

电力电子技术课程设计报告

——
三相半波可控整流电路

学院： 电信学院

专业： 电气工程及其自动化

姓名： 赵伍平

学号： 08230106

指导老师：杨巧玲

2011年12月22日

摘要

整流电路就是能把交流电能转换成直流电能的电路，大多数整流电路由变压器，整流电路和滤波电路组成。他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的引用。整流电路通常由主电路，整流电路，滤波电路构成，20 世纪 70 年代以后，主要多用整流二极管和晶闸管组成，滤波器通常接在主电路与负载之间，用于滤去脉动直流电压中的交流成分，变压器的设置与否视情况而定，变压器的工作是实现交流输入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。整流电路的种类有很多，有斑驳整流电路，单相桥式整流电路，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，滤波电路

目录

摘要	1
第一章 设计内容及要求.....	4
第二章 MATLAB/SIMULINK 介绍及	6
第三章 晶闸管及二极管.....	8
第四章 三相桥式半控整流电路设计.....	14
第五章 三相桥式半控整流电路仿真.....	23
总结	28

第一章 设计内容及要求

一、设计内容及技术要求

计算机仿真具有效率高、精度高、可靠性高和成本低等特点，已经广泛应用电力电子电路（或系统）等的分析和设计中。计算机仿真不仅可以取代系统的许多繁琐的人工分析，减轻劳动强度，提高分析和设计能力，避免因解析法在近似处理中带来的较大误差，还可以与实物试制和调试相互补充，最大限度地降低设计成本，缩短系统研制周期。可以说，电路的计算机仿真技术大大加速了电路的设计和实验过程。通过本次仿真，学生可以初步认识电力电子计算机仿真的优势，并掌握电力电子计算机仿真的基本方法。

1、晶闸管三相全波可控整流电路，参数要求：

电网频率 $f=50\text{Hz}$ ；

电网额定电压 $U_1=380\text{V}$ ；

电网电压波动 正负 10%；

阻感负载电压波动 0—510V 连续可调。

2、设计内容

(1) 制定设计方案；

(2) 主电路的设计及主电路元件的选择

(3) 驱动电路和保护电路设计及参数计算

(4) 绘制电路原理图

(5) 总体电路原理图及说明

3、设计的总体要求

(1) 熟悉 matlab/simulink/powersystem 中的仿真模块用法和功能

(2) 根据设计电路搭建仿真模型

(3) 设置参数并进行仿真

(4) 给出不同触发角时对应 u_d 、 i_d 、 i_2 和 i_{VT1} 的波形。

4、设计的总体要求

(1) 熟悉整流和触发电路的基本原理，能够运用所学的理论知识分析设计任务；

(2) 掌握基本电路的数据分析、处理，描绘波形并加以判断；

(3) 能正确设计电路，画出线路图，分析电路原理；

(4) 广泛收集相关技术资料；

(5) 按时完成课程设计任务，认真、正确的书写课程设计报告。

二、设计总结报告要求

1、设计题目、目录、设计的基本原理、简要说明本设计内容、用途及特点、达到的性能指标；

2、写出个部分设计过程、工作原理、元器件选择；

3、给出仿真结果；

4、附录、设计参考文献、设计总结体会；

5、按要求完成仿真报告。

第二章 MATLAB/SIMULINK 介绍及应用

在电力电子电路如变流装置的设计过程中，需要对设计出来的初步方案(电路)及有关元件参数选择是否合理，效果如何进行验证。如果通过实验来检验，就要将设计的系统用元件安装出来再进行调试和试验，不能满足要求时，要更换元件甚至要重新设计、安装、调试，往往要反复多次才能得到满意的结果。这样将耗费大量的人力和物力，且使设计效率低下、耗资大、周期长。

MATLAB 是矩阵实验室 (Matrix Laboratory) 的简称，是美国 MathWorks 公司出品的商业[数学软件](#)，用于算法开发、数据可视化、数据分析以及数值计算的高级技术计算语言和交互式环境，主要包括 MATLAB 和 Simulink 两大部分。

MATLAB 是由美国 mathworks 公司发布的主要面对科学计算、可视化以及交互式程序设计的高科技计算环境。它将数值分析、[矩阵计算](#)、科学数据可视化以及非[线性](#)动态系统的[建模](#)和仿真等诸多强大功能集成在一个易于使用的视窗环境中，为科学研究、工程设计以及必须进行有效数值计算的众多科学[领域](#)提供了一种全面的解决方案，并在很大程度上摆脱了传统非交互式程序设计语言（如 C、Fortran）的编辑模式，代表了当今国际科学计算软件的先进水平。

