

电力电子技术

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 P_{10} (高压大电流)、(开关状态)、(控制驱动电路) (四种主要特征) 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 (电荷) 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 储能元件有使电压升高的作用) (续流二极管 PWM SPWM)。电容 C 可作输出电压滤波。
- 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 P_{12} (光隔离)、(磁隔离)。
- 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 (纵向) 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 ($\pm \frac{1}{3}U_d, 0$)。
- 6、组合变流电路分为间接 (整流) 变流电路和间接 (逆变) 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)

减小开通损耗 减小关断损耗。

使用缓冲电路。

(1) 电压上升过快，使电流上升过大，会使晶闸管误导通。

(2) 使用缓冲电路。

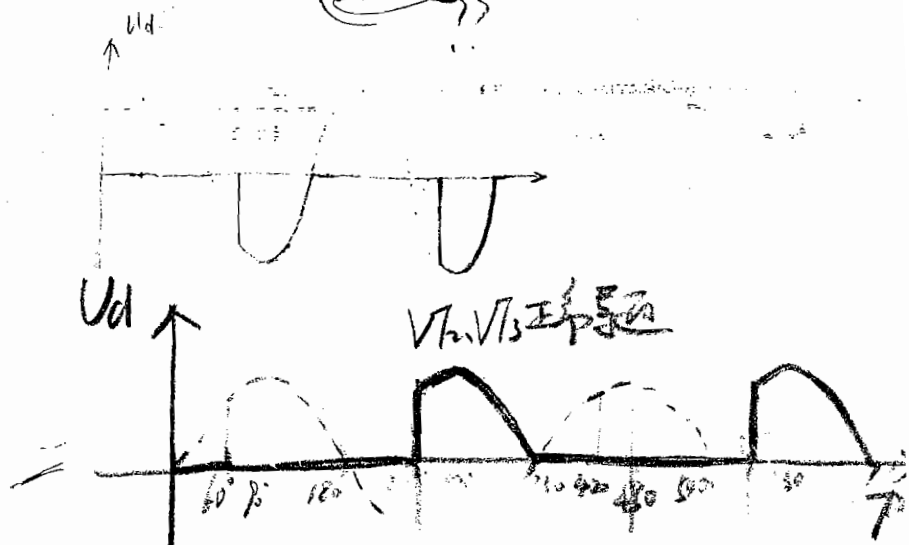
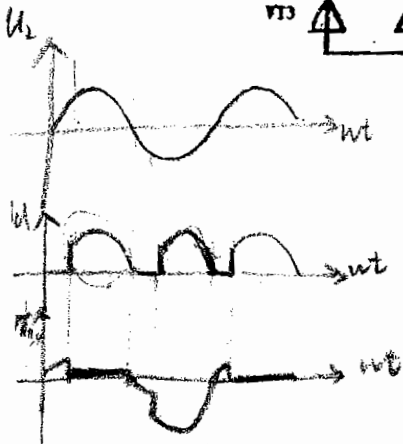
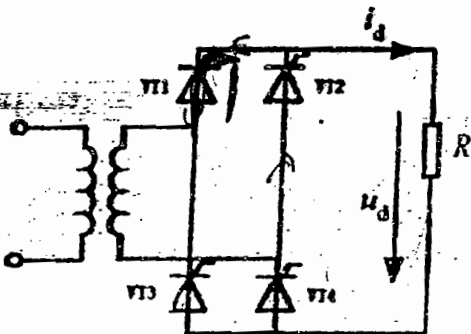
晶闸管

121

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)



若 VT_1 过流短路后, 在 VT_2, VT_3 角期间将 VT_2 短路使 VT_3 烧坏。

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)

(1) 画出该整流电路原理图。

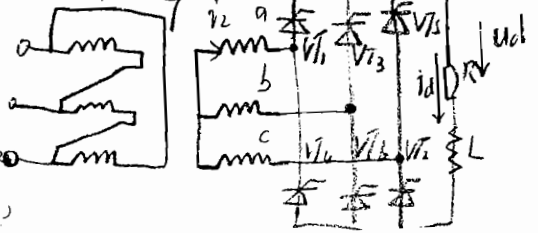
(2) 若该电路最大整流输出电压的平均值为 234V, 试确定变压器二次相电压的有效值, 并确定晶闸管额定电压和额定电流 (不考虑安全裕量)。

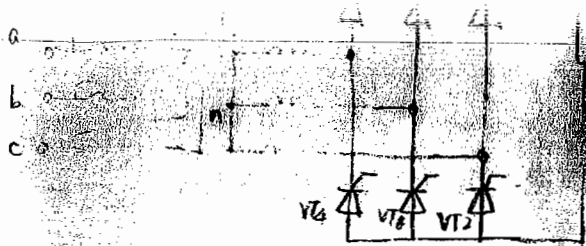
$$U_{d1} = U_2 \times \sqrt{6} \times \sqrt{3} = 100 \times 100$$

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

$$\frac{I_d}{3} = I_{VT}$$

$$I_{VT} = 17.17A$$





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

最大导通角 $\alpha = 0$ 有 $U_2 = 100V$

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{U_d}{R} = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot \frac{234}{6} = 31.8A$$

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

取最大导通角 $\alpha = 0$ 有 $U_2 = 100V$

$$U_{d0} = 0.9 U_d = 0.9 \times 234 = 210.6V$$

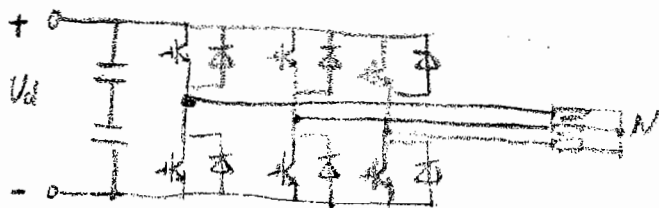
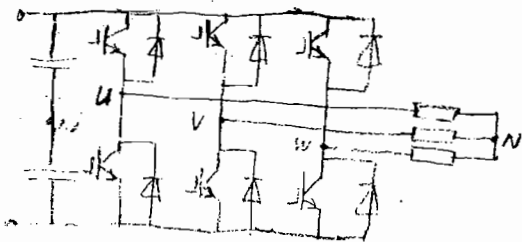
$$I_2 = \frac{U_d}{R} = \frac{234}{6} = 39A$$

$$I_{d0} = \frac{U_{d0}}{R} = \frac{210.6}{6} = 35.1A$$

3、三相全桥电压型逆变电路，阻感性负载， u_{uv}, 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} 。



$$u_{uv} = u_{un} - u_{vn}$$

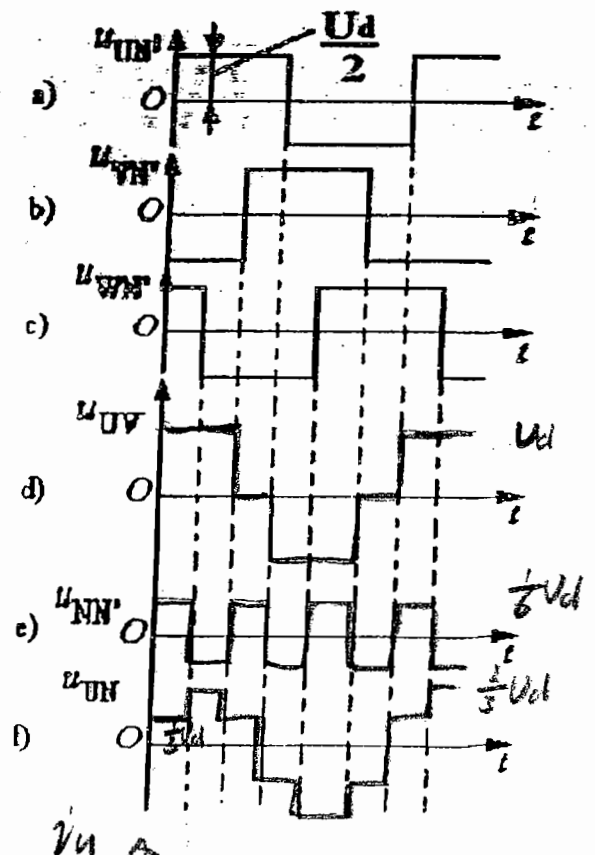
$$u_{nn'} = \frac{1}{3} (u_{un} + u_{vn} + u_{wn})$$

