

3 章 交流-直流变换电路 课后复习题

第 1 部分：填空题

1. 电阻负载的特点是 电压与电流波形、相位相同；只消耗电能，不储存、释放电能，在单相半波可控整流电阻性负载电路中，晶闸管控制角 α 的最大移相范围是 $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ 。

2. 阻感负载的特点是 电感对电流变化有抗拒作用，使得流过电感的电流不发生突变，在单相半波可控整流带阻感负载并联续流二极管的电路中，晶闸管控制角 α 的最大移相范围是 $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ ，其承受的最大正反向电压均为 $\sqrt{2}U_2$ ，续流二极管承受的最大反向电压为 $\sqrt{2}U_2$ （设 U_2 为相电压有效值）。

3. 单相桥式全控整流电路中，带纯电阻负载时， α 角移相范围为 $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$ ，单个晶闸管所承受的最大正向电压和反向电压分别为 $\sqrt{2}U_2$ 和 $\sqrt{2}U_2$ ；带阻感负载时， α 角移相范围为 $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ，单个晶闸管所承受的最大正向电压和反向电压分别为 $\sqrt{2}U_2$ 和 $\sqrt{2}U_2$ ；带反电动势负载时，欲使电阻上的电流不出现断续现象，可在主电路中直流输出侧串联一个 平波电抗器(大电感)。

4. 单相全控桥反电动势负载电路中，当控制角 α 大于不导电角 δ 时，晶闸管的导通角 $\theta =$ $180^\circ - \delta - \alpha$ ；当控制角 α 小于不导电角 δ 时，晶闸管的导通角 $\theta =$ 0° 。

5. 从输入输出上看，单相桥式全控整流电路的波形与 单相全波可控整流电路 的波形基本相同，只是后者适用于 较低 输出电压的场合。

6. 电容滤波单相不可控整流带电阻负载电路中，空载时，输出电压为 $\sqrt{2}U_2$ ，随负载加重 U_d 逐渐趋近于 $0.9 U_2$ ，通常设计时，应取 $RC \geq$ $1.5 \sim 2.5 T$ ，此时输出电压为 $U_d \approx$ $1.2 U_2$ (U_2 为相电压有效值)。

7. 电阻性负载三相半波可控整流电路中，晶闸管所承受的最大正向电压 U_{Fm} 等于 $\sqrt{6}U_2$ ，晶闸管控制角 α 的最大移相范围是 $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ，使负载电流连续的条件为 $\alpha \leq 30^\circ$ (U_2 为相电压有效值)。

8. 三相半波可控整流电路中的三个晶闸管的触发脉冲相位按相序依次互差 120° ，当它带阻感负载时， α 的移相范围为 $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ 。

9. 三相桥式全控整流电路带电阻负载工作中，共阴极组中处于通态的晶闸管对应的是 电压最高 的相电压，而共阳极组中处于导通的晶闸管对应的是 电压最低 的相电压；这种电路 α 角的移相范围是 $0^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ ， u_d 波形连续的条件是 $\alpha \leq 60^\circ$ 。

10*. 电容滤波三相不可控整流带电阻负载电路中，电流 i_d 断续和连续的临界条件是 $R = \sqrt{3} / \omega C$ ，电路中的二极管承受的最大反向电压为 $\sqrt{6}U_2$ U_2 。

11. 实际工作中，整流电路输出的电压是周期性的非正弦函数，当 α 从 $0^\circ \sim 90^\circ$ 变化时，整流输出的电压 u_d 的谐波幅值随 α 的增大而 增大，当 α 从 $90^\circ \sim 180^\circ$ 变化时，整流输出的电压 u_d 的谐波幅值随 α 的增大而 减小。

12. 三相桥式全控整流电路带阻感负载时，设交流侧电抗为零，直流电感 L 为足够大。当 $\alpha = 30^\circ$ 时，三相电流有效值与直流电流的关系为 $I = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d$ ，交流侧电流中所含次谐波次数为 $6k \pm 1, k=1, 2, 3, \dots$ ，其整流输出电压中所含的谐波次数为 $6k, k=1, 2, 3, \dots$ 。

