

2002-2003 学年 第一学期, 班级 _____

学号 _____ 姓名 _____

1. 填空 (10 分)

1) 单相交流调压电路, 电源电压 $U_1=220V$, 电阻性负载开通角为 $\alpha=30^\circ$ 时, 导通角为

(150) $\theta=150^\circ=180^\circ-\alpha$, 负载电压有效值 U_o 为 (216.905) V.

稳态时, 其移相范围为 ($60^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$)

$$U_o = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} (U_1 \sin \omega t)^2 d\omega t} = U_1 \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sin^2 \omega t d\omega t} = 220 \sqrt{\frac{1}{4\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right)} = 216.905$$

$$U_o = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} (U_1 \sin \omega t)^2 d\omega t}$$

2) 在三相桥式 PWM 逆变电路中, 输出相电压的几种电平分别是 ($\pm \frac{2}{3}U_d, \pm \frac{1}{3}U_d, 0$),

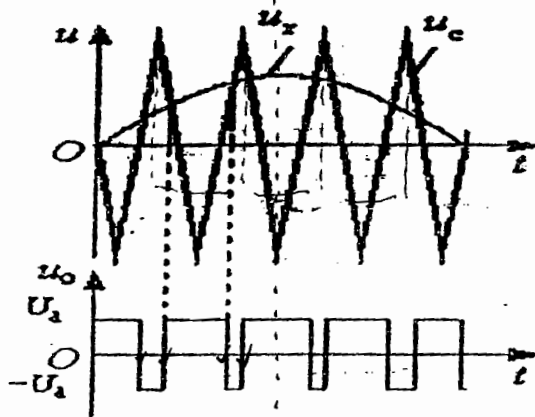
输出线电压的几种电平分别是 ($\pm U_d, 0, \pm U_d, 0$)

3) 换流方式有几种分别是 (器件换流, 电网换流, 负载换流, 强迫换流) $\alpha=$

2. 如图所示为双极性 SPWM 波, 脉冲波幅值 u_c 为正弦波幅值 u_r 的 1.6 倍, 半波为 5 个脉冲, 试用规则采样法计算各脉冲的宽度? 此时调制制度为多少? 若采用特定谐波消去法, 可以消去几种谐波? 规则采样法和自然采样法相比有何优缺点? (12 分)

$$\text{调制比 } m = \frac{1}{1.6} = \frac{5}{8}$$

$$\sigma = \frac{T_c}{2} (1 + \sin \omega_r t_0)$$



$$T_c = \frac{1}{4} T = \frac{1}{4} \times \frac{2\pi}{\omega_r}$$

规则采样法 SPWM 波调制波形

3. 单相全桥电压型逆变电路如图所示, 阻感性负载, $u_{G1}, u_{G2}, u_{G3}, u_{G4}$ 为 IGBT V1, V2, V3 和 V4 栅极驱动信号, 问: (10 分)

1) $U_d=220V$, 试求输出电压 u_o 基波有效值, 3 次, 5 次谐波有效值?

$$U_o = \frac{4U_d}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

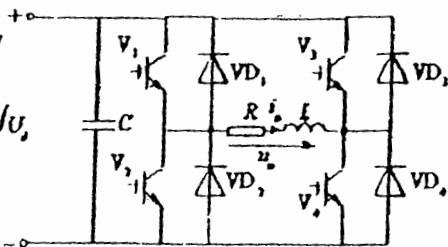
2) 画出逆变器输出电压 u_o 和输出电流 i_o 的波形 (画在试卷图上), 说明各区间导通的 IGBT 和二极管。

$$\frac{4U_d}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

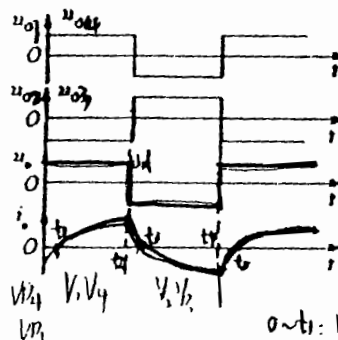
$$U_{o1} = \frac{4U_d}{\pi} = 110.17V$$

$$U_{o3} = \frac{4U_d}{3\pi} = 36.66V$$

$$U_{o5} = \frac{4U_d}{5\pi} = 19.64V$$

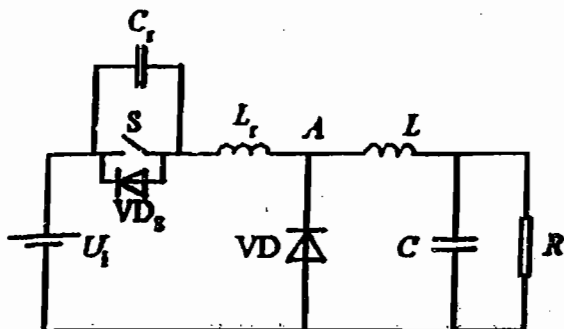


单相全桥逆变电路主电路



波形图
 $t_1 \sim t_2$: V_1, V_4 ✓
 $t_2 \sim t_3$: V_2, V_3 ✓
 $t_3 \sim t_4$: V_2, V_3 ✓

关，属什么形式软开关？实现软开关的条件是什么？S 的耐压值为多少？（8 分）



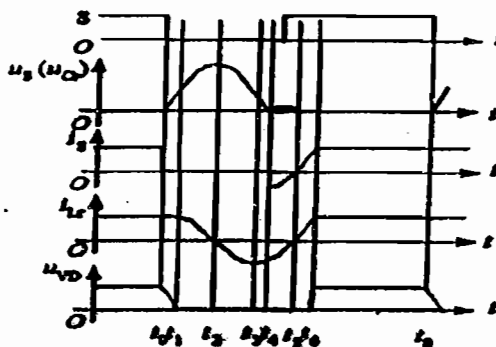
零电压开关准谐振电路图

S 在 $t_1 \sim t_2$ 段开通

属零电压开关

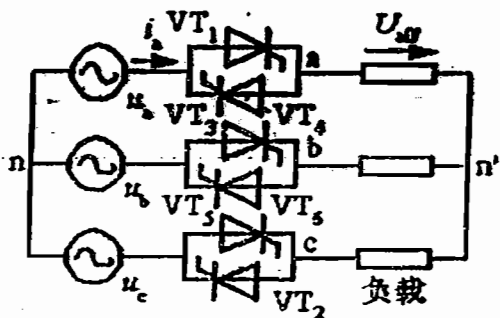
实现软开关条件, $\sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_L \geq U_i$

S 的耐压值 $U_p = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_L + U_i \geq 2U_i$



