

# 浙江工业大学 2020/2021 学年

## 第 一 学期试卷

课程\_\_\_\_\_姓名\_\_\_\_\_

班级\_\_\_\_\_

题序	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总评
计分											

命题:

一、判断题 (9 分) (将“对”或“错”填入括号中, 每小题 1 分)

1. GTO 关断控制需要施加负门极电压, 产生负的门极电流。(对)
2. 开通缓冲电路 ( $di/dt$  抑制电路) 的作用是抑制器件开通时的电流过冲和  $di/dt$ , 减小器件的开通损耗。(对)
3. 电力电子器件工作过程中会产生热量, 一般应采取水冷的方式进行散热。(错)
4. 隔离型全桥 DC-DC 变流电路中的 4 个开关管承受峰值电压均等于输入直流电压值的两倍。(错)
5. 载波信号和调制信号不保持同步的调制方式称为异步调制, 异步调制时, 其载波比  $N$  是不变的。(错)
6. 变压器绕组存在漏感, 漏感对电流的变化起阻碍作用, 电感电流不能突变, 因此换相过程不能瞬间完成, 而是会持续一段时间。(对)
7. 三相 PWM 整流电路的工作原理相当于对 3 个半桥分别进行控制, 使三相输入电流幅值、相位完全相同。(错)
8. 单相交流调压电路电阻负载, 当控制角从  $\pi$  到 0 逐步减小时, 负载电压有效值也从 0 到  $U_{in}$  (输入交流电压有效值) 逐步增大。(对)
9. 交流调功电路是通过改变接通周波数与断开周波数的比值来调节负载所消耗的平均电流。(错)

二、选择题（9分）（将正确序号 A、B、C 或 D 填入括号中，每小题 1.5 分）

1. 电力电子器件同处理信息的电子器件相比，下面描述正确的是：（B）

- A、电力电子器件的开通与断开一般不需要由信息电子电路来控制。
- B、能处理电功率的能力，一般远大于处理信息的电子器件。
- C、电力电子器件一般都工作在开通状态。
- D、电力电子器件一般都工作在关断状态。

2. 有关功率集成电路，下面哪个表述是正确的？（D）

- A、功率半控器件的驱动集成电路称为功率集成电路。
- B、将功率自关断器件与逻辑、控制、保护、传感、检测、自诊断等信息电子电路封装在一起，称为功率集成电路。
- C、功率自关断器件称为功率集成电路。
- D、将功率自关断器件与逻辑、控制、保护、传感、检测、自诊断等信息电子电路制作在同一芯片上，称为功率集成电路。

3. 关于晶闸管触发电路的输出脉冲，表述正确的是下面哪个？（A）

- A、触发脉冲宽度应使晶闸管可靠导通，触发脉冲应有足够的宽度与幅度。
- B、触发脉冲瞬时功率不得大于平均功率定额。
- C、触发脉冲宽度无要求，触发脉冲应有足够的幅度。
- D、触发脉冲应有足够的幅度，触发脉冲宽度无要求。

4. 关于电力电子器件缓冲电路，表述正确的是下面哪一个？（C）

- A、缓冲电路又称吸收电路，其作用是吸收电力电子器件的热量。
- B、缓冲电路又称吸收电路，其作用是使器件的开关速度变为缓慢。
- C、缓冲电路又称吸收电路，其作用是抑制器件的内因过电压、 $du/dt$ 、过电流和  $di/dt$ ，减小器件的开关损耗。
- D、缓冲电路又称吸收电路，其作用是抑制器件内因过电压、过电流，但并没有减小器件的开关损耗。

5. 多相多重斩波电路，表述正确的是：（B）

- A、多相多重斩波电路可以由多个结构不同的基本斩波电路组成。相数指的是一个周期内负载电流脉波数。重数指的是一个周期内电源侧电流脉波数。
- B、多相多重斩波电路是由多个结构相同的基本斩波电路组成。相数指的是一个周期内电源侧电流脉波数，重数指的是一个周期内负载电流脉波数。
- C、多相多重斩波电路是由多个结构不同的基本斩波电路组成。相数指的是基本斩波电路数量，重数指的是负载数量。