$$u_{un} = u_{un} - u_{nn'}$$

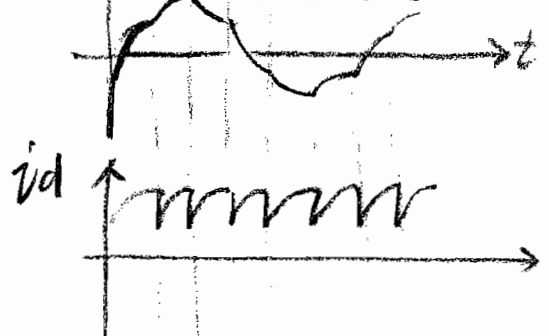
U_d 幅值 U_d

$\frac{1}{3} U_d$ 幅值 $\frac{1}{3} U_d$

$\frac{2}{3} U_d$ 幅值 $\frac{2}{3} U_d$



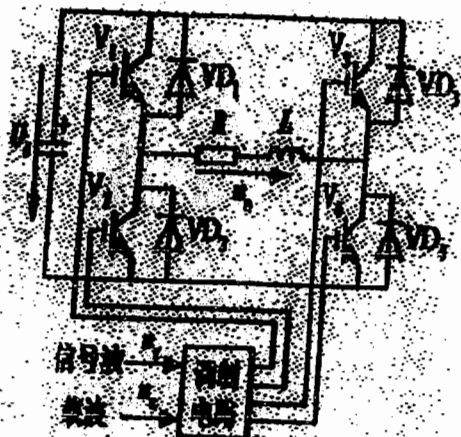
题3图 三相全桥电压型逆变电路电压波形



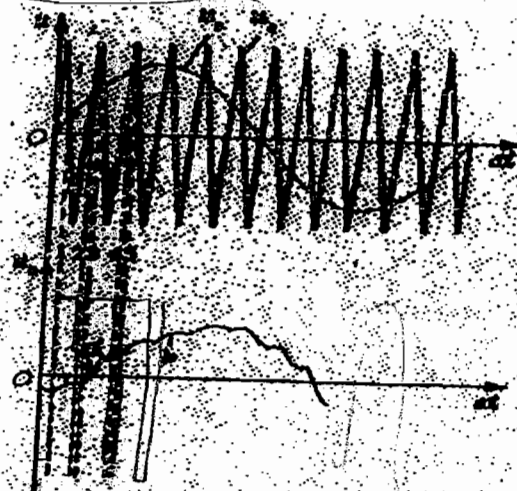
4. 如图4所示为单相双极性调制 SPWM 电路及波形, 载波三角波幅值 u_c 为工频 50Hz 正弦波幅值 u_m 的 2 倍。

(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

解: (1) 波形

$$(2) a = \frac{u_{m}}{u_{c}} = \frac{1}{2} = 0.5, f_c = 50 \text{ Hz}$$

(3)

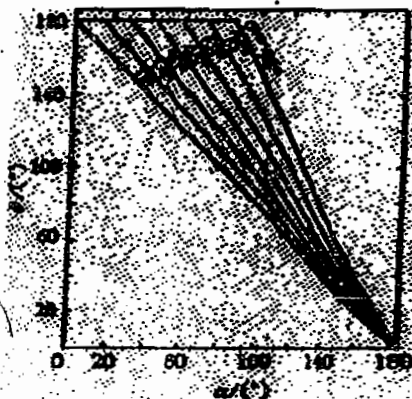
5. 单相交流调压器, 电源 u_1 为工频 220V, 阻感串联作为负载, 其中电阻 $R=0.6283\Omega$, 电感 $L=2\text{mH}$. 试求: (8 分)

(1) 在下面画出单相交流调压器电路图.

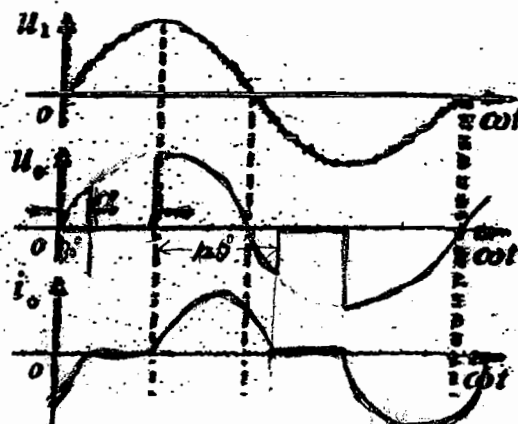
(2) 阻抗角 φ 是多少度? 开通角 α 的变化范围是多少度? (保留整数)

(3) 当 $\alpha=90^\circ$ 时, 晶闸管导通角 θ 是多少度?

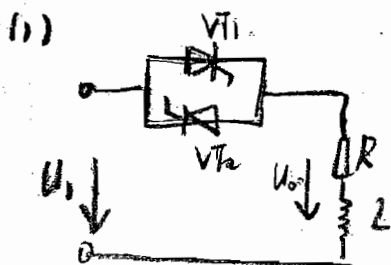
(4) 当 $\alpha=90^\circ$ 时, 在题 5(b) 上虚线区域内绘出输出电压 u_o 和输出电流 i_o 的波形?



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



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

(2) $R=0.6283\Omega$, $L=2\text{mH}$

有 $X = R + j\omega L = 0.6283 + j \cdot 50.27 \cdot 2 \times 10^{-3} = 0.6283 + 0.6283j$, 有 $\varphi = \arctan 1 = 45^\circ$

阻感串联电路 $\varphi \leq \alpha \leq \pi$ 即 $45^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

(3) $\alpha=90^\circ$ 时, $\theta = (180 - \alpha) - \frac{180}{180 - \varphi} = 90 - \frac{180}{135} = 120^\circ$

(4) $\alpha=90^\circ$ 时, $\theta=120^\circ$, 如图所示

班号 _____ 学号 _____ 姓名 _____ 成绩 _____

《 电 力 电 子 技 术 》 期 末 考 试 A 卷

注意事项：1、直接在试卷上答题，2、保留2位小数，3、试卷共6页。

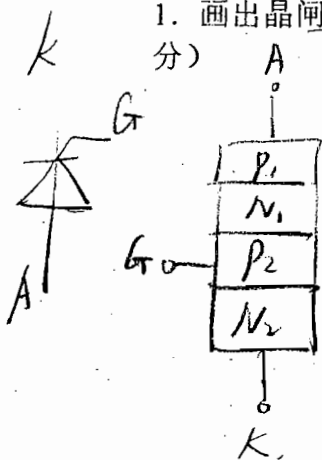
题目：

一、 填空题 (20 分)

1. 电力电子器件一般工作在 (开关) 状态下，其功率损耗可分为 (导通)、
(开通) 和 (关断)。
2. 根据驱动电路加在电力电子器件控制端和公共端之间的驱动信号的性质，可将电力电子器件分为 (电压驱动) 和 (电流驱动) 两类。
3. 采取相控方式的三相桥式全控整流电路，自然换相点为控制角的 (0) 度；当负载为电阻时最大控制角为 (120) 度；负载为阻感时最大控制角为 (90) 度。
4. 电力电子电路中，常用的抑制过电压的方法之一是用 (电感) 吸收产生过电压的能量，并用电阻将其消耗。
5. 恒压频比控制是保持 (磁通) 不变。再生反馈主要目的是 (节能)。
6. SPWM 同步调制保持 (载波比 $N = \frac{f_c}{f_r}$) 不变，异步调制保持 (谐波频率比) 不变。
7. 串联二极管式电流型逆变电路采用 (中频) 器件，属于 (强迫) 换流方式。
8. 三相全桥电压型逆变电路任一瞬间有 (3) 个桥臂同时导通。
9. 矩阵式变频电路，利用三相线电压所构造的输出线电压为输入电压 (0.866) 倍。
10. 单相交流调压电路，阻感负载，阻抗角为 40° ，移相范围是 ($40^\circ \leq \alpha < 180^\circ$)，开通角为 40° ，导通角为 (180°)。

二、 问答题 (30 分)

1. 画出晶闸管的结构图。说明晶闸管导通的条件以及如何使晶闸管由导通变为关断。(8分)



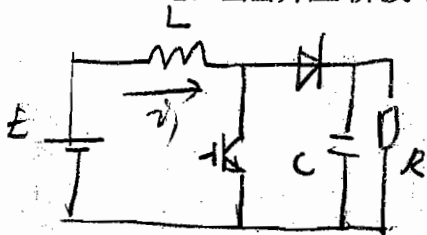
阳极A, 阴极K, 门极G, 四层PNPN结构。

导通条件：从门极注入电流

变为关断：①撤除门极正向电压 ②给门极施加反向电压

③使I降低到某一维持电流以下。

2. 画出升压斩波电路原理图，说明使输出电压高于电源电压的两个关键原因。(7分)



原因：① 电感储能具有使电压升压作用
② 电容C对电压起保持作用。

3. 为什么要采用软开关电路？软开关包括那两类？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)

① 降低开关损耗，提高开关频率
和开关频率

② 零电压开通 → 零电压关断 和 零电流关断 → 零电流关断

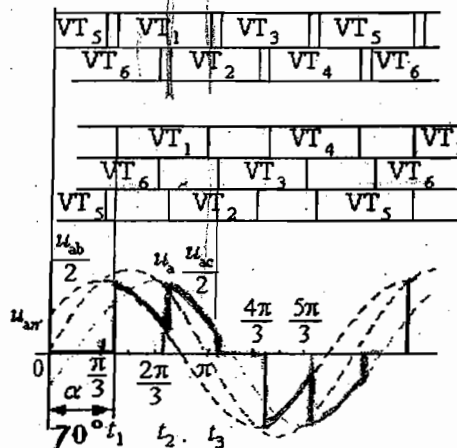
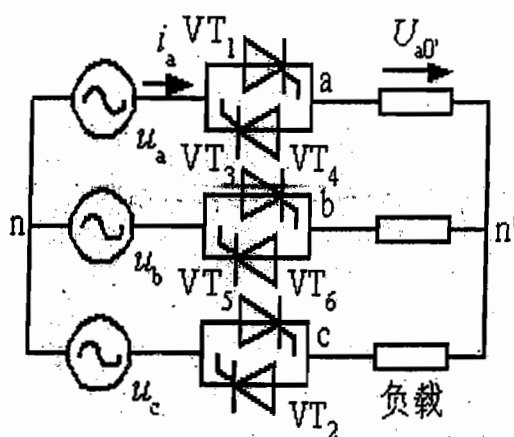
③ 条件： $\sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \cdot I_L \geq U_i$

④ 耐压： $U_p = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \cdot I_L + U_i$

三相三线交流调压电路，电阻负载。

(8分)

- (1) 开通角为 $\alpha=20^\circ, \alpha=55^\circ, \alpha=70^\circ, \alpha=100^\circ, \alpha=120^\circ, \alpha=130^\circ$ 时, 每管导通角的分别是多少?
- (2) 请在下图画出开通角 $\alpha=70^\circ$ 时 a 相负载电压波形? $\text{① } 120^\circ$
- (3) t_1, t_2, t_3 分别对应 VT1, VT2, VT3 开通时刻, $t_1 \sim t_2$ 和 $t_2 \sim t_3$ 区间分别那几个管子在导通?
- (4) 相电流 i_a 中有无 3 倍次及 6 次谐波? 为什么?