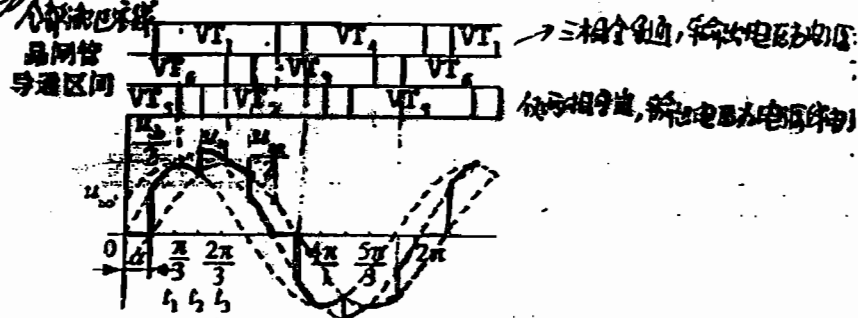
零电压开关准谐振电路的理想化波形图

5. 如图所示三相三线交流调压电路,画出 a 相负载电压 u_{ay} 波形(画在试卷图上),该线路中有无三次电流谐波,若为三相四线交流调压电路有无三次电流谐波? (10 分)



三相交流调压电路

无三次电流谐波,有均在中线中流动



负载相电压波形

电力电子技术考试样题

班号_____ 学号_____ 姓名_____ 成绩_____

《 》期 考试卷

注意事项：1、直接在试卷上答题。

2、试卷共 6 页。

题目：

一、填空题 (20 分，每空 1 分)

1、电力 MOSFET 栅源电压的允许范围为 ($\pm 6 \sim 20V$)，使用或保存时应注意因 (绝缘层击穿) 引起其损坏。

.....
5、三相交流相电压 100V，利用矩阵变频电路，利用相电压构造输出电压，则最大输出电压幅值为 (86.6) V；若利用线电压构造输出电压，则最大输出电压幅值为 (173.2) V (保留 2 位小数)。 $\sqrt{1.732}$

6、三相 PWM 同步调制时，载波比 N 应为 (奇数)，且为 (3) 的整数倍

二、简答题 (30 分)

1、试说明晶闸管的结构和工作原理，其导通和关断的条件是什么？(10 分)

.....
3、为什么要采用软开关电路？实现零电压开关准谐振电路的条件是什么？开关管耐压是多少？(7 分)

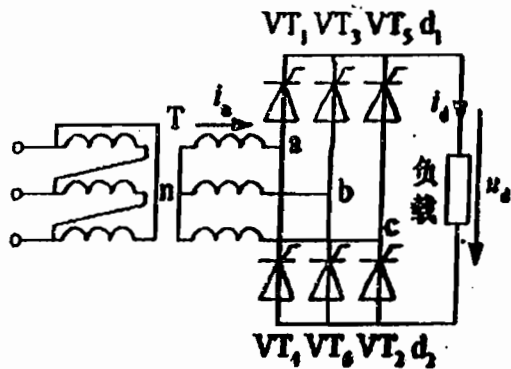
$$\sqrt{\frac{L}{C}} L \geq 10 \mu s$$

三、计算与分析题 (50 分)

1、三相桥式全控整流电路，电源频率 50Hz，变压器二次相电压 100V，阻感负载 $R=5\Omega$ 、 L 值极大，触发角为 60° 。(10 分)

(1) 画出负载电压、电流的波形，VT1 的电压、电流波形，

(2) 计算整流输出电压的平均值，输出电流的平均值，流过晶闸管的电流平均值和有效值。



4、单相桥式电流型逆变器部分波形如题4图所示。

(9分)

(1) 画出主电路的原理图

(2) 绘出 $u_{VT2,3}$ 、 $u_{VT1,4}$ 和 u_{AB} 的波形。

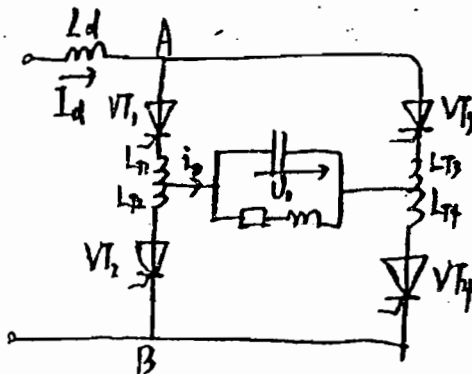
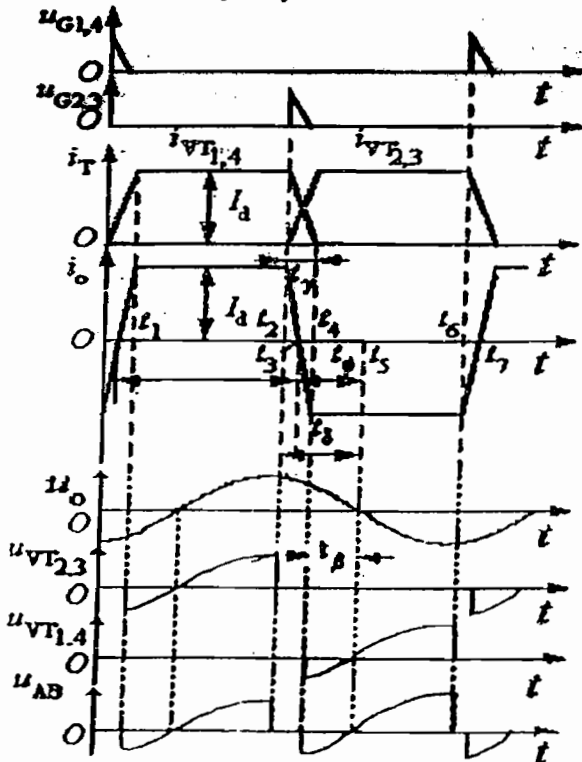
(3) 为保证换相成功应满足什么条件? $t_s = t_5 - t_4$ 时, 使 V_{T2} 、 V_{T3} 导通。

(4) $I_d = 300A$, 忽略换相过程, 输出电流 i_o 的基波、5次和6次谐波幅值是多少?

(5) LT_1 、 LT_2 、 LT_3 和 LT_4 的作用是什么?

L_T 限制换相时电流变化率

$t_s > V_{T2} V_{T3}$ 导通
 $t_s = t_5 - t_4 > V_{T2} V_{T3}$ 导通



题4图并联谐振式逆变器工作波形

自动化学院 2004-2005 学年 第 2 学期电力电子 A 卷 (后半部分)

班级 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 分数 _____

一、填空 (10 分)

1、软开关电路分为 (零电压电路), (零电流电路) 两大类。

2、三相电压桥式逆变电路, 在任一时刻, 将有 (三) 个桥臂同时导通, 换流方式是 (纵向) 向换流。若采用 SPWM 控制, 同步调制时, 为使一相的 PWM 波正负半周对称, 载波比应为 (奇) 数, 若三相公用一个三角波载波, 则载波比应为 (3) 的整数倍。

3、单相交流调压电路, 电源电压 $U_1=200V$, 电阻性负载开通角为 $\alpha=45^\circ$ 时, 导通角为 (135°), 负载电压有效值 U_o 为 (190.699) V, 功率因数为 (0.95)。

