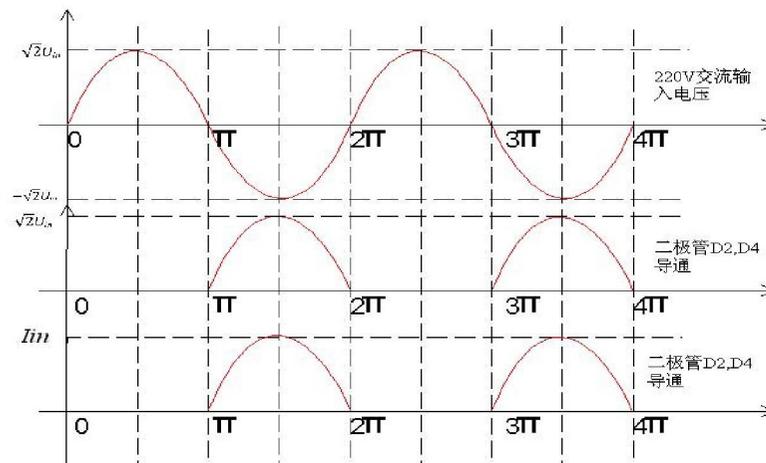
全桥整流电路整流输出直流电压和电流同相位，并中含有大量交流纹波如图五：

$$U_A = \sqrt{2} U_{IN} \sin(\omega t)$$

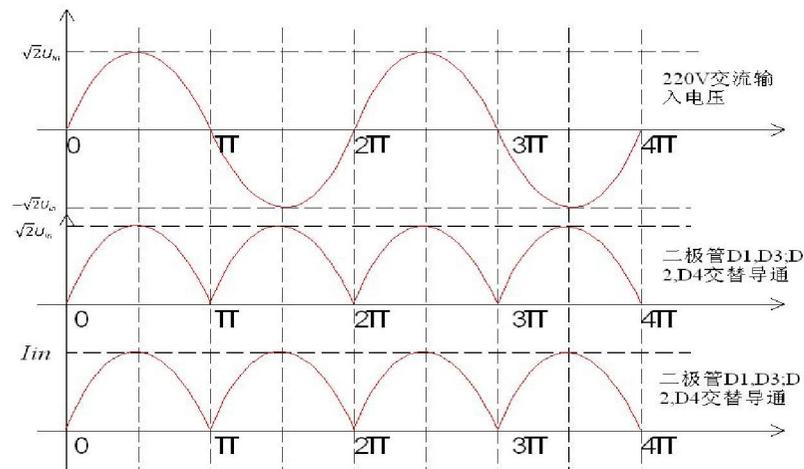
在一个周期内平均电压，电流为

$$U_{AR} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U_{IN} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sin(\omega t) = 0.9 U_{IN}$$

$$I_{AR} = \frac{U_{AR}}{R} = \frac{0.9 U_{IN}}{R}$$



图四



图五

二、脉动系数 S

S 定义：整流输出电压的基波峰值电压 $U_{A\text{MAX}1}$ 与平均输出电压 U_{AR} 之比。

用傅里叶级数对全波整流输出电压 U_A 分解得到：

$$U_A = \sqrt{2}U_{IN} \left(\frac{2}{\pi} - \frac{4}{3\pi} \cos 2\omega t - \frac{4}{15\pi} \cos 4\omega t - \frac{4}{35\pi} \cos 6\omega t \dots \right)$$

则输出电压的二次谐波分量为：

$$U_{A\text{max}1} = \sqrt{2}U_{IN} \frac{4}{3\pi} \cos 2\omega t$$

全桥整流输出电压脉动系数为：

$$S = \frac{U_{A\text{MAX}1}}{U_{AR}} = \frac{\frac{4\sqrt{2}U_{IN}}{3\pi}}{\frac{2\sqrt{2}U_{IN}}{\pi}} = \frac{2}{3} \approx 0.67$$

