

# 基于 MOSFET 的单相半桥无源逆变电路的设计

设计目的：1 • 掌握单相桥式全控桥整流电路和单相半桥无源逆变电路的工作原理，进行结合完成交-直-交电路的设计；

2 • 熟悉两种电路的拓扑，控制方法；

3 • 掌握两种电路的主电路，驱动电路，保护电路的设计方法，元器件参数的计算方法；

4 • 培养一定的电力电子的实验和调试能力；

5 • 培养学生综合运用知识解决问题的能力与实际动手能力；

2 • 加深理解《电力电子技术》课程的基本理论；

设计指标：MOSFET 电压型单相半桥无源逆变电路设计（纯电阻负载）

(1) 输入直流电压： $U_i=200V$

(2) 输出功率： $500W$

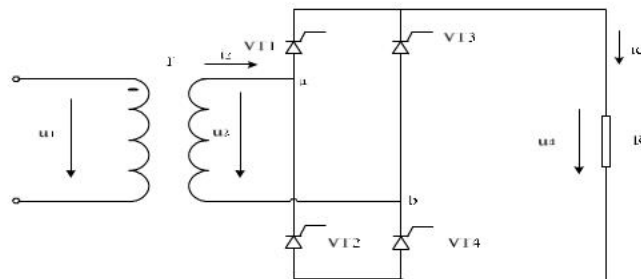
(3) 输出电压波形： $1KHz$  方波

总体目标及任务：选择整流电路，计算整流变压器额定参数，选择全控器件的额定电压电流，计算平波电抗器感值，设计保护电路，全控器件触发电路的设计，画出主电路原理图和控制电路原理图，进行 Matlab 的仿真，画出输出电压，电流模拟图。

## 1 • 主电路的设计：

### (1) 整流部分主电路设计：

单项桥式全控整流电路带电阻性负载电路如图（1）：



图（1）

在单项桥式全控整流电路中，晶闸管  $VT_1$  和  $VT_4$  组成一对桥臂， $VT_2$  和  $VT_3$  组成另一对桥臂。在  $u_2$  正半周（即 a 点电位高于 b 点电位），若 4 个晶闸管均不导通，负载电流  $i_d$  为零， $u_d$  也为零， $VT_1$ 、 $VT_4$  串联承受电压  $u_2$ ，设  $VT_1$  和  $VT_4$  的漏电阻相等，则各承受  $u_2$  的一半。若在触发角  $\alpha$  处给  $VT_1$  和  $VT_4$  加触发脉冲， $VT_1$ 、 $VT_4$  即导通，电流从 a 端经  $VT_1$ 、R、 $VT_4$  流回电源 b 端。当  $u_2$  为零时，流经晶闸管的电流也降到零， $VT_1$  和  $VT_4$  关断。

在  $u_2$  负半周，仍在触发延迟角  $\alpha$  处触发  $VT_2$  和  $VT_3$ （ $VT_2$  和  $VT_3$  的  $\alpha=0$  处为  $\omega t=\pi$ ）， $VT_2$  和  $VT_3$  导通，电流从电源的 b 端流出，经  $VT_3$ 、R、 $VT_2$  流回电源 a 端。到  $u_2$  过零时，电流又降为零， $VT_2$  和  $VT_3$  关断。此后又是  $VT_1$  和  $VT_4$  导通，如此循环的工作下去，整流电压  $u_d$  和晶闸管  $VT_1$ 、 $VT_4$  两端的电压波形如下图（2）所示。晶闸管承受的最大正向电压和反向电压分别为  $\frac{\sqrt{2}}{2}U_2$  和  $\sqrt{2}U_2$ 。

### 工作原理

第 1 阶段（ $0 \sim \omega t_1$ ）：这阶段  $u_2$  在正半周期，a 点电位高于 b 点电位晶闸管  $VT_1$  和  $VT_2$  方向串联后于  $u_2$  连接， $VT_1$  承受正向电压为  $u_2/2$ ， $VT_2$  承受  $u_2/2$  的反向电压；同样  $VT_3$  和  $VT_4$  反向串联后与  $u_2$  连接， $VT_3$  承受  $u_2/2$  的正向电压， $VT_4$  承受  $u_2/2$  的反向电压。虽然  $VT_1$  和  $VT_3$  受正向电压，但是尚未触发导通，负载没有电流通过，所以  $U_d=0$ ， $i_d=0$ 。

第 2 阶段（ $\omega t_1 \sim \pi$ ）：在  $\omega t_1$  时同时触发  $VT_1$  和  $VT_3$ ，由于  $VT_1$  和  $VT_3$  受正向电压而导通，有电流经 a 点  $\rightarrow VT_1 \rightarrow R \rightarrow VT_3 \rightarrow$  变压器 b 点形成回路。在这段区间里， $u_d=u_2$ ， $i_d=i_{VT_1}=i_{VT_3}=u_d/R$ 。由于  $VT_1$  和  $VT_3$  导通，忽略管压降， $u_{VT_1}=u_{VT_2}=0$ ，而承受的电压为  $u_{VT_2}=u_{VT_4}=u_2$ 。

第 3 阶段（ $\pi \sim \omega t_2$ ）：从  $\omega t=\pi$  开始  $u_2$  进入了负半周期，b 点电位高于 a 点电位， $VT_1$  和  $VT_3$  由于受反向电压而关断，这时  $VT_1 \sim VT_4$  都不导通，各晶闸管承受  $u_2/2$  的电压，但  $VT_1$  和  $VT_3$  承受的是反向电压， $VT_2$  和  $VT_4$  承受的是正向电压，负载没有电流通过， $u_d=0$ ， $i_d=i_2=0$ 。

