

# 浙江工业大学期终考试命题稿

2016 /2017 学年第 一 学期

课程名称	电力电子技术	使用班级	自动化、电气工程及其自动化 2014 级
教师份数	10	学生份数	230
命题人	南余荣、陈国定、徐建明	审核人	
命题总页数	10 页	每份试卷需用白纸	2 大张

## 命题注意事项:

- 一、命题稿请用 A4 纸电脑打印，或用教务处印刷的命题纸，并用黑墨水书写，保持字迹清晰，页码完整。
- 二、两份试题必须同等要求，卷面上不要注明 A、B 字样，由教务处抽定 A、B 卷。
- 三、命题稿必须经学院审核，并在考试前两周交教务处。

# 浙江工业大学 2016/2017 学年

## 第 一 学期试卷（ 卷）

适用：自动化、电气工程及其自动化 2014 级

课程 《电力电子技术》 姓名 \_\_\_\_\_

专业 \_\_\_\_\_ 班级 \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_

题序	一	二	三	四	五	总分
计分						

说明：本卷共有四大类题，总分 100 分，答题时间 120 分钟。答案可直接写在试卷上。

### 一、填空题（20 分）

- 晶闸管触发导通时，晶闸管的阳极电流要大于 擎住电流，触发脉冲才可以移除。（1 分）
- 三相桥式全控整流电路，电阻负载情况下，要求触发脉冲移相范围是 0~120。（1 分）
- IGBT、GTR、电力 MOSFET、电力二极管中，有电导调制效应的器件有：IGBT、GTR、电力二极管。（3 分）
- 电力电子器件是可直接用于主电路中，实现电能的变换或控制的电子器件。按照能够被控制的程度分为：半控型器件、全控型器件、不可控器件。（3 分）
- 电力电子器件并联使用时，希望每个器件平均承担电流，电力 MOSFET（哪种电力电子器件）具有 导通电阻正温度系数 特性，易于并联。（2 分）
- 将直流电变换成交流电的电路称为逆变电路，逆变电路交流侧接电网的称为 有源逆变电路，逆变电路交流侧接负载的称为 无源逆变电路。（2 分）
- 额定电流 100A 的晶闸管，不考虑安全裕量，可以通过下图所示电流的峰值  $I_m =$  314（A）。（3 分）

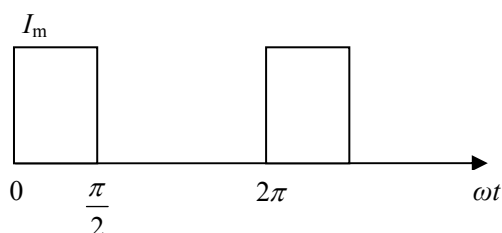


图 1 晶闸管通过电流波形

8. 根据电力电子器件驱动信号波形, 可将其分为①脉冲触发型和②电平控制型, ①型的器件有 晶闸管, ②型的器件有 IGBT。(2分)
9. 按照器件内部载流子参与导电情况分为 单极 型器件、双极 型器件和 复合 型器件。(2分)
10. 控制角  $\alpha$ , 阻感负载的单相桥式全控整流电路在忽略换相过程和电流脉动时, 功率因数为  $0.9\cos\alpha$ 。(1分)

## 二、问答题(25分)

1. GTO 和普通晶闸管同为 PNPN 四层结构, 为什么 GTO 能够自关断, 而普通晶闸管不能? (4分)

答: GTO 之所以能够自行关断, 而普通晶闸管不能, 是因为GTO 与普通晶闸管在设计和工艺方面有以下几点不同:

1) GTO 在设计时  $\alpha_2$  较大, 这样晶体管  $V_2$  控制灵敏, 易于GTO 关断;

2) GTO 导通时的  $\alpha_1 + \alpha_2$  更接近于1, 普通晶闸管  $\alpha_1 + \alpha_2 \geq 1.15$ , 而GTO 则为  $\alpha_1 + \alpha_2 \approx 1.05$ , GTO 的饱和程度不深, 接近于临界饱和, 这样为门极控制关断提供了有利条件;