- ① $\alpha=20^\circ$ 160°
 $\alpha=55^\circ$ 125°
 $\alpha=70^\circ$ 120°
 $\alpha=100^\circ$ 100°
 $\alpha=120^\circ$ 60°
 $\alpha=130^\circ$ 60°

② 导通角 120° 换流角为 150° 和 150°
 $\frac{U_{ab}}{2}$ $\frac{U_{ac}}{2}$

③ $t_1 \sim t_2$ VT1 和 VT6 通
 $t_2 \sim t_3$ VT2 和 VT5 通

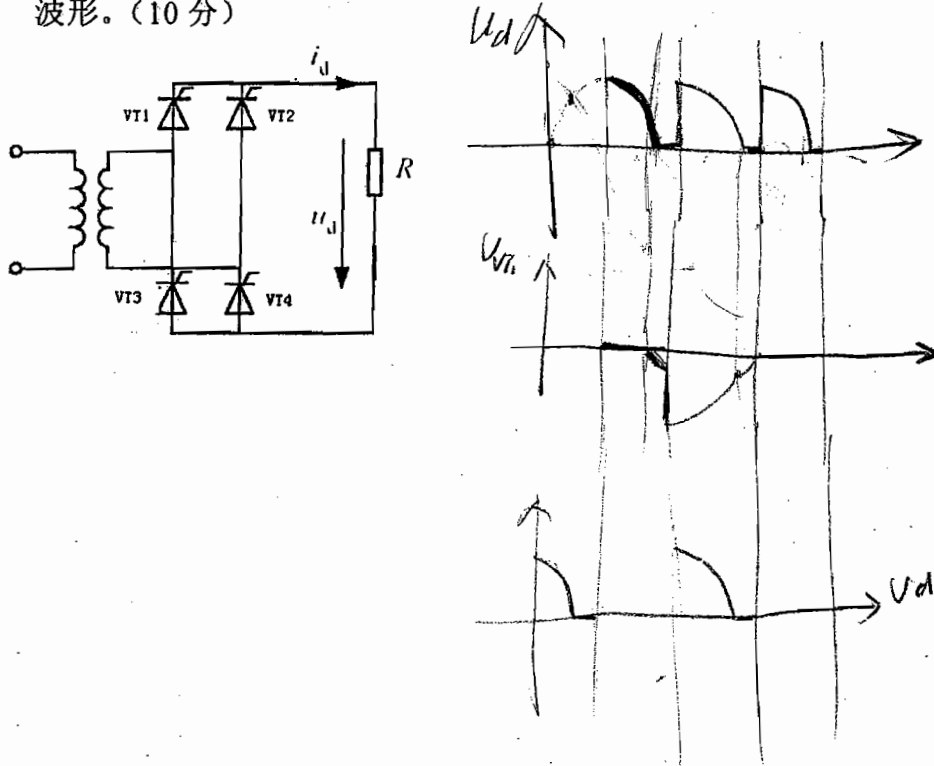
④ 无 3 次及 6 次。

三相三线制中三次谐波相位相同，幅值相同，不能流过三相三线电路，三次谐波电流也不能流过。

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° ，分别画出整流输出电压 u_d 和晶闸管 VT1 两端的电压波形。若 VT1 的触发脉冲丢失，画出此时输出电压 u_d 的波形。(10 分)



2. 由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。

- (1) 画出该整流电路原理图。
- (2) 若该电路最大整流输出电压的平均值为 234V ，试确定三相输入相电压的有效值，并确定晶闸管额定电压和额定电流（不考虑安全裕量）。(15 分)

$$U_d = 2.34 U_L \cos \alpha \Rightarrow U_L = 100\text{V}$$

$$U_{\text{min}} = U_L \sqrt{6} = 100\sqrt{6}\text{V}$$

$$\text{求 } I_d = \frac{U_d}{R}$$

$$\text{求 } I_{VT} = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

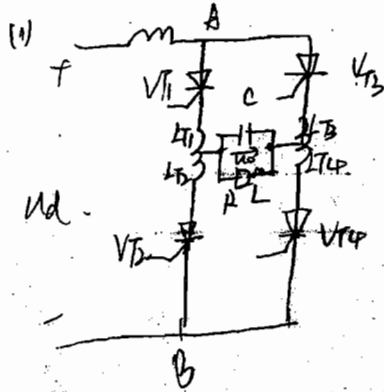
$$\text{求 } I_{VT} = I_d \sqrt{3}$$

$$\text{求 } I_{VT} = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

3. 单相桥式变流器主电路部分波形如图所示。

(10 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？
- (4) $I_d = 300A$ ，忽略换相过程，输出电流 i_o 的基波、3 次、4 次和 5 次谐波幅值是多少？
- (5) $LT1$ 、 $LT2$ 、 $LT3$ 和 $LT4$ 的作用是什么？属于什么换流方式？



(2) →

(3) 可靠换流条件

(1) $VT1$ 和 $VT4$ 可靠关断

$t_s = t_5 - t_4 > t_{off}$ 晶闸管关断时间

(2) $VT2$ 、 $VT3$ 可靠导通

在导通前 t_0 过零前触发 $VT2$ 、 $VT3$ 。

可靠关断时间

$t_s = t_5 - t_2 = t_p + t_r > t_{off}$ 晶闸管可靠导通时间。

(4) $I_d = 300A$

基波幅值

$$I_{d1} = 0.9 I_d \sqrt{2}$$

$$= \frac{4 I_d}{\pi} = \frac{4 \times 300}{\pi} = 381.97 A$$

$$I_{om3} = \frac{4 I_d}{3\pi} = 127.62 A$$

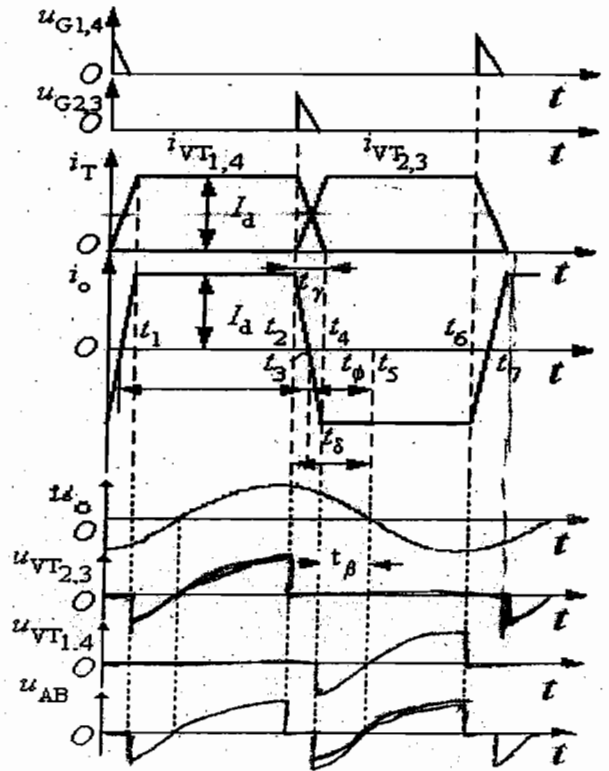
$$I_{om4} \approx$$

$$I_{om5} = \frac{4 I_d}{5\pi} = 76.34 A$$

LT 作用是限制晶闸管开通时的 $\frac{di}{dt}$ 。

(5)

