

摘 要

整流电路就是把交流电能转换为直流电能的电路。大多数整流电路由变压器、整流主电路和滤波器等组成。它在直流电动机的调速、发电机的励磁调节、电解、电镀等领域得到广泛应用。整流电路通常由主电路、滤波器和变压器组成。20世纪70年代以后，主电路多用硅整流二极管和晶闸管组成。滤波器接在主电路与负载之间，用于滤除脉动直流电压中的交流成分。变压器设置与否视具体情况而定。变压器的作用是实现交流输入电压与直流输出电压间的匹配以及交流电网与整流电路之间的电隔离(可减小电网与电路间的电干扰和故障影响)。整流电路的种类有很多，有半波整流电路、单相桥式半控整流电路、单相桥式全控整流电路、三相桥式半控整流电路、三相桥式全控整流电路等。

关键词：整流，变压，触发，过电压，保护电路

目 录

第 1 章 三相桥式整流原理.....	3
第 2 章 系统主电路.....	4
2.1 三相全控桥的工作原理.....	4
2.2 阻感负载时的波形分析.....	4
第 3 章 触发电路设计.....	6
3.1 芯片的连接	6
3.2 触发电路原理说明	7
第 4 章 保护电路的设计	9
4.1 晶闸管的保护电路.....	9
4.2 直流侧阻容保护电路.....	10
第 5 章 参数的计算	11
5.1 整流变压器参数.....	11
5.2 晶闸管参数.....	12
第 6 章 MATLAB 建模与仿真	13
6.1 MATLAB 建模	13
6.2 MATLAB 仿真.....	15
6.3 仿真结构分析.....	17
心得体会	18

第1章 三相桥式整流原理

目前，在各种整流电路中，应用最为广泛的是三相桥式全控整流电路。习惯将电路中阴极连在一起的三个晶闸管 (VT1、VT3、VT5) 称为共阴极组；阳极连在一起的三个晶闸管 (VT4、VT6、VT2) 称为共阳极组。

三相桥式全控整流电路通过变压器与电网连接，经过变压器的耦合，晶闸管电路得到一个合适的输入电压，是晶闸管在较大的功率因素下运行。

本设计中，主电路由三大部分构成，分别为主电路、触发电路、保护电路。接通电路时，主电路通电，同时触发电路也通电工作，形成触发脉冲(图中省略了三片 KJ004)，使主电路中的晶闸管导通工作。系统原理图如图1.1。