第 4 阶段（ $\omega t_2 \sim \pi$ ）：在  $\omega t_2$  时， $u_2$  电压为负， $VT_2$  和  $VT_4$  受正向电压，触发  $VT_2$  和  $VT_4$  导通，有电流经过 b 点  $\rightarrow VT_2 \rightarrow R \rightarrow VT_4 \rightarrow$  a 点，在这段区间里， $u_d=u_2$ ，

$i_d=i_{VT2}=i_{VT4}=i_2=U_d/R$ 。由于  $VT_2$  和  $VT_4$  导通， $VT_2$  和  $VT_4$  承受  $u_2$  的负半周期电压，至此一个周期工作完毕，下一个周期，充复上述过程，单项桥式整流电路两次脉冲间隔为  $180^\circ$ 。

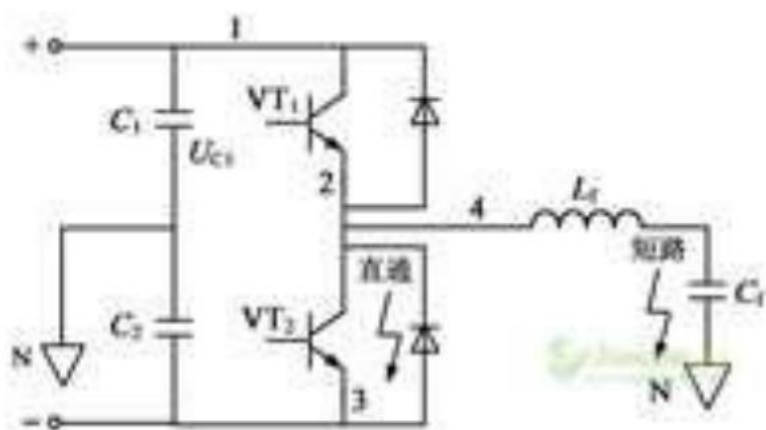
### (2) 逆变部分主电路设计：

如图所示，它有两个桥臂，每个桥臂由一个全控器件和一个二极管反并联而成。在直流侧有两个相互串联的大电容，两个电容的中点为直流电源中点。负载接在直流电源中点和两个桥臂连接点之间。

开关器件设为  $V1$  和  $V2$ ，当负载为感性时，输出为矩形波， $U_m=U_d/2$ 。

刚开始  $V1$  为通态， $V2$  为断态，给  $V1$  关断信号， $V2$  开通信号后， $V1$  关断，但由于感性负载，电流方向不能立即改变，就沿着  $VD2$  续流，直到电流为零时  $VD2$  截止， $V2$  开通，电流开始反向。依此原理， $V1$  和  $V2$  交替导通， $VD1$  和  $VD2$  交替续流。

此电路优点在于结构简单，使用器件少，缺点是输出交流电压幅值仅为  $U_d/2$ 。



### (3) 控制电路的设计：

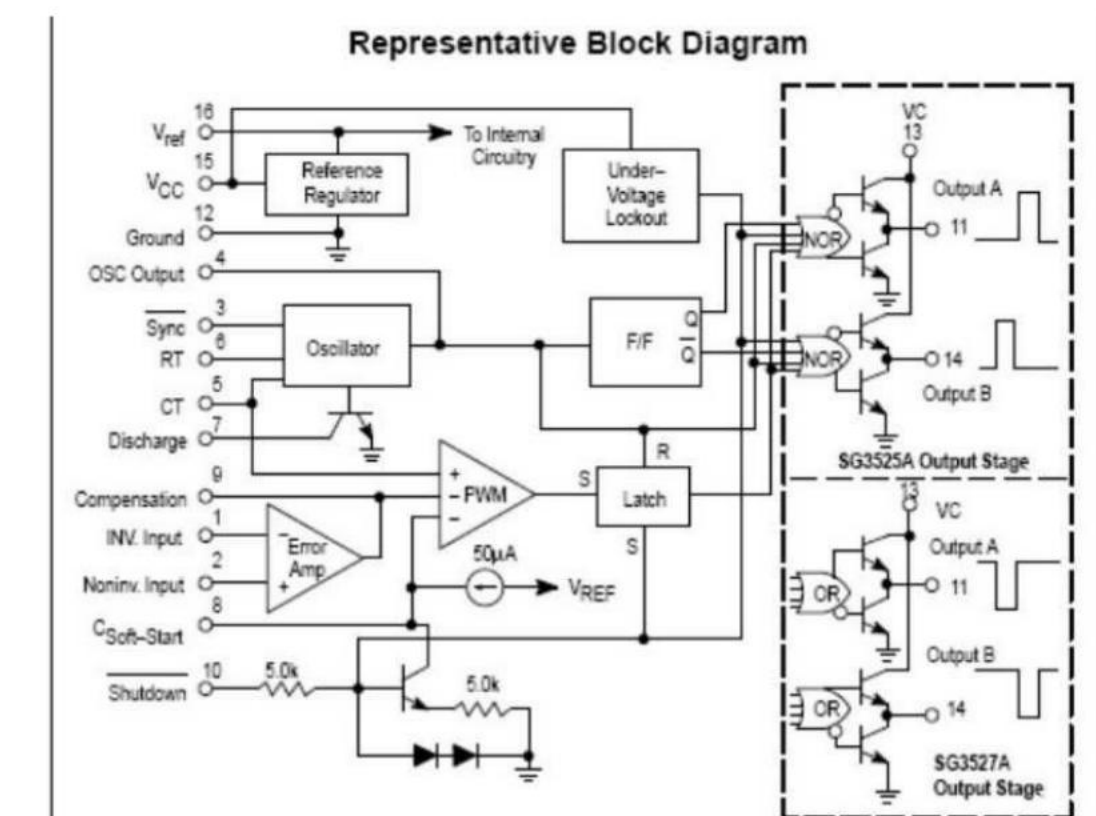
控制电路需要实现的功能是产生控制信号，用于逆变电路中功率器件的通断，通过对逆变角的调节而达到对逆变后的交流电压的调节。

