

武汉大学 2012—2013 学年度第一学期
《电力电子技术》期末试卷 (A) (时间: 150 分钟)

班级: 姓名: 学号: 得分:

一、简答题: (8 × 5 分= 40 分)

1、什么是电力电子技术? 为何电力电子器件一般工作在开关状态?

答: 电力电子技术就是使用电力电子器件对电能进行变换和控制的技术。

电力电子器件处理的电功率较大, 为了提高效率, 避免电力电子器件的损耗过大, 电力电子器件一般都工作在开关状态。

2、按照驱动电路加在电力电子器件控制端和公共端之间信号的性质, 可以将电力电子器件分为哪几类? 各类电力电子器件的优缺点是什么?

答: 按照驱动电路加在电力电子器件控制端和公共端之间信号的性质, 可以将电力电子器件分为电压驱动型和电流驱动型。

电压驱动型的优点是: 输入阻抗高, 所需驱动功率小, 驱动电路简单, 工作频率高。缺点: 通态压降大, 电压、电流容量小, 难于制成高压大电流器件。电流驱动型器件的优点是: 具有电导调制效应, 因而通态压降低, 导通损耗小。缺点是: 工作频率较低, 所需驱动功率大, 驱动电路也比较复杂。

3、晶闸管导通条件是什么? 维持晶闸管导通条件是什么? 怎样才能使晶闸管由导通变为关断?

答: 晶闸管导通条件是: 晶闸管承受正向电压, 且门极有触发电流。

维持晶闸管导通的条件是使晶闸管的电流大于能保持晶闸管导通的最小电流, 即维持电流。

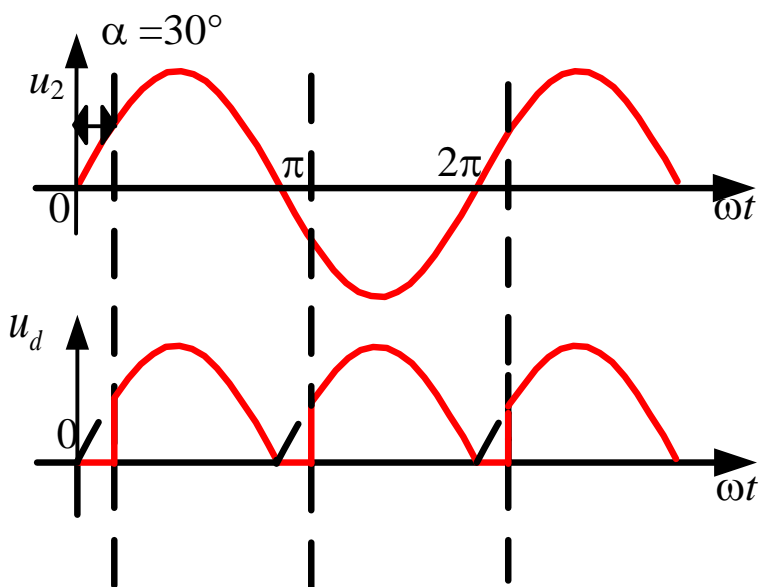
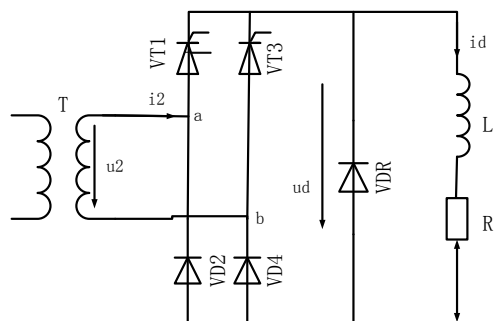
要使晶闸管由导通变为关断, 可利用外加电压和外电路的作用使流过晶闸管的电流降到接近于零的某一数值以下, 即降到维持电流以下, 便可使导通的晶闸管关断。

4、从降低电力电子器件损耗的角度考虑, 分析缓冲电路与软开关的工作方式。

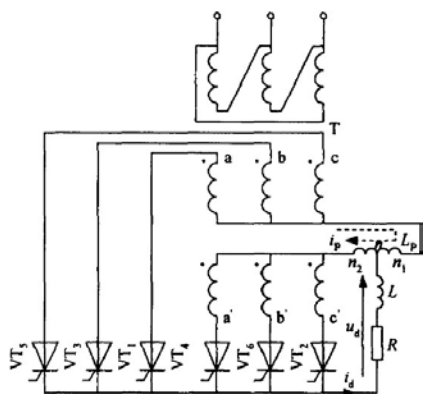
答: 缓冲电路的工作方式为: 通过 RC 或者 RCD 充放电回路, 抑制电力电子器