3) 多元集成结构使每个GTO 元阴极面积很小, 门极和阴极间的距离大为缩短, 使得 $P_2$ 极区所谓的横向电阻很小, 从而使从门极抽出较大的电流成为可能。

2. 试分析IGBT和电力MOSFET在内部结构和开关特性上的相似与不同之处。(4分)

答: 内部结构相似之处: IGBT内部结构包含了MOSFET内部结构。 内部结构不同之处: IGBT内部结构有注入P区, MOSFET内部结构则无注入P区。

开关特性的相似之处: IGBT开关大部分时间由MOSFET运行,特性相似。开关特性的不同之处: IGBT的注入P区有电导调制效应,有少子储存现象,开关慢。

3. 电压型逆变电路的主要特点是什么? (4分)

答: ①直流侧为电压源, 或并联有大电容, 相当于电压源。直流侧电压基本无脉动。

②交流侧输出电压波形为矩形波, 并且与负载阻抗角无关。

③为了给交流侧向直流侧反馈的无功能量提供通道, 逆变桥各臂都并联了反馈二极管。

4. 什么是异步调制? 什么是同步调制? 两者各有何特点? (5分)

答: 载波信号频率和调制信号频率不保持同步变化的调制方式称为异步调制。在异步调制方式中, 通常保持载波频率  $f_c$  固定不变, 因而当信号波频率  $f_r$  变化时, 载波比  $N$  是变化的。异步调制的主要特点是: 在信号波的半个周期内, PWM 波的脉冲个数不固定, 相位也不固定, 正负半周期的脉冲不对称, 半周期内前后  $1/4$  周期的脉冲也不对称。输出波形谐波较大。

载波比  $N$  等于常数, 并在变频时使载波和信号波保持同步的方式称为同步调制。同步调制的主要特点是: 在同步调制方式中, 信号波频率变化时载波比  $N$  不变, 信号波一个周期内输出的脉冲数是固定的, 脉冲相位也是固定的。输出波形谐波较小。载波频率过低时由调制带来的谐波不易滤除。当逆变电路输出频率很高时, 同步调制时的载波频率  $f_c$  会过高, 使开关器件难以承受。

5. 图 2 示意了 SPWM 波形两种算法,  $u_r$  为正弦波、 $u_c$  为三角波, 指出哪个是规则化采样法, 写出其 SPWM 脉冲宽度  $\delta$  计算公式。(4 分)