D、多相多重斩波电路是由多个结构不同的基本斩波电路组成。相数指的是基本斩波电路数量，重数指的是三相负载数量。

### 6. 关于 PWM 异步调制，表述正确的是：(D)

A、保持载波比  $N$  不变的调制方式称为异步调制。通常载波频率  $f_c$  固定不变，信号波频率  $f_r$  是变化的。

B、异步调制指的是，载波频率  $f_c$ 、信号波频率  $f_r$  都是变化的，载波比  $N$  是不变的。

C、载波信号和调制信号不保持同步的调制方式称为异步调制。通常载波频率  $f_c$  是变化的，信号波频率  $f_r$  也是变化的，载波比  $N$  却是不变的。

D、载波信号和调制信号不保持同步的调制方式称为异步调制。通常载波频率  $f_c$  固定不变，信号波频率  $f_r$  变化时，载波比  $N$  是变化的。

### 三、简答题 (22 分)

1. (5 分) 图 1 是 IGBT 的结构断面示意图，试画出 IGBT 的简化等效电路，根据等效电路分析其工作原理。

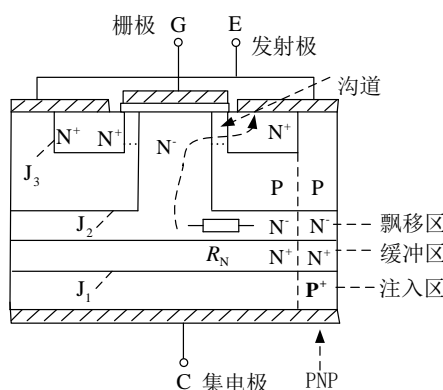
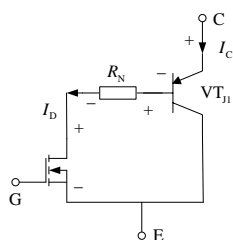


图 1 IGBT 的结构断面示意图

答：IGBT 的简化等效电路如下：



----- (2 分)

根据等效电路，当栅极与发射极间  $U_{GE}$  施加栅极电压降到开启电压  $U_{GE(th)}$  以下时，MOSFET 内的沟道消失，晶体管的基极电流被切断，IGBT 关断，IGBT 的正向阻断电压主要由  $J_2$  结的雪崩击穿电压决定。

当  $U_{GE}$  为正且大于开启电压  $U_{GE(th)}$  时，MOSFET 导通，晶体管的基极有电流通过，晶体管导通，于是，IGBT 导通。

----- (3 分)

**2. (4分) 维持晶闸管导通的条件是什么? 怎样才能使晶闸管由导通变为关断? (4分)**

答: 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。

**3. (4分) 试说明 IGBT、GTR 各自的优缺点。**

答: IGBT优点: 开关速度高, 开关损耗小, 具有耐脉冲电流冲击的能力, 通态压降较低, 输入阻抗高, 为电压驱动, 驱动功率小。----- (1分)

缺点: 开关速度低于电力MOSFET, 电压, 电流容量不及GTO。----- (1分)

GTR优点: 耐压高, 电流大, 开关特性好, 通流能力强, 饱和压降低。----- (1分)

缺点: 开关速度低, 为电流驱动, 所需驱动功率大, 驱动电路复杂, 存在二次击穿问题。----- (1分)

**4. (4分) 为什么要对电力电子主电路和控制电路进行电气隔离? 其基本方法有哪些?**

答: 对电力电子主电路和控制电路进行电气隔离可以提高电力电子装置的安全使用, 同时防止主电路和控制电路之间的干扰。----- (2分)

其基本方法有光隔离、磁隔离。----- (2分)

**5. (5分) 三相 SPWM 逆变电路采用什么样的控制方法可以提高直流电压利用率?**

答: 对于三相 SPWM 逆变电路, 采用如下 2 种控制方法可以提高直流电压利用率

(1) 采用梯形波调制方法的思路为: 采用梯形波作为调制信号, 当梯形波幅值和三角波幅值相等时, 梯形波所含的基波分量幅值超过了三角波幅值, 相当于  $m_a > 1$  的过调制状态, 可有效提高直流电压利用率。

