

# 湖南工学院

## 电力电子技术课程设计说明书

---

### 单相桥式可控整流电路设计

院、部：电气与信息工程学院

学生姓名：何鹏辉

指导教师：肖文英 职称 教授

专 业：电气工程及其自动化

班 级：电气本 1304 班

完成时间：2016 年 6 月 4 日

学 号：1330140437

## 摘 要

单相桥式可控整流电路是一种能将交流转换为直流的电路，其转换效率高，原理及结构简单，因此它在单相整流电路中有着很广泛的应用。

设计一个单相桥式可控整流电路，我首先先确定设计总体方案，比较了单相桥式半控整流电路和单相桥式全控整流电路的优劣之后，因此最终选择了单相桥式全控整流电路。单相桥式全控整流电路由一个变压器，4个可控晶闸管，和一个阻感负载组成。然后根据总体方案分别设计了各个单元电路，如触发电路、保护电路等；还根据要求计算了参数，包括触发角的选择，输出平均电压，输出平均电流，输出有功功率计算，输出波形分析，器件额定参数确定等；完成这些后，将各个单元电路衔接起来就完成了主电路的设计；然后再用 MATLAB 软件仿真调试。

设计完成后，用 MATLAB 软件进行仿真调试，调试结果满足设计要求。

关键词：单相桥式可控整流电路；触发电路；保护电路； MATLAB 软件仿真

# 目 录

1 设计方案选择及论证 .....	2
1.1 设计任务和要求 .....	2
1_2 总体方案的选择和确定 .....	2
1.3 整流电路方案的确定 .....	3
2. 雜总体设计 .....	4
2. 1 系统原理方框图 .....	4
2. 2 主电路设计 .....	5
3_驱动电路和保护电路的设计 .....	7
3. 1 触发 fe 路 .....	7
3. 2 保护电路的设计 .....	9
4 元器件和电路参数计算 .....	11
4-1 元件选取——晶闸管 (SCR) .....	11
4. 2 晶闸管的选型 .....	15
4. 3 整流变压器额定参数计算 .....	15
个 4 设计结果分析 .....	16
5 ,系统调试 3 仿真 .....	16
6 设计总结 .....	22
参考文献	

# 1. 设计方案选择及论证

## 1.1 设计任务和要求

### 1.1.1 设计任务

本次设计的任务是设计一个单相桥式全控整流电路。确定设计总体方案，通过总体方案来设计各个单元电路如触发电路、保护电路等；根据要求计算参数，包括触发角的选择，输出平均电压，输出平均电流，输出有功功率计算；输出波形分析，器件额定参数确定等；完成这些后，将各个单元电路衔接起来就完成主电路的设计；然后再用 MATLAB 软件仿真调试。

### 1.1.2 设计要求

单相桥式全控整流电路的设计要求为：

- (1) 电网供电电压为单相 220V
- (2) 变压器二次侧电压为 220V
- (3) 输出电压连续可调，为  $0 \sim 198V$ ;
- (4) 带阻感性负载： $L=1000mH$ ,  $R=10\Omega$

## 1.2 总体方案的选择与确定

单相桥式带阻感负载可控整流电路可分为单相桥式带阻感负载相控整流电路和单相桥式带阻感负载半控整流电路，它们所带的负载性质不同就会有不同的特点。下面分析两种单相桥式可控整流电路在带阻感性负载的工作情况。

单相半控整流电路的优点是：线路简单、调整方便。缺点是：输出电压脉动大，负载电流脉动大（电阻性负载时），且整流变压器二次绕组中存在直流分量，使铁心磁化，变压器不能充分利用。而单相全控式整流电路具有输出电流脉动小，功率因数高，变压器二次电流为两个等大反向的半波，没有直流磁化问题，变压器利用率高。