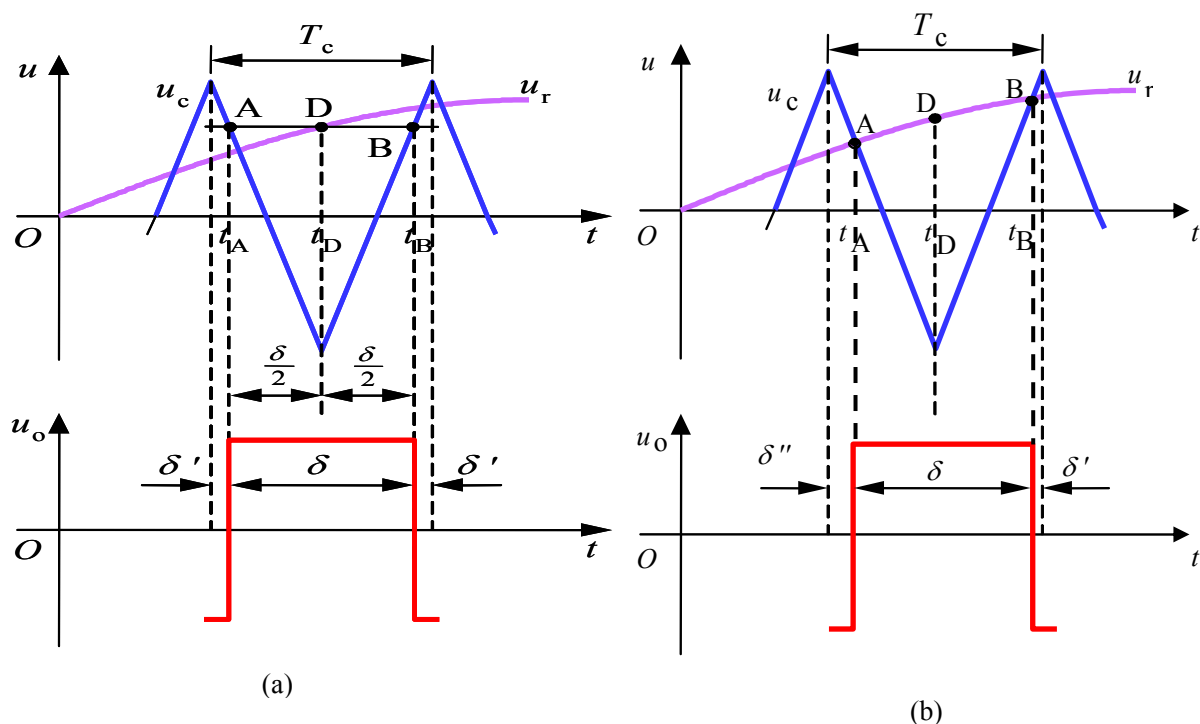


图 2 SPWM 波形两种算法

答: (a) 是规则化采样法

设正弦波  $u_r = a \sin \omega_r t$ ,  $a$  称为调制度,  $0 \leq a < 1$ ;  $\omega_r$  为正弦信号波角频率, 三角波峰值  $\pm 1$

$$\frac{1 + a \sin \omega_r t_D}{\delta/2} = \frac{2}{T_c/2}, \quad \delta = \frac{T_c}{2} (1 + a \sin \omega_r t_D)$$

6. 交流调压电路和交流调功电路有什么区别? (4 分)

答: 交流调压电路和交流调功电路的电路形式完全相同, 二者的区别在于控制方式不同。交流调压电路是在交流电源的每个周期对输出电压波形进行控制。而交流调功电路是将负载与交流电源接通几个周波, 再断开几个周波, 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功率。

## 三、波形分析题 (25 分)

1. (6 分) 电流可逆斩波电路如图 3-2 所示, 按图中约定参考方向, 其输出电压  $u_o$ 、电流  $i_o$  波形如图 3-1, 试画出斩波电路各个阶段电流流通的路径并标明电流方向。