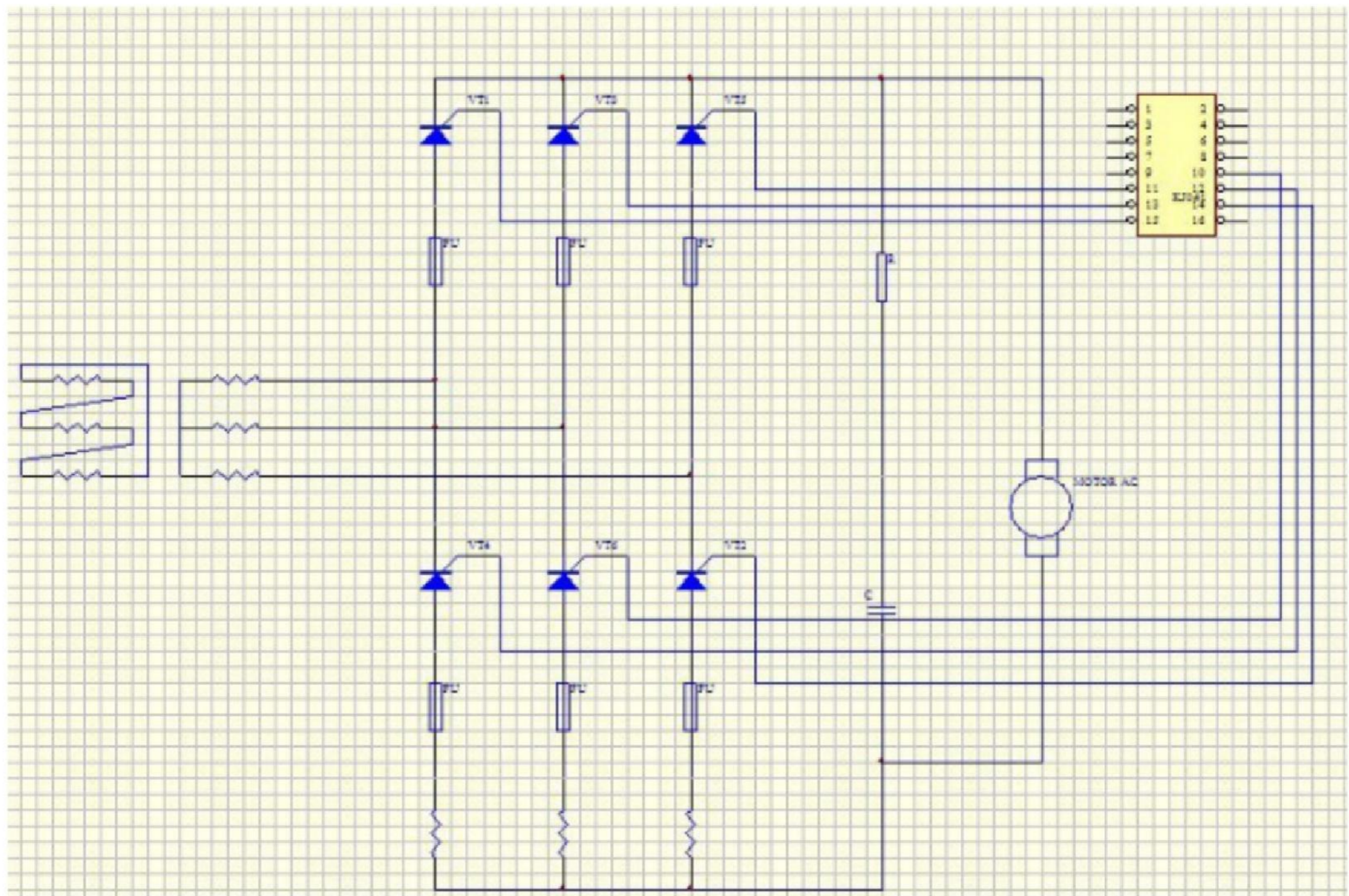


图1-1 三相桥式全控整流电路原理图

第2章 系统主电路

2.1 三相全控桥的工作原理

如图2-1所示，为三相桥式整流电路为电动机提供电源。由于考虑此安全绕组电感和电阻，故为三相桥式整流电路带阻感负载。图中，变压器一次侧为三角形连接，二次侧为星型连接。晶闸管按从1到6的顺序导通，为电机提供持续的直流电压。