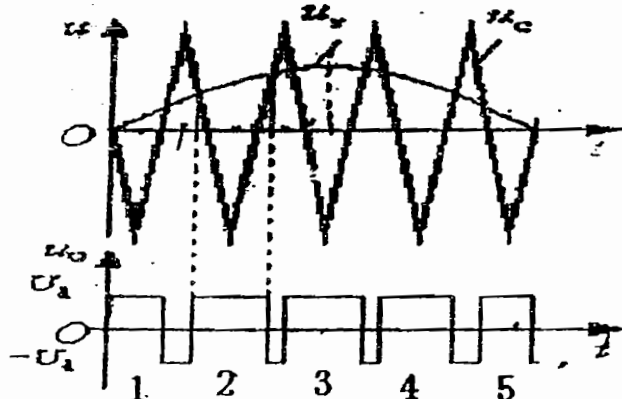
对阻感性 $U=100V$, $\cos\phi=0.5$ 在稳态时, 其移相范围为 ($\frac{\pi}{2} \leq \alpha \leq \pi$)。

$$U_o = \frac{U_1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1+\cos\alpha}{2}}$$

二、如下图所示为双极性 SPWM 波, 三角波幅值 u_c 为工频 50Hz 正弦波幅值 u_m 的 1.25 倍, 此时调制度为多少? 试用规则采样法计算 5 个脉冲的宽度? 规则采样法和自然采样法相比有何优缺点?

若开关次数与此脉冲数相等, 采用特定谐波消去法, 可以消去几种谐波? (12 分)

4-1 种

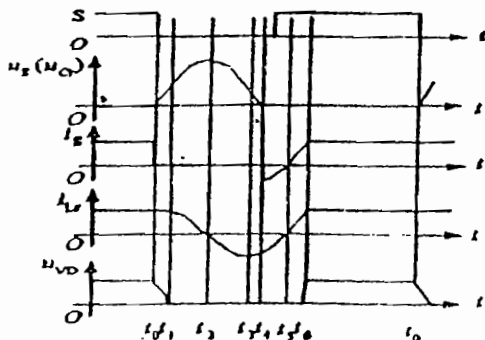
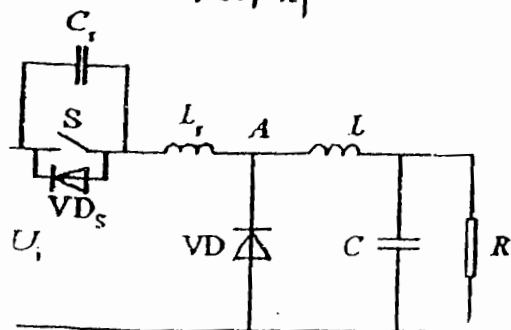


$$\delta = \frac{U_o}{U_1} (1 + \alpha \sin \omega t)$$

如下图所示为零电压开关准谐振电路原理图和波形图, S 关断属于什么开关? 和硬开关相比有什么优点? 在图中标示 S 应在何时刻开通, 才属软开关, 属什么形式软开关? 实现软开关的条件是什么? S 的耐压值为多少? (8 分)

开关动作时不产生噪声和损耗。
条件: $U_{cr} I_L \geq U_i$

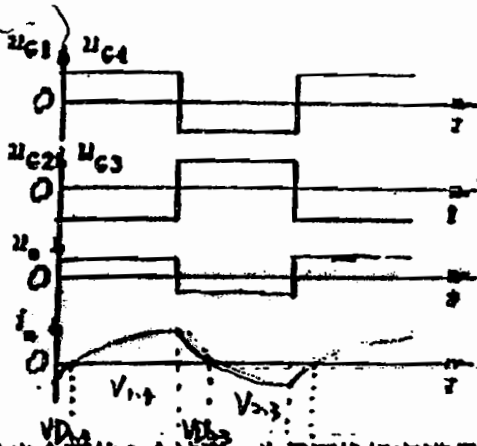
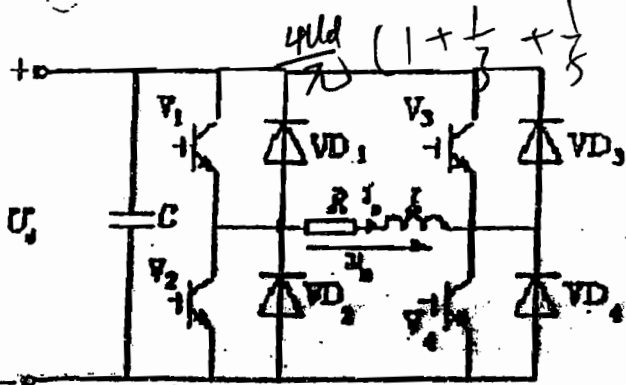
耐压和开关频率, 电压应力为 $2U_i$



1) $U_f=220V$, 试求输出电压 u_o 基波有效值, 3 次, 5 次谐波有效值?

$$U_{o1} = \frac{2\sqrt{2}U_d}{\pi} = 178 \quad U_{o3} = \frac{2\sqrt{2}U_d}{\pi \times 3} > 66 \quad U_{o5} = \frac{2\sqrt{2}U_d}{\pi \times 5} = 49.6$$

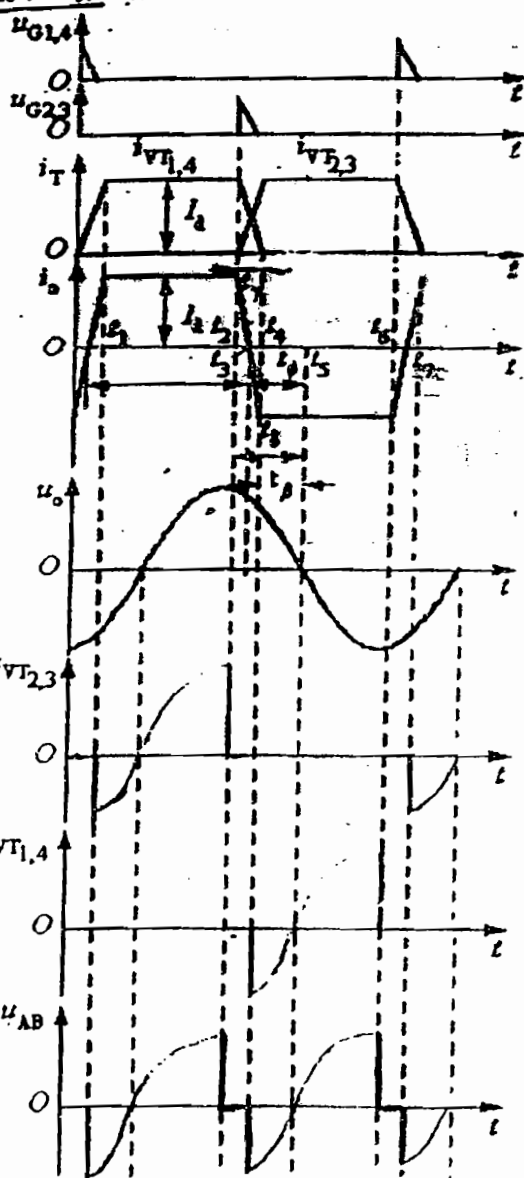
2) 画出逆变器输出电压 u_o 和输出电流 i_o 的波形, 说明各区间导通的 IGBT 和二极管的序号。