MATLAB 和 [Mathematica](#)、[Maple](#) 并称为三大[数学软件](#)。它在数学类科技应用软件中在[数值计算](#)方面首屈一指。**MATLAB** 可以进行[矩阵](#)运算、绘制[函数](#)和数据、实现[算法](#)、创建用户界面、连接其他编程语言的程序等，主要应用于工程计算、控制设计、信号处理与通讯、[图像处理](#)、[信号检测](#)、金融建模设计与分析等领域。

MATLAB 的基本数据单位是矩阵，它的指令表达式与数学、工程中常用的形式十分相似，故用 **MATLAB** 来解算问题要比用 C, FORTRAN 等语言完成相同的事情简捷得多，并且 **MATLAB** 也吸收了像 Maple 等软件的优点，使 **MATLAB** 成为一个强大的[数学软件](#)。在新的版本中也加入了对 [C](#)，[FORTRAN](#)，[C++](#)，[JAVA](#) 的支持。可以直接调用,用户也可以将自己编写的实用程序导入到 **MATLAB** 函数库中方便自己以后调用，此外许多的 **MATLAB** 爱好者都编写

了一些经典的程序，用户可以直接进行下载就可以用。

MATLAB 产品族可以用来进行以下各种工作：

- 数值分析
- 数值和符号计算
- 工程与科学绘图
- 控制系统的设计与仿真
- [数字图像处理](#)技术
- [数字信号处理](#)技术
- 通讯系统设计与仿真

采用计算机进行仿真试验则可大大地节约开支提高设计效率缩短设计周期。但是用其它计算机高级语言(如 C 语言, BASIC 语言或仿真语言)编程实现,对电力变流电路来说,由于大功率开关器件开关转换电流换相动态过程十分复杂,过渡过程一个接一个,一个未完,新的一个又开始了要分析输出电压、电流(带感性负载时)波形,特别是如大功率开关管关断时承受的尖峰电压大小形状,即阻容保护电路的保护效果如何,就要建立等效电路的数学模型。而这样的数学模型是很复杂的,即使建立起来了,用计算机编程实现得到真实的仿真结果也需要花大量的时间精力来编程和调试。然而采 MATLAB/SIMULINK 可视化图形化仿真环境来对电力电子电路进行建模仿真则可使之变得直观,简单易行,效率高,真实准确^[1]

第三章 晶闸管及二极管介绍

晶闸管

晶闸管（Thyristor）是晶体闸流管的简称，又可称做可控硅整流器，以前被简称为可控硅；1957年美国通用电器公司开发出世界上第一款晶闸管产品，并于1958年将其商业化；晶闸管是PNPN四层半导体结构，它有三个极：阳极，阴极和门极；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 T 在工作过程中，它的阳极（A）和阴极（K）与电源和负载连接，组成晶闸管的主电路，晶闸管的门极 G 和阴极 K 与控制晶闸管的装置连接，组成晶闸管的控制电路。

晶闸管在 Simulink 中的符号：

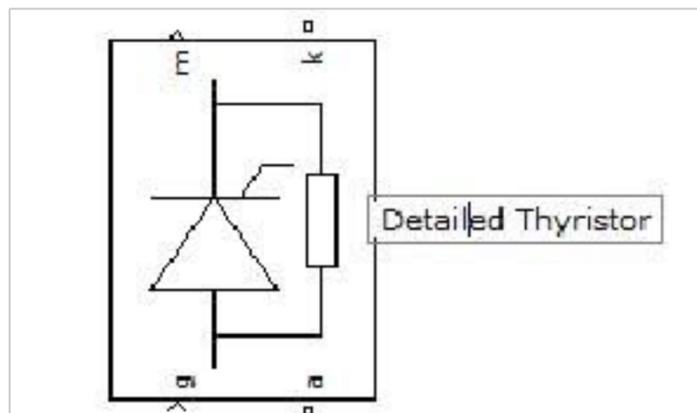


图 3-1

晶闸管的工作条件：

1. 晶闸管承受反向阳极电压时，不管门极承受何种电压，晶闸管都处于反向阻断状态
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。这时晶闸管处于正向导通状态，这就是晶闸管的闸流特性，即可控特性。

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，晶闸管保持导通，即晶闸管导通后，门极失去作用。门极只起触发作用