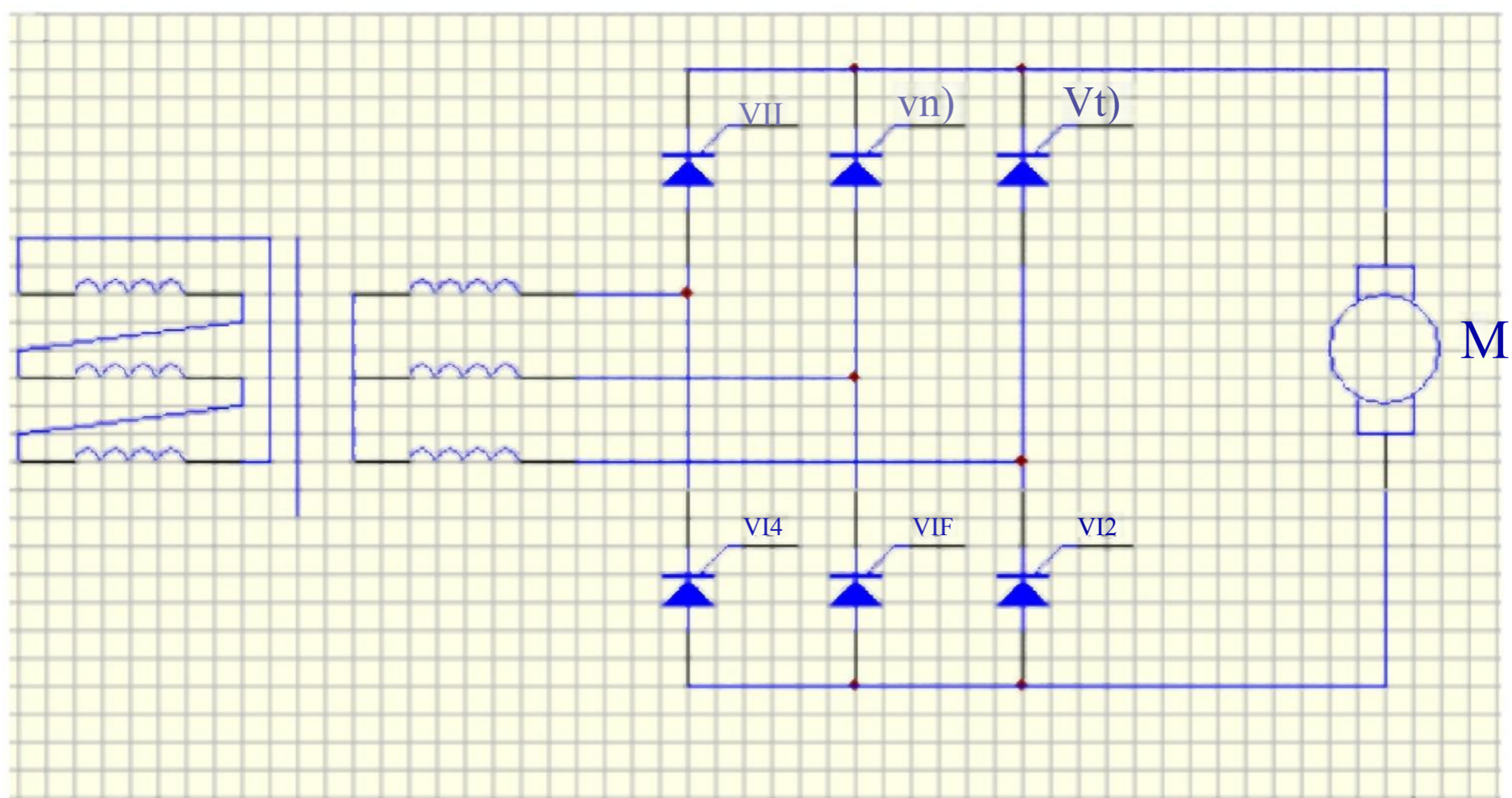


图2-1 三相桥式全控整流电路带电动机(阻感)负载原理图

2.2 阻感负载时的波形分析

三相桥式整流电路带阻感负载运行时，当触发角小于60度时，其波形与带电阻负载相同，波形如图2-2和2-3所示。

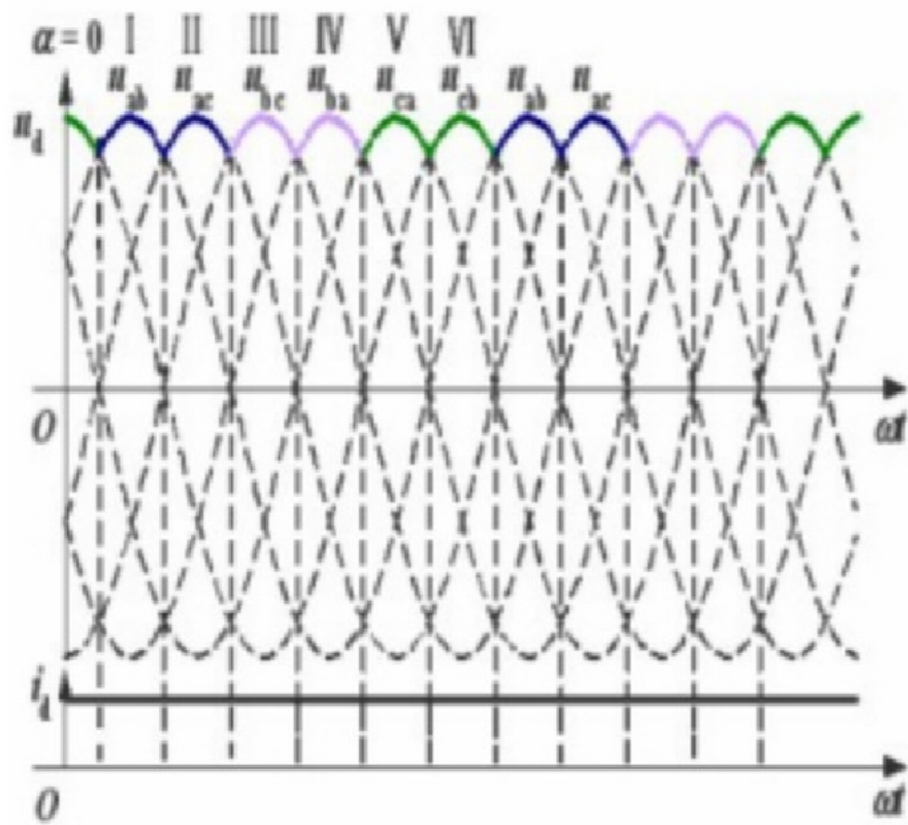


图2-2 触发角为0度时的波形图

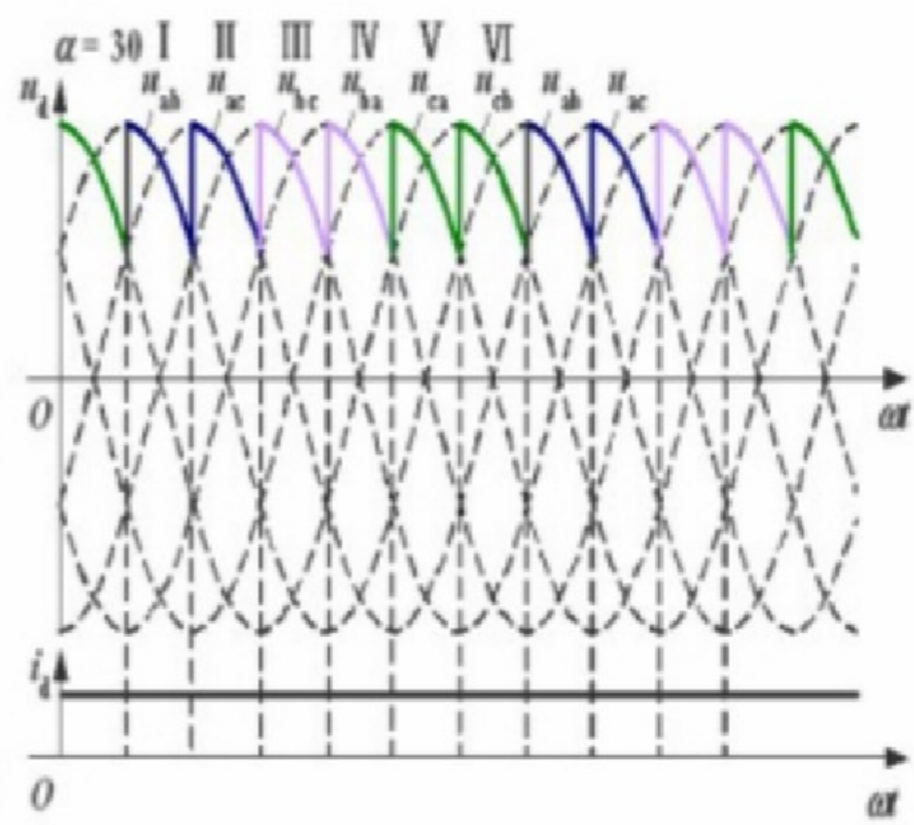


图2-3 触发角为30时的波形图

当触发角大于60度时，阻感负载时的工作情况与电阻负载时不同，电阻负载时 u_d 波形不会出现负的部分，而阻感负载时，由于电感L的作用， u_d 波形会出现负的部分。图2-4给出了 $\alpha=90$ 度时的波形。若电感L值足够大， u_d 中正负面积将基本相等， u_d 平均值近似为零。这说明，带阻感负载时，三相桥式全控整流电路的 α 角移相范围为90度。