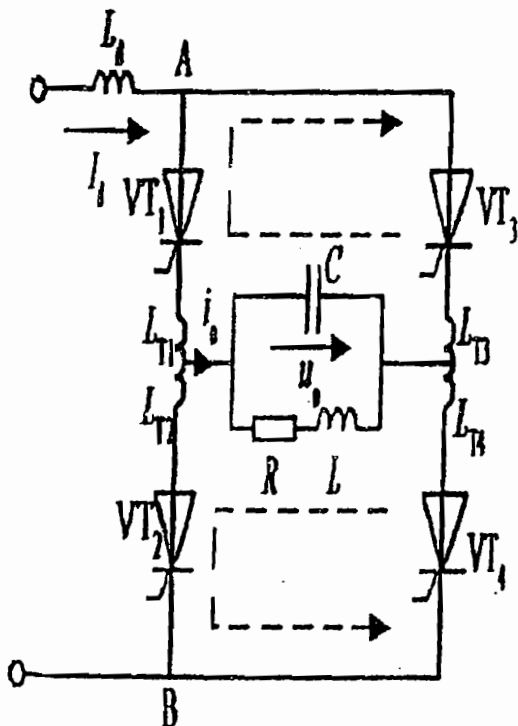
五、单相桥式电流型逆变电路及部分波形如下图所示, 给出余下的 3 个波形。为保证换相应满足什

么条件? 为什么 u_o 基本是正弦波? L_{T1}, L_{T2}, L_{T3} 和 L_{T4} 的作用是什么? (10 分)

因为负载电感 L 很大, 所以负载电流 i_o 是正弦波, 且幅值 I_d 恒定。
 因为 i_o 是正弦波, 所以 u_o 也是正弦波。
 因为 $L_{T1}, L_{T2}, L_{T3}, L_{T4}$ 的作用是为了减小 di/dt , 防止 du/dt 过大, 从而保护 IGBT 和二极管。
 因为 i_o 是正弦波, 所以 u_o 也是正弦波。
 因为 $L_{T1}, L_{T2}, L_{T3}, L_{T4}$ 的作用是为了减小 di/dt , 防止 du/dt 过大, 从而保护 IGBT 和二极管。



t_1 时刻: 触发 VT_1, VT_4 导通
 由于 L_{T1}, L_{T4} 作用, VT_1, VT_4 不能关断, 故此时 VT_1, VT_4 继续导通
 $t_2 \sim t_3$: 四个 IGBT 同时导通
 t_4 时刻: VT_1, VT_4 关断



该电路为负载电流

保证“负载续流”工作条件: 负载电流 i_o 超前于负载电压, 即负载呈容性

保证可靠换流的条件: $t_p = t_s - t_d > 0$ 即 $t_s > t_d$, 保证可靠关断
 即负载电压超前 $t_s = t_s - t_d$ 时可靠关断 VT_1, VT_4

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

2005 年电力电子 A 卷 (一)

班级:

学号:

姓名:

① 要有适当的电压和大电流的能力
② 一般工作在开关状态
③ 要求控制信号和驱动信号(电压、电流、功率、频率、相位、时间)

一、论述题

1. 基本电力变换电路有哪几种? 电力电子器件在这些电力变换电路中运行的一般具有的特征是什么? (8分)

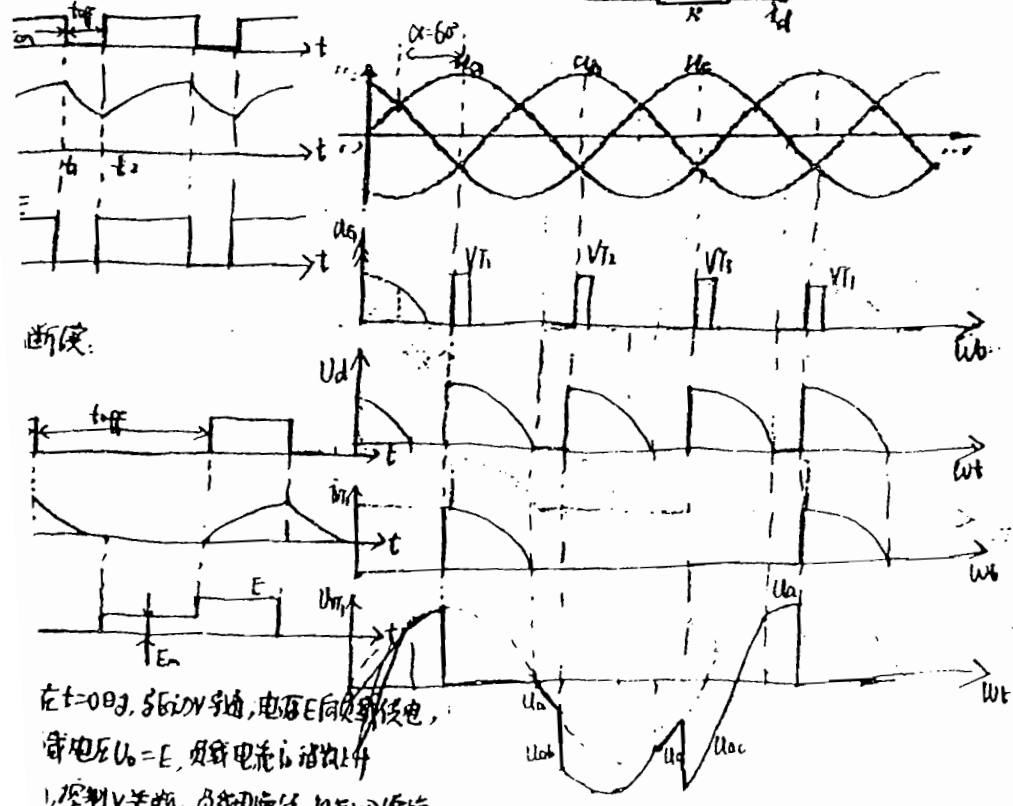
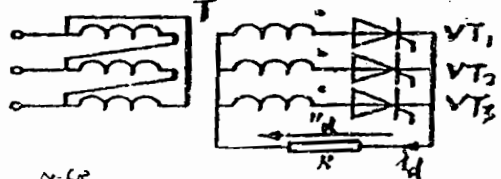
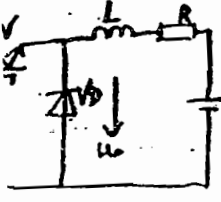
2. 试根据晶闸管的工作原理, 说明其正常工作时的特性。 (5分)