件的内因过电压、 $\frac{du}{dt}$ 或者过电流和 $\frac{di}{dt}$ ，缓冲电路可分为关断缓冲电路和开通缓冲电路。关断缓冲电路用于吸收器件的关断过电压、换相过电压，减小关断损耗。开通缓冲电路用于抑制器件开通时的电流过冲和 $\frac{di}{dt}$ ，减小器件的开通损耗。软开关的工作方式为：通过在开关过程前后引入谐振，使开关开通前电压先降到零，关断前电流先降到零，消除开关过程中电压、电流的重叠，降低它们的变化率，从而大大减小开关损耗和开关噪声。

5、单相桥式半控整流电路中，电感L足够大（负载电流不间断），画出 $\alpha = 30^\circ$ 时输出电压 U_d 的波形。



6、带平衡电抗器的双反星形可控整流电路中，平衡电抗器的作用是什么？如果没有平衡电抗器，那么该电路的功能实现将会产生什么影响？



答：平衡电抗器的作用使得两组三相半波整流电路同时导电，平衡电抗器 L_p 承担了 n_1 、 n_2 间的电位差，它补偿了 u'_b 和 u_a 的电动势差，使得两相的晶闸管能同时导电。

双反星形电路中如不接平衡电抗器，即成为六相半波整流电路，只能有一个晶闸管导电，其余五管均阻断，六相半波整流电路晶闸管导电时间短，变压器利用率低。

7、画出降压斩波电路图并简述其工作原理。

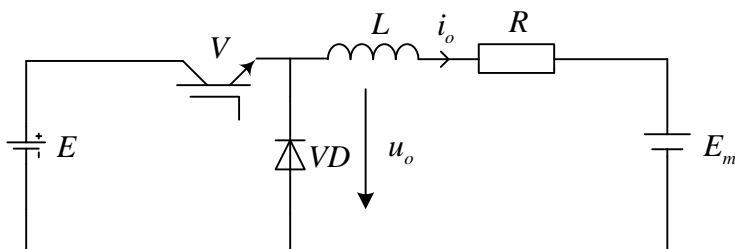


图 7：降压斩波电路图

工作原理：在 $t=0$ 时刻驱动 V 导通，电源 E 向负载供电，负载电压 $u_o = E$ ，负载电流 i_o 按指数曲线上升。当 $t=t_1$ 的某个时刻，控制 V 关断，负载电流经二极管 VD 续流，负载电压 u_o 近似为零，负载电流呈指数曲线下降。为了使负载电流连续且脉动小，通常使串联的电感 L 较大。至一个周期 T 结束，再驱动 V 导通，重复上一周期的过程。当电路工作于稳态是，负载电流在一个周期的初值和终值相等，负载电压的平均值

$$U_o = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} E = \frac{t_{on}}{T} E = \alpha E$$

式中： t_{on} 为 V 处于通态的时间； t_{off} 为 V 处于断态的时间；T 为开关周期； α 为导通占空比。

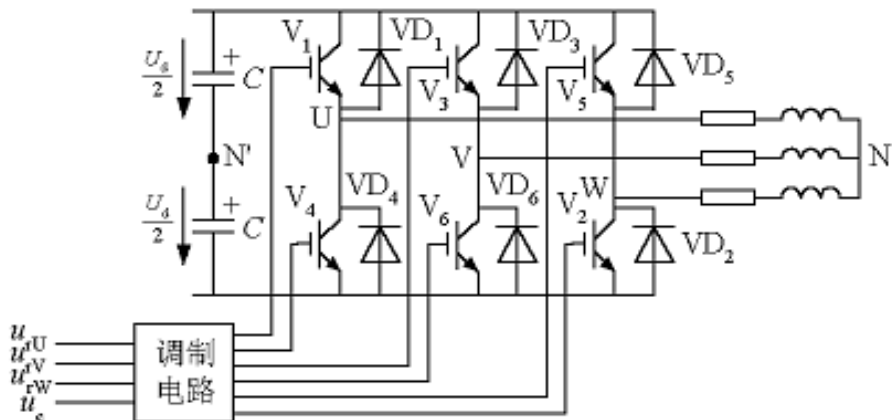
8、什么是载波比？同步调制和异步调制的优缺点是什么？

答：在 PWM 控制电路中，载波频率 f_c 与调制信号频率 f_r 之比 $N = f_c / f_r$ 称为载波比。

同步调制时，保持载波比为常数，并在变频时使载波和信号波保持同步变化。优点是：信号波一周内输出的脉冲数是固定的，脉冲相位也是固定的，对称性好。缺点是：当逆变频率较低时，载波频率也很低，造成调制谐波不易滤除；逆变频率较高时，调制载波频率也过高，使开关器件的开关频率过高而难以承受。异步调制是保持载波频率不变，信号频率根据需要而改变时，载波比是变化的。优点：信号频率较低时载波比较大，一周内脉冲数较多，输出较接近正弦波。缺点：正负半周脉冲数不相等，对称性差。因此，希望采用较高的载波频率，以克服在信号频率较高时仍能保持较大的载波比。