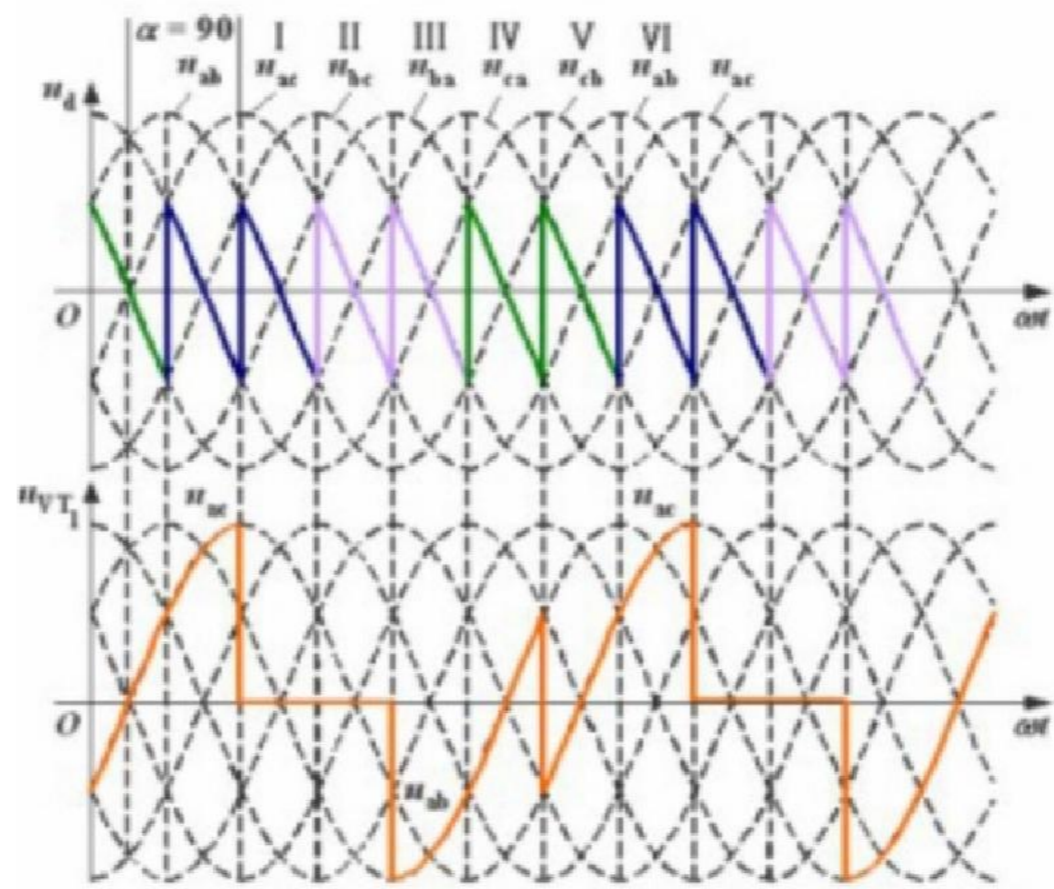


图2-4 触发角为90时的波形图

第 3 章 触发电路设计

3.1 芯片的连接

晶闸管具有硅整流器件的特性，能在高电压、大电流条件下工作，且其工作过程可以控制、被广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等电子电路中。晶闸管具有下面的特性：

- (1) 当晶闸管承受反向电压时，无论门极是否有触发电流，晶闸管都不会导通。
- (2) 晶闸管承受正向阳极电压时，仅在门极承受正向电压的情况下晶闸管才导通。
- (3) 晶闸管在导通情况下，只要有一定的正向阳极电压，不论门极电压如何变化，晶闸管都保持导通，即晶闸管导通后，门极失去作用。
- (4) 晶闸管在导通情况下，当主回路电压(或电流)减小到接近于零时，晶闸管关断。