3. 绘出负载中含有反电动势的降压斩波电路的原理图, 并叙述其工作原理, 分别画出负载电流连续和断续情况下负载电流、负载电压的波形。 (9分)

二、计算题

1. 如图所示三相半波可控整流电路, 电阻负载, 以及变压器二次电压的波形, 试画出触发角 $\alpha=60^\circ$ 时负载电压 u_d 的波形、晶闸管 VT_1 通过的电流和承受的电压波形。 (10分)

(要求在画出的 VT_1 两端的电压波形上, 标明所承受的电压名称, 如标出 u_{a1} 、 u_{ab} 等。)

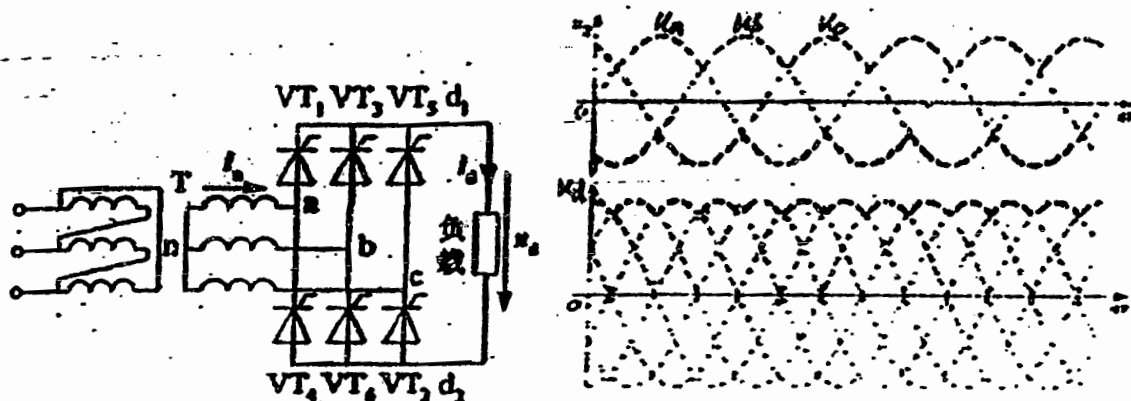


在 $t=0$ 时, VT_1 导通, 电源 E 向负载供电, 负载电压 $U_d = E$, 负载电流 i_d 开始上升。
1. 控制 V 关断, 负载电流 i_d 经 VD 续流, E 通过 VD 续流, i_d 为续流电流。
当 VT_1 再导通, 续流结束, $U_d = \frac{E}{1 + \tan \alpha} = \frac{E}{1 + \tan 60^\circ}$

2. 三相桥式全控整流电路，频率 50Hz，阻感负载 $R=6\Omega$ 、 L 值极大。问

- (1) 整流输出电压最大时，触发角 α 为多少？ 0°
- (2) 若最大整流输出电压的平均值为 234V，试确定变压器二次电压的有效值。
- (3) 若电路在上述情况下工作，应选择额定电压和额定电流为多少的晶闸管（分别考虑 2 倍的安全裕量）。

(18 分)



$$(2) U_d = 2.34 U_2 \cos \alpha = 234V \quad \therefore U_2 = 100V \quad (\text{平均值})$$

$$U_d = I_d R =$$

$$\text{晶闸管额定电流 } I_{T(AV)} = \frac{I_d}{1.57} = 14.8A$$

$$\text{晶闸管额定电压 } U_{T(AV)} = (2 \sim 3) \times \sqrt{2} \times U_2 = 282.8V$$

$$\text{晶闸管 } I_d = \frac{U_d}{R}$$

$$\therefore \text{晶闸管 } I_d = \frac{234V}{6\Omega} = 39A \quad \frac{1}{1.57} \times \frac{U_d}{R}$$

$$\text{晶闸管 } U_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) \times \frac{U_d}{1.57} = 282.8V$$

$$(3) U_d = 234V$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{234V}{6\Omega} = 39A$$

$$\text{有效值 } I_T = \frac{1}{\sqrt{3}} I_d = 22.5A$$

$$\text{晶闸管 } I_{T(AV)} = \frac{I_T}{1.57} = 14.3A$$

$$U_{T(AV)} = \sqrt{2} U_2 = 282.8V$$

班号_____ 学号_____ 姓名_____ 成绩_____

《 》 期 考试 A 卷

注意事项：1、直接在试卷上答题。2、试卷共 6 页。

题目：

一、填空题.....(20 分)

- 1、与用于电子电路中的电子器件相比，在电力变换电路的中，电力电子器件一般具有 (额定电压高和额定电流大)、(一般工作在开关状态)、(驱动功率小和开关频率高) 的特征。
- 2、正向偏置的 PN 结在流过较大的正向电流时，表现为低电阻状态是由于 (电导调制) 效应所致。而 PN 结中的电荷量随外加电压而变化，表现为 (电容) 效应。
- 3、升压斩波电路使输出电压高于输入电压的关键原因是 (电感 L 储能元件具有使电压泵升作用)、(续流二极管 SPWM 调制)、(电容 C 具有保持电压特性)。
- 4、电力变换电路与控制电路之间一般需要进行电气隔离，常采取的方法有 (光耦合)、(磁耦合)。
- 5、三相电压桥式 SPWM 控制逆变电路，在任一时刻，将有 (3) 个桥臂同时导通，换流方式是 (180°) 向换流。同步调制时，为使一相的 PWM 波正负半周镜对称，载波比应为 (奇) 数，若三相公用一个三角波载波，则载波比应为 (3) 的整数倍。输出相电压的几种电平分别是 ($\pm \frac{2}{3}U_d, \pm \frac{1}{3}U_d, 0$)，输出线电压的几种电平分别是 ($\pm U_d, 0$)。
- 6、组合变流电路分为间接 (交流) 变流电路和间接 (直流) 变流电路。
- 7、半控器件构成的电流型逆变电路中采用 (负载) 换流方式，输出电压近似为 (正弦) 波。

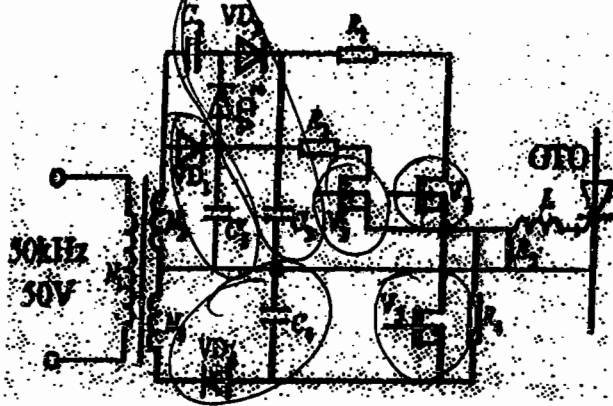
二、问答题.....(30 分)