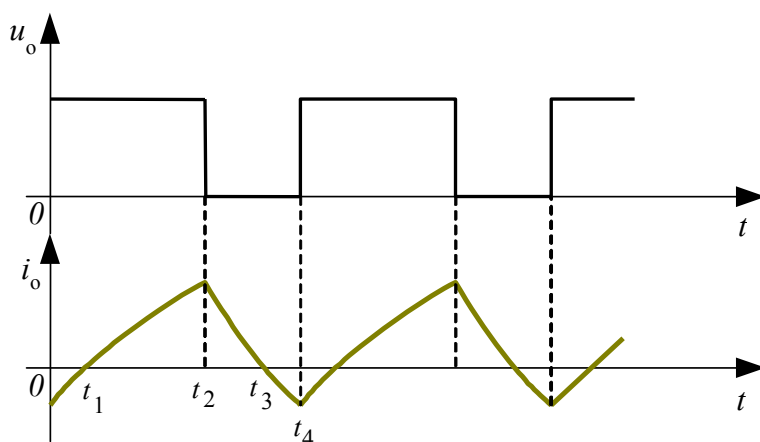
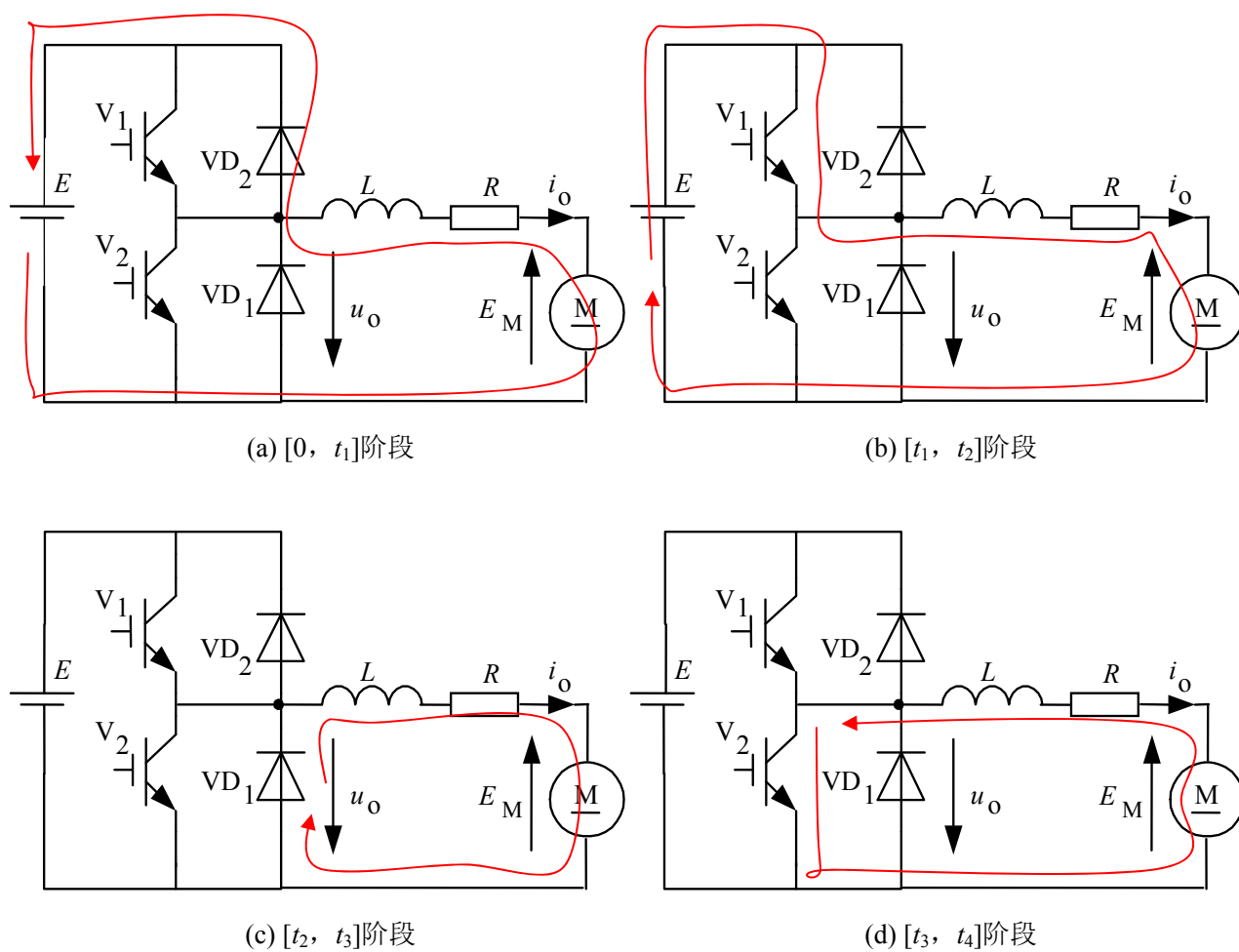
图 3-1 电压  $u_o$ 、电流  $i_o$  波形

图 3-2 电流可逆斩波电路电流流通的路径

2. (8 分) 三相桥式可控整流电路如图 3-3 所示, 大电感性负载, 试画出  $\alpha = 60^\circ$  情况下  $u_d$ 、 $i_{VT3}$ 、 $i_b$ 、 $u_{VT3}$  的波形。请画在 3-4 (a)、(b)、(c)、(d) 中。