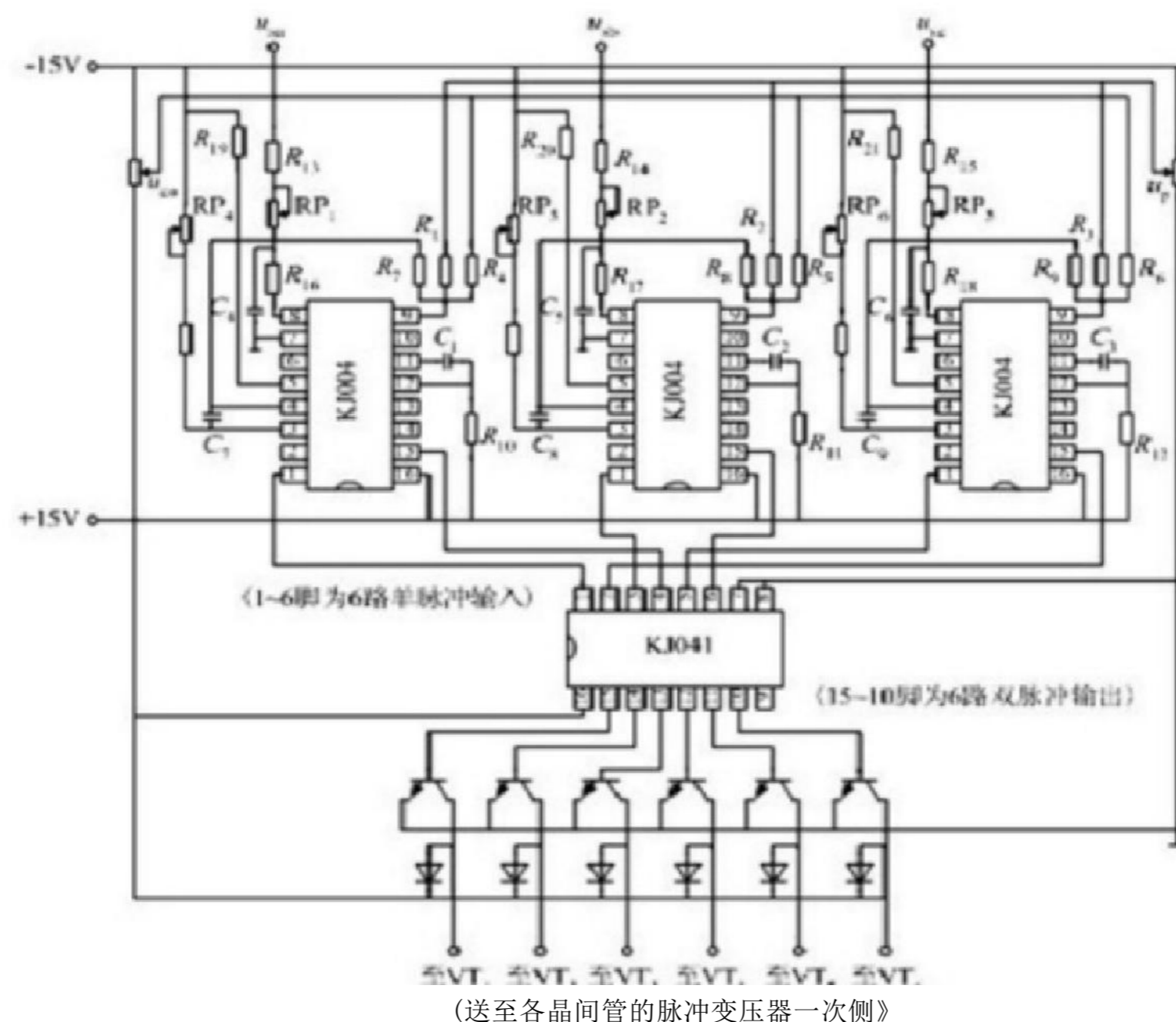


图3-1 双脉冲触发电路

根据晶闸管的这种特性，通过控制晶闸管的导通和关断时刻，就能控制整流电路的触发角的大小。在整流电路合闸启动过程中或电流断续时，为确保电路的正常工作，需保证同时导通的2个晶闸管均有触发脉冲。在触发某个晶闸管的同时，给序号紧前的一个晶闸管补发脉冲。即用两个窄脉冲代替宽脉冲，两个窄脉冲的前沿相差 60° ，脉宽一般为 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，称为双脉冲触发。双脉冲电路较复杂，但要求的触发电路输出功率小。触发电路如图5所示。

3.2 触发电路原理说明

如图5所示，触发电压的形成用KJ004 芯片完成。KJ004 电路由同步检测电路、锯齿波形成电路、偏形电压、移相电压及锯齿波电压综合比较放大电路和功率放大电路四部分组成。电原理见下图：锯齿波的斜率决定于外接电阻 R_6 、 R_{W1} ，流出的充电电流和积分电容 C_1 的数值。对不同的移相控制电压 V_Y ，只有改变电阻 R_1 、 R_2 的比例，调节相应的偏移电压 V_P 。同时调整锯齿波斜率电位器 R_{W1} ，可以使不同的移相控制电压获得整个移相范围。触发电路为正极性型，即移相电压增加，导通角增大， R_7 和 C_2 形成微分电路，改变 R_7 和 C_2 的值可以获得不同的脉冲输出。KJ004 芯片内部结构如图6所示。