二、计算题（2 × 15 分 = 30 分）

1、对于三相桥式 PWM 逆变电路，三相对称阻感负载，直流侧电压 $U_d=1000V$ ，输出线电压为 380V/50Hz，采用三角波调制方式，求：



(1) 计算调制度；

$$\text{解: } m = \frac{380/\sqrt{3} \times \sqrt{2}}{1000/2} = 0.62$$

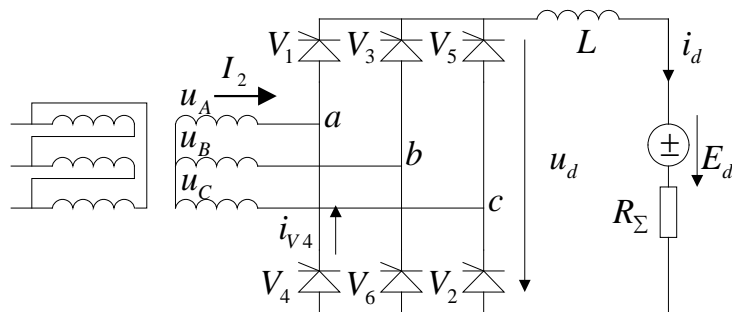
(2) 载波频率为 3000Hz, 计算载波比, 每个电力电子器件的开关频率是多少;

$$\text{解: } N = \frac{f_c}{f_r} = \frac{3000}{50} = 60, \text{ 电力电子器件的开关频率等于载波频率, 为 3000HZ。}$$

(3) 采用什么方式防止一个桥臂上下两个电力电子器件的直通;

答: 给电力电子器件加死区时间。

2、三相桥式全控变流电路如图所示, 反电动势阻感负载, $u_A = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$, $U_2=220V$, $R=1\Omega$, L 值极大, $E_d=-400V$, $L_B=1mH$, $\alpha=120^\circ$; 计算 U_d 及电机回馈给系统的功率是多少? (提示: 对于三相桥式电路, $\Delta U_d = \frac{3X_B}{\pi} I_d$)



$$U_d' = 2.34 \times U_2 \times \cos \alpha = 2.34 \times 220 \times \left(-\frac{1}{2}\right) = -257.4(V)$$

$$r_B = \frac{3 \times \omega L_B}{\pi} = \frac{3 \times 100\pi \times 1 \times 10^{-3}}{\pi} = 0.3(\Omega)$$