----- (3分)

(2) 还可以采用线电压控制方式, 即在相电压调制信号中叠加 3 的倍数次谐波及直流分量等, 同样可以有效地提高直流电压利用率。----- (2分)

**四、波形分析题 (24分)**

**1. (6分)** 升降压斩波电路如图 2a) 所示, 已知电感电流连续, 开关管 VT 的驱动波形  $u_G$  如图 2b), 在图 2b) 中画出电感两端电压  $u_L$ 、通过电感电流  $i_L$  波形、开关管 VT 两端电压  $u_T$  的波形。

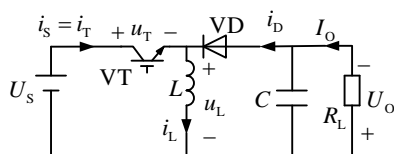


图 2 升降压斩波电路

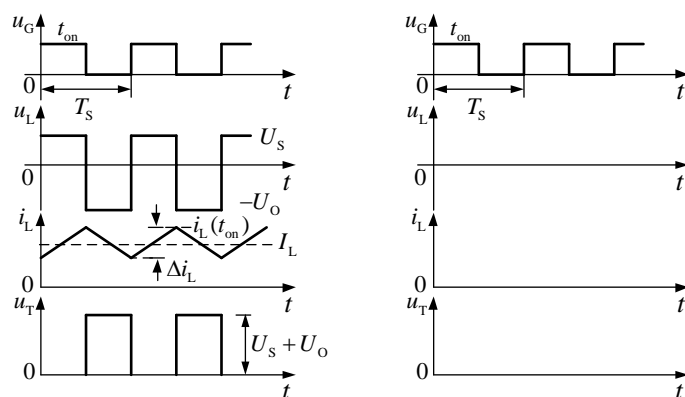


图2 连续模式时升降压斩波电路工作波形

2. (6分) 推挽电路如图 3a) 所示, 已知电感  $L$  电流  $i_L$  连续, 开关管  $VT_1$ 、 $VT_2$  的驱动波形如图 3b), 在图 3b) 中画出开关管  $VT_1$  两端的电压  $u_{T1}$ 、二极管整流后电压  $u_{DD}$ 、电感电流  $i_L$  的波形。