全桥整流输出脉动系数比较大，引入电容滤波电路

三、整流滤波电路

如图六为桥式整流电容滤波电路，电容 C 用于滤除全桥整流之后的交流分量电压。

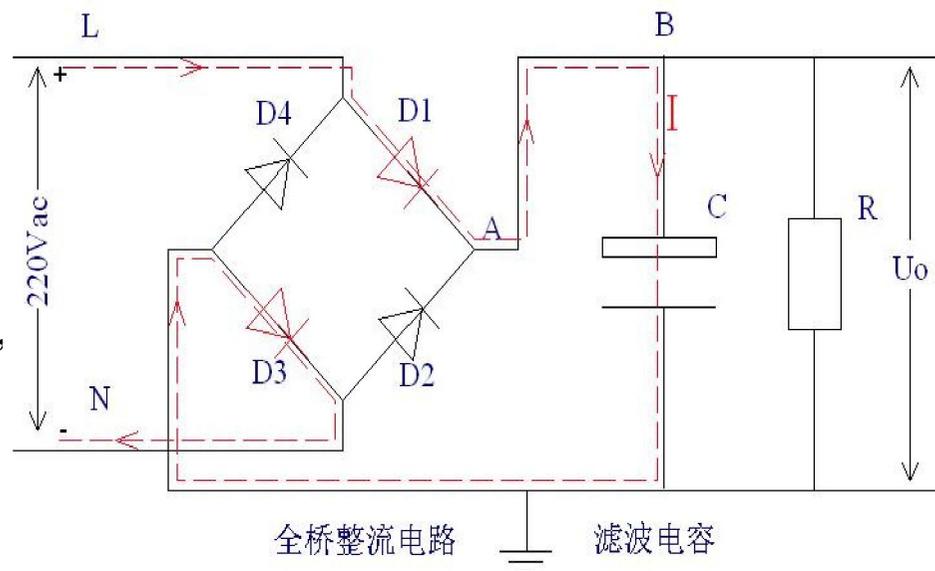
工作原理：

电流滤波原理主要利用对电容的充电，放电使其在电容上的电压变得平滑。

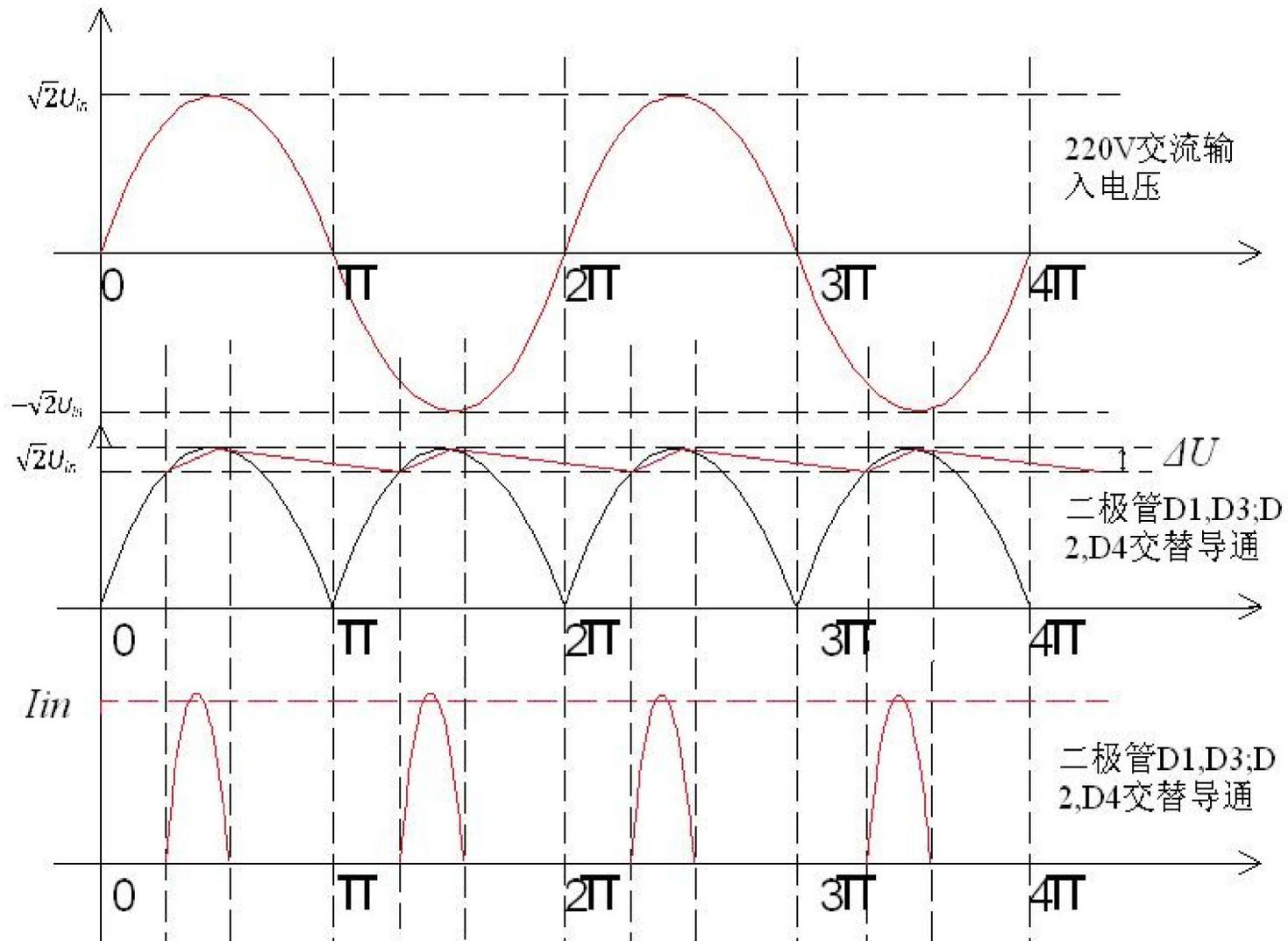
当 $220V$ 输入正弦交流电正半周期并且数值大于滤波电容两端电压 U_B 时，二极管 $D1$ ， $D3$ 导通， $D2$ 和 $D4$ 管截止，电流一路经过负载电阻，一路对电容 C 充电，当 U_B 大于 U_{IN} 导致 $D1$ ， $D3$ 方向偏置而截止，电容 C 通过负载电阻 R 放电，使 U_B 按照指数规律慢慢下降。

当 $220V$ 输入正弦交流电负半周期幅值变化到大于 U_B 时，二极管 $D2$ ， $D4$ 因正向电压变为导通， U_B 上升到 U_{IN} 峰值后开始下降；下降到一定数值时 $D2$ ， $D4$ 截止，电容通过负载电阻 R 放电，使 U_B 按照指数规律慢慢下降；放电到一定数值时 $D1$ ， $D3$ 导通，重复上述过程。

电容充放电波形如图七所示。



图六



图七

电容充放电波形如图七所示，设定滤波电压的纹波电压为 Δu 滤波电压最大值 U_{BMax} 最小值 U_{BMin} 以及平均值 U_{Bave} 分别为：

最大值为当角频率在 $\pi/2$ 时

$$U_{BMax} = \sqrt{2}U_{IN} \sin \omega t (t = \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2}U_{IN}$$

最小值为当输入电压低于电容电压，允许最大纹波电压 Δu 时

$$U_{BMin} = \sqrt{2}U_{IN} \sin \omega t - \Delta u (t = \frac{\pi}{2}) = \sqrt{2}U_{IN} - \Delta u$$

所以电容滤波之后的输出平均电压为：

$$U_{Bave} = \frac{U_{BMax} + U_{BMin}}{2} = \frac{\sqrt{2}U_{IN} + \sqrt{2}U_{IN} - \Delta u}{2} = \sqrt{2}U_{IN} + \frac{\Delta u}{2}$$

纹波系数 γ 为：

$$\gamma = \frac{\Delta u}{U_{Bave}} = \frac{\Delta u}{(\sqrt{2}U_{IN} + \frac{\Delta u}{2})}$$