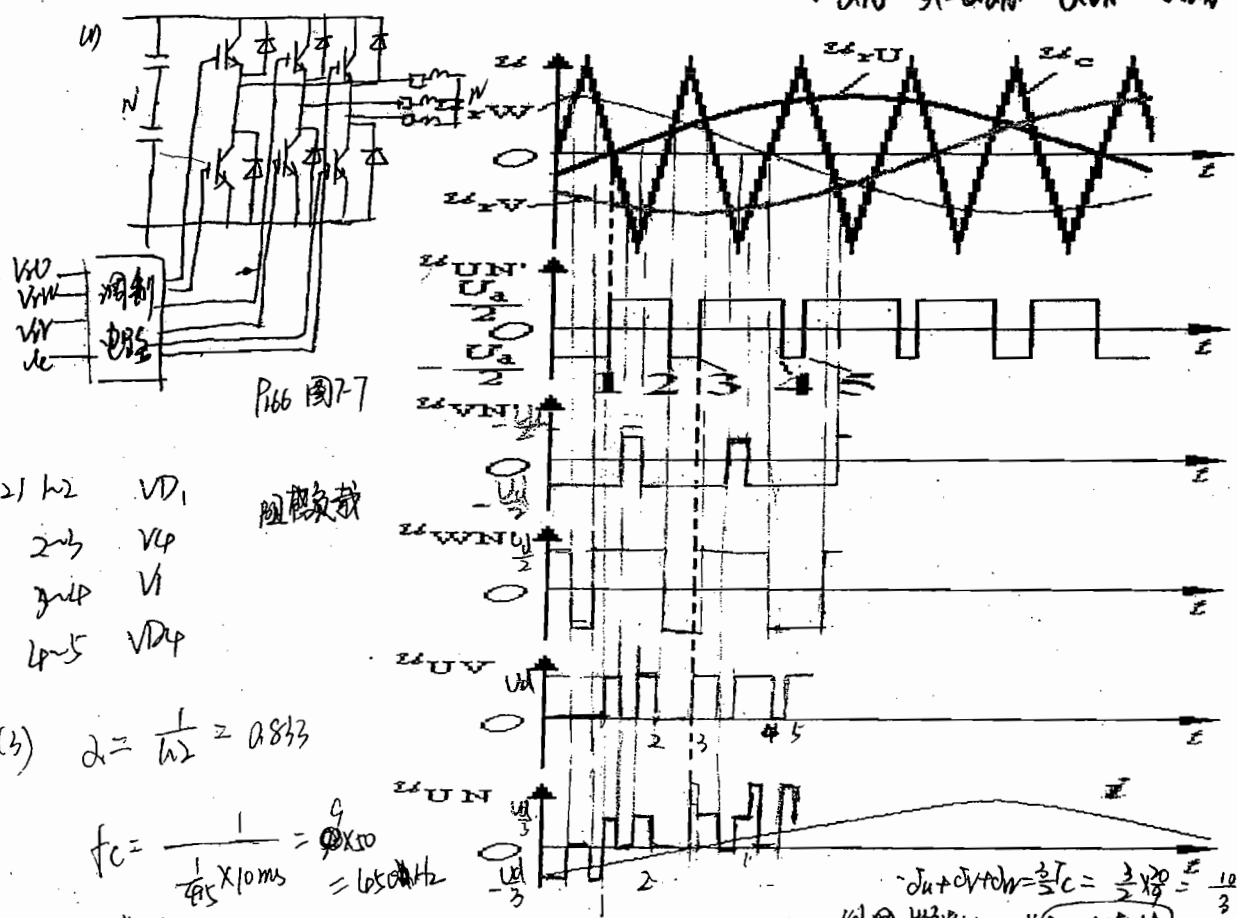
自然换相



4. 如图所示为三相桥式双极性调制 SPWM 电路部分波形, $U_d=200V$, 载波三角波幅值 u_c 为工频 50Hz 正弦波幅值 u_r 的 1.2 倍。 (15 分)

- (1) 画出主电路的原理图
- (2) 图中 1~2, 2~3, 3~4, 4~5 各开关时段, 分别有那些元件在导通?
- (3) 此时调制度 a 为多少? 载波频率 f_c 是多少? , 试用规则采样法计算图中 2, 3, 4, 5 开关位置相对位置 1 的电角度? $\delta_u + \delta_v + \delta_w = ?$
- (4) 若采用特定谐波消去法, 开关次数与下图相同, 若调制度 $a=0.5$, 可以消去的谐波有几种?
- (5) 本波形有无余弦项和偶次谐波? 如要求无余弦项和偶次谐波应满足什么条件?
- (6) 请在下图虚线区域内画出 1~5 时刻以内电压 u_{VN}, u_{WN} 线电压 u_{UV} 和相电压 u_{UN} 波形图。输出相电压电平分别是多少?

$$V_{UN} = \frac{1}{3}(2U_{UN} - U_{VN} - U_{WN})$$



- 1-2 VD_1
2-3 VD_4
3-4 VD_1
4-5 VD_4

(3) $a = \frac{1}{1.2} = 0.833$

$$f_c = \frac{1}{\frac{1}{45} \times 10ms} = 4500Hz$$

规则采样法
1-2 $\delta_1 = \frac{T_c}{2}(1 + a \sin \omega_r t_0)$
 $= \frac{1}{2} \times \frac{20}{9} \times (1 + 0.833 \times \sin \frac{\pi}{18}) = 2.06ms$
 $= 127ms$

2-3 $\delta_2 = \frac{T_c}{2}(1 + a \sin \omega_r t_0)$
 $= \frac{1}{2} \times \frac{20}{9} \times (1 + 0.833 \times \sin \frac{5\pi}{18}) = 1.82ms$

3-4 $\delta_3 = \frac{T_c}{2}(1 + a \sin \omega_r t_0)$
 $= \frac{1}{2} \times \frac{20}{9} \times (1 + 0.833 \times \sin \frac{7\pi}{18}) = 1.69ms \rightarrow 21.48^\circ \rightarrow 0.374 rad$
4-5 $\delta_4 = \frac{T_c}{2}(1 + a \sin \omega_r t_0)$
 $= \frac{1}{2} \times \frac{20}{9} \times (1 + 0.833 \times \sin \frac{9\pi}{18}) = 1.57ms \rightarrow 22.62^\circ \rightarrow 0.397 rad$
5-6 $\delta_5 = \frac{T_c}{2}(1 + a \sin \omega_r t_0)$
 $= \frac{1}{2} \times \frac{20}{9} \times (1 + 0.833 \times \sin \frac{11\pi}{18}) = 1.48ms \rightarrow 21.48^\circ \rightarrow 0.374 rad$

14) 谐波消去法
15) 谐波消去法
条件: 波形正负半周期对称, 无偶次谐波
 $u(t) = -u(t+\pi)$
周期内前后半周期以 π 为相位对称
 $u(t) = u(t-\pi)$, 则无偶次谐波

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° $\beta=150^\circ=180^\circ-\alpha$), 负载电压有效值 U_o 为 (216.805) V. 对阻感性负载 $\cos\alpha=0.5$ 稳态时, 其移相范围为 ($60^\circ \leq \alpha < 180^\circ$)

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 ($\pm U_d, 0$)

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)

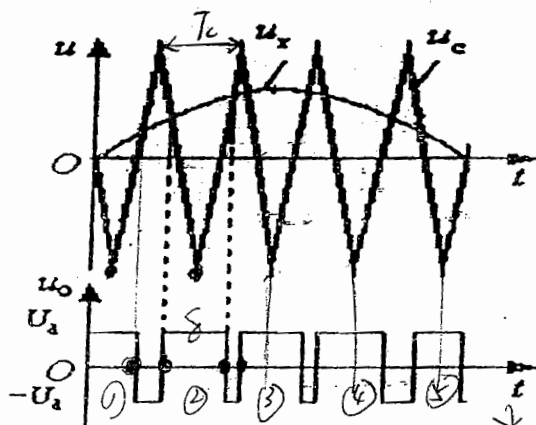
2. 如图所示为双极性 SPWM 波, 脉冲波幅值 u_c 为正弦波幅值 u_r 的 1.6 倍, 半波为 5 个脉冲, 试用规则采样法计算各脉冲的宽度? 此时调制度为多少? 若采用特定谐波消去法, 可以消去几种谐波?

$$a = \frac{U_{rm}}{U_{cm}} = \frac{1}{1.6}$$

规则采样法和自然采样法相比有何优缺点? (12 分)

(1) 由于以 $\frac{T_c}{2}$ 线左右对称, 前半个周期取 4 个开关, 取其一半作为基波控制, $4-1=3$ 种可消去谐波。

(4) 谐波自然消去, 但计算量小。



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?