单相全控式整流电路其输出平均电压是半波整流电路 2 倍，在相同的负载下流过晶闸管的平均电流减小一半；且功率因数提高了一半。

单相半波相控整流电路因其性能较差，实际中很少采用，在中小功率场合采用更多的是单相全控桥式整流电路。

根据以上的比较分析因此选择的方案为单相全控桥式整流电路（负载是阻感式负载）

### 1.3 整流电路方案的确定

单相整流器的电路形式是各种各样的整流的结构也是比较多的因此在做设计之前主要考虑了以下几种方案：

方案1：单相桥式半控整流电路如图所示

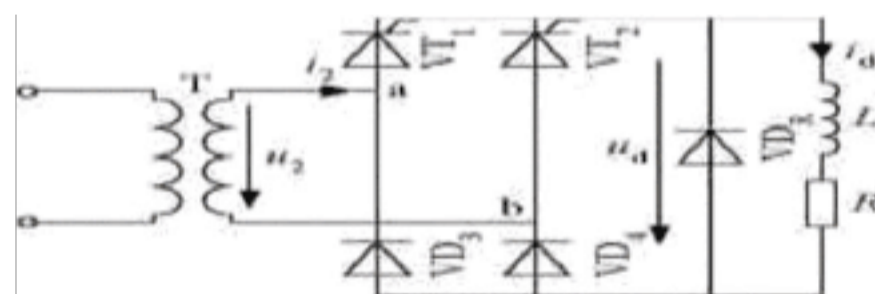
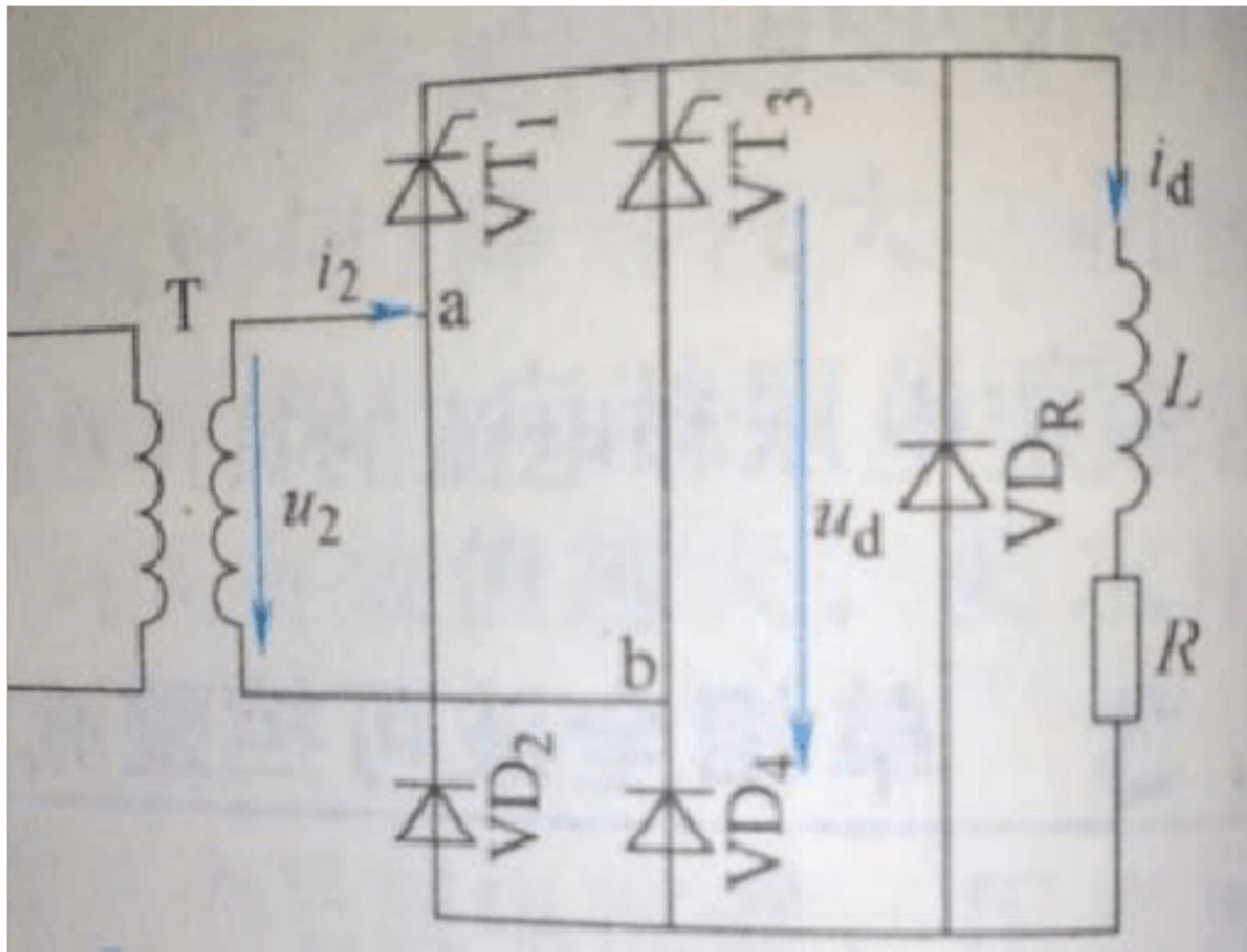


图1 单相桥式半控整流电路图

对每个导电回路进行控制每一个导电回路有两个晶闸管只要一个晶闸管就可以控制了，另一个晶闸管用二极管代替从而简化了电路。在实际应用中还要加续流二极管，如果不加续流二极管，当 $\alpha$ 突然增大至 $180^\circ$ 或触发脉冲丢失时，由于电感储能不经变压器二次绕组释放，只是消耗在负载电阻上，会发生一个晶闸管持续导通而两个二极管轮流导通的情况，这使 $U_d$ 成为正弦半波，即半周期 $U_d$ 为正弦，另外半周期 $U_d$ 为零，其平均值保持稳定，相当于单相半波不可控整流电路时的波形，即为失控。所以必须加续流二极管，以免发生失控现象。