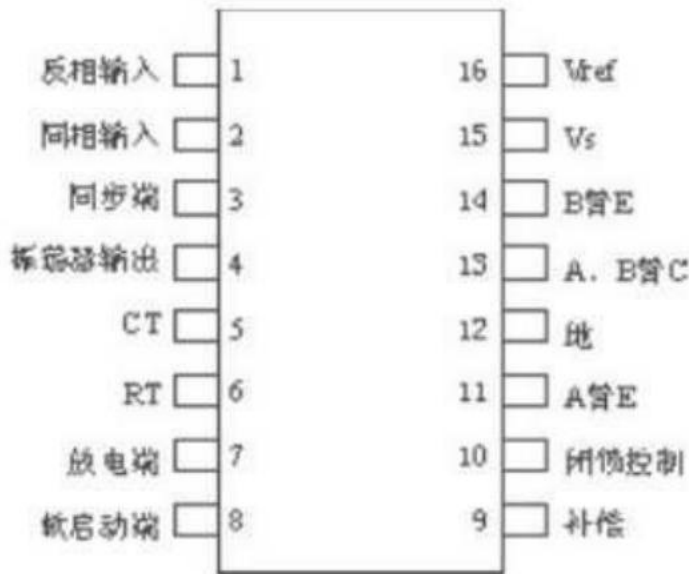
我们采用 PWM 控制方法，进行连续控制，我们采用了 SG3525 芯片，它是一款专用的 PWM 控制集成芯片，它采用恒频调宽控制方案，内部包括精密基准源，

锯齿波振荡器，误差放大器，比较器，分频器和保护电路等。

SG3525 是电流控制型 PWM 控制器，所谓电流控制型脉宽调制器是按照接反馈电流来调节脉宽的。在脉宽比较器的输入端直接用流过输出电感线圈的信号与误差放大器输出信号进行比较，从而调节占空比使输出的电感峰值电流跟随误差电压变化而变化。由于结构上有电压环和电流环双环系统，因此，无论开关电源的电压调整率、负载调整率和瞬态响应特性都有提高，是目前比较理想的新型控制器。

SG3525 的结构和工作原理：





1. **Inv.input(引脚 1)**: 误差放大器反向输入端。在闭环系统中, 该引脚接反馈信号。在开环系统中, 该端与补偿信号输入端(引脚 9)相连, 可构成跟随器。
2. **Noninv.input(引脚 2)**: 误差放大器同向输入端。在闭环系统和开环系统中, 该端接给定信号。根据需要, 在该端与补偿信号输入端(引脚 9)之间接入不同类型的反馈网络, 可以构成比例、比例积分和积分等类型的调节器。
3. **Sync(引脚 3)**: 振荡器外接同步信号输入端。该端接外部同步脉冲信号可实现与外电路同步。
4. **OSC.Output(引脚 4)**: 振荡器输出端。
5. **CT(引脚 5)**: 振荡器定时电容接入端。
6. **RT(引脚 6)**: 振荡器定时电阻接入端。
7. **Discharge(引脚 7)**: 振荡器放电端。该端与引脚 5 之间外接一只放电电阻, 构成放电回路。
8. **Soft-Start(引脚 8)**: 软启动电容接入端。该端通常接一只 5 的软启动电容。
9. **Compensation(引脚 9)**: PWM 比较器补偿信号输入端。在该端与引脚 2 之间接入不同类型的反馈网络, 可以构成比例、比例积分和积分等类型调节器。
10. **Shutdown(引脚 10)**: 外部关断信号输入端。该端接高电平时控制器输出被禁止。该端可与保护电路相连, 以实现故障保护。
11. **Output A(引脚 11)**: 输出端 A。引脚 11 和引脚 14 是两路互补输出端。
12. **Ground(引脚 12)**: 信号地。
13. **Vc(引脚 13)**: 输出级偏置电压接入端。
14. **Output B(引脚 14)**: 输出端 B。引脚 14 和引脚 11 是两路互补输出端。
15. **Vcc(引脚 15)**: 偏置电源接入端。
16. **Vref(引脚 16)**: 基准电源输出端。该端可输出一温度稳定性极好的基准

其中, 脚 16 为 SG3525 的基准电压源输出, 精度可以达到  $(5.1 \pm 1\%) V$ , 采用了温度补偿, 而且设有过流保护电路。脚 5, 脚 6, 脚 7 内有一个双门限比

较器,内电容充放电电路,加上外接的电阻电容电路共同构成 SG3525 的振荡器。振荡器还设有外同步输入端(脚 3)。脚 1 及脚 2 分别为芯片内误差放大器的反相输入端、同相输入端。该放大器是一个两级差分放大器,直流开环增益为 70dB 左右。

SG3525 的特点如下:

- (1) 工作电压范围宽: 8—35V。
- (2) 5.1 (1 1.0%) V 微调基准电源。
- (3) 振荡器工作频率范围宽: 100Hz—400KHz。
- (4) 具有振荡器外部同步功能。
- (5) 死区时间可调。
- (6) 内置软启动电路。
- (7) 具有输入欠电压锁定功能。
- (8) 具有 PWM 锁存功能, 禁止多脉冲。
- (9) 逐个脉冲关断。
- (10) 双路输出(灌电流/拉电流): mA(峰值)。