- 1、为什么晶闸管在开通时要限制电流的上升率，在关断时要限制电压的上升率？常采取的措施是什么？ (6 分)

①若电压上升太快，则晶闸管刚一开通，便会有很大的电流集中在门极附近的小区域内，从而造成局部过热而使晶闸管损坏。
②若阻性负载两端施加电压 $\frac{du}{dt} > 0$ ，相当于电容的充电电流流过，此电流流经门极，起到了类似门极触发电流的作用。若 $\frac{du}{dt}$ 过大，则充电电流过大，会使晶闸管误开通。

③常采取的措施是：
晶闸管
添加 du/dt 抑制电路 (逆并联电容)，和 di/dt 抑制电路 (开通缓冲电路)

2、如图所示为一 GTO 的驱动电路，该电路包括几部分？简述每部分的工作原理。（9 分）



R98

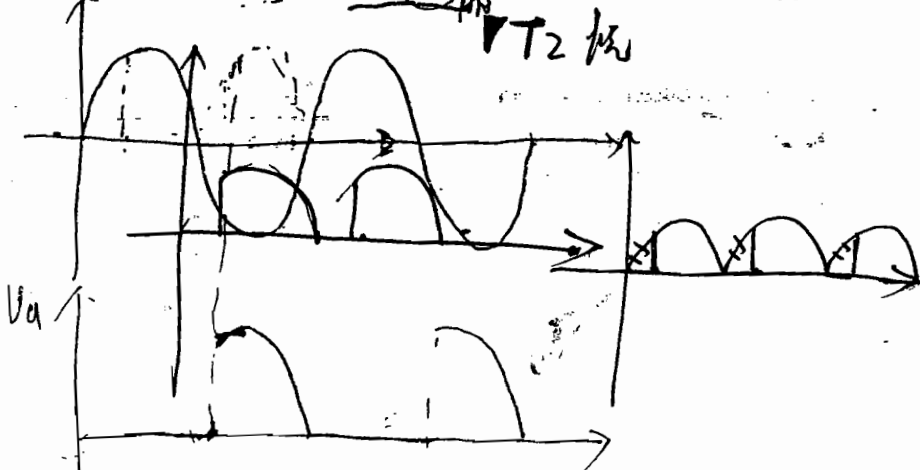
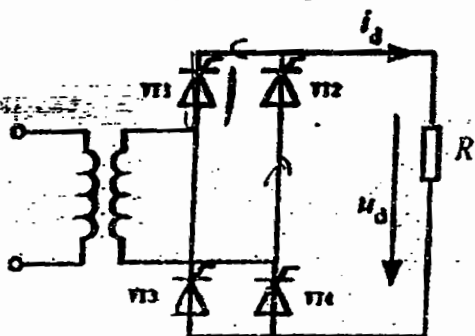
3. 采用软开关电路的目的是什么？简述零电压开关工作过程？

(8 分)

4. 间接直流变流电路中为什么要使磁心复位? 在输出滤波电感电流连续的情况下输出电压与输入电压的比是多少? (7分)

三、计算与分析题 (50 分)

1. 如图所示单相桥式全控整流电路, 电阻负载, 触发角 60° 。若 VT_1 的触发脉冲丢失, 画出此时输出电压 u_d 的波形。若 VT_1 因为过流烧成短路, 其它 SCR 受什么影响? (10分)

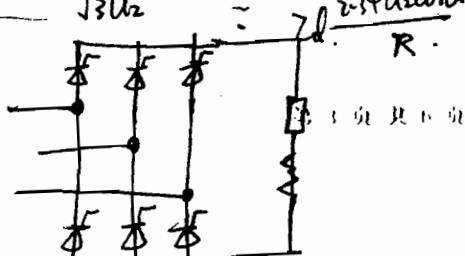


VT1 烧成短路, 已造成短路, 其它 SCR 已因过流而损坏
 为短路

$$2.34 U_{m \cos \alpha}$$

2. 由变压器、晶闸管和阻感负载构成的三相桥式全控整流电路, 电源频率 50Hz, 阻感负载 $R=6\Omega$, L 值极大。 (15分)

- 画出该整流电路原理图。
- 若该电路最大整流输出电压的平均值为 $234V$, 试确定变压器二次相电压的有效值, 并确定晶闸管额定电压和额定电流 (考虑安全裕量)。



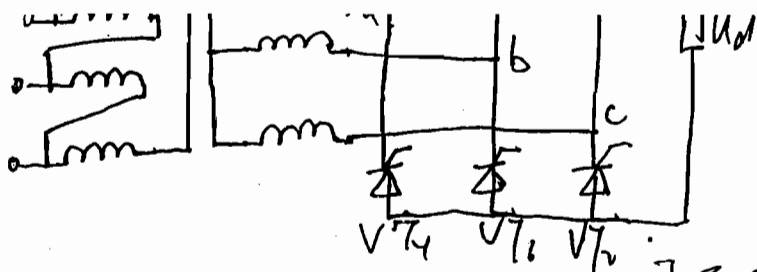
电压极大值

$$2.34 U_2 \cos \alpha$$

$$U_2 = 100V$$

$$\alpha = 0$$

$$\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_d}{1.57}$$



$$U_d = 2.34 U_{\phi} \cos \alpha$$

$\alpha = 0$ 时 U_d 和 I_d 为 234V

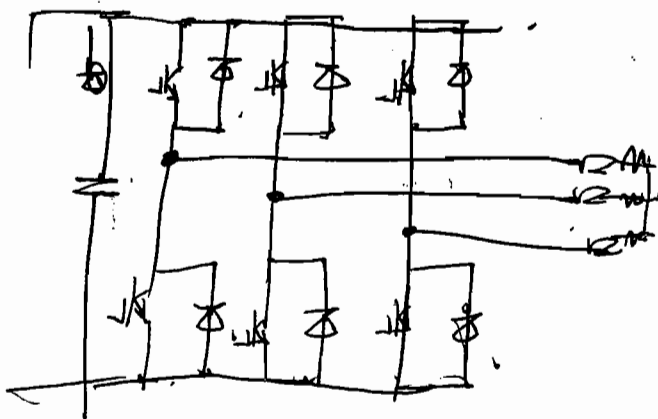
桥式整流输出电压 $U_d = \sqrt{6} U_{\phi} \cos \alpha$
 负载电阻 $R = \frac{U_d}{I_d} = \frac{234}{10} = 23.4 \Omega$

$$U_{UN} = \frac{234}{2.34} = 100V$$

3. 三相全桥电压型逆变电路, 阻感性负载, u_{UN}, u_{VN}, u_{WN} 为 IGBT U, V, W 相对假想中点的电压问: (7 分)

(1) 在下图右侧画出三相全桥电压型逆变电路

(2) 在图上虚线区域内画出逆变器负载 UV 线电压的波形 u_{UV} 、负载中点 N 与电源假想中点 N' 间电压波形 $u_{NN'}$ 和相电压的波形 u_{UN} 。