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。

按关断、导通及控制方式分类

晶闸管按其关断、导通及控制方式可分为普通晶闸管、双向晶闸管、逆导晶闸管、门极关断晶闸管(GTO)、BTG晶闸管、温控晶闸管和光控晶闸管等多种。

按引脚和极性分类

晶闸管按其和极性可分为二极晶闸管、三极晶闸管和四极晶闸管。

按封装形式分类

晶闸管按其封装形式可分为金属封装晶闸管、塑封晶闸管封装晶闸管三种类型。其中，金属封装晶闸管又分为螺栓形、平板形、圆壳形等多种；塑封晶闸管又分为带散热片型和不带散热片型两种。

按电流容量分类

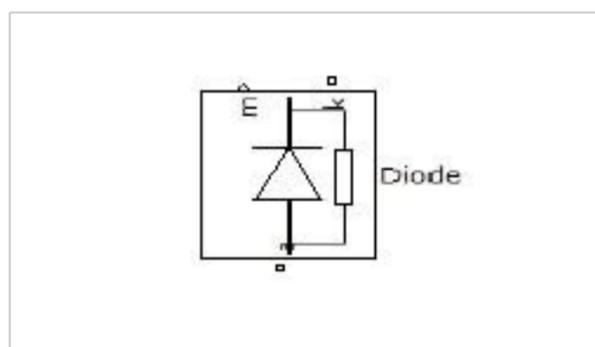
晶闸管按电流容量可分为大功率晶闸管、中功率晶闸管和小功率晶闸管三种。通常，大功率晶闸管多采用金属壳封装，而中、小功率晶闸管则多采用塑封或陶瓷封装。

按关断速度分类

晶闸管按其关断速度可分为普通晶闸管和高频(快速)晶闸管。
(备注：高频不能等同于快速晶闸管) 普通晶闸管最基本的用途就是可控整流。大家熟悉的二极管整流电路属于不可控整流电路。如果把二极管换成晶闸管，就可以构成可控整流电路、逆变、电机调速、电机励磁、无

触点开关及自动控制等方面。现在我画一个最简单的单相半波可控整流电路。在正弦交流电压 U_2 的正半周期内，如果 VS 的控制极没有输入触发脉冲 U_g ， VS 仍然不能导通，只有在 U_2 处于正半周，在控制极外加触发脉冲 U_g 时，晶闸管被触发导通。现在，画出它的波形图（图 4(c)及(d)），可以看到，只有在触发脉冲 U_g 到来时，负载 RL 上才有电压 U_L 输出(波形图上阴影部分)。 U_g 到来得早，晶闸管导通的时间就早； U_g 到来得晚，晶闸管导通的时间就晚。通过改变控制极上触发脉冲 U_g 到来的时间，就可以调节负载上输出电压的平均值 U_L (阴影部分的面积大小)。在电工技术中，常把交流电的半个周期定为 180° ，称为电角度。这样，在 U_2 的每个正半周，从零值开始到触发脉冲到来瞬间所经历的电角度称为控制角 α ；在每个正半周内晶闸管导通的电角度叫导通角 θ 。很明显， α 和 θ 都是用来表示晶闸管在承受正向电压的半个周期的导通或阻断范围的。通过改变控制角 α 或导通角 θ ，改变负载上脉冲直流电压的平均值 U_L ，实现了可控整流。

二极管



二极管在Simulink 中的符号：

图 3-2

二极管又称晶体二极管简称二极管(diode)，另外，还有早期的真空电子二极管；它是一种具有单向传导电流的电子器件。在半导体二极管内部有一个 PN 结两个引线端子，这种电子器件按照外加电压的方向，具备单向电流的转导性。一般来讲，晶体二极管是一个由 p 型半导体和 n 型半导体烧结形成的 p-n 结界面。在其界面的两侧形成空间电荷层，构成自建电场。当外加电压等于零时，由于 p-n 结两边载流子的浓度差引起扩散电流和由自建电场引起的漂移电流相等而处于电平衡状态，这也是常态下的二极管特性。外加正向电压时，在正向特性的起始部分，正向电压很小，不足以克服 PN 结内电场的阻挡作用，正向电流几乎为零，这一段称为死区。这个不能使二极管导通的正向电压称为死区电

压。当正向电压大于死区电压以后，PN 结内电场被克服，二极管导通，电流随电压增大而迅速上升。在正常使用的电流范围内，导通时二极管的端电压几乎维持不变，这个电压称为二极管的正向电压。