各部分功能:

a 基准电压源: 基准电压源是一个三端稳压电路,其输入电压 VCC 可在(8~35) V 内变化,通常采用+15V,其输出电压 VST=5.1V,精度±1%,采用温度补偿,作为芯片内部电路的电源,也可为芯片外围电路提供标准电源,向外输出电流可达 400mA,没有过流保护电路。

b 振荡电路: 由一个双门限电压均从基准电源取得,其高门限电压 VH=3.9 V,低门限电压 VL=0.9,内部横流源向 CT 充电,其端压 VC 线性上升,构成锯齿波的上升沿,当 VC=VH 时比较器动作,充电过程结束,上升时间 t1 为:

$$t_1 = 0.67RTCT$$

比较器动作时使放电电路接通,CT 放电,VC 下降并形成锯齿波的下降沿,当 VC=VL 时比较器动作,放电过程结束,完成一个工作循环,下降时间 t2 为:

$$t_2 = 1.3RDCT$$

注意: 此时间即为死区时间

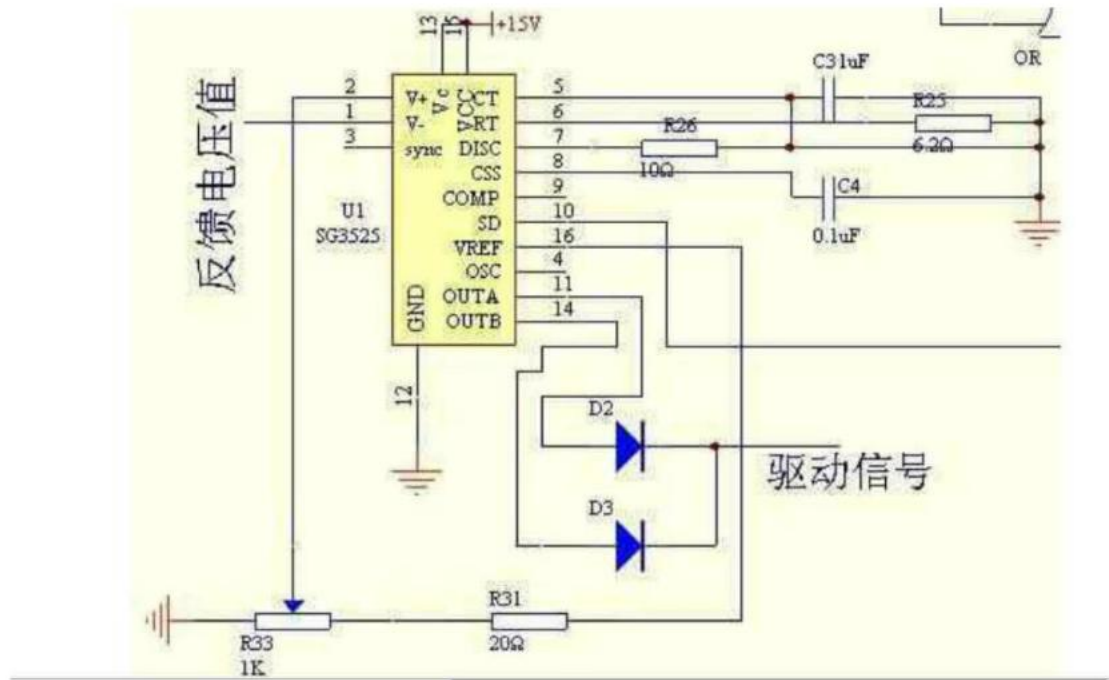
锯齿波的基本周期 T 为:

$$T = t_1 + t_2 = (0.67RT + 1.3RD)CT \quad \text{振荡频率: } f = 1/T$$

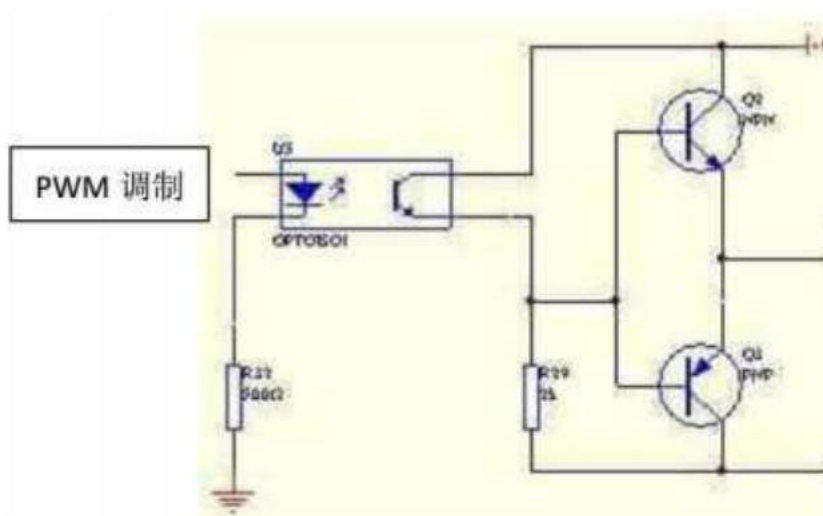


CT 和 RT 是连接脚 5 和脚 6 的振荡器的电阻和电容，RD 是于脚 7 相连的放电电阻的阻值。

控制电路图：



(4) 驱动电路的设计：



如图，我们采用了电气隔离的光耦合方式。

光耦合器（**optical coupler**，英文缩写为 **OC**）亦称光电隔离器，简称光耦。光耦合器以光为媒介传输电信号。它对输入、输出电信号有良好的隔离作用，所以，它在各种电路中得到广泛的应用。目前它已成为种类最多、用途最广的光电器件之一。光耦合器一般由三部分组成：光的发射、光的接收及信号放大。输入的电信号驱动发光二极管（**LED**），使之发出一定波长的光，被光探测器接收而产生光电流，再经过进一步放大后输出。这就完成了电—光—电的转换，从而起到输入、输出、隔离的作用。

由于光耦合器输入输出间互相隔离，电信号传输具有单向性等特点，因而具有良好的电绝缘能力和抗干扰能力。又由于光耦合器的输入端属于电流型工作的低阻元件，因而具有很强的共模抑制能力。所以，它在长线传输信息中作为终端隔离元件可以大大提高信噪比。在计算机数字通信及实时控制中作为信号隔离的接口器件，可以大大增加计算机工作的可靠性。