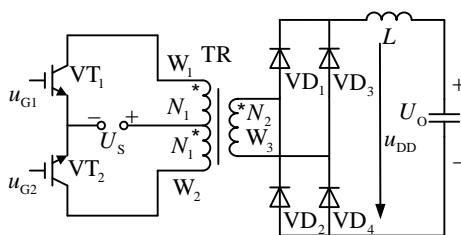


图3 推挽电路

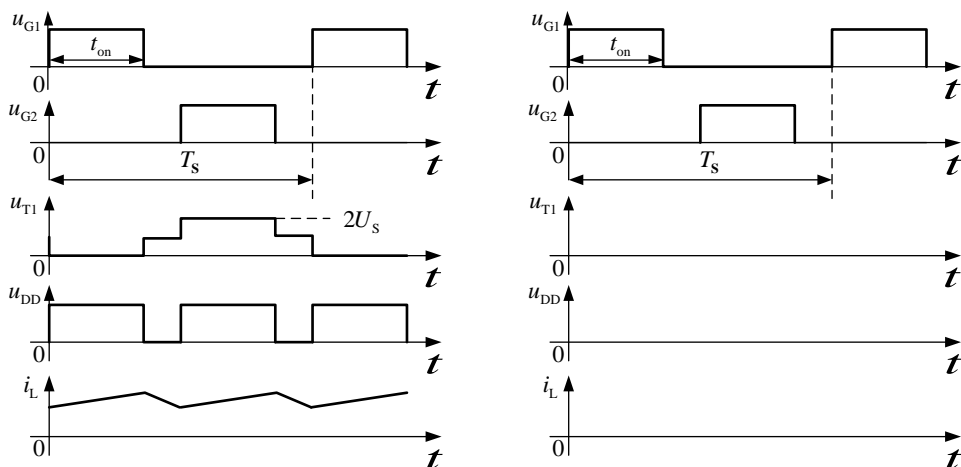
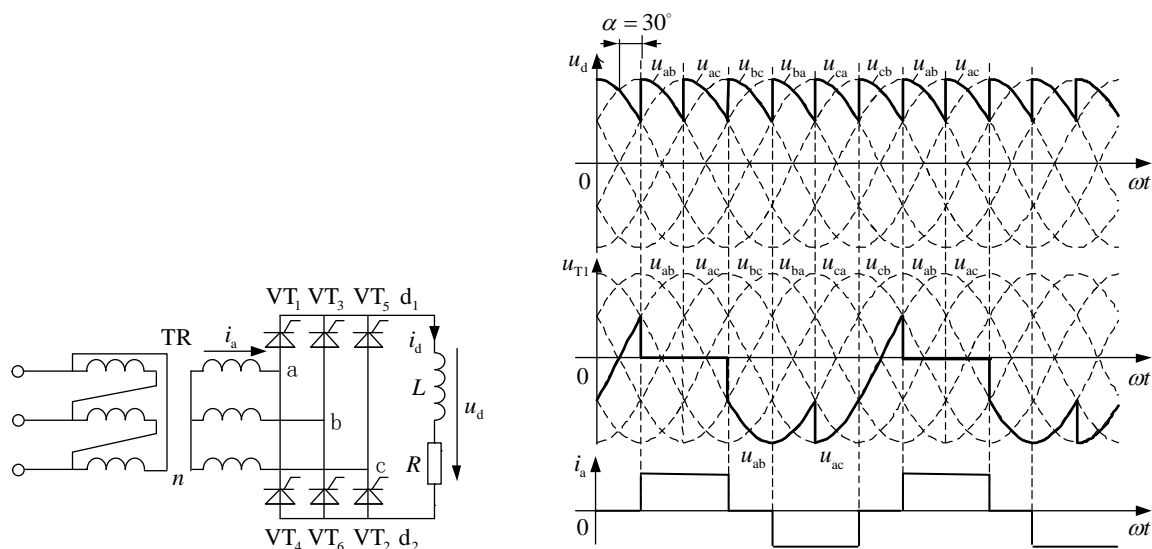


图3 推挽式变换电路的理想化波形

3. (6分) 阻感负载时的三相桥式全控整流电路原如图 4a) 所示, 当控制角  $\alpha=30^\circ$  时, 试在图 4b) 中画出输出整流电压  $u_d$ 、晶闸管  $VT_1$  承受的电压  $u_{T1}$  以及变压器副边 a 相电流  $i_a$  的波形。



a) 原理图

b)  $\alpha=30^\circ$ 时的波形

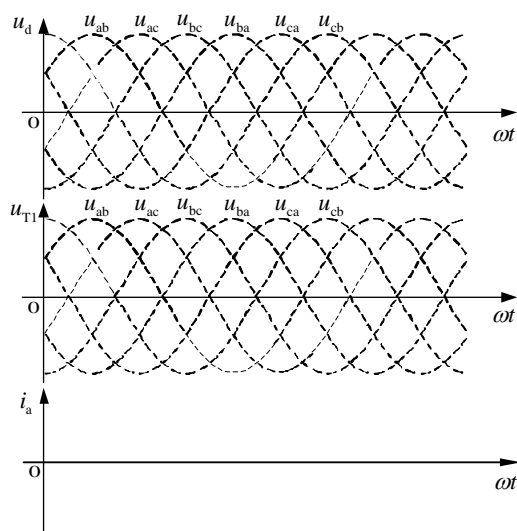
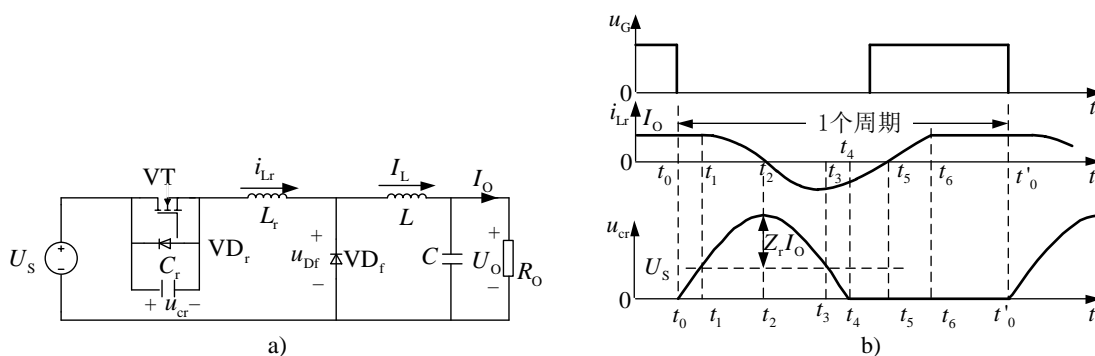