13. 对于三相半波可控整流电路，换相重叠角的影响，将使输出电压平均值 减小。

14. 逆变电路中，当交流侧和电网联结时，这种电路称为有源逆变，欲实现有源逆变，只能采用全控型可控整流电路，当控制角 $0 < \alpha < \pi/2$ 时，整流电路工作在整流状态； $\pi/2 < \alpha < \pi$ 时，整流电路工作在有源逆变状态。

15. 在整流电路中，能够实现有源逆变的有单相全控、三相全控桥等（可控整流电路均可），其工作在有源逆变状态的条件是有直流电动势，其极性和晶闸管导通方向一致，其值大于变流器直流侧平均电压和晶闸管的控制角 α 大于 $\pi/2$ 。

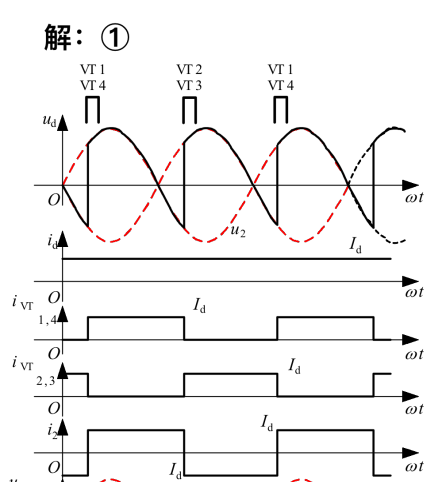
16. 晶闸管直流电动机系统工作于整流状态，当电流连续时，电动机的机械特性为一组平行的直线，当电流断续时，电动机的理想空载转速将增大，随 α 的增加，进入断续区的电流加大。

17. 直流可逆电力拖动系统中电动机可以实现四象限运行，当其处于第一象限时，电动机作电动运行，电动机正转，正组桥工作在整流状态；当其处于第四象限时，电动机做发电机运行，电动机反转，正组桥工作在逆变状态。

18. 大、中功率的变流器广泛应用的是锯齿波触发电路，同步信号为锯齿波的触发电路，可分为三个基本环节，即脉冲的形成与放大、锯齿波的形成和脉冲移相和同步环节。

第 3 部分：计算和画图题

1. 单相桥式全控整流电路， $U_2 = 100V$ ，负载中 $R = 2\Omega$ ， L 值极大，当 $\alpha = 30^\circ$ 时，要求：①作出 u_d 、 i_d 、和 i_2 的波形；②求整流输出平均电压 U_d 、电流 I_d ，变压器二次电流有效值 I_2 ；③考虑安全裕量，确定晶闸管的额定电压和额定电流。



解：②

③

取安全裕量为 2， \therefore 额定电压 282V。

取安全裕量为 2， \therefore 额定电流为 35.1A。

2. 单相桥式全控整流电路带电阻负载工作，设交流电压有效值 $U_2 = 220V$ ，控制角 $\alpha = \pi/3$ ，负载电阻 $R_d = 5\Omega$ ，试求：(1) 输出电压的平均值 U_d ；(2) 输出电流有效值 I 。

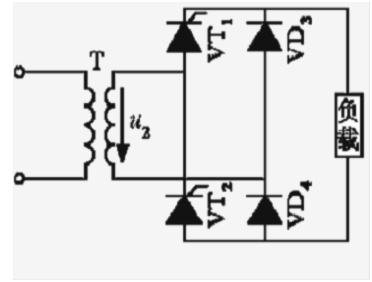
解：输出电压的平均值为

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d(\omega t) = 0.9 U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 0.9 \times 220 \times \frac{1 + \cos 60^\circ}{2} = 148.5V$$