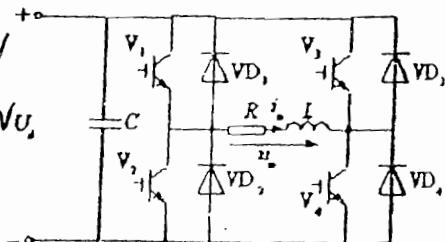
2) 画出逆变器输出电压 u_o 和输出电流 i_o 的波形 (画在试卷图上), 说明各区间导通的 IGBT 和二极管。

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

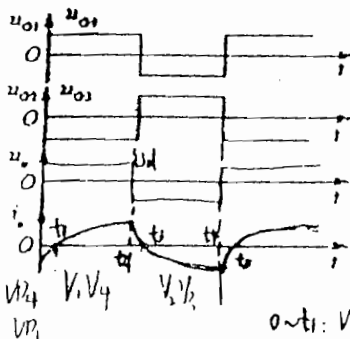
$$\text{有效值 } U_{o1} = \frac{4U_d}{\sqrt{2}} = 198.17V$$

$$\text{皮布系数 } U_{o3} = \frac{4U_d}{3\sqrt{2}} = 66.06V$$

$$U_{o5} = \frac{4U_d}{5\sqrt{2}} = 39.64V$$



单相全桥逆变电路主电路

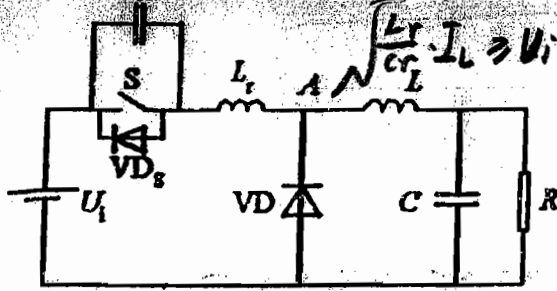


0~t1: V1, VD4
t1~t2: V1, V4
t2~t3: VD2, VD3
t3~t4: V2, V3

波形图

天，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）

软开关：在电路关断前使电压判变为0。



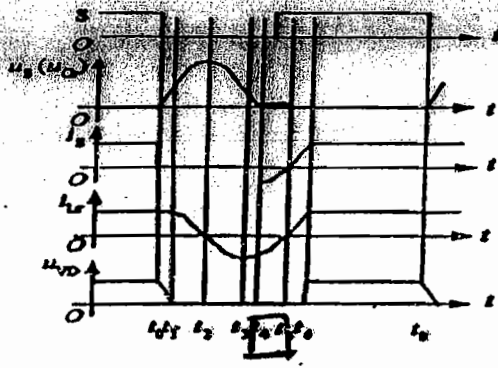
零电压开关准谐振电路图

SE在 $t_1 \sim t_2$ 段开通

属零电压开关

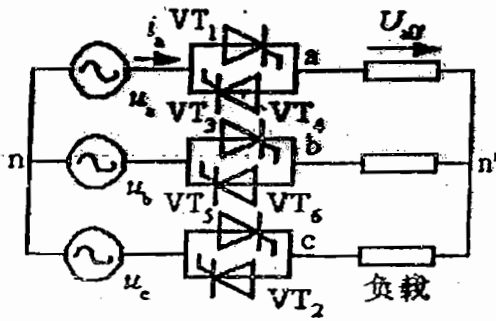
实现软开关条件： $\sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_L \geq U_i$

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

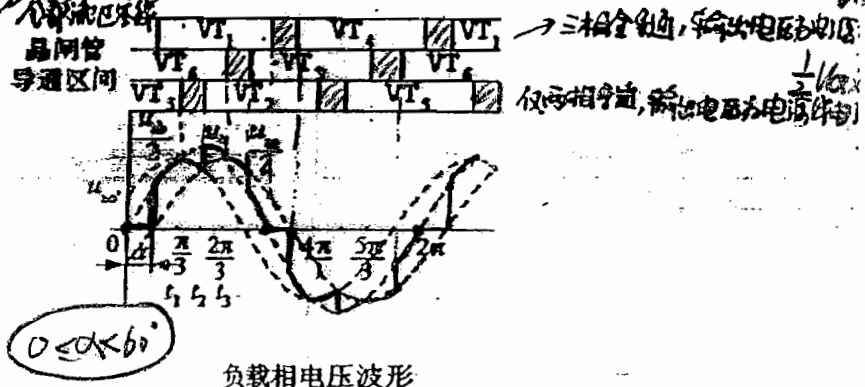


零电压开关准谐振电路的理想化波形图

5. 如图所示三相三线交流调压电路，画出a相负载电压 u_{a0} 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



负载相电压波形

无三次电流谐波，有均在中线中流动

三相三线：3次谐波电流在相电流中流动，无

三相四线：3次谐波电流同相幅值相等，相当于一组电源三相线中的三次谐波电流均要流过零线

3903 大雅《电力电子技术》考题

一、图示为三相桥式可控整流电路，分别接电阻负载和大电感性负载。

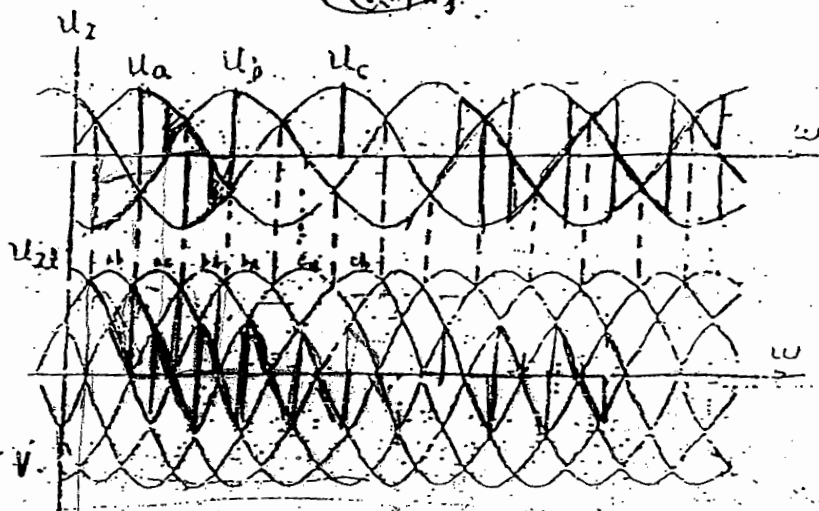
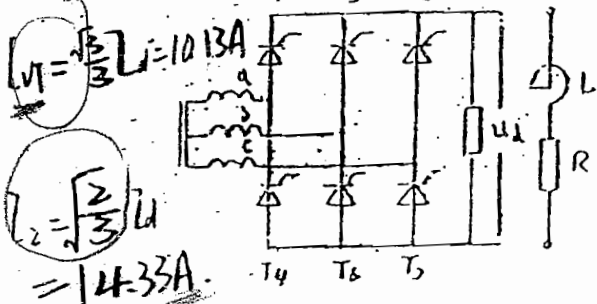
1. 画出 $\alpha = 60^\circ$ 、 $\alpha = 90^\circ$ 时电阻负载和 2) 大电感性负载输出整流电压 U_d 的波形。

2. 已知 $U_2 = 150V$, $R = 10\Omega$ ，试计算大电感性负载 $\alpha = 60^\circ$ 时的输出平均电压 U_d 、平均电流 I_d 、晶闸管电流有效值 I_T 及变压器次级电流有效值 I_2 。

3. 分析当晶闸管 T_1 击穿短路（直通）后，对其他晶闸管造成什么影响？

$$U_d = 2.34 U_2 \cos \alpha = 175.5V$$

$$I_d = U_d / R = 17.55A$$



$$U_d = 2.34 U_2 \cos \alpha = 2.34 \times 150 \times \cos 60^\circ = 175.5V$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{175.5}{10} = 17.55A$$

$$I_T = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = 10.11A$$

$$I_2 = \sqrt{3} I_T = 17.55A$$

$$I_2 = 17.55A$$

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

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

$$I_T = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

$$I_2 = \sqrt{3} I_T$$

$$U_d = 0.9 U_2 \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right)$$

$$I_d = U_d / R$$

$$I_T = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

$$I_2 = \sqrt{3} I_T$$

三、图示为降压式变换器电路原理图，设电感电流连续。

1. 叙述降压式变换器的工作原理。

2. 已知 $U_i = 100V$, L 值 C 值极大，负载电阻 $R_L = 10\Omega$ ，电路工作频率 $f = 20kHz$ ，晶

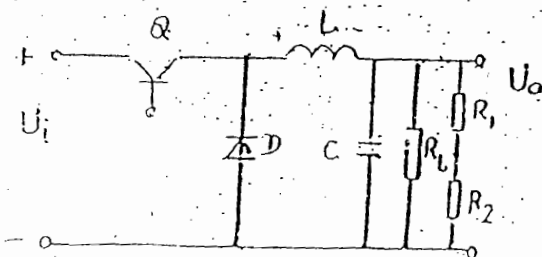
体管导通时间 $t_{on} = 30\mu s$ ，试计算输出电压平均值 U_o 和输出电流平均值 I_o 。

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{20 \times 10^3} = 50\mu s$$

$$\alpha = \frac{t_{on}}{T} = \frac{30}{50} = 0.6$$

$$U_o = \alpha \cdot U_i = 0.6 \times 100 = 60V$$

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{60}{10} = 6A$$



$$\alpha = 0.6$$

$$\alpha = \frac{t_{on}}{T} = \frac{30 \times 10^{-6}}{50 \times 10^{-6}} = 0.6$$

$$U_o = 60V$$

$$I_o = 6A$$

$$I_o = 6A$$

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

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

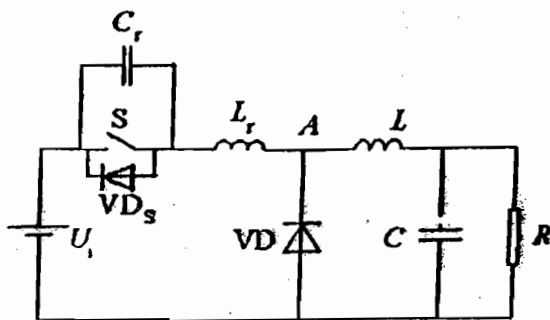
$$I_T = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$$

$$I_2 = \sqrt{3} I_T$$

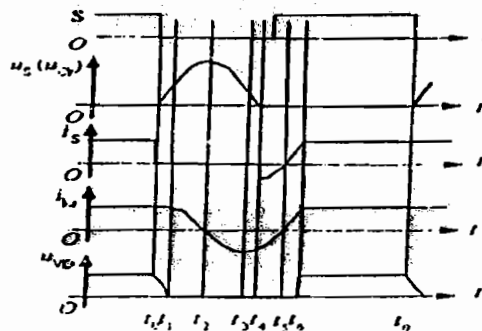
$$U_o = \alpha \cdot U_i = 0.6 \times 100$$