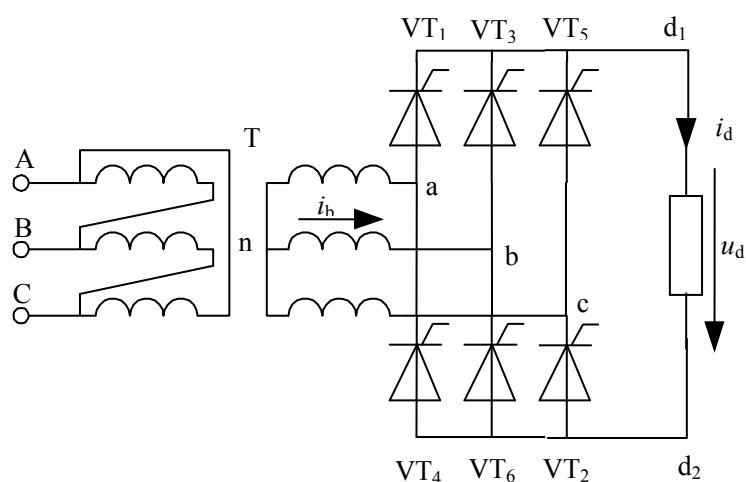
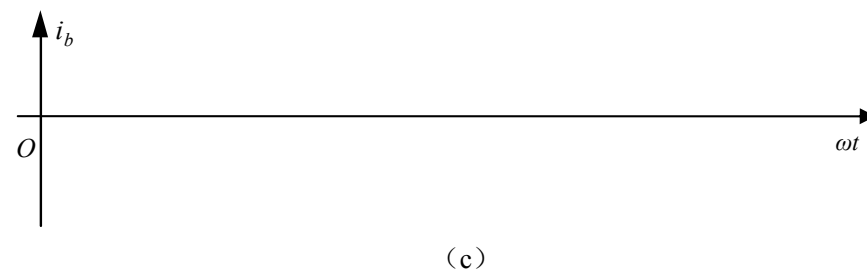
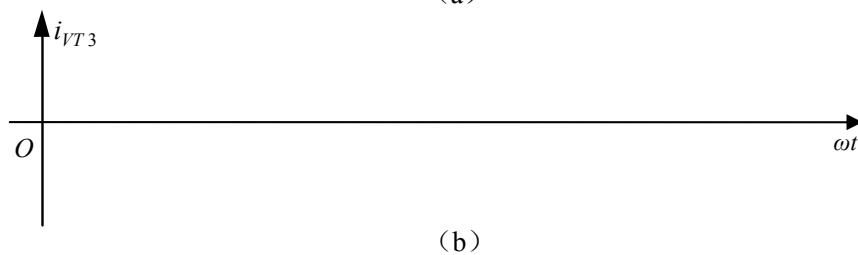
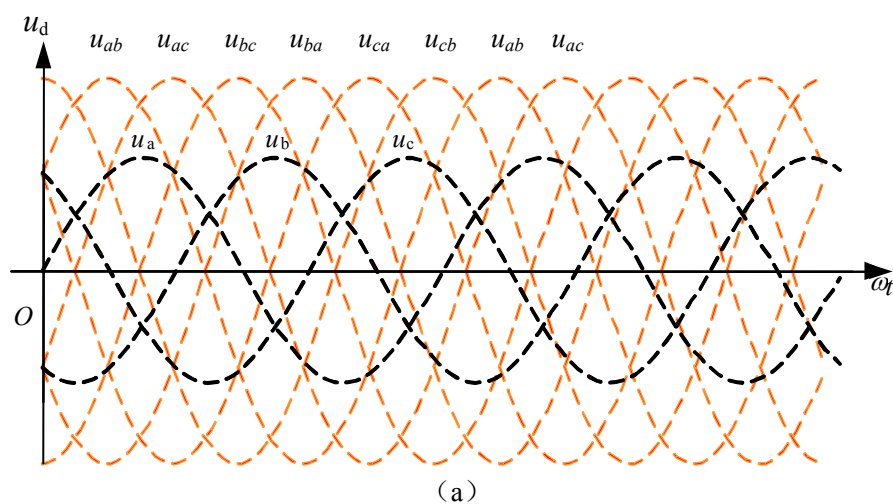
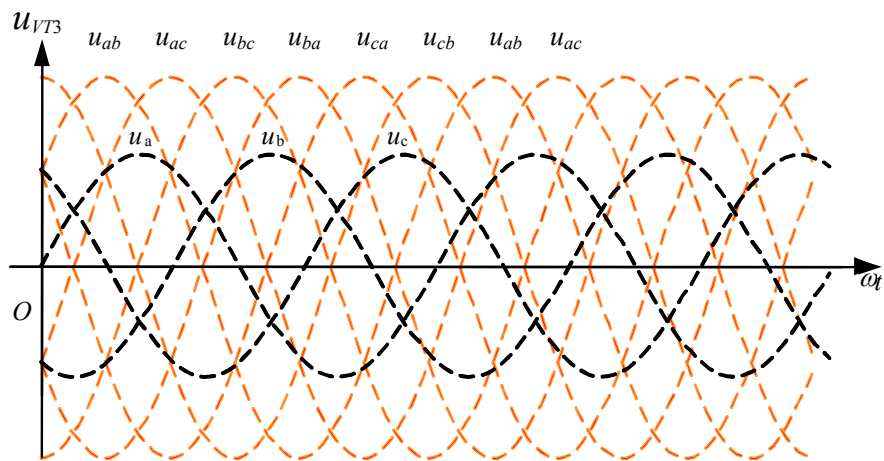