输出电压的平均值为

$$I_d = \frac{U_d}{R_d} = \frac{148.5}{5} = 29.7A$$

3. 晶闸管串联的单相半控桥（桥中 VT_1 、 VT_2 为晶闸管，电路如下图所示， $U_2 = 100V$ ，电阻电感负载， $R = 2\Omega$ ， L 值很大，当 $\alpha = 60^\circ$ 时求流过器件电流的有效值，并作出 u_d 、 i_d 、 i_{VT} 、 i_D 的波形。

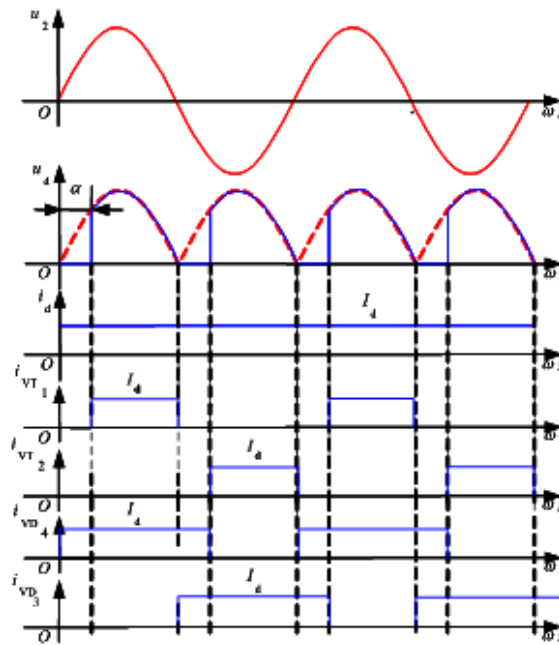


解:
$$U_d = 0.9U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2} = 67.5V$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = 33.78A$$

$$I_{VT} = \sqrt{\frac{\pi - \pi/3}{2\pi}} I_d = \sqrt{\frac{1}{3}} I_d = 19.5A$$

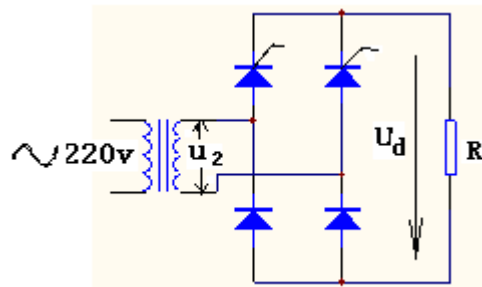
$$I_{VD} = \sqrt{\frac{\pi + \pi/3}{2\pi}} I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = 27.6A$$



4. 单相桥式半控整流电路，电阻性负载。要求输出的直流平均电压为 $0 \sim 100V$ 之间连续可调， $30V$ 以上时要求负载电流达到 $20A$ ，由交流 $220V$ 供电，最小控制角 $\alpha_{\min} = 30^\circ$ ，试

- (1) 画出主电路图；
- (2) 求交流侧电流有效值及变压器容量；
- (3) 选择晶闸管的型号规格（安全余量取 2 倍）。

解：1) 单相桥式半控整流电路的主电路图如下所示：



2) 单相桥式半控整流电路接电阻性负载时输出电压的平均值为：

$$U_d = 0.9U_2 \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

当控制角为最小时，对应的整流输出电压为最大值，即

$$U_{d\max} = 0.9U_2 \frac{1 + \cos \alpha_{\min}}{2}, \text{ 代入 } \alpha_{\min} = 30^\circ, U_{d\max} = 100V \text{ 可得:}$$

$$U_2 = \frac{2U_{d\max}}{0.9(1 + \cos \alpha_{\min})} = \frac{2 \times 100}{0.9(1 + \cos 30^\circ)} = 119V$$

当 $U_d = 30V$ 时所对应的控制角 α 为:

$$\cos \alpha = \frac{2U_d}{0.9U_2} - 1 = \frac{2 \times 30}{0.9 \times 119} - 1 = -0.44, \text{ 即, } \alpha = 116^\circ$$