光耦合器的主要优点是：信号单向传输，输入端与输出端完全实现了电气隔离，输出信号对输入端无影响，抗干扰能力强，工作稳定，无触点，使用寿命长，传输效率高。光耦合器是 70 年代发展起来产新型器件，现已广泛用于电气绝缘、电平转换、级间耦合、驱动电路、开关电路、斩波器、多谐振荡器、信号隔离、级间隔离、脉冲放大电路、数字仪表、远距离信号传输、脉冲放大、固态继电器(**SSR**)、仪器仪表、通信设备及微机接口中。在单片开关电源中，利用线性光耦合器可构成光耦反馈电路，通过调节控制端电流来改变占空比，达到精密稳压目的。

我们在末端加一个推挽式放大结构进行电压电流放大，达到高输出电压，高速，高共模抑制。

#### （5）保护电路的设计：

相对于电机和继电器，接触器等控制器而言，电力电子器件承受过电流和过电压的能力较差，短时间的过电流和过电压就会把器件损坏。但又不能完全根据装置运行时可能出现的暂时过电流和过电压的数值来确定器件参数，必须充分发挥器件应有的过载能力。因此，保护就成为提高电力电子装置运行可靠性必不可少的重要环节。

#### 主电路的过电压保护设计

所谓过压保护，即指流过晶闸管两端的电压值超过晶闸管在正常工作时所承受的最大峰值电压 $U_m$ 都称为过电压，其电路图见图3.3





## 晶闸管的保护电路

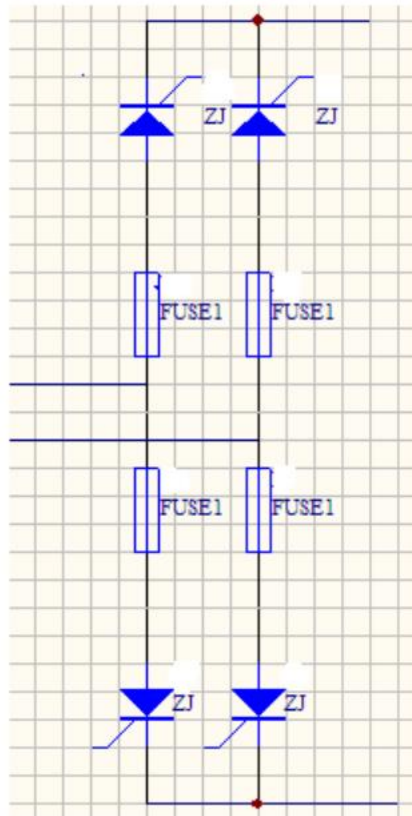
### 1. 晶闸管过电压保护过电流保护

第一种是采用电子保护电路，检测设备的输出电压或输入电流，当输出电压或输入电流超过允许值时，借助整流触发控制系统使整流桥短时间内工作于有源逆变工作状态，从而抑制过电压或过电流的数值。

第二种是在适当的地方安装保护器件，例如，R-C 阻容吸收回路、限流电感、快速熔断器、压敏电阻或硒堆等。我们这次的课程设计采用的是第二种保护电路。

#### (1) 晶闸管变流装置的过电流保护

晶闸管变流装置运行不正常或者发生故障时，可能会发生过电流，过电流分过载和短路两种情况，由于晶闸管的热容量较小，以及从管心到散热器的传导途径中要遭受到一系列热阻，所以一旦过电流，结温上升很快，特别在瞬时短路电流通过时，内部热量来不及传导，结温上升更快，晶闸管承受过载或短路电流的能力主要受结温的限制。可用作过电流保护电路的主要有快速熔断器，直流快速熔断器和过电流继电器等。在此我们采用快速熔断器措施来进行过电流保护。



过电流保护

采用快速熔断器是电力电子装置中最有效、应用最广的一种过电流保护措施。在选择快熔时应考虑：

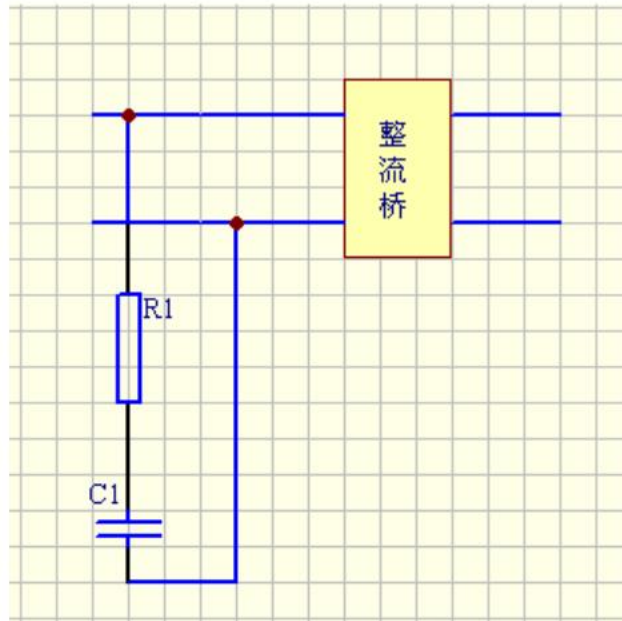
- 1) 电压等级应根据熔断后快熔实际承受的电压来确定。
- 2) 电流容量应按其主电路中的接入方式和主电路联结形式确定。快熔一般与电力半导体器件串联连接，在小容量装置中也可串接于阀侧交流母线或直流母线中。
- 3) 快熔的  $I^2t$  值应小于被保护器件的允许  $I^2t$  值、
- 4) 为保证熔体在正常过载情况下不熔化，应考虑其时间电流特性。

因为晶闸管的额定电流为 10A,快速熔断器的熔断电流大于 1.5 倍的晶闸管额定电流，所以快速熔断器的熔断电流为 15A。

#### 晶闸管变流装置的过电压保护

电力电子装置中可能发生的过电压分为外因过电压和内因过电压两类。外因过电压主要来自雷击和系统中的操作过程等外部原因，内因过电压主要来自电力电子装置内部器件的开关过程，过电压保护有避雷器保护，利用非线性过电压保护元件保护，利用储能元件保护，利用引入电压检测的电子保护电路作过电压保