图 3-3 三相桥式可控整流电路





(d)

图 3-4  $u_d$ 、 $i_{VT3}$ 、 $i_b$ 、 $u_{VT3}$  的波形

3. （6 分）单相桥式逆变电路如图 3-5 所示， $R$ 、 $L$  负载， $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$  驱动信号  $u_{G1}$ 、 $u_{G2}$ 、 $u_{G3}$ 、 $u_{G4}$  以及负载两端电压  $u_o$ 、通过负载的电流  $i_o$  如图 3-6 所示，试给出各个阶段导通的器件填入表中。

阶段	$t_0 \sim t_1$	$t_1 \sim t_2$	$t_2 \sim t_3$	$t_3 \sim t_4$	$t_4 \sim t_5$
导通器件	$V_1$ 、 $V_4$	$V_1$ 、 $VD_3$	$VD_2$ 、 $VD_3$	$V_2$ 、 $V_3$	$V_2$ 、 $VD_4$

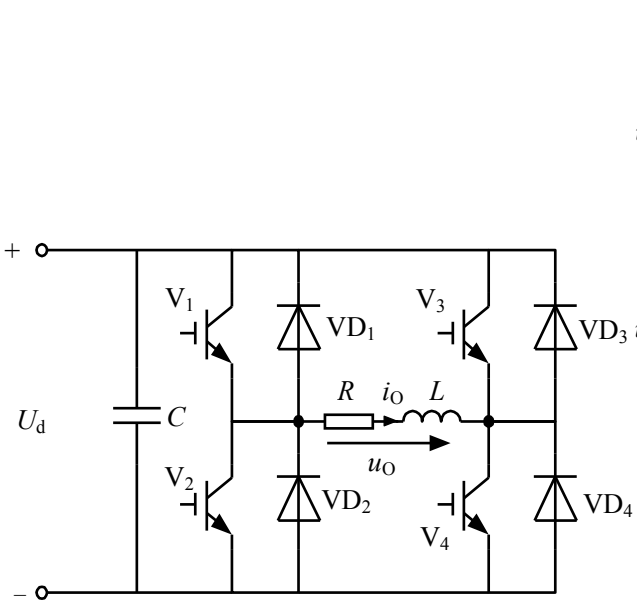


图 3-5 单相桥式逆变电路

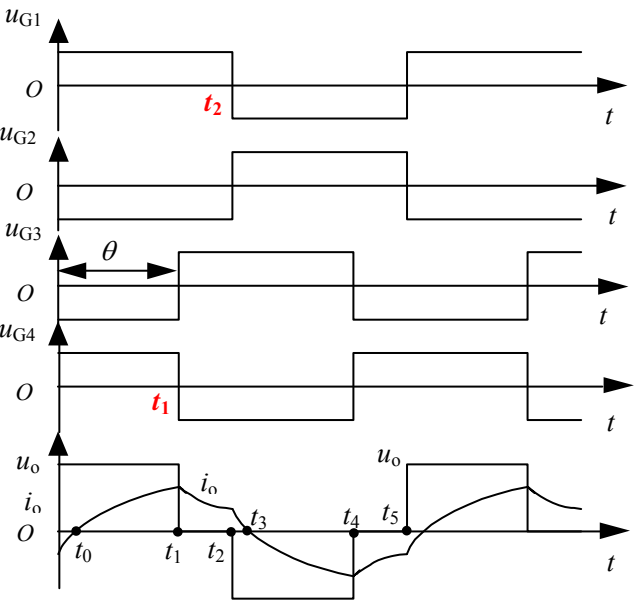


图 3-6 工作波形

4. 图 4(a)所示单相桥式整流电路，电感性负载，工作波形如图(b)、(c)、(d)、(e)所示，试分析  $\omega t_1 \sim \omega t_4$  能量平衡关系，即交流电源  $u_2$ 、电感  $L$ 、电阻  $R$  的输出能量、吸收能量，或者消耗能量情况，填入下表中。