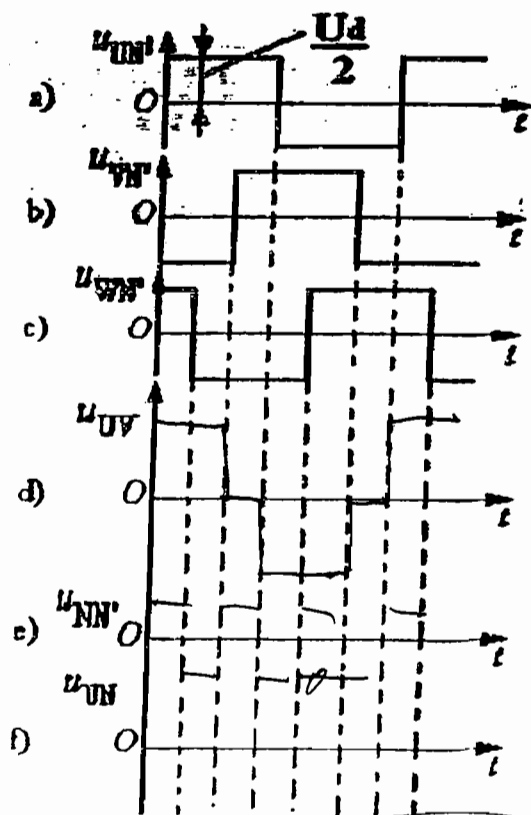
$$u_{UV} = u_{UN} - u_{VN}$$

$$u_{NN'} =$$

~~the~~

$$u_{UN} =$$

$$u_{UN} =$$



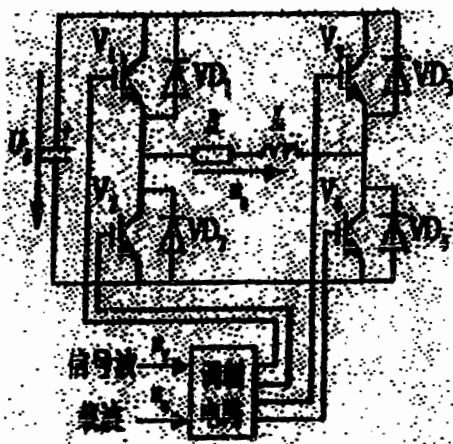
题3图 三相全桥电压型逆变电路电压波形

$$u_{UN} = u_{UN} - u_{VN}$$

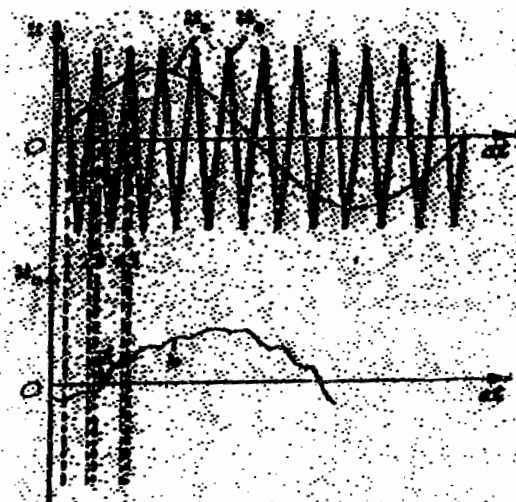
$$u_{NN'} = \frac{1}{3}(u_{UN} +$$

4、如题4图所示为单相双极性调制 SPWM 电路及波形，载波三角波幅值 u_c 为工频 50Hz 正弦波幅值 u_r 的 2 倍。 $a = 0.5$ (10 分)

- (1) 在题 4(b) 上画出 1~5 时刻输出电压 u_o 波形图
- (2) 此时调制度 a 为多少？载波频率 f_c 是多少？
- (3) 在题 4(b) 图中 2~3, 3~3', 3'~4, 4~5 各开关时段，分别有哪些元件在导通？
- (4) 试用规则采样法计算题 4 (b) 图中 1, 2, 3 开关位置对应的角度？（保留 1 位小数）



题 4(a) 图 单相双极性 SPWM 电路



题 4(b) 图 双极性 PWM 控制方式波形

$$\theta = \frac{T_c}{2} (1 + a \sin \omega_r t_d)$$

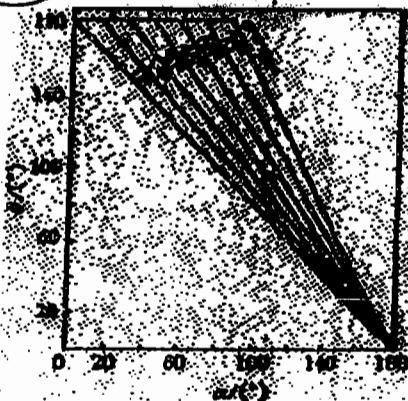
5. 单相交流调压器, 电源 u_1 为工频 220V, 阻感串联作为负载, 其中电阻 $R=0.6283\Omega$, 电感 $L=2\text{mH}$. 试求: (8分)

(1) 在下面画出单相交流调压器电路图。

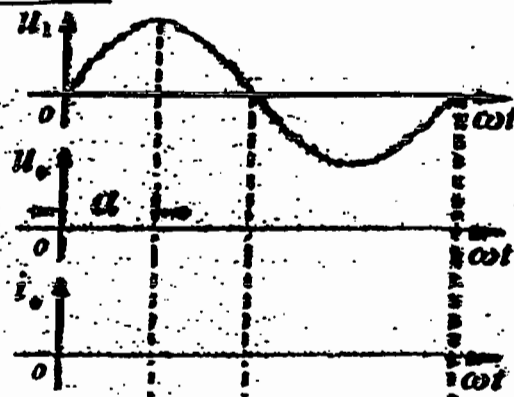
(2) 阻抗角 φ 是多少度? 开通角 α 的变化范围是多少度? (保留整数)

(3) 当 $\alpha=90$ 度时, 晶闸管导通角 θ 是多少度?

(4) 当 $\alpha=90$ 度时, 在题 5(b) 上虚线区域内给出输出电压 u_o 和输出电流 i_o 的波形?