护。在此我们采用储能元件保护即阻容保护。



单相阻容保护的计算公式如下：

$$C \geq 6i_0\% \frac{S}{U_2^2} \quad (3-2)$$

$$R \geq 2.3 \frac{U_2^2}{S} \sqrt{\frac{U_k\%}{i_0\%}} \quad (3-3)$$

S: 变压器每相平均计算容量 (VA)

$U_2$ : 变压器副边相电压有效值 (V)

$i_0\%$ : 变压器激磁电流百分值

$U_k\%$ : 变压器的短路电压百分值。

当变压器的容量 在 (10----1000) KVA 里面取值时  $i_0\%$ =(4----10) 在里面取值，

$U_k\%$ =(5----10) 里面取值。

电容 C 的单位为  $\mu F$ ，电阻的单位为欧姆，电容 C 的交流耐压  $\geq 1.5U_e$

$U_e$ : 正常工作时阻容两端交流电压有效值。

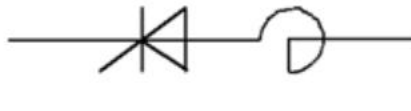
根据公式算得电容值为  $4.8\mu F$ ，交流耐压为 165V，电阻值为  $12.86\Omega$ ，

在设计中我们取电容为  $5\mu F$ ，电阻值为  $13\Omega$ 。

电流上升率、电压上升率的抑制保护

### 电流上升率 $di/dt$ 的抑制

晶闸管初开通时电流集中在靠近门极的阴极表面较小的区域，局部电流密很大，然后以  $0.1\text{mm}/\mu\text{s}$  的扩展速度将电流扩展到整个阴极面，若晶闸管开通时电流上升率  $di/dt$  过大，会导致 PN 结击穿，必须限制晶闸管的电流上升率使其在合适的范围内。其有效办法是在晶闸管的阳极回路串联入电感。如下图：

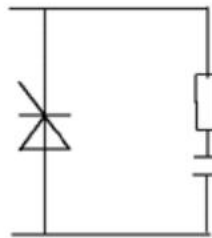


串联电感抑制回路

### 电压上升率 $du/dt$ 的抑制

加在晶闸管上的正向电压上升率  $du/dt$  也应有所限制，如果  $du/dt$  过大由于晶闸管结电容的存在而产生较大的位移电流，该电流可以实际上起到触发电流的作用，使晶闸管正向阻断能力下降，严重时引起晶闸管误导通。

为抑制  $du/dt$  的作用，可以在晶闸管两端并联 R-C 阻容吸收回路。如下图：



并联 R-C 阻容吸收回路

(6) 元器件及电路参数的计算:

1) 整流输出电压的平均值可按下式计算

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos \alpha = 0.9U_2 \cos \alpha \quad (2-1)$$

当  $\alpha = 0$  时,  $U_d$  取得最大值 100V 即  $U_d = 0.9 U_2 = 100V$  从而得出  $U_2 = 111V$ ,

$\alpha = 90^\circ$  时,  $U_d = 0$ 。  $\alpha$  角的移相范围为  $90^\circ$ 。

2) 整流输出电压的有效值为

$$U = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} (\sqrt{2}U_2 \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = U_2 = 111V \quad (2-2)$$

3) 整流电流的平均值和有效值分别为

$$I_d = \frac{U_d}{R_d} = 0.9 \frac{U_2}{R_d} \cos \alpha \quad (2-3)$$

$$I = \frac{U}{R_d} = \frac{U_2}{R_d} \quad (2-4)$$

4) 在一个周期内每组晶闸管各导通  $180^\circ$ , 两组轮流导通, 变压器二次电流是正、负对称的方波, 电流的平均值  $I_d$  和有效值  $I$  相等, 其波形系数为 1。

流过每个晶闸管的电流平均值和有效值分别为:

$$I_{dT} = \frac{\theta_T}{2\pi} I_d = \frac{\pi}{2\pi} I_d = \frac{1}{2} I_d \quad (2-5)$$

$$I_T = \sqrt{\frac{\theta_T}{2\pi}} I_d = \sqrt{\frac{\pi}{2\pi}} I_d = \frac{1}{\sqrt{2}} I_d \quad (2-6)$$

5) 晶闸管在导通时管压降  $u_T = 0$ , 故其波形为与横轴重合的直线段;  $VT_1$  和  $VT_2$  加正向电压但触发脉冲没到时,  $VT_3$ 、 $VT_4$  已导通, 把整个电压  $u_2$  加到  $VT_1$  或  $VT_2$  上, 则每个元件承受的最大可能的正向电压等于  $\sqrt{2}U_2$ ;  $VT_1$  和  $VT_2$  反向截止时漏电流为零, 只要另一组晶闸管导通, 也就把整个电压  $u_2$  加到  $VT_1$  或  $VT_2$  上, 故两个晶闸管承受的最大反向电压也为  $\sqrt{2}U_2$ 。



## 元器件的选取

由于单相桥式全控整流带感性负载主电路主要元件是晶闸管，所以选取元件时主要考虑晶闸管的参数及其选取原则。

1). 晶闸管的主要参数如下：

①额定电压  $U_{Tn}$

通常取  $U_{DRM}$  和  $U_{RRM}$  中较小的，再取靠近标准的电压等级作为晶闸管型的额定电压。在选用管子时，额定电压应为正常工作峰值电压的 2~3 倍，以保证电路的工作安全。