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{60}{10} = 6$$

4. 如图所示为零电压开关准谐振电路原理图和波形图, 在图中标示 S 应在何时刻开通, 何时关断, 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



零电压开关准谐振电路的理想化波形图

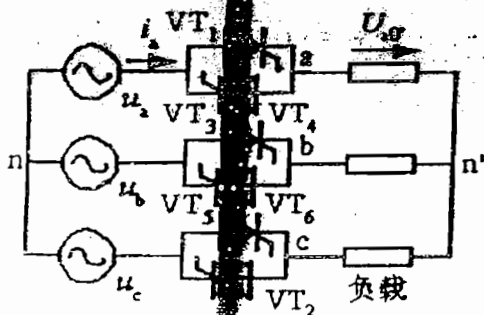
在 $t_{u1} \sim t_{u2}$ 时较开通... 这时 S 两端电压为零不产生损耗。

零电压开通
准谐振电路

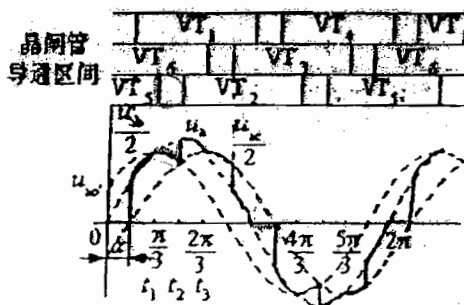
$$I_L \geq U_i$$

$$U_p = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_L + U_i$$

5. 如图所示三相交流调压电路, 画出 a 相负载电压 u_{ag} 波形 (画在试卷图上), 该线路中有无二次电流谐波, 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



负载相电压波形

无

1. 举例说明常用的三类电力电子器件(不可控、半控和全控)的工作原理、基本特性、主要参数以及选择和使用中应注意的一些问题。(9分)

2. 对晶闸管触发电路的基本要求有哪些?(6分)

3. 给出降压斩波电路的线路图,针对电感电流连续和断续两种情况叙述其工作原理,并画出可控电力半导体器件、电感电流和输出电压的波形图。(9分)

二 计算题

1. 如图 1 所示的单相全控整流电路,带纯电阻负载 $R=10\ \Omega$,变压器二次侧 $u_2=220\sin(314t)\text{V}$,当触发角为 30° 时:

计算输出整流电压的平均值、单只晶闸管电流的平均值和有效值、变压器二次侧电流的有效值:

绘出一个周期中负载电阻两端的电压波形、晶闸管两端的电压波形。(10分)

2. 三相桥式全控整流电路中,变压器二次侧电压的有效值为 120V ,带阻感负载,电阻 $R=5\ \Omega$, L 值极大,当触发角为 30° 时:

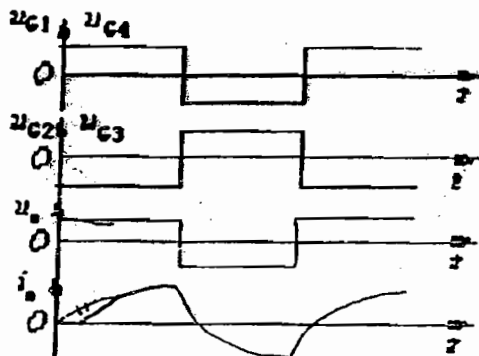
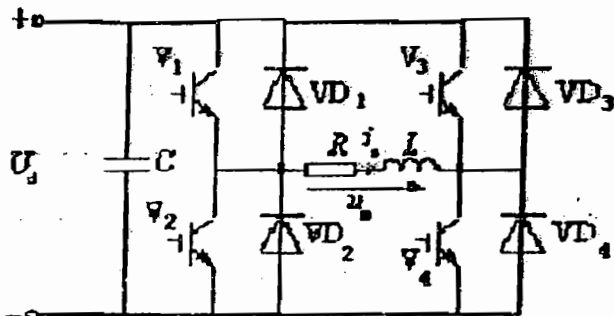
(1) 绘出一个周期中,负载两端电压、电流,变压器二次侧某相电流和单只晶闸管两端承受的电压波形图:

(2) 计算负载电压、电流的平均值,计算单只晶闸管电流的有效值,计算变压器二次侧单相电流的有效值。(16分)

四、单相全桥电压型逆变电路如下图所示，阻感性负载， $u_{G1}, u_{G2}, u_{G3}, u_{G4}$ 为 IGBT V1, V2, V3 和 V4 的栅极驱动信号，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?

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。

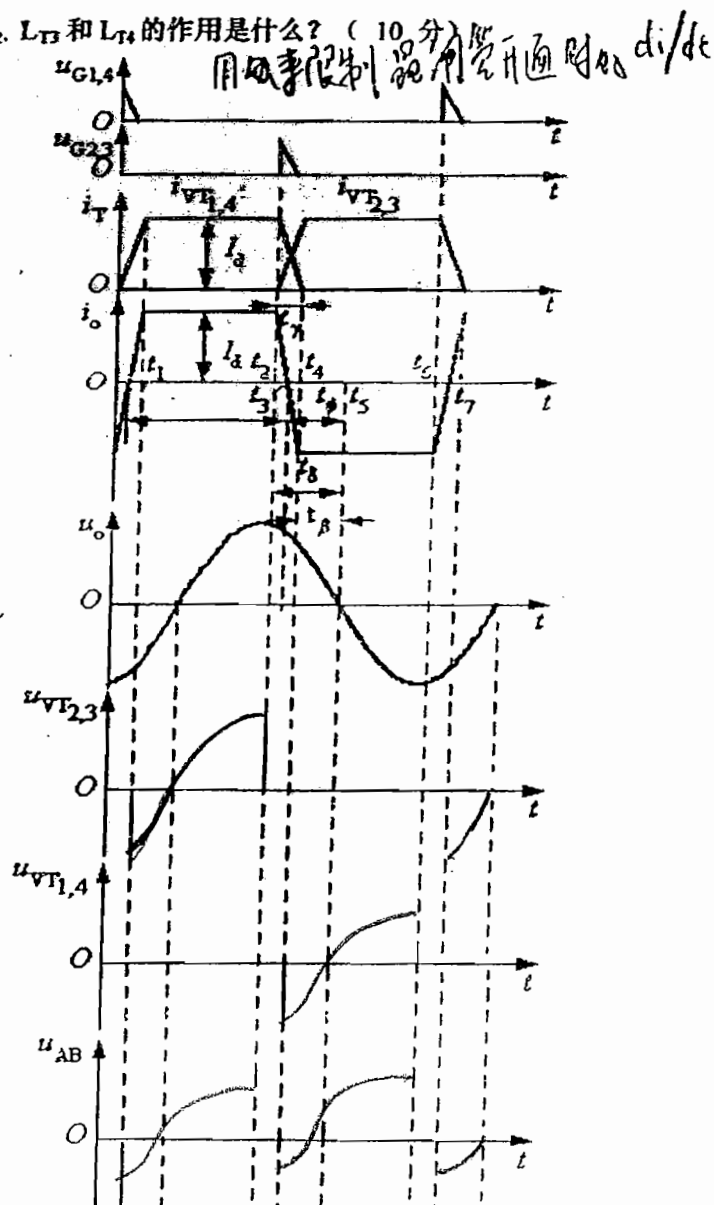
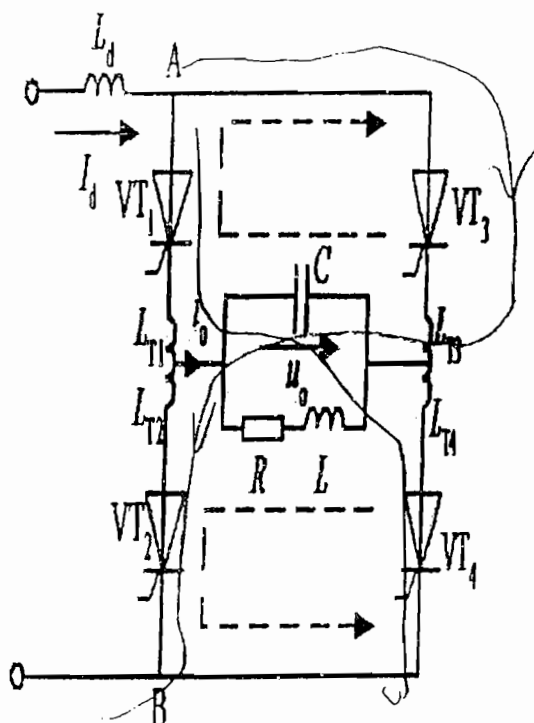
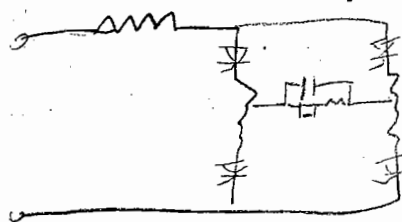