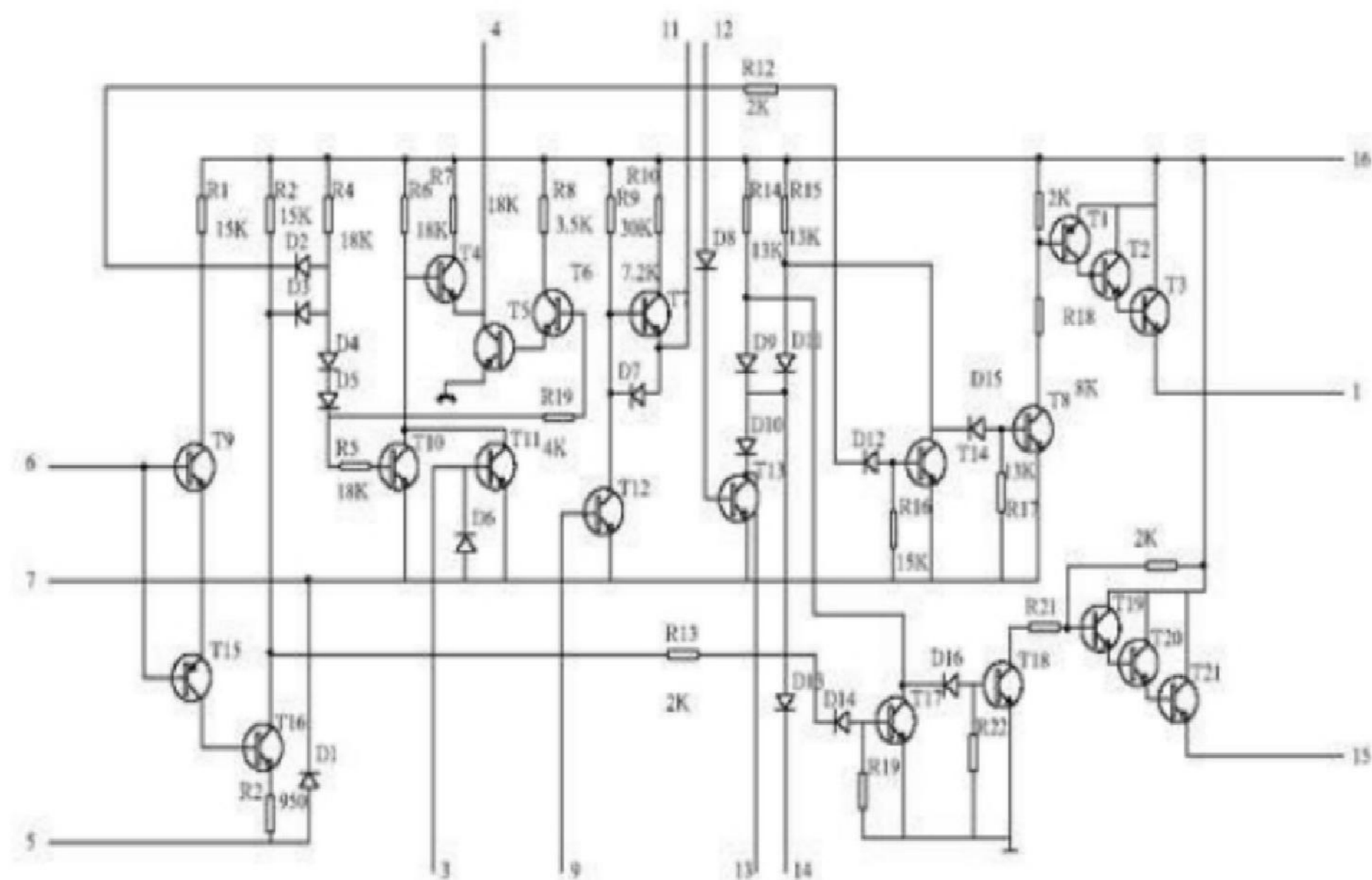


图3-2 KJ004 芯片内部结构图

双脉冲信号的形成与控制用KJ041 六路双脉冲形成器完成， KJ041 是三相全控桥式触发线路中必备的电路，具有双脉冲形成和电子开关控制封锁功能。实用块有电子开关控制的 KJ041 电路组成逻辑控制，适用于正反组可逆系统。

如图5所示， KJ041 的1-6脚管为单脉冲信号输入。把单脉冲信号由10-15脚管两两同时输出形成双脉冲信号， 10-15脚管两两同时输出对应输送给 VT6-VT1晶闸管。

(1) 假设在 t_1 时刻15脚管开始给 VT1 晶闸管输送脉冲信号，则经过60度后14脚管开始给VT2 晶闸管双脉冲信号，即只有15脚管和14脚管有信号输出，其他脚管没信号输出，则此时 VT1 和 VT2 同时导通；

(2) 再过60度后，15脚管停止输出信号，而13脚管开始给VT3输出信号，即只有14脚管和13脚管有信号输出，其他脚管没信号输出，此时VT2 和 VT3 同时导通；

(3) 再过60度后，14脚管停止输出信号，而12脚管开始给VT4 输出信号，即只有13脚管和12脚管有信号输出，其他脚管没有输出信号，此时VT3和 VT4 同时导通；