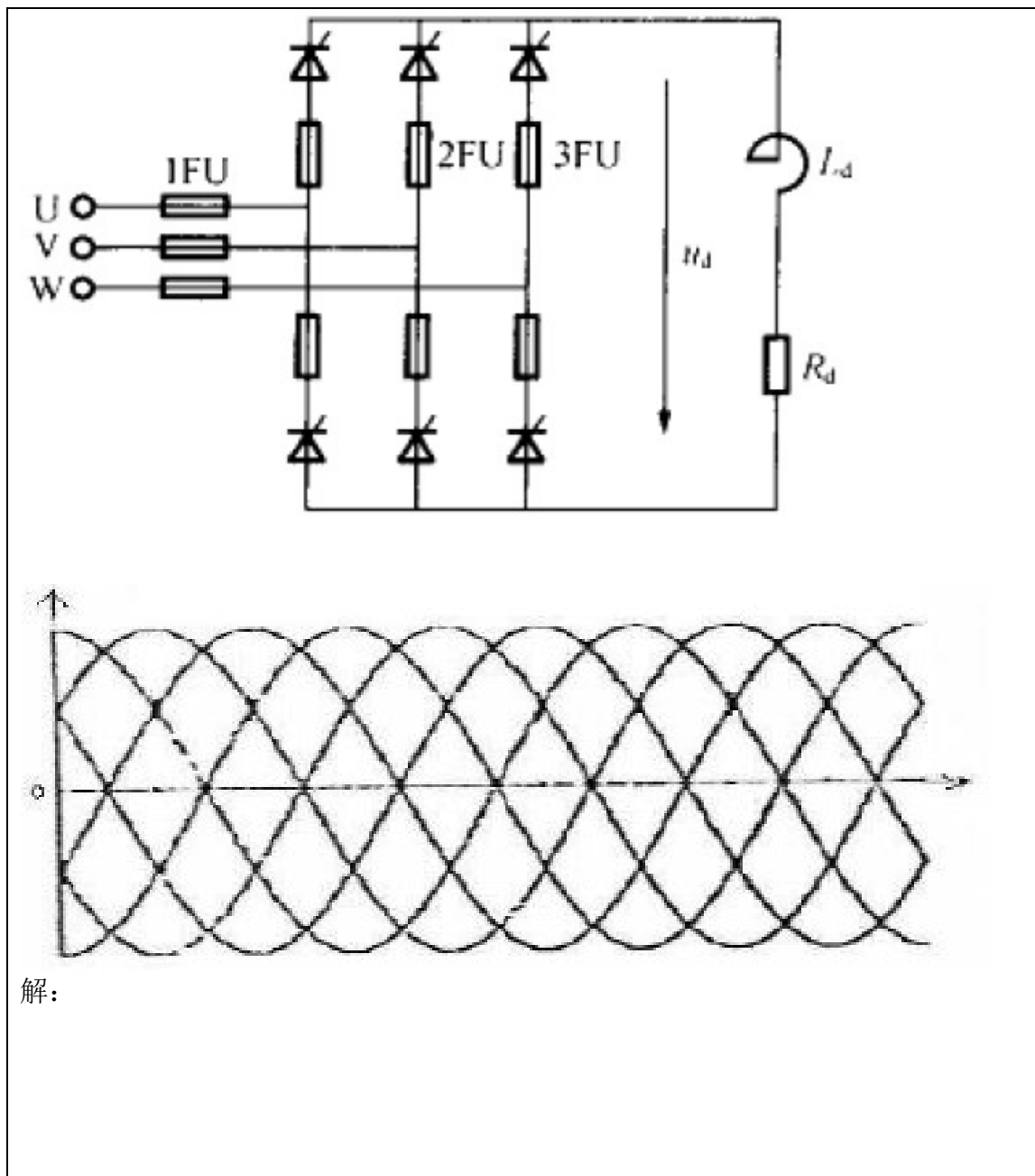
$$I_d = \frac{U_d' - E}{R + r_B} = \frac{-257.4 + 400}{1 + 0.3} = 109.69(A)$$