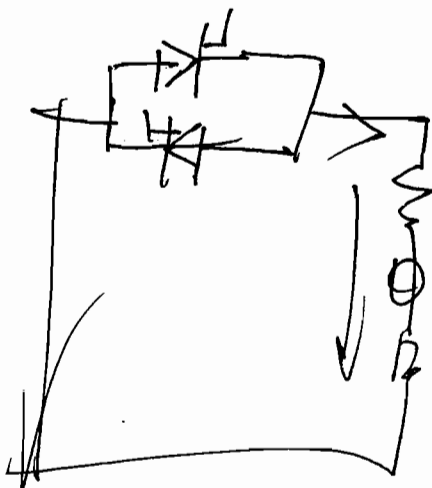


题 5(a) 图 以 φ 为参变量的 θ 和 α 关系曲线



题 5(b) 输出电压和输出电流波形

$$\theta = (180 - \alpha) \cdot \frac{180}{180 - \varphi}$$



$$\theta = \frac{180 - \alpha}{180 - \varphi} \times 180^\circ$$

电力电子技术考试样题

班号 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 成绩 _____

《电力电子技术》期末考试卷

注意事项：1、直接在试卷上答题。

2、试卷共 6 页。

题日：

一、填空题 (20 分, 每空 1 分)

1、电力 MOSFET 栅源电压的允许范围为 $|U_{GS}| \leq U_{GS(max)}$ 使用或保存时应注意因 (绝缘层被击穿) 引起其损坏。

5、三相交流电压 100V, 利用矩阵变频电路, 利用相电压构造输出电压, 则最大输出电压幅值为 $(\frac{100}{\sqrt{2}} \times \sqrt{2})$ V, 若利用线电压构造输出电压, 则最大输出电压幅值为 $(\frac{100}{\sqrt{2}} \times \sqrt{2})$ (保留 2 位小数) $\frac{1}{\sqrt{2}} U_{lm}$

6、三相 PWM 同步调制时, 载波比 N 应为 (带) 数, 且为 (3) 的整数



二、简答题 (30 分)

1、试说明晶闸管的结构和工作原理, 其导通和关断的条件是什么? (10 分)

PNPN-

3、高频化的意义什么? 为什么提高频率可以减少滤波器的体积和重量? 为什么提高频率可以减少变压器的体积和重量? (7 分)

三、计算与分析题 (50 分)

1、三相桥式全控整流电路, 电源频率 50Hz, 变压器二次相电压 100V, 阻感负载 $R=5 \Omega$, L 值极大, 触发角为 60° 。(10 分)

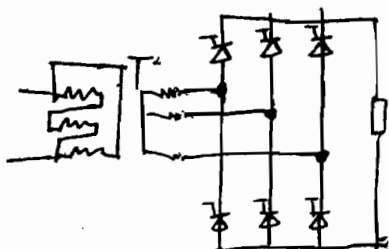
(1) 画出负载电压、电流的波形, V_{T1} 的电压、电流波形,

(2) 计算整流输出电压的平均值, 输出电流的平均值, 流过晶闸管的电流平均值和有效值。

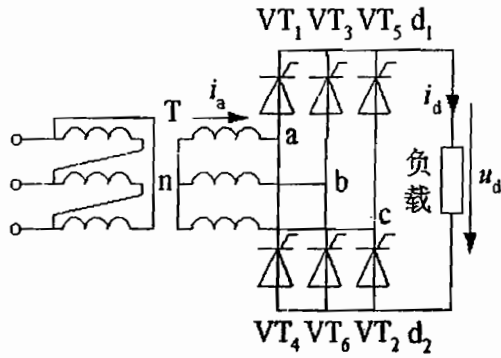
$$U_d = 2.34 U_2 \cos \alpha$$

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

$$\frac{1}{3} I_d \quad \frac{1}{\sqrt{3}} I_d$$



$$2.34 U_2 \left[1 + \cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right) \right]$$



$$U_0 = U_1 \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sin^2 \omega t d\omega t}$$

2、单相交流调压电路，阻感性负载，阻抗角 30° 。 $\varphi = 30^\circ$ (10分)

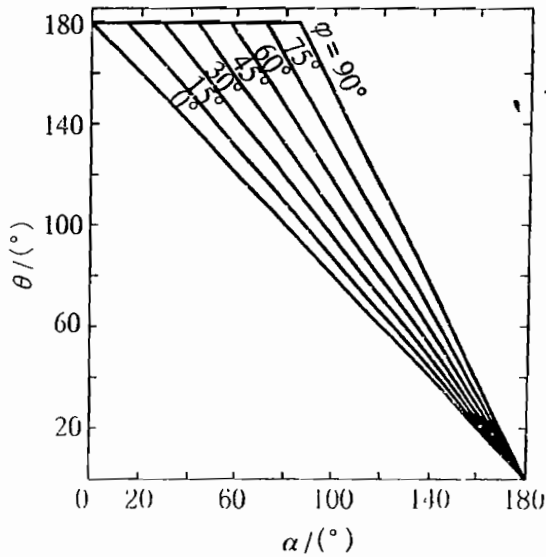
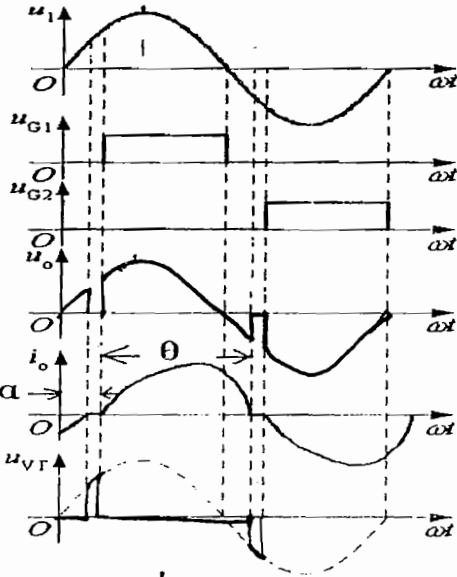
(1) 画出主电路的原理图

(2) 请在下图画开通角 $\alpha = 60^\circ$ 时，负载电压和晶闸管电压波形。

(3) 可控移相范围是多少？ $\alpha = 30^\circ$ 和 $\alpha = 60^\circ$ 时导通角是多少？

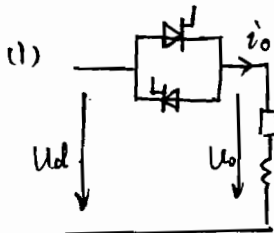
(4) 若为电阻性负载开通角为 $\alpha = 15^\circ$ ， $\alpha = 30^\circ$ ， $\alpha = 60^\circ$ 时，每管导通角分别为多少？

(5) 若为电阻性负载 $U_1 = 220V$ ， $R = 10\Omega$ ， $\alpha = 30^\circ$ 时负载电流有效值是多少？



$$\theta = \frac{180 - \alpha}{180 - \varphi} \times 180^\circ$$

$$\theta = 180^\circ - \alpha$$



$$U_0 = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} (\sqrt{2} U_1 \sin \omega t)^2 d\omega t}$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R}$$

$$U_0 = U_1 \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sin^2 \omega t d\omega t}$$

$$U_0 = U_1 \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sin^2 \omega t d\omega t}$$

$$= U_1 \sqrt{\frac{\theta}{\pi} + \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sin^2 \omega t d\omega t}$$

$$U_0 = U_1 \sqrt{\frac{\theta}{\pi} + \frac{1}{2\pi} (\sin 2\alpha - \sin 2(\alpha + \pi))}$$

$$I_0 = \frac{U_1}{\sqrt{2} R} \sqrt{\theta - \frac{\sin 2\alpha - \sin 2(\alpha + \pi)}{2\pi}}$$