(5 分)

时间段	$\omega t_1 \sim \omega t_2$	$\omega t_2 \sim \pi$	$\pi \sim \omega t_4$
交流电源 $u_2$	输出能量	输出能量	吸收能量
电感 $L$	吸收能量	输出能量	输出能量
电阻 $R$	消耗能量	消耗能量	消耗能量

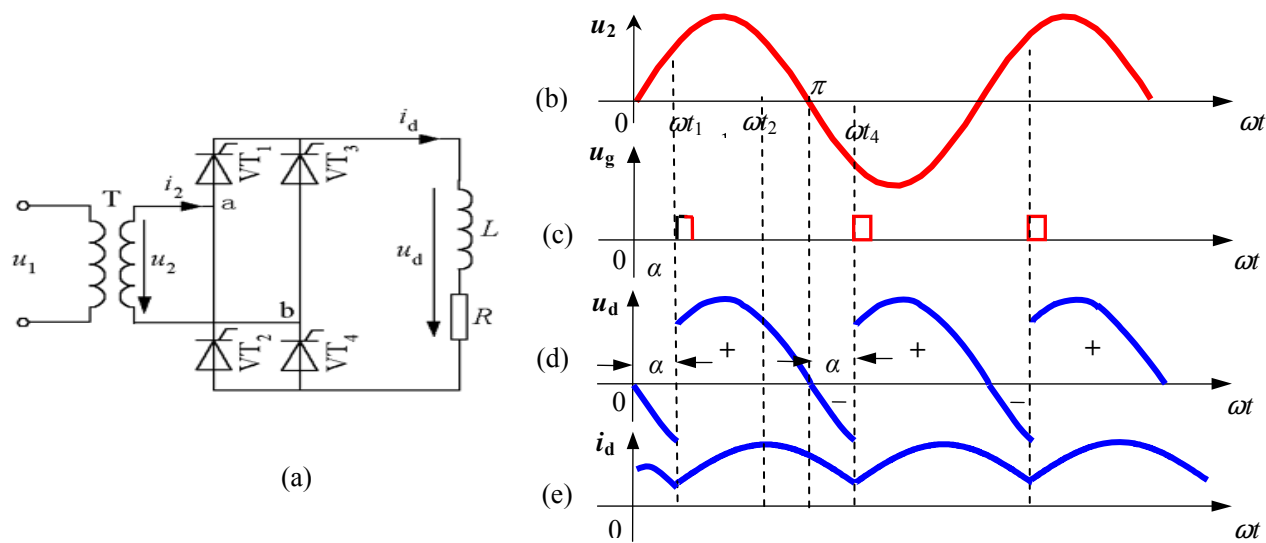
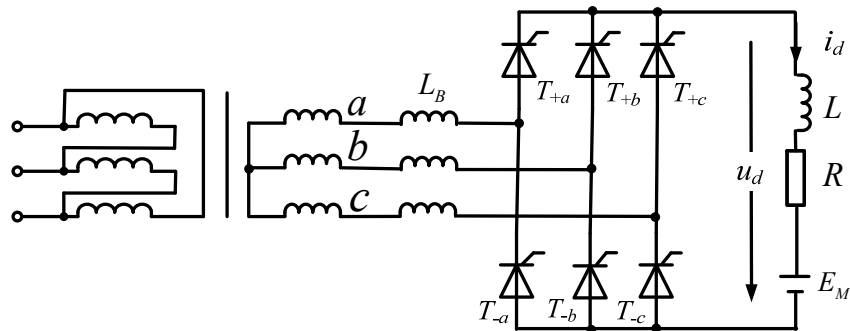


图 4 单相桥式全控整流电路

四、计算题 (30 分)