四、整流桥堆的选取

对于全桥整流滤波电路中整流桥堆的选取主要参数是：

1. 反向峰值电压 U_{rm}
2. 正向压降 V_f 一般为半导体的结压降 0.3-0.7V
3. 平均整流电流 I_d
4. 正向峰值浪涌电流 I_{fsm}
5. 最大方向电流 I_r

要求反向峰值电压大于1.25倍的输入交流电压峰值

$$U_{rm} \geq 1.25\sqrt{2} U_{inmax}$$

平均整流电流 I_d

$$I_d = \frac{1}{2} I_{in} = \frac{1}{2} \frac{P_o}{\sqrt{2} U_{in}}$$

有效值电流 I_m

$$I_m = \frac{P_o}{\eta \cos \theta U_{in}}$$

波形系数Kf

$$K_f = \frac{I_{rm}}{I_d} = \frac{\frac{P_o}{\eta \cos \theta U_{in}}}{\frac{1}{2\sqrt{2}} \frac{P_o}{U_{in}}} = \frac{2\sqrt{2}}{\eta \cos \theta}$$

正向峰值电流一般取2-3倍的 I_{rm}

例子:

输入交流85Vac ~264Vac 输出功率12W, 则整流桥堆选择:

1. 反向电压计算

$$U_{rm} \geq 1.25\sqrt{2} U_{inmax} = 1.25 * 375 = 468V$$

选择600V耐压的整流桥, 如果二极管可以选择1000V, 因为二极管本身比较便宜。

2. 有效值电流计算

$$I_{rm} = \frac{P_o}{\eta \cos \theta U_{in}} = \frac{12}{0.8 * 0.6 * 85} = 0.294 A$$

3. 浪涌峰值电流选择2-3倍的有效值电流。

所以 整流桥堆选择1A电流的桥堆, 或者选择二极管IN4007, 对于大功率如果控制IC的频率过高可以选择快恢复二极管 UF4007.

由于电流滤波波形为指数形式，在很短时间可以简化成直线，为了简化计算，波形如图八所示，电容滤波波形为锯齿波。

利用输出纹波系数计算：

对于电容滤波可以认为电容相当于一个电压源，设输入/输出电压最大值 U_{max} ，输出电压最小值 U_{min} ，纹波电压 $\Delta U = U_{max} - U_{min}$ ，输出功率 P_o ，交流输入电压 U_{in} ，效率 η ，负载电阻 R 。则图八所示：

输入有效电压最大值 U_{max} ： $U_{max} = \sqrt{2} U_{in}$ ；

输入功率 P_{in} ： $P_{in} = \frac{P_o}{\eta}$ ；

输入有效电流 I_{in} ： $I_{in} = \frac{P_{in}}{U_{max}} = \frac{P_o}{\sqrt{2}\eta U_{in}}$

设电容放电时间为 $t_2 = (3-5) RC$ ，则充电时间为 $t_1 = T - t_2$

根据电容的计算公式有

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{I_{in} * t_1}{\Delta U} = \frac{I_{in} * (T - t_2)}{\Delta U}$$

t2计算方法:

如图电容滤波波形, 锯齿波波形 $\Delta ABC \cong \Delta AB'C'$ 得到:

$$\frac{AB}{AB'} = \frac{BC}{B'C'} \Rightarrow \frac{\Delta U}{U_{\max}} = \frac{t_2}{(3 \sim 5)\tau}$$

所以t2 得出 $t_2 = \frac{\Delta U * (3 \sim 5)\tau}{U_{\max}}$ 公式1

由电容公式有

$$C = \frac{I_{in} * (T - t_2)}{\Delta U} = \frac{P_o(T - t_2)}{\sqrt{2}\eta U_{in}\Delta U} \quad \text{公式2}$$

由公式1, 公式2联立得出

$$C = \frac{\sqrt{2}T * U_{in} * P_o}{2\eta * U_{in}^2 * \Delta U + (3 \sim 5)R * \Delta U * P_o}$$

由于计算中t2与实际放电时间长, 所以计算出来的电容容量稍微偏小, 所以取偏大20%做为实际值

例如输出12W功率时, 整流电容可以选取15uF并联4.7uF。