方案二：单相桥式全控整流电路如图 2 所示。

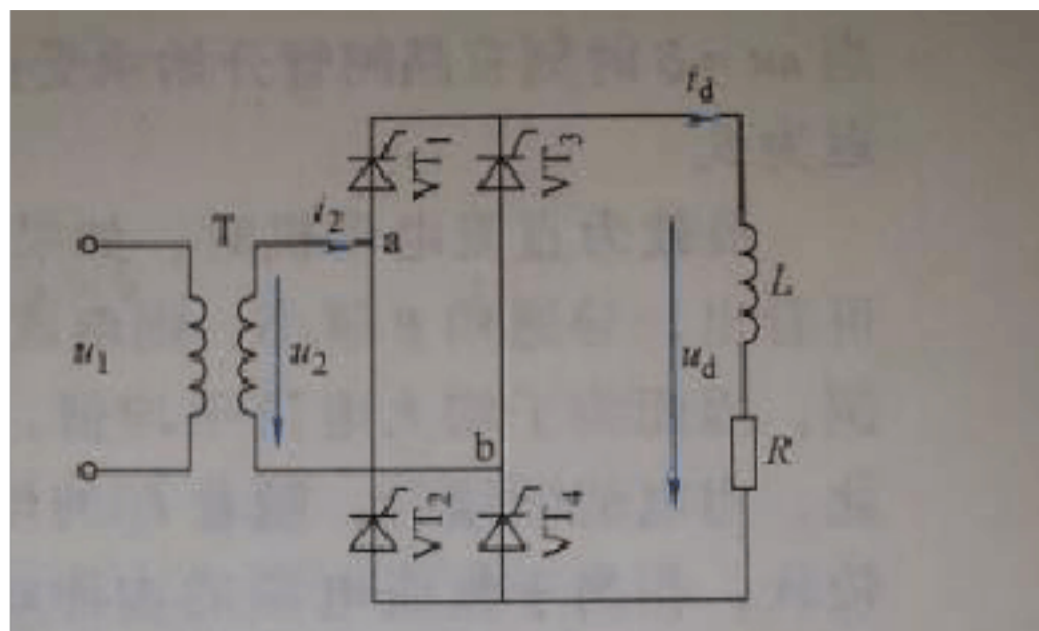


图 2 单相桥式全控整流电路电路图

此电路对每个导电回路进行控制，无须用续流二极管，也不会失控现象，负载形式多样，整流效果好，波形平稳，应用广泛。变压器二次绕组中，正负两个半周电流方向相反且波形对称，平均值为零，即直流分量为零，不存在变压器直流磁化问题，变压器的利用率也高。

方案三：单相全波可控整流电路如图 3 所示

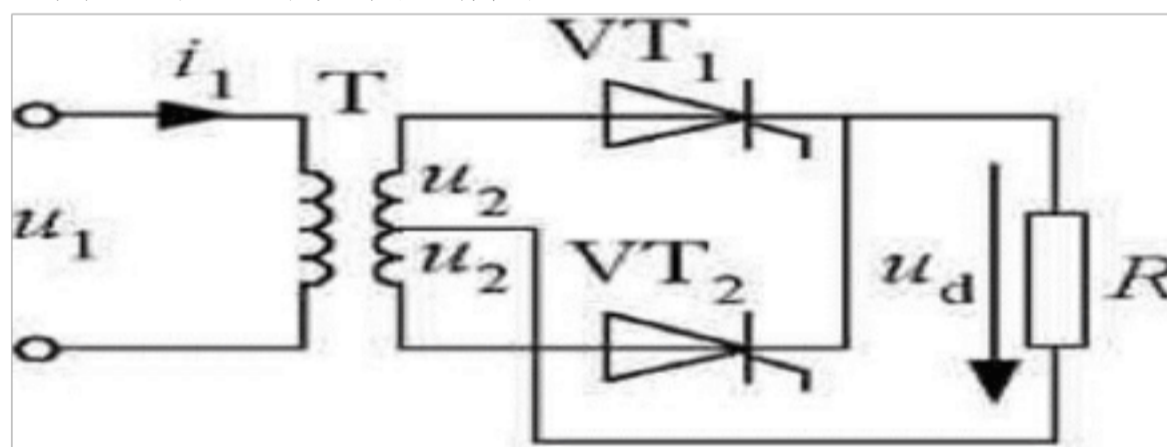


图 3 单相全波可控整流电路图

此电路变压器是带中心抽头的，结构比较复杂，只要用 2 个可控器件，单相全波只用 2 个晶闸管，比单相全控桥少 2 个，因此少了一个管压降，相应地，门极驱动电路也少 2 个，但是晶闸管承受的最大电压是单相全控桥的 2 倍。不存在直流磁化的问题，适用于输出低压的场合电流脉冲大（电阻性负载时），且整流变压器二次绕组中存在直流分量，使铁心磁化，变压器不能充分利用。而单相全控式整流电路具有输出电流脉动小，功率因数高，变压器二次电流为两个等大反向的半波，没有直流磁化问题，变压器利用率高的优点。相同的负载下流过晶闸管的平均电流比单相全控式整流电路其输出平均电压是半波整流电路 2 倍，在均电流减小一半；且功率因数提高了一半。