1. (14 分) 三相全控桥变流器，反电动势阻感负载， $R=1\Omega$ ， $L=\infty$ ， $U_2=220V$ ， $L_B=1mH$ ，当  $E_M=-400V$ ，求：  $\beta=60^\circ$  时  $U_d$ 、 $I_d$  与换相重叠角  $\gamma$  的值，此时送回电网的有功功率是多少？





解：由题意可列出如下3个等式：

$$U_d = 2.34U_2 \cos(\pi - \beta) - \Delta U_d \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$\Delta U_d = 3X_B I_d / \pi \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$I_d = (U_d - E_M) / R \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

三式联立求解，得

$$U_d = [2.34\pi U_2 R \cos(\pi - \beta) + 3X_B E_M] / (\pi R + 3X_B) = -290.3 \text{ (V)} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

$$I_d = 109.7 \text{ (A)} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

由下式可计算换流重叠角：

$$\cos \alpha - \cos(\alpha + \gamma) = 2X_B I_d / \sqrt{6} U_2 = 0.1279$$

$$\cos(120^\circ + \gamma) = -0.6279$$

$$\gamma = 128.90^\circ - 120^\circ = 8.90^\circ \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

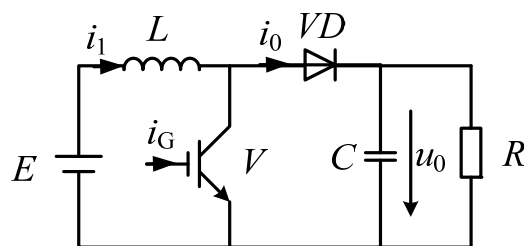
送回电网的有功功率为

$$P = |E_M I_d| - I_d^2 R = 400 \times 109.7 - 109.7^2 \times 1 = 31.85 \text{ (W)} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

2. (8分) 在图示的升压斩波电路中，设  $E = 100\text{V}$ ， $R = 200\Omega$ ， $\alpha = 0.5$ ， $C = \infty$ 。

① 计算输出电压平均值  $U_o$ ，输出电流平均值  $I_o$ 。

② 计算输入输出功率。



解：输出电压平均值为：

$$U_o = \frac{1}{1 - \alpha} E = \frac{1}{0.5} \times 100 = 200\text{V} \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

输出电流平均值为：

$$I_o = \frac{U_o}{R} = \frac{200}{200} = 1\text{A} \quad \dots\dots\dots 2 \text{ 分}$$

输入输出功率：

$$P_i = P_o = U_o I_o = 200\text{W} \quad \dots\dots\dots 3 \text{ 分}$$

3. (8分) 单相桥式全控整流电路， $U_2 = 100\text{V}$ ，负载中  $R = 2\Omega$ ， $L$  值极大，当  $\alpha = 30^\circ$  时，要求：

① 求整流输出平均电压  $U_d$ 、平均电流  $I_d$ ，变压器二次电流有效值  $I_2$ ；

② 考虑安全裕量，确定晶闸管的额定电压和额定电流。

解：① 输出平均电压  $U_d$ 、电流  $I_d$ ，变压器二次电流有效值  $I_2$  分别为

$$U_d = 0.9 U_2 \cos \alpha = 0.9 \times 100 \times \cos 30^\circ = 77.97 \text{ (V)} \quad 2 \text{ 分}$$

$$I_d = U_d / R = 77.97 / 2 = 38.99 \text{ (A)} \quad 1 \text{ 分}$$

$$I_2 = I_d = 38.99 \text{ (A)} \quad 1 \text{ 分}$$

② 晶闸管承受的最大反向电压为:

$$\sqrt{2} U_2 = 100\sqrt{2} = 141.4 \text{ (V)} \quad 1\text{分}$$

考虑安全裕量, 晶闸管的额定电压为:

$$U_N = (2 \sim 3) \times 141.4 = 283 \sim 424 \text{ (V)} \quad 1\text{分}$$

具体数值可按晶闸管产品系列参数选取。

流过晶闸管的电流有效值为:

$$I_{VT} = I_d / \sqrt{2} = 27.57 \text{ (A)} \quad 1\text{分}$$

晶闸管的额定电流为:

$$I_N = (1.5 \sim 2) \times 27.57 / 1.57 = 26 \sim 35 \text{ (A)} \quad 1\text{分}$$

具体数值可按晶闸管产品系列参数选取。