图4 阻感负载时三相桥式全控整流电路

4. (6分) Buck型半波零电压准谐振变换器如图5a)所示,在图5b)中,  $t_1 \sim t_6 \sim t'_0$  各时刻仅作为参考, VT 开关管 MOSFET 在  $t_0$  时刻开始断开、在  $t_4 \sim t_5$  时段的某时刻闭合,其中在  $t_4$  时刻电容  $C_r$  电压  $u_{cr}$  恰好从正电压降到零,在  $t_5$  时刻通过电感  $L_r$  电流  $i_{Lr}$  恰好从负值上升到零。请在图5b)中画出电感  $L_r$  电流  $i_{Lr}$  和电容  $C_r$  电压  $u_{cr}$  的波形。



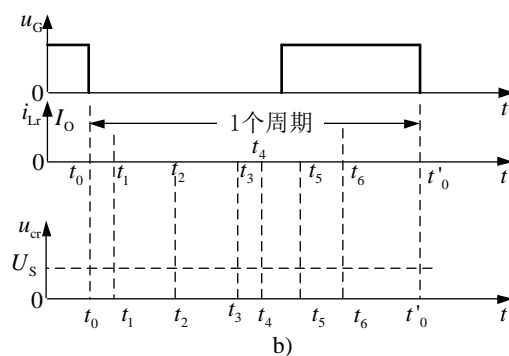


图5 Buck型半波零电压谐振变换器  
a) 电路 b) 电路波形

### 五、计算题（36分）

1. （10分）一个升压斩波电路，已知  $U_s = 36V$ ， $L$  值极大， $C = 470\mu F$ ，负载  $R_L = 20\Omega$ ，采用脉宽调制控制方式，当  $T_s = 20\mu s$ ， $t_{on} = 12\mu s$  时，试计算：

- 1) 输出电压平均值  $U_o$ ；
- 2) 负载所消耗的功率  $P_o$ ；
- 3) 输出电压纹波  $\Delta U_o$ 。

解：1)  $L$  值和  $C$  值极大，电流连续。

$$\rho = \frac{t_{on}}{T_s} = \frac{12 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-6}} = 0.6$$

由稳态时电感元件的伏秒平衡规律得：

$$U_s t_{on} - (U_s - U_o) \times (T_s - t_{on}) = 0$$

$$U_o = \frac{1}{1 - \rho} U_s = \frac{1}{1 - 0.6} \times 36 = 90 (V) \quad \text{----- (4分)}$$

2) 负载所消耗的功率  $P_o$  为：

$$P_o = \frac{U_o^2}{R_L} = \frac{90^2}{20} = 405 (W) \quad \text{----- (3分)}$$

3) 输出电流平均值  $I_o$  为：

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{90}{20} = 4.5 (A)$$

输出电压纹波  $\Delta U_o$

$$\Delta U_o = \frac{U_o T_s \rho}{R_L C} = \frac{I_o T_s \rho}{C} = \frac{4.5 \times 20 \times 10^{-6} \times 0.6}{470 \times 10^{-6}} = 0.11484 (V) = 114.84 (mV) \quad \text{----- (3分)}$$

2. (8分) 三相桥式电压型逆变变换器,  $U_d=510V$ , 试求:

1) 如果该变换器工作于方波逆变方式,  $180^\circ$  导电方式, 输出线电压的基波幅值  $U_{UV1m}$  和有效值  $U_{UV1}$  是多少?