五、单相桥式电流型逆变电路及部分波形如下图所示，绘出余下的3个波形。为保证换相相应满足什

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）

在负载电压 u_o 过0前

去触发 V_{T2}, V_{T3}



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 (3) 个桥臂同时导通, 换流方式是 (180° 导电方式)

向换流。若采用 SPWM 控制, 同步调制时, 为使一相的 PWM 波正负半周镜对称, 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

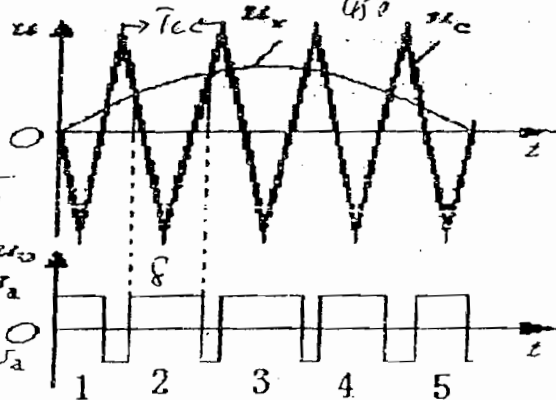
(135), 负载电压有效值 U_o 为 $U_1 \sqrt{\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi}}$ V, 功率因数为 $\sqrt{\frac{3}{4} + \frac{1}{2\pi}}$ 。对阻感性负载 $\theta=36^\circ$

负载功率因数 $\cos \phi=0.5$ 在稳态时, 其移相范围为 ()。

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)



$$m = \frac{u_m}{u_c} = \frac{1}{1.25} = 0.8$$

$$T_c = \frac{1}{50} \times \frac{1}{9} = \frac{1}{450} \text{ s}$$

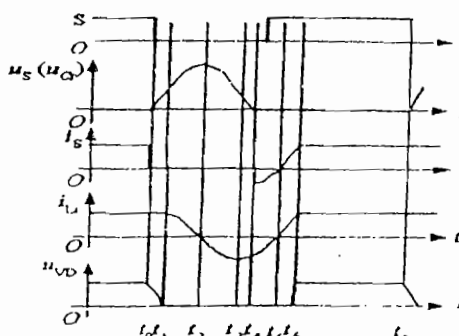
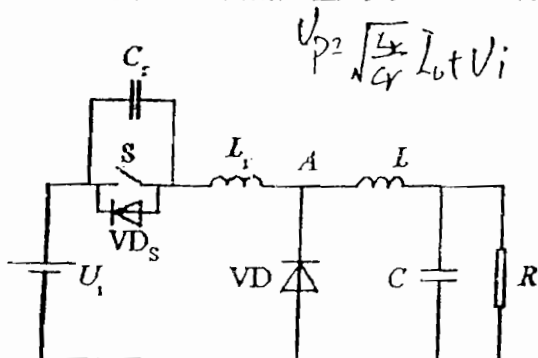
$$\delta = \frac{1}{2 \times 50 \times 9} (1 + 0.8 \sin u_r T_c)$$

$$T_D = \frac{1}{450} \times \frac{1}{4} + T_c$$

三、如下图所示为零电压开关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)



零电压关断
电压定频
条件:
 $\sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_L \geq U_i$

138 010 27524

$$2 \times 1.17 \times U_2 \times \cos 30^\circ = 234$$

$$U_2 = 100 \text{ V}$$

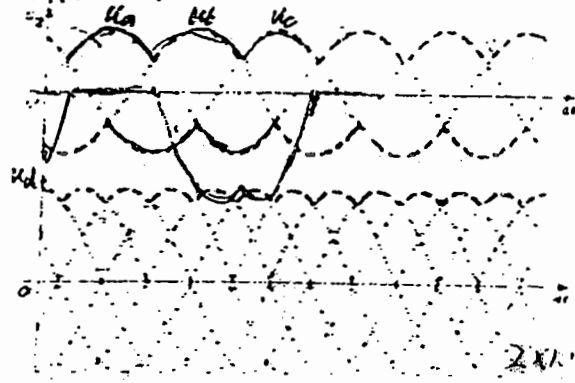
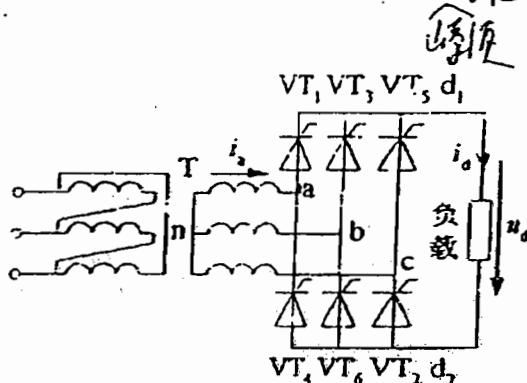
2. 三相桥式全控整流电路，频率 50Hz，阻感负载 $R=6\Omega$ 、 L 值极大。问

(1) 整流输出电压最大时，触发角 α 为多少？ $\alpha=0^\circ$

(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。
 $U_d = 2.34 U_2 \cos \alpha$ ($\alpha < 60^\circ$ 带阻)

(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) 断态反向电压 $U_{DRM} = \sqrt{6} U_2$ 正向电压 $U_{DRM} = \sqrt{2} U_2$



断态反向电压 U_{DRM}

$$2 \times 1.17 U_2 = U_d$$

$$\sqrt{2} U_{2c} = \sqrt{6} U_2$$

$$1.17 U_2 = U_d = 234 \text{ V}$$

$$U_{m1} \sin 90^\circ + U_{m2} \sin 30^\circ$$

$$\sin x + \sin(x + \frac{\pi}{6})$$

$$= 2 \sin \frac{2x + \frac{\pi}{6}}{2} \cos \frac{\frac{\pi}{6}}{2}$$

$$= 2 \sin(x + \frac{\pi}{6}) \cdot \cos(\frac{\pi}{12})$$

$$= 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(x + \frac{\pi}{6})$$

2. 晶闸管承受正向电压时, 不论门极是否有触发电流, 晶闸管都不会导通。当晶闸管承受正向电压, 且门极有触发电流的情况下, 晶闸管将导通。晶闸管一旦导通, 门极就失去控制作用, 不论门极触发电流是否存在, 晶闸管都保持导通。若要使已导通的晶闸管关断, 只能利用外加电压和外电路的作用使流过晶闸管的电流降到接近于零的某一数值以下。

班级:

学号:

姓名:

一、论述题

交流变直流、直流变交流、直流变直流、交流变交流

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时一般具有的特征是什么? (8分) 1. 是工作在开关状态

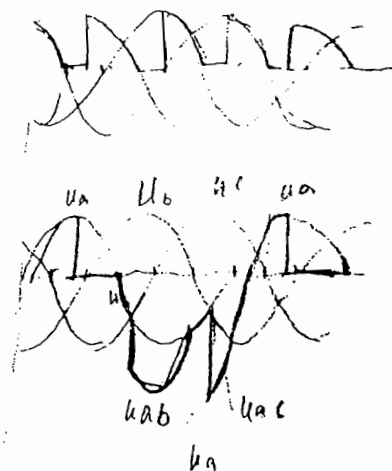
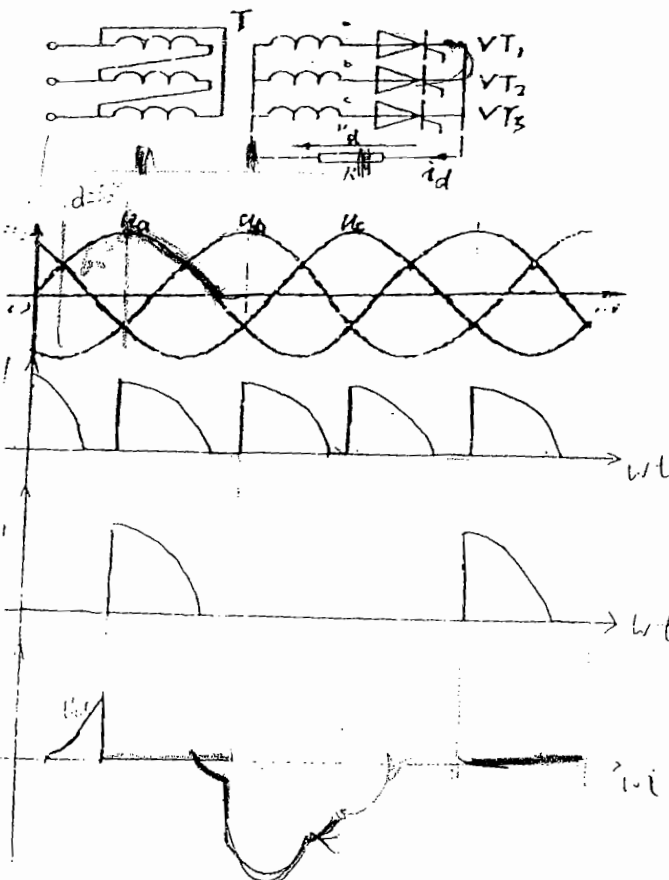
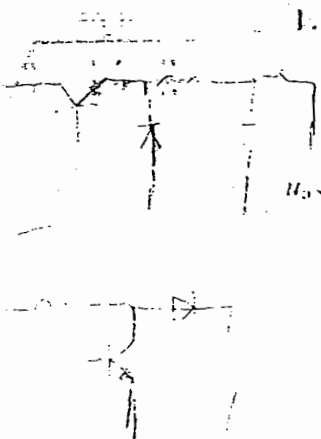
2. 试根据晶闸管的工作原理, 说明其正常工作时的特性。(5分)