根据以上的比较分析因此选择的方案为单相全控桥式整流电路（负载为阻感性负载）。综上所述，针对他们的优缺点，我们采用方案二，即单相桥式全控整流电路。

## 2 单相桥式全控整流电路的设计

### 2.1 系统原理方框图

系统原理方框图如4所示：整流电路主要由晶闸管触发电路、保护电路和整流主电路组成。根据设计任务,在此设计中采用单相桥式全控整流电路接阻感性负载。

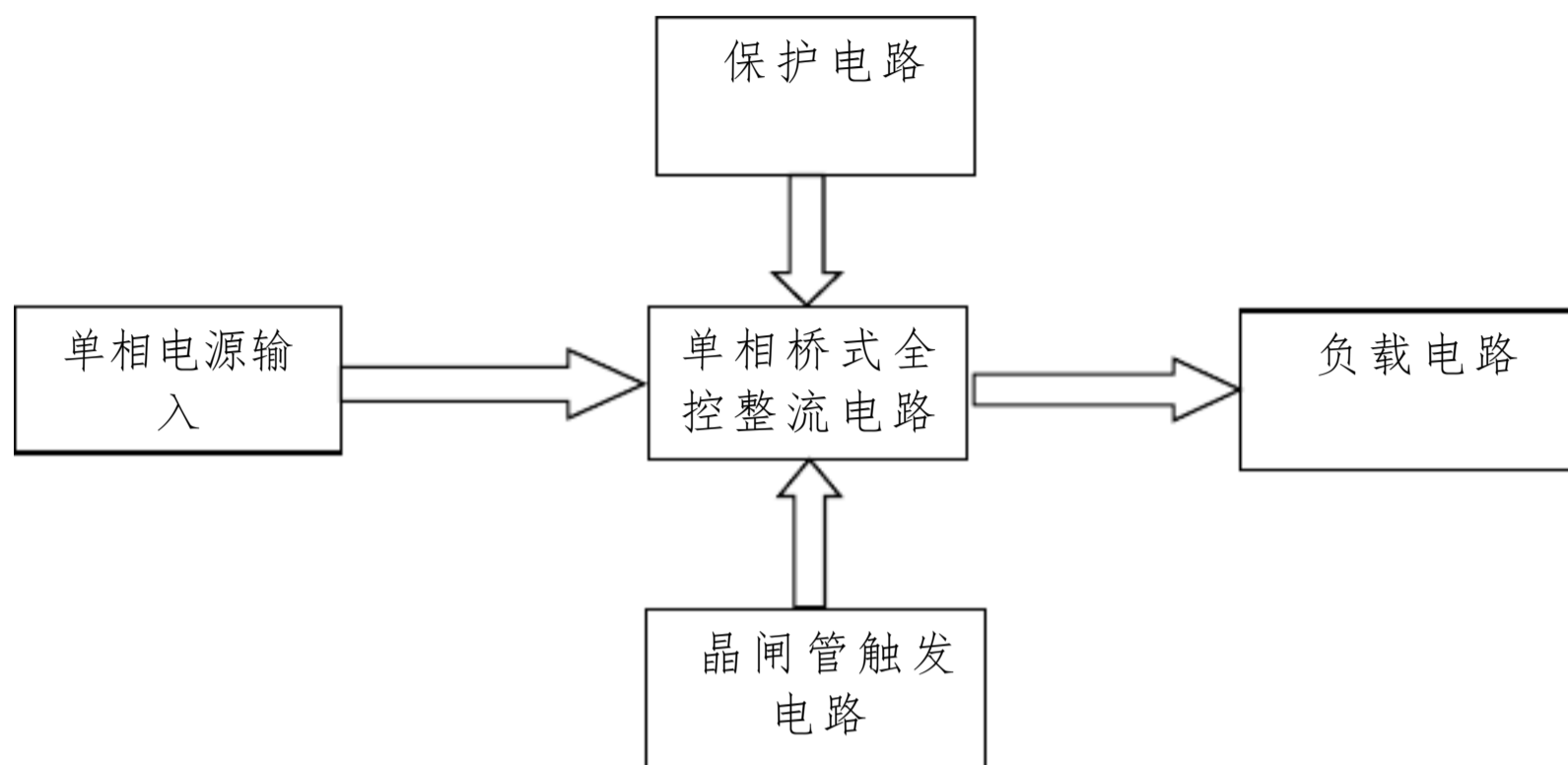


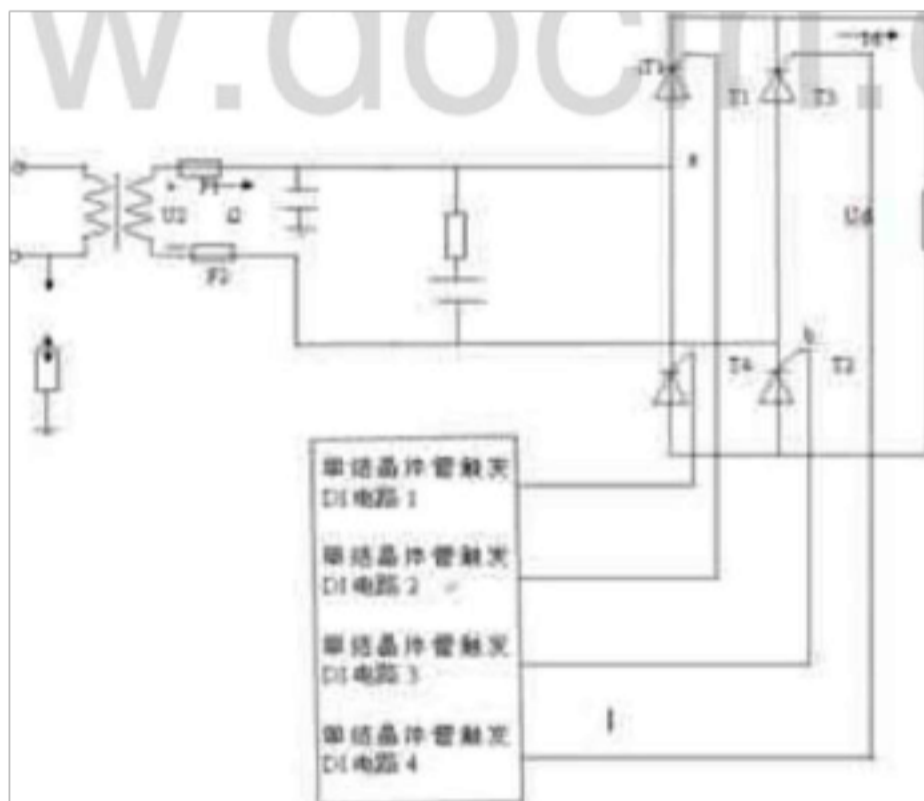
图 4 系统原理方框图

## 2.2 主电路设计

### 2.2.1 工作原理

负载中电感量的大小不同整流电路的工作情况及输出 $u_d$ 、 $i_d$ 的波形具有不同的特点。当负载电感量 $L$ 较小(即负载阻抗角 $\theta$ ,控制角 $\alpha$ ) $\beta$ 时,负载上的电流不连续;当电感 $L$ 增大时,负载上的电流不连续的可能性就会减小;当电感 $L$ 很大,且 $\omega L > R_d$ 时,这种负载称为大电感负载。此时大电感阻止负载中电流的变化,负载电流连续,可看作一条水平直线。

在电源电压 $U_2$ 正半周期间,晶闸管 $T_1$ 承受正向电压,若在 $\omega t = \alpha$ 时触发, $T_1$ 、 $T_2$ 导通,电流经 $T_1$ 、负载、 $T_2$ 和 $T_R$ 二次形成回路,但由于大电感的存在, $U_2$ 过零变负时,电感上的感应电动势使 $T_1$ 、 $T_2$ 继续导通,直到 $T_3$ 、 $T_4$ 被触发时, $T_1$ 、 $T_2$ 承受反向电压而截止。