2) 如果该逆变变换器工作于 SPWM 逆变方式, 幅度调制比  $m_a=0.9\sim 1$  变化时, 输出线电压的基波有效值  $U_{UV1}$  变化范围是多少?

解: 由于  $U_d=510V$ , 则

$$U_{UV1m} = \frac{2\sqrt{3}U_d}{\pi} = 1.1U_d = 561(V) \quad \text{最大值----- (2分)}$$

$$U_{UV1} = \frac{U_{UV1m}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}U_d = 0.78U_d = 397.8(V) \quad \text{有效值----- (2分)}$$

输出线电压基波有效值为

$$m_a=0.9 \text{ 时, } U_{UV1} = \frac{\sqrt{6}m_a U_{UN1m}}{2} = 0.612m_a U_d = 281(V) \quad (U_{UV1} \text{ 公式 2 分})$$

$$m_a=1 \text{ 时, } U_{UV1} = \frac{\sqrt{6}m_a U_{UN1m}}{2} = 0.612m_a U_d = 312(V) \quad (m_a=0.9、1 \text{ 计算各 1 分})$$

$U_{UV1}$  变化范围是  $281\sim 312V$ 。

3. (8分) 三相半波可控整流电路,  $U_2=120V$ , 带反电动势电阻电感负载, 反电动势  $E=48V$ , 电阻  $R=1\Omega$ , 电感  $L$  值极大, 当控制角  $\alpha=60^\circ$  时, 试求:

1) 整流输出平均电压  $U_d$ ;

2) 整流输出平均电流  $I_d$ ;

3) 通过晶闸管电流平均值  $I_{dT}$  和有效值  $I_T$ 。

解: 1) 整流输出平均电压  $U_d$

$$U_d = 1.17U_2 \cos \alpha = 1.17 \times 120 \times \cos 60^\circ = 70.2(V) \quad \text{----- (2分)}$$

2) 整流输出平均电流  $I_d$

$$I_d = \frac{U_d - E}{R} = \frac{70.2 - 48}{1} = 22.2(A) \quad \text{----- (2分)}$$

3) 通过晶闸管电流平均值  $I_{dT}$  和有效值  $I_T$

$$I_{dT} = \frac{I_d}{3} = \frac{22.2}{3} = 7.4(A) \quad \text{----- (2分)}$$

$$I_{VT} = \frac{I_d}{\sqrt{3}} = \frac{22.2}{\sqrt{3}} = 12.8(A) \quad \text{----- (2分)}$$



4. (10 分) 单相桥式全控变流器,  $U_2=160\text{V}$ , 反电动势阻感负载, 负载中  $R=2\Omega$ ,  $L$  值极大, 当反电动势  $E_M=-110\text{V}$ , 逆变角  $\beta=60^\circ$  时, 试求:

- 1) 整流输出平均电压  $U_d$ ;
- 2) 变压器二次侧电流有效值  $I_2$ ;
- 3) 考虑安全裕量, 确定晶闸管电压电流定额。

解: (1) 整流输出平均电压  $U_d$

$$U_d = -0.9U_2 \cos \beta = -0.9 \times 160 \times \cos 60^\circ = -72(\text{V}) \text{-----2 分}$$

2) 变压器二次侧电流有效值  $I_2$ :

$$I_2 = I_d = \frac{U_d - E_M}{R} = \frac{-72 - (-110)}{2} = 19(\text{A}), \text{-----2 分}$$

(3) 晶闸管承受的最大反向电压为  $\sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 160 = 226(\text{V})$

流过每个晶闸管的电流有效值为  $I_T = I_d / \sqrt{2} = 19 / \sqrt{2} = 13.4(\text{A})$ , -----2 分

因此, 晶闸管的额定电压为  $U_N = (2 \sim 3) \times 226 = 452 \sim 678\text{V}$  -----2 分

晶闸管的额定电流为  $I_N = (1.5 \sim 2) \times 13.4 / 1.57 = 12.8 \sim 17.1\text{A}$  -----2 分

晶闸管额定电压和电流的具体数值可按晶闸管产品系列参数选取。