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

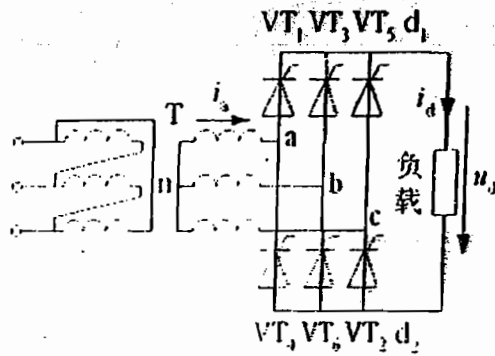
1. 如图所示三相半波可控整流电路, 电阻负载, 以及变压器二次电压的波形, 试画出触发角 $\alpha=60^\circ$ 时负载电压 u_d 的波形、晶闸管 VT_1 通过的电流和承受的电压波形。(10分)

(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。)



$$U_d = \frac{\tan \alpha}{\pi} E = \alpha E$$

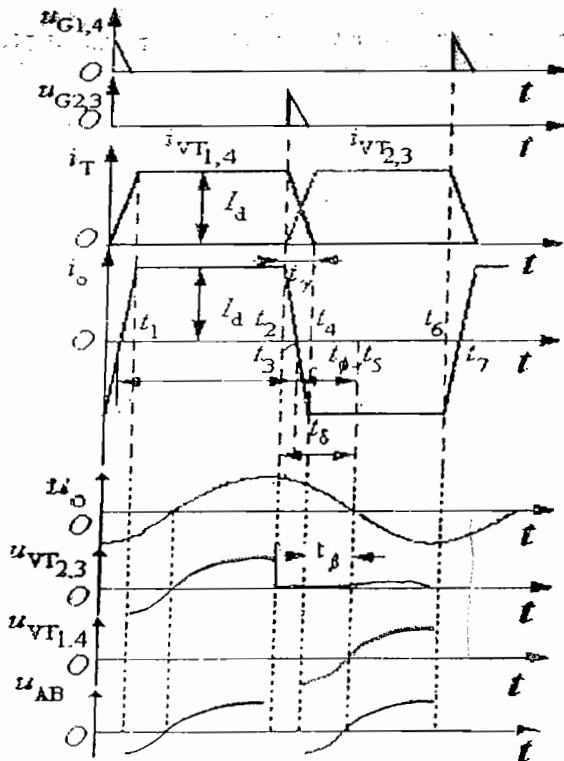
$$I_{d1} = \frac{U_d - E_m}{R}$$



4、单相桥式电流型逆变电路部分波形如题4图所示。

(9分)

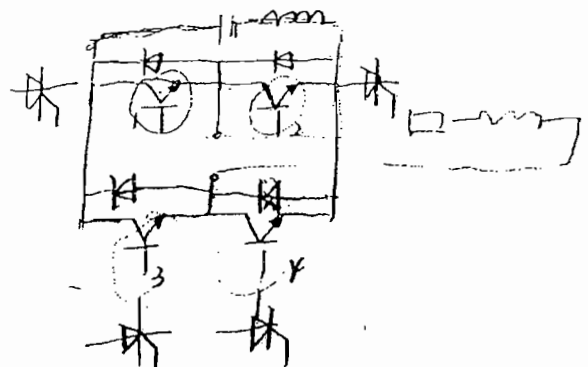
- (1) 画出主电路的原理图
- (2) 绘出 $u_{VT2,3}$ 、 $u_{VT1,4}$ 和 u_{AB} 的波形。
- (3) 为保证换相成功应满足什么条件? $t_5 - t_4 > \text{关断时间}$ $t_5 - t_2 > \text{开通时间}$
- (4) $I_d = 300A$, 忽略换相过程, 输出电流 i_o 的基波、5次和6次谐波幅值是多少?
- (5) $LT1$, $LT2$, $LT3$ 和 $LT4$ 的作用是什么? LT 用来限制晶闸管开通时的 di/dt



题4图并联谐振式逆变电路工作波形

$$I_{d1} = \frac{I_d}{2} = \frac{300}{2} = 150A$$

$$I_{d5} = \frac{I_d}{5} = \frac{300}{5} = 60A$$



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 ($|V_{GS}| < 20V$)，使用或保存时应注意因 (过电压) 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 (50) V，若利用线电压构造输出电压，则最大输出电压幅值为 (86.60) V (保留 2 位小数)。

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)

四层半导体结构
PN, PN
形成三个 PN 结

导通：使晶闸管承受正向电压，并在栅极给以电流触发

关断：利用外加电路使晶闸管流过的电压降到维持电流以下

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)

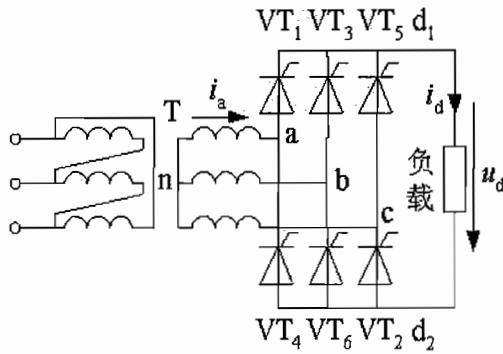
三、计算与分析题(50 分)

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，VT1 的电压、电流波形，

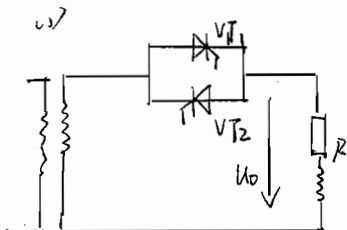
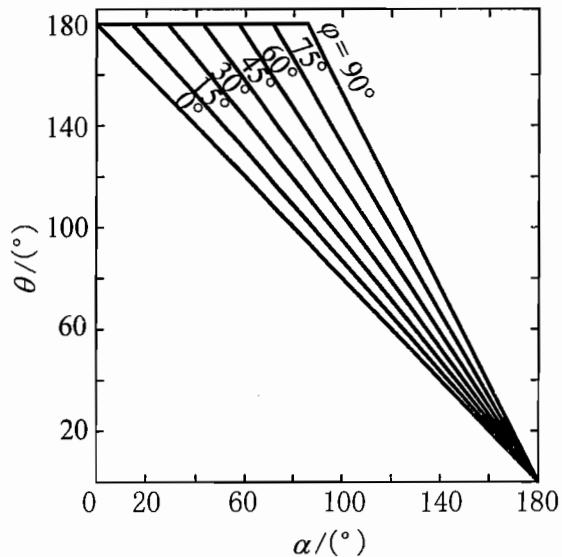
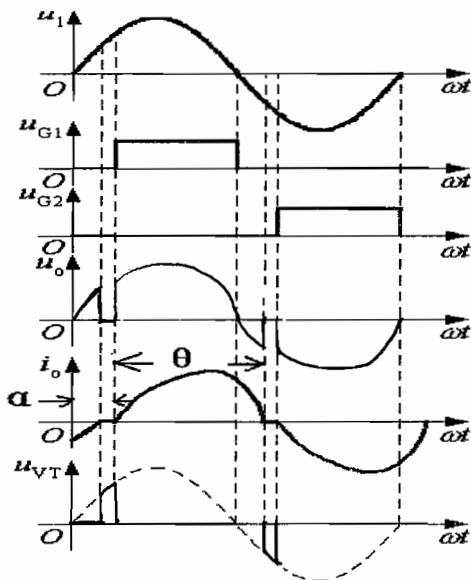
(2) 计算整流输出电压的平均值，输出电流的平均值，流过晶闸管的电流平均值和有效值。
 $U_d = 2.34 \cdot U_2 \cdot \cos 60^\circ = 117V$ $I_d = \frac{U_d}{R} = 23.4A$ $I_{VT} = \frac{I_d}{3} = 7.8A$

$$I_{dVT} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = 13.5A$$



2、单相交流调压电路，阻感性负载，阻抗角 30° 。 (10 分)

- (1) 画出主电路的原理图
- (2) 请在下图画出开通角 $\alpha=60^\circ$ 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?



3) $\theta = \frac{180 - \alpha}{180 - \varphi} \cdot 180^\circ = 144^\circ$

(4) $\alpha = 15^\circ$, $\theta = 165^\circ$; $\alpha = 30^\circ$, $\theta = 150^\circ$; $\alpha = 60^\circ$, $\theta = 120^\circ$

(5) $U_d = \frac{220}{\sqrt{2}} \cdot \int_0^{\pi} \sin \omega t d\omega t = 220 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 130.7V$

$U_o = U_1 \sqrt{\frac{1}{2\pi} \sin 2\alpha + \frac{\pi - 2\alpha}{\pi}} = 216.8V$