输出电压的波形出现了负值部分。在电源电压 $U_2$ 负半周期间,晶闸管 $T_3$ 、 $T_4$ 承受正向电压,在 $\omega t = \alpha + 180^\circ$ 时触发, $T_3$ 、 $T_4$ 导通, $T_1$ 、 $T_2$ 反向截止,负载电流从 $T_1$ 、 $T_2$ 中换流至 $T_3$ 、 $T_4$ 中。在 $\omega t = 360^\circ$ 时,电压 $U_2$ 过零, $T_3$ 、 $T_4$ 因电感中的感应电动势一直导通,直到下个周期 $T_1$ 、 $T_2$ 导通时, $T_3$ 、 $T_4$ 因加反向电压才截止,值得注意的是,只有当 $\alpha \leq 90^\circ$ 时,负载电流才连续,当 $\alpha > 90^\circ$ 时,负载电流不连续,而且输出电压的平均值均接近于零,因此这种电路控制角的移相范围是 $0-90^\circ$ 。





### 2.2.2 单相全控桥式整流电路

在生产实践中，除了电阻性负载外，最常见的负载还有电感性负载，如电动机的励磁绕组，整流电路中串入的滤波电抗器等。为了便于分析和计算，在电路图中将电阻和电感分开表示。

当整流电路带阻感性负载时，整流工作的物理过程和电压、电流波形都与带电阻性负载时不同。因为电感对电流的变化有阻碍作用。单相桥式可控整流电路带阻感性负载时波形如下图所示