(4) 再过60度后，13脚管停止输出信号，而11脚管开始给 VT5 输出信号，即只有12脚管和11脚管有信号输出，其他脚管没有信号输出，此时VT4 和 VT5 同时导通；

(5) 再过60度后，12脚管停止输出信号，而10脚管开始给 VT6 输出信号，即只有11脚管和10脚管有信号输出，其他脚管没有信号输出，此时VT5 和 VT6 同时导通；

(6) 再过60度后，11脚管停止输出信号，而15脚管开始给 VT1 输出信号，即只有10脚管和15脚管有信号输出，其他脚管没有信号输出，此时VT6 和 VT1 同时导通；

第 4 章 保护电路的设计

为了保护设备安全，必须设置保护电路。保护电路包括过电流与过电压保护，大致可以分为两种情况：一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。

本例中设计的三相桥式全控整流电路为大功率装置，故考虑第一种保护方案，分别对晶闸管、交流侧、直流侧进行保护电路的设计。

4.1 晶闸管的保护电路

(1) 晶闸管的过电流保护：过电流可分为过载和短路两种情况，可采用多种保护措施。对于晶闸管初开通时引起的较大的 di/dt ，可在晶闸管的阳极回路串联接入电感进行抑制；对于整流桥内部原因引起的过流以及逆变器负载回路接地时可以采用接入快速熔断器进行保护。如图4-1所示：

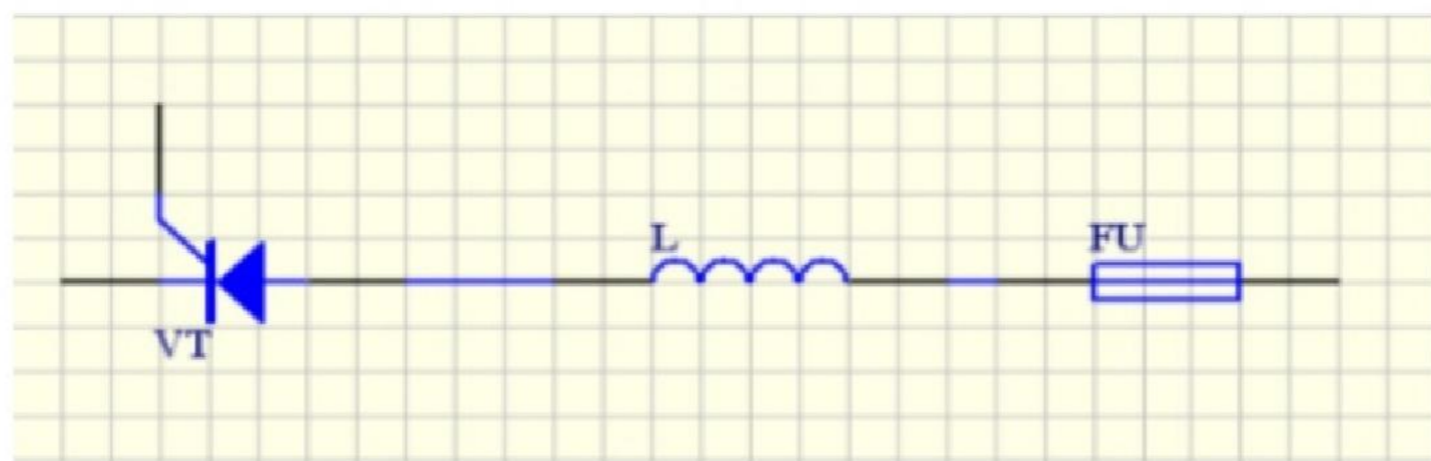


图4-1 串联电感及熔断器抑制回路

(2) 晶闸管的过电压保护：晶闸管的过电压保护主要考虑换相过电压抑制。晶闸管元件在反向阻断能力恢复前，将在反向电压作用下流过相当大的反向恢复电流。当阻断能力恢复时，因反向恢复电流很快截止，通过恢复电流的电感会因高电流变化率产生过电压，即换相过电压。为使元件免受换相过电压的危害，一般在元件的两端并联RC电路。如图4-2所示：