当 $\alpha = 116^\circ$ 时, 要保证整流电路输出电流为 20A, 所需变压器二次侧电流有效值为:

$$I_2 = \frac{U_2}{R} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{\pi}} = \frac{119}{30/20} \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2 \times 116^\circ + \frac{\pi - 116^\circ}{\pi}} = 38A$$

所以, 变压器的容量为:

$$S = U_2 I_2 = 119 \times 38 = 4.522KV \cdot A$$

由此可得, 变压器一次侧电流有效值为:

$$I_1 = \frac{U_2 I_2}{U_1} = \frac{119 \times 38}{220} = 20.55A$$

3) 当 $\alpha = 116^\circ$ 时, 流过晶闸管电流的有效值为:

$$I_T = \frac{U_2}{R} \sqrt{\frac{1}{4\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - \alpha}{2\pi}} = \frac{I_2}{\sqrt{2}} = \frac{38}{\sqrt{2}} = 26.87A$$

所以, 考虑 2 倍安全裕量时所选晶闸管的电流平均值为:

$$I_{T(AV)} = 2 \times \frac{I_T}{1.57} = 34A$$

考虑 2 倍安全裕量时, 晶闸管所承受的最大电压为:

$$U_{TM} = 2\sqrt{2}U_2 = 2 \times \sqrt{2} \times 119 = 336.6V, \text{ 取为 } 400V。$$

因此, 应选型号为 KP50-4 型的晶闸管。

5. 三相桥式全控整流电路带电阻负载工作, 设交流电压有效值 $U_2 = 400V$, 负载电阻 $R_d = 10\Omega$, 控制角 $\alpha = \pi/2$, 试求: (1) 输出电压平均值 U_d ; (2) 输出电流平均值 I_d 。

解:

6. 三相全控桥式整流电路, $L = 100mH$, $R_d = 6\Omega$, 要求 U_d 从 0~468V 之间变化, 试求:

- (1) 变压器二次电压有效值 U_2
- (2) 考虑 2 倍安全裕量, 选择晶闸管的型号
- (3) 变压器二次电流有效值 I_2
- (4) 整流变压器容量 S
- (5) 电源侧功率因数 $\cos \varphi$

$$\text{解: } 1). \omega L = 2\pi f L = 314 \times 0.2 = 62.8\Omega \gg R_d = 5\Omega$$

∴ 整流器所接负载可视为大电感负载。三相桥式可控整流电路接大电感负载时有:

$$U_d = 2.34U_2 \cos \alpha, \quad (0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ)$$

$$\therefore U_{d\max} = 2.34U_2 \cos \alpha_{\min}, \text{ 即: } 468 = 2.34U_2 \cos 0^\circ$$

$$\therefore U_2 = \frac{468}{2.34} = 200V$$

2). 流过晶闸管电流有效值的最大值为:

$$I_{VT} = \sqrt{\frac{1}{3}} \cdot I_{d\max} = \sqrt{\frac{1}{3}} \times \frac{U_{d\max}}{R_d} = \sqrt{\frac{1}{3}} \times \frac{468}{6} = 45A$$

考虑 2 倍安全裕量时, 有:

$$I_{T(AV)} = 2 \times \frac{I_{VT}}{1.57} = 2 \times \frac{45}{1.57} = 57.3A, \text{ 取 } 60A$$

$$U_{TM} = 2\sqrt{6}U_2 = 2 \times \sqrt{6} \times 200 = 980V, \text{ 取 } 1000V;$$

\therefore 晶闸管的型号可选为: KP60-10。

3). 变压器二次电流有效值为:

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot I_{d\max} = \sqrt{\frac{2}{3}} \times \frac{468}{6} = 63.6A$$

4). 整流变压器容量 S 为:

$$S = 3U_2 I_2 = 3 \times 200 \times 63.6 = 4230W = 38178W$$