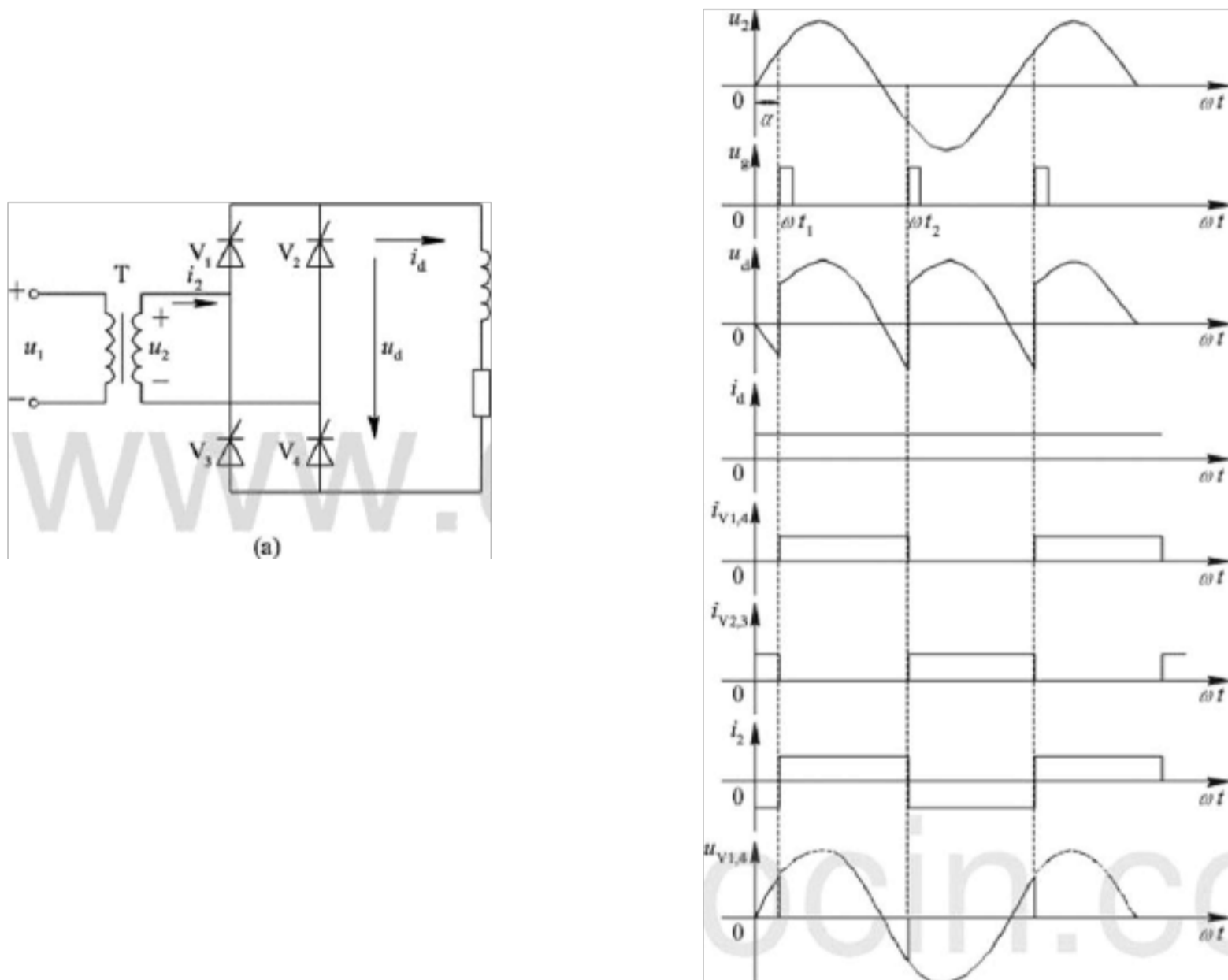


图 2.3 单相全控桥式整流电路阻感性负载及其波形

(a) 电路； (b) 电源电压； (c). 触发脉冲； (d) 输出电压； (e) 输出电流； (f) 晶闸管  $V_1, V_4$  上的电流； (g) 晶闸管  $V_2, V_3$  上的电流； (h) 变压器副边电流； (i) 晶闸管  $V_1, V_4$  的电压

当电流变化时电感要产生感应电动势而阻碍其变化，所以，电路 电流的变化总是滞后于电压的变化。

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

负载电流连续时，整流电压平均值可按上式计算：

输出电流波形因电感很大，平波效果很好而呈一条水平线。两组晶闸管轮流导电，一个周期中各导电  $180^\circ$ ，且与  $\alpha$  无关，变压器二次绕组中电流  $i_2$  的波形是对称的正、

$I_d$  和有效值  $I$  相等，其波形系数为 1。在这种情况下：

当  $\alpha = 0^\circ$  时， $U_d = 0.9U_2$

当  $\alpha = 90^\circ$  时， $U_d = 0$  其移相范围为  $90^\circ$

晶闸管承受的最大正、反向电压都是  $2U_d$ ，流过每个晶闸管的电流平均值和有效值分别为

$$I_{dV} = \frac{\theta_V}{2\pi} I_d = \frac{\pi}{2\pi} I_d = \frac{1}{2} I_d$$

$$I_V = \sqrt{\frac{\theta_V}{2\pi}} I_d = \sqrt{\frac{\pi}{2\pi}} I_d = \frac{\sqrt{2}}{2} I_d$$