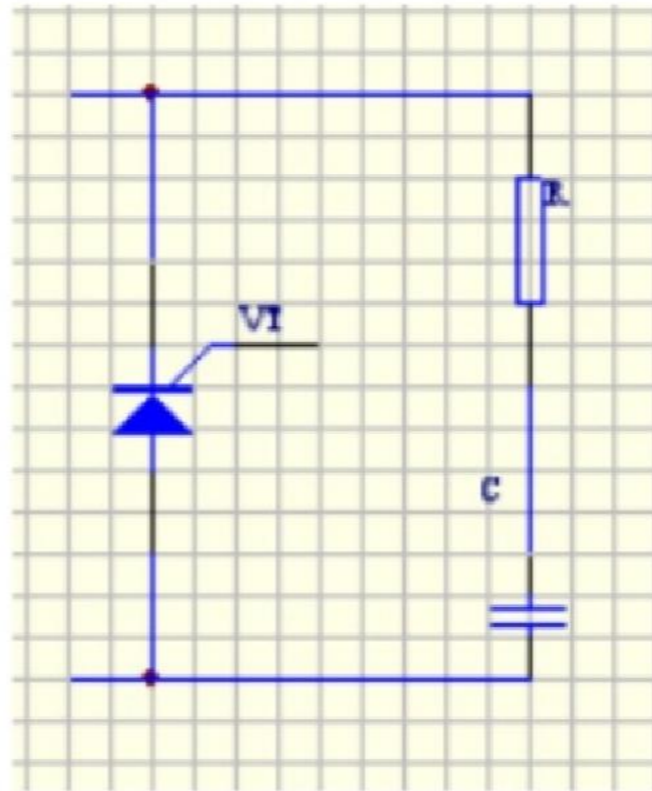


图4-2 并联RC电路阻容吸收回路

4.2 直流侧阻容保护电路

直流侧也可能发生过电压，在图4-4中，当快速熔断器熔断或直流快速开关切断时，因直流侧电抗器释放储能，会在整流器直流输出端造成过电压。另外，由于直流侧快速开关(或熔断器)切断负载电流时，变压器释放的储能也产生过电压，尽管交流侧保护装置能适当地保护这种过电压，仍会通过导通的晶闸管反馈到直流侧来，为此，直流侧也应该设置过电压保护，用于抑制过电压。

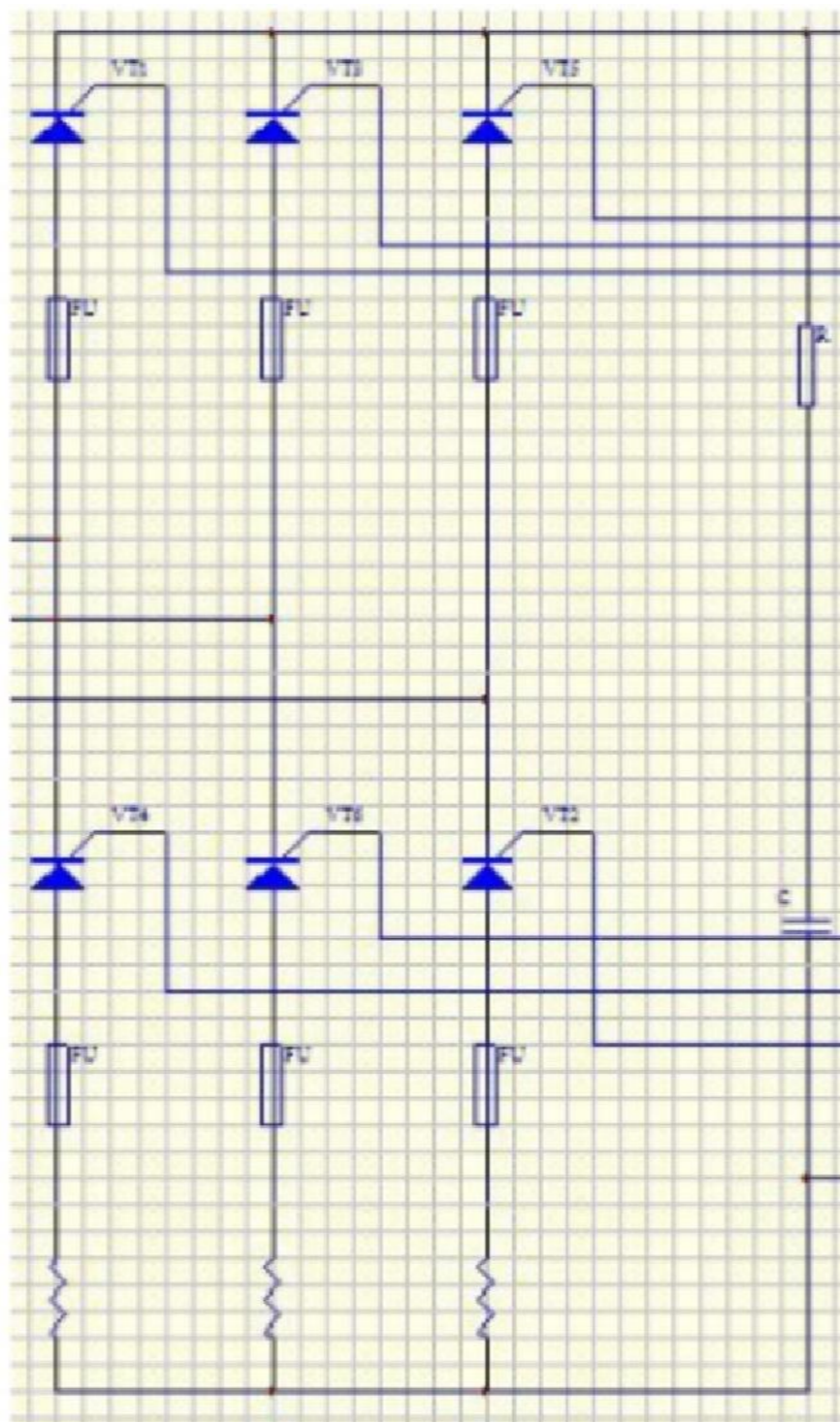


图4-3 直流侧阻容保护