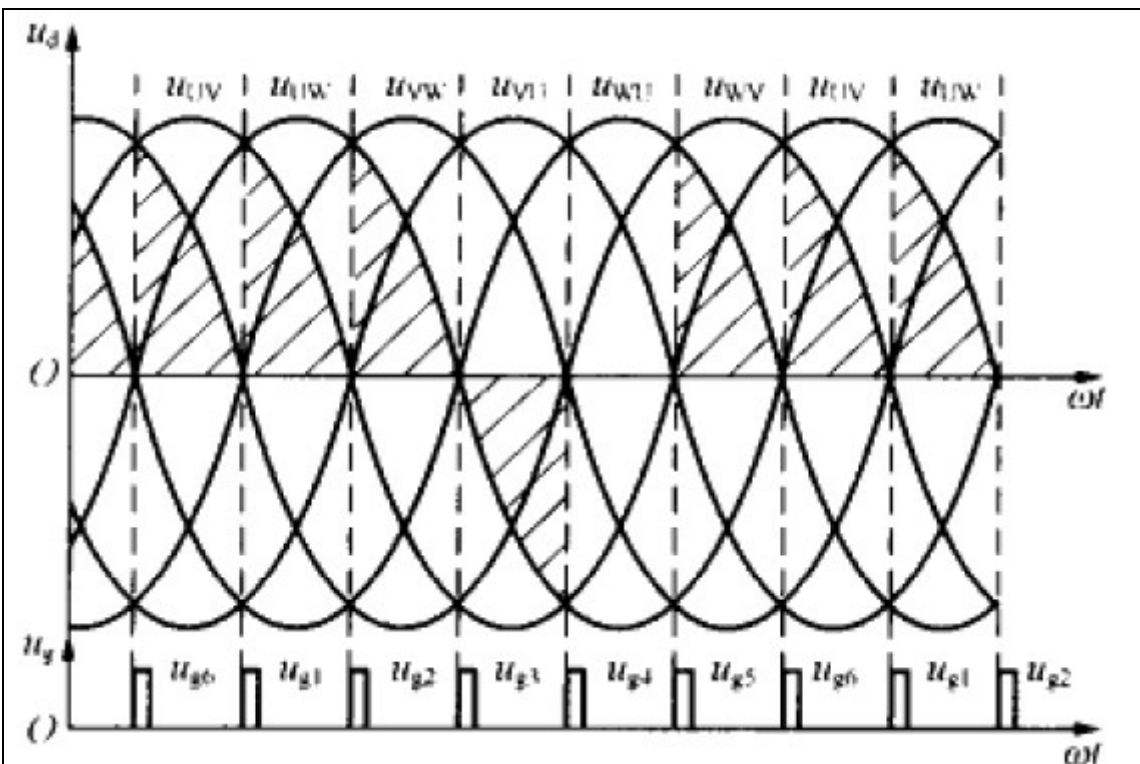
$$U_d = I_d R + E = -290V$$

$$P_d = U_d I_d = -31.85kW$$

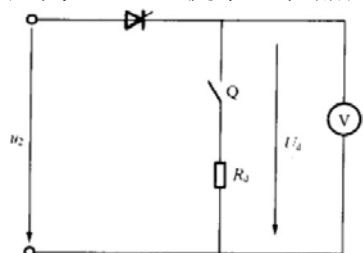
三、分析题 (5 × 6 分= 30 分)

1、分析下图所示三相全控桥式整流电路, 在熔断器 2FU 熔断时绘制 $\alpha=60^\circ$ 时的输出 U_d 电压波形。



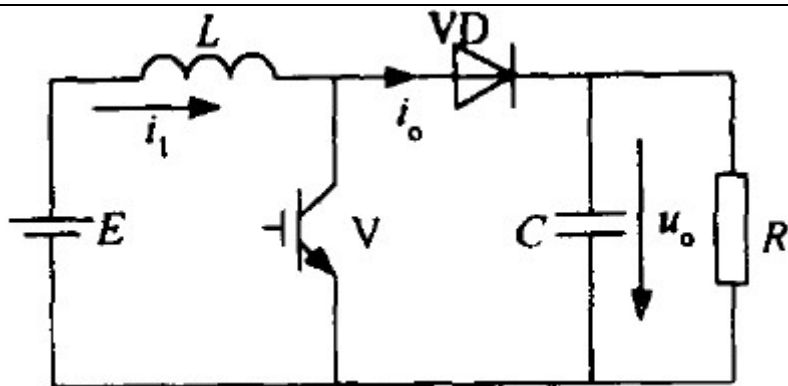


2、下图为晶闸管测试电路， U_2 为测试直流电压， R_d 为测试电阻，万用表调整为直流电压测试档位，在断开 R_d 后，给晶闸管以触发信号，为何万用表显示电压为 0V？（提示：从晶闸管导通条件及其伏安特性角度考虑）



答：因为晶闸管的内阻远小于万用表的内阻，晶闸管上分得的电压小于晶闸管的导通电压，晶闸管只有触发电流，没有正向电压，无法导通，所以万用表显示电压为 0。

3、下图 Boost 斩波电路中，IGBT 的导通占空比为 $D(0 < D < 1)$ ，负载电阻断开，此时输出电压 U_0 为多少，为什么？



答：输出电压 U_0 会不断上升，直到电容无法承受此电压而烧毁。因为在 V 处于通态的时间段内，电源 E 向电感 L 充电，电感 L 上积蓄能量，在 V 处于断态时，电源 E 和电感 L 向电容 C 充电，每个周期都如此重复，不断地向电容 C 充电，直到电容 C 爆掉。

4、在三相桥式 PWM 逆变电路中，为了能够连续控制输出基波和 5 次、7 次谐波电压的幅值、相位，如果采用算法获取电力电子器件的开关时刻，那么，在一个基波周期内，至少需要确定多少个独立的开关时刻？（提示：从傅立叶级数展开的角度考虑）

答：至少需要确立 3 个独立的开关时刻。输出电压各次谐波幅值计算公式如下：

$$a_n = \frac{2U_d}{n\pi} (1 - 2\cos n\alpha_1 + 2\cos n\alpha_2 - 2\cos n\alpha_3)$$
，要消除 5 次和 7 次谐波，可以令 a_5 和 a_7 等于 0，对于给定的基波幅值，总共 3 个方程，可以求出一组 α_1 、 α_2 、 α_3 。

5、三相 SPWM 逆变电路的负载为交流感应异步电动机，在载波频率为 9000Hz 和 900Hz 相比，电动机的震动和噪音是否相同，为什么？

答：不相同。因为载波频率越低，谐波频率越低，电动机的震动和噪音越大。