## 驱动电路和保护电路的设计

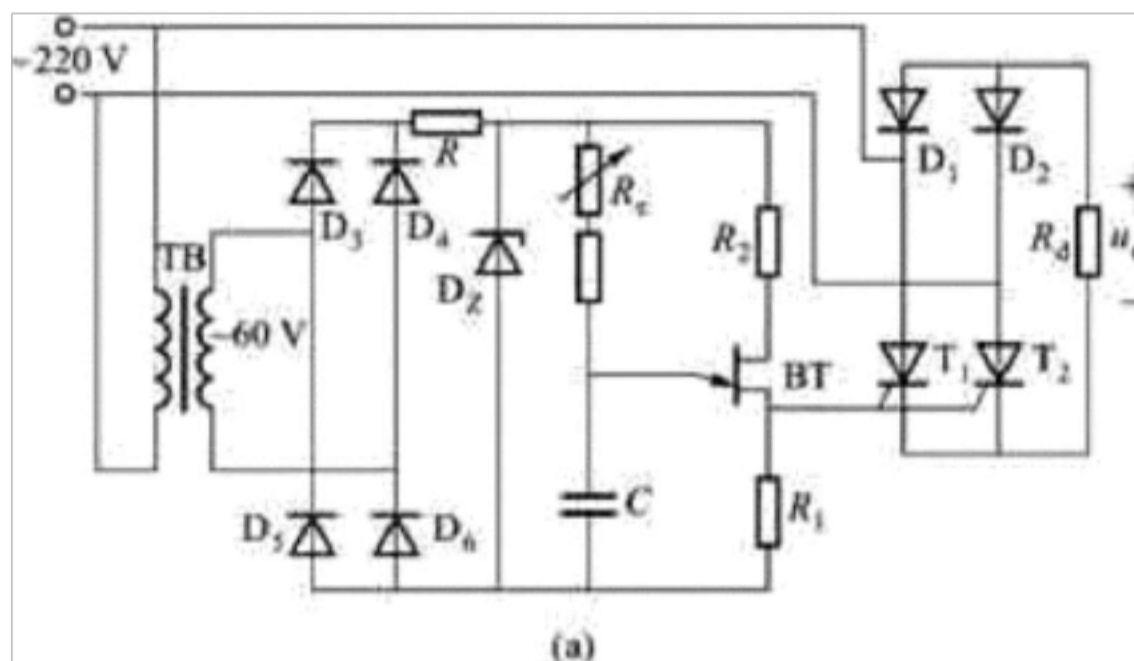
### 3.1 触发电路设计

晶闸管触发主要有移相触发、过零触发和脉冲列调制触发等。触发电路对其产生的触发脉冲要求：

- (1) 触发信号可为直流、交流或脉冲电压。
- (2) 触发信号应有足够的功率（触发电压和触发电流）。
- (3) 触发脉冲应有一定的宽度，脉冲的前沿尽可能陡，以使元件在触发导通后，阳极电流能迅速上升超过掣住电流而维持导通。
- (4) 触发脉冲必须与晶闸管的阳极电压同步，脉冲移相范围必须满足电路要求。

#### 3.1.1 单晶体管触发电路

由单晶体管构成的触发电路具有简单可靠、抗干扰能力强、温度补偿性能好，脉冲前沿陡等优点，在容量小的晶闸管装置中得到了广泛应用。他由自激振荡、同步电源、移相、脉冲形成等部分组成，电路图如 3-1 所示。



## 单结晶体管自激振荡电路

RC电路的充放电可组成自激振荡电路产生频率可变的脉冲。从图3-1可知，经DH整流后的直流电源U<sub>Z</sub>一路R<sub>2</sub>、R加在单结晶体管两个基极h、b<sub>2</sub>之间，另一路通过R<sub>e</sub>对电容C充电，发射极电压U<sub>O</sub>=U<sub>c</sub>按指数规律上升。U<sub>c</sub>刚冲点到大于峰点转折电压U<sub>p</sub>的瞬间，管子e-h间的电阻突然变小，开始导通。电容C开始通过管子e-h迅速向私放电，由于放电回路电阻很小，故放电时间很短。随着电容C放电，电压U<sub>c</sub>小于一定值管子BT又由导通转入截止，然后电源又重新对电容C充电，上述过程不断重复在电容上形成锯齿波振荡电压，在b<sub>1</sub>上得到一系列前

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

沿很陡的触发尖脉冲U<sub>s</sub>，如图3.1.2.2(b)所示，其振荡频率为  
式中 $\eta = 0.3 \sim 0.9$ 是单结晶体管的分压比。即调节R<sub>0</sub>，可调节振荡频率。

### 3.1.3 同步电源

同步电压由变压器TB获得，而同步变压器与主电路接至同一电源。同步电压于主电压同相位、同频率。同步电压经桥式整流、稳压管削波为梯形波U<sub>dz</sub>，而削波后的最大值U<sub>z</sub>既是同步信号，又是触发电路电源U<sub>dz</sub>过零时，电容C经e-b<sub>1</sub>、R<sub>1</sub>迅速放电到零电压这就是说，每半周开始，电容C都从零开始充电，进而保证每周触发电路出第一个脉冲距离过零的时刻（即控制角 $\alpha$ ）一致，实现同步。

### 3.1.4 移相控制

当R<sub>e</sub>增大时，单结晶体管发射极充电到峰点电压U<sub>p</sub>的时间增大，第一个脉冲出现的时刻推迟，即控制角 $\alpha$ 增大，实现了移相。

### 3.1.5 脉冲输出

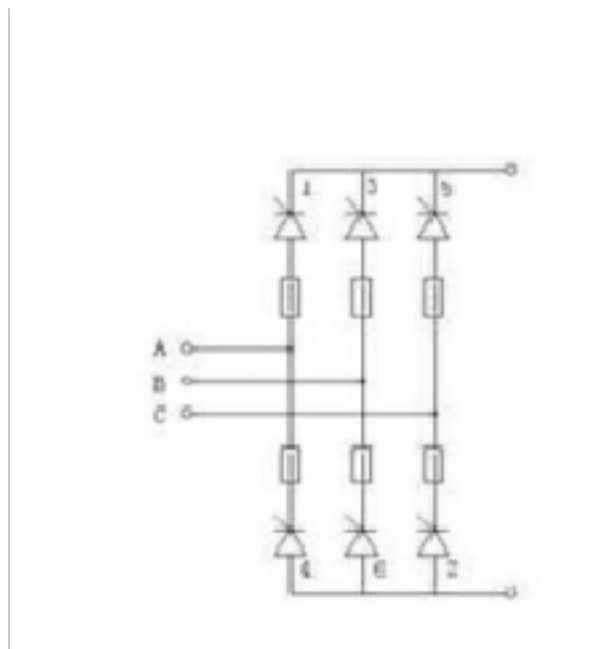
触发脉冲U<sub>g</sub>由R<sub>1</sub>直接取出，这种方法简单、经济，但触发电路与主电路有直接的电联系，不安全。对于晶闸管串联接法的全控桥电路无法工作。一般采用脉冲变压器输出。