晶闸管的额定电压  $U_{Tn} = \{ \min U_{DRM}, U_{RRM} \}$

$$U_{Tn} \geq (2 \sim 3) U_{Tm} \quad (2-7)$$

$U_{Tm}$ ：工作电路中加在管子上的最大瞬时电压

②额定电流  $I_{T(AV)}$

$I_{T(AV)}$  又称为额定通态平均电流。其定义是在室温  $40^\circ$  和规定的冷却条件下，元件在电阻性负载流过正弦半波、导通角不小于  $170^\circ$  的电路中，结温不超过额定结温时，所允许的最大通态平均电流值。将此电流按晶闸管标准电流取相近的电流等级即为晶闸管的额定电流。要注意的是若晶闸管的导通时间远小于正弦波的半个周期，即使正向电流值没超过额定值，但峰值电流将非常大，可能会超过管子所能提供的极限，使管子由于过热而损坏。在实际使用时不论流过管子的电流波形如何、导通角多大，只要其最大电流有效值  $I_{Tm} \leq I_{Tn}$ ，散热冷却符合规定，则晶闸管的发热、温升就能限制在允许的范围。

$I_{Tn}$ ：额定电流有效值，根据管子的  $I_{T(AV)}$  换算出，

$I_{T(AV)}$ 、 $I_{Tm}$ 、 $I_{Tn}$  三者之间的关系：

$$I_{Tn} = \sqrt{1/2\pi \int_0^\pi (I_m \sin \omega t)^2 d(\omega t)} = \frac{2I_m}{\pi} \quad (2-8)$$

$$I_{T(AV)} = 1/2\pi \int_0^\pi I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2-9)$$

波形系数：有直流分量的电流波形，其有效值  $I_T$  与平均值  $I_{Td}$  之比称为该波形的波形系数，用  $K_f$  表示。

$$K_f = \frac{I_T}{I_{Td}} \quad (2-10)$$

额定状态下，晶闸管的电流波形系数

$$K_f = \frac{I_{Tn}}{I_{T(AV)}} = \frac{\frac{2I_m}{\pi}}{\frac{I_m}{\sqrt{2}}} = 1.11 \quad (2-11)$$

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos \alpha = 0.9U_2 \cos \alpha \quad (2-12)$$

当  $\alpha=0$  时,  $U_d$  取得最大值 100V 即  $U_d = 0.9 U_2 = 100V$  从而得出  $U_2 = 111V$ ,  $\alpha=90^\circ$  时,  $U_d=0$ 。  $\alpha$  角的移相范围为  $90^\circ$ 。

晶闸管承受最大电压为  $U_{TM} = \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 111V = 157V$  考虑到 2 倍裕量, 取 400V。

晶闸管的选择原则:

I 所选晶闸管电流有效值  $I_{Tn}$  大于元件在电路中可能流过的最大电流有效值。

II、选择时考虑 (1.5~2) 倍的安全余量。即

$$I_{Tn} = 0.707 I_{T(AV)} = (1.5 \sim 2) I_{TM}$$

$$I_{T(AV)} \geq (1.5 \sim 2) \frac{I_{TM}}{1.11} \quad (2-13)$$

因为  $I_T = \frac{I}{\sqrt{2}}$ , 则晶闸管的额定电流为  $I_{T(AV)} = 10A$  (输出电流的有效值为最小值,

所以该额定电流也为最小值) 考虑到 2 倍裕量, 取 20A. 即晶闸管的额定电流至应大于 20A.

在本次设计中我选用 4 个 KP20-4 的晶闸管.

III、若散热条件不符合规定要求时, 则元件的额定电流应降低使用。

③ 通态平均管压降  $U_{(AV)}$ 。指在规定的工作温度条件下, 使晶闸管导通的正弦波半个周期内阳极与阴极电压的平均值, 一般在 0.4~1.2V。

④ 维持电流  $I_H$ 。指在常温门极开路时, 晶闸管从较大的通态电流降到刚好能保持通态所需要的最小通态电流。一般  $I_H$  值从几十到几百毫安, 由晶闸管电流容量大小而定。

- ⑤ 门极触发电流  $I_g$ 。在常温下，阳极电压为 6V 时，使晶闸管能完全导通所需的门极电流，一般为毫安级。
- ⑥ 断态电压临界上升率  $du/dt$ 。在额定结温和门极开路的情况下，不会导致晶闸管从断态到通态转换的最大正向电压上升率。一般为每微秒几十伏。
- ⑦ 通态电流临界上升率  $di/dt$ 。在规定条件下，晶闸管能承受的最大通态电流上升率。若晶闸管导通时电流上升太快，则会在晶闸管刚开通时，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损坏晶闸管。

## 2) 变压器的选取

根据参数计算可知:变压器应选变比为 2, 容量至少为  $24.2V \cdot A$ 。

## 性能指标分析

整流电路的性能常用两个技术指标来衡量：一个是反映转换关系的用整流输出电压的平均值表示；另一个是反映输出直流电压平滑程度的，称为纹波系数。

### 1) 整流输出电压平均值

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2}U_2 \sin \omega t d(\omega t) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 \cos \alpha = 0.9U_2 \cos \alpha \quad (2-14)$$