## 3.2 保护电路的设计

电力电子系统在发生故障时可能会发生过流、过压，造成开关器件的永久性损坏。过流、过压保护包括器件保护和系统保护两个方面。检测开关器件的电流、电压，保护主电路中的开关器件防止过流、过压损坏开关器件。检测系统电源输入、输出及负载的电流、电压，实时保护系统，防止系统崩溃而造成事故。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。另一种则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内工作于有源逆变工作状态，从而抑制过电压或过电流。

## 过电流保护

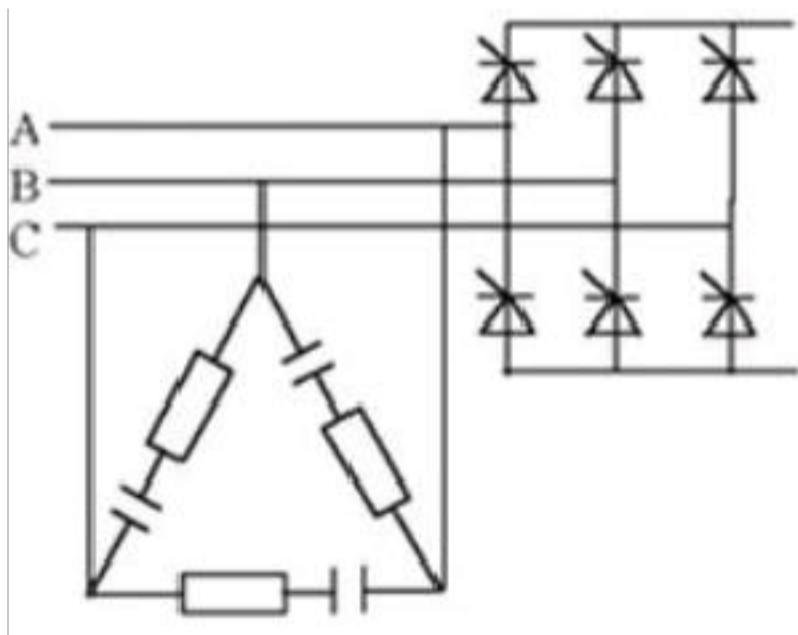
驱动、触发电路或控制电路发生故障；外部出现负载过载；直流侧短路；可逆传动系统产生逆变失败；以及交流电源电压过高或过低；均能引起装置或其他元件的电流超过正常工作电流，即出现过电流。因此，必须对电力电子装置进行适当的过电流保护。采用快速熔断器作过电流保护，熔断器是最简单的过电流保护元件，但最普通的熔断器由于熔断特性不合适，很可能在晶闸管烧坏后熔断器还没有熔断，然而快速熔断器有较好的快速熔断特性，一旦发生过电流可及时熔断起到保护作用。最好的办法是晶闸管元件上直接串快速保护。过电流保护如下图所示。



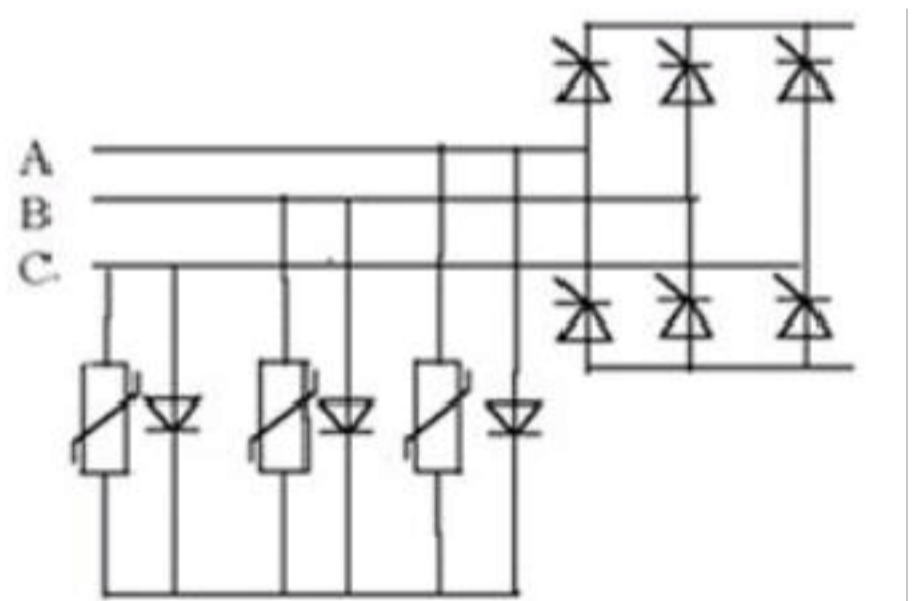
### 3.2.2 过电压保护

设备在运行过程中会受到由交流供电电网进入的操作过电压和雷击过电压的侵袭。同时，设备自身运行中以及非正常运行中也有过电压出现。

过电压保护的第一种方法是并接RC阻容吸收回路以及用压敏电阻或硒堆等非线性元件加以抑制。



阻容三角抑制过电压



压敏电阻抑制过电压

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/647142150066006161>