### 2) 纹波系数

纹波系数  $K_r$  用来表示直流输出电压中相对纹波电压的大小，即

$$K_r = \frac{U_{Lr}}{U_d} = \frac{\sqrt{U_2^2 - U_d^2}}{U_d} \quad (2-15)$$

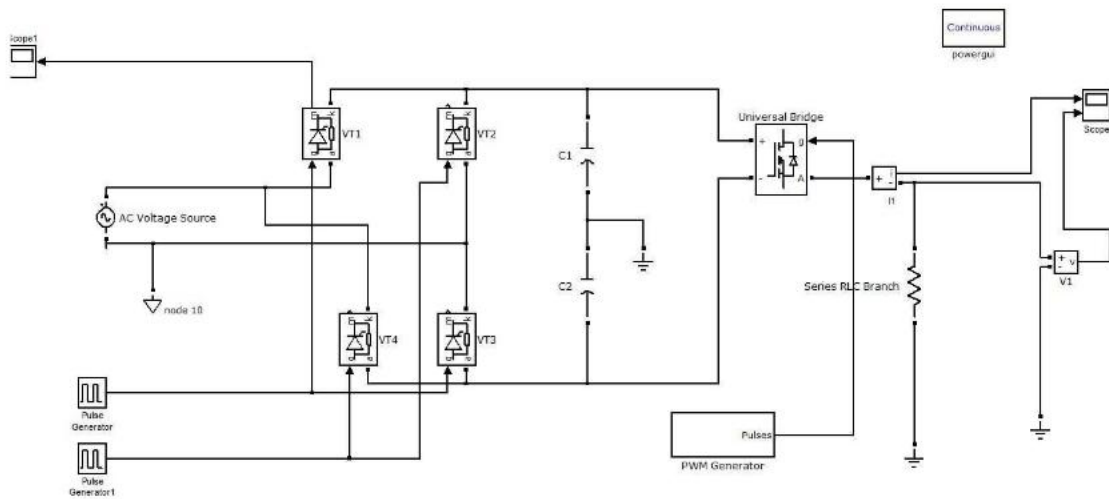
## (7) 电路仿真

### 1 SIMULINK 仿真软件介绍

Simulink 是 MATLAB 最重要的组件之一，它提供一个动态系统建模、仿真和综合分析的集成环境。在该环境中，无需大量书写程序，而只需要通过简单直观的鼠标操作，就可构造出复杂的系统。Simulink 具有适应面广、结构和流程清晰及仿真精细、贴近实际、效率高、灵活等优点，并基于以

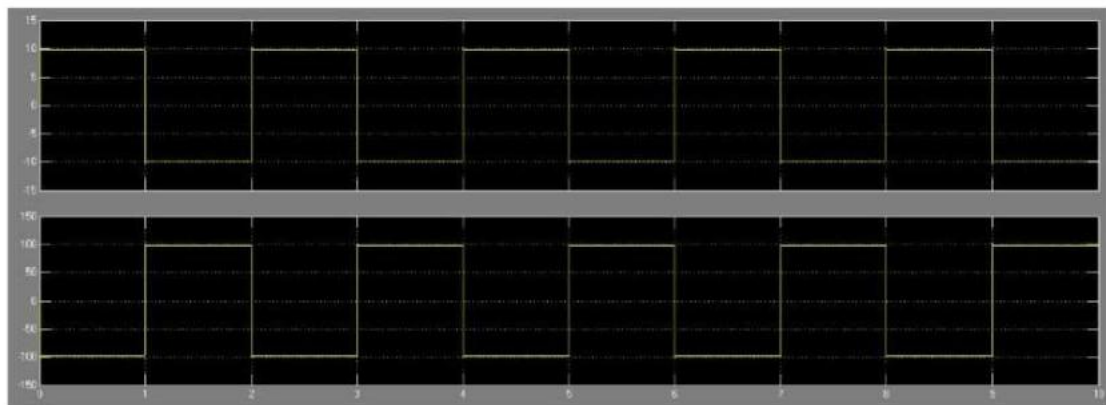
上优点 Simulink 已被广泛应用于控制理论和数字信号处理的复杂仿真和设计。同时有大量的第三方软件和硬件可应用于或被要求应用 Simulink。

### 模型图：



仿真电路

打开新建模型窗口，将所需元件模块从模块库中拖入新建模型窗口并改名，设定有关参数后将各模块库连接组成仿真模型，如下图 4-2 所示，设置好各模块参数，点击下拉菜单仿真(Simulation)按钮，仿真参数(Simulation Parameters)命令设定有关仿真参数，设定停止时间(Stop Time)为 0.1 秒，仿真算法选择可变步长(Variable-step)积分算法函数其，他参数用默认值。然后点击启动仿真按钮，则开始仿真，双击显示模块(scope)就能显示其信号波形。



仿真波形图

## 课程设计总结

通过单相半桥无源逆变电路设计，使我加深了对整流，逆变电路的理解，让我对电力电子该课程产生了浓烈的兴趣。

整流电路的设计方法多种多样，且根据负载的不同，又可以设计出很多不同的电路。其中单相半桥无源逆变电路设计其负载我们用的多的是电阻型、带大电感型，它们各自有自己的优点。

对于一个电路的设计，首先应该对它的理论知识很了解，这样才能设计出性能好的电路。整流电路中，开关器件的选择和触发电路的选择是最关键的，开关器件和触发电路选择的好，对整流电路的性能指标影响很大。

要想完成一个电力电子课程设计，要想自己做是不可能的，要有团队合作意识，同时，你也要对各种工程软件进行学习，不然无法进行电路的仿真。

在这次课程设计过程中，碰到的难题就是保护电路和触发电路的设计。因为保护电路和触发电路的种类较多，因此要选择一个适合本课题的电路就比较难。后来经老师，还有同学的帮助，选择了一个较好的保护电路。

感谢在这次课程设计过程中帮助我的老师和同学。

### 参考文献：

- [1] 浣喜明、姚为正 《电力电子技术》 高等教育出版社 2004
- [2] 黄俊 《半导体变流技术》 机械工业出版社 1980
- [3] 莫正康 《半导体变流技术》 机械工业出版社 1999
- [4] 林辉、王辉主编 《电力电子技术》 武汉理工大学出版社 2002
- [5] DJDK-1 型电力电子技术及电机控制实验指导书 V3.1 版

元器件清单如下所示：

元器件	备注	数量
整流变压器	变比为 1.18，容量至少为 2.464kv·A	1 个
晶闸管	KP20-4	4 个
电阻		1 个
电容		若干个
Mosfet 管		2 个
二极管		若干个
脉冲发生器		2 个
芯片	SG3525	1 块
熔断器		6 个