反向性

外加反向电压不超过一定范围时，通过二极管的电流是少数载流子漂移运动所形成反向电流，由于反向电流很小，二极管处于截止状态。这个反向电流又称为反向饱和电流或漏电流，二极管的反向饱和电流受温度影响很大。 击穿

外加反向电压超过某一数值时，反向电流会突然增大，这种现象称为电击穿。引起电击穿的临界电压称为二极管反向击穿电压。电击穿时二极管失去单向导电性。如果二极管没有因电击穿而引起过热，则单向导电性不一定会被永久破坏，在撤除外加电压后，其性能仍可恢复，否则二极管就损坏了。因而使用时应避免二极管外加的反向电压过高。

二极管是一种具有单向导电的二端器件，有电子二极管和晶体二极管之分，电子二极管现已很少见到，比较常见和常用的多是晶体二极管。二极管的单向导电特性，几乎在所有的电子电路中，都要用到半导体二极管，它在许多的电路中起着重要的作用，它是诞生最早的半导体器件之一，其应用也非常广泛。

二极管的管压降：硅二极管（不发光类型）正向管压降 0.7V，锗管正向管压降为 0.3V，发光二极管正向管压降为随不同发光颜色而不同。主要有三种颜色，具体压降参考值如下：红色发光二极管的压降为 2.0--2.2V，黄色发光二极管的压降为 1.8—2.0V，绿色发光二极管的压降为 3.0—3.2V，正常发光时的额定电流约为 20mA。

二极管的电压与电流不是线性关系，所以在将不同的二极管并联的时候要接相适应的电阻。

二极管的特性曲线

与 PN 结一样，二极管具有单向导电性。硅二极管典型伏安特性曲线(图)。在二极管加有正向电压，当电压值较小时，电流极小；当电压超过 0.6V 时，电流开始按指数规律增大，通常称此为二极管的开启电压；当电压达到约

0.7V 时，二极管处于完全导通状态，通常称此电压为二极管的导通电压，用符号 U_D 表示。

对于锗二极管，开启电压为 0.2V，导通电压 U_D 约为 0.3V。

在二极管加有反向电压，当电压值较小时，电流极小，流值为反向饱和电流 I_S 。当反向电压超过某个值时，电流开始急剧增大，称之为反向击穿，称此电压为二极管的反向击穿电压，用符号 U_{BR} 表示。不同型号的二极管的击穿电压 U_{BR} 值差别很大，从几十伏到几千伏。

二极管的反向击穿

齐纳击穿

反向击穿按机理分为齐纳击穿和雪崩击穿两种情况。在高掺杂浓度的情况下，因势垒区宽度很小，反向电压较大时，破坏了势垒区内共价键结构，使价电子脱离共价键束缚，产生电子-空穴对，致使电流急剧增大，这种击穿称为齐纳击穿。如果掺杂浓度较低，势垒区宽度较宽，不容易产生齐纳击穿。

雪崩击穿

另一种击穿为雪崩击穿。当反向电压增加到较大数值时，外加电场使电子漂移速度加快，从而与共价键中的价电子相碰撞，把价电子撞出共价键，产生新的电子-空穴对。新产生的电子-空穴被电场加速后又撞出其它价电子，载流子雪崩式地增加，致使电流急剧增加，这种击穿称为雪崩击穿。无论哪种击穿，若对其电流不加限制，都可能造成 PN 结永久性损坏。

二极管的工作原理

晶体二极管为一个由 p 型半导体和 n 型半导体形成的 p-n 结，在其界面处两侧形成空间电荷层，并建有自建电场。当不存在外加电压时，由于 p-n 结两边载流子浓度差引起的扩散电流和自建电场引起的漂移电流相等而处于电平衡状态。当外界有正向电压偏置时，外界电场和自建电场的互相抑消作用使载流子的扩散电流增加引起了正向电流。当外界有反向电压偏置时，外界电场和自建电场进一步加强，形成在一定反向电压范围内与反向偏电

压值无关的反向饱和电流 I_0 。当外加的反向电压高到一定程度时，p-n 结空间电荷层中的电场强度达到临界值产生载流子的倍增过程，产生大量电子空穴对，产生了数值很大的反向击穿电流，称为二极管的击穿现象。p-n 结的反向击穿有齐纳击穿和[雪崩击穿](#)之分。

二极管的类型

二极管种类有很多，按照所用的半导体材料，可分为锗二极管（Ge 管）和硅二极管（Si 管）。根据其不同用途，可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管、隔离二极管、肖特基二极管、发光二极管、硅功率开关二极管、旋转二极管等。按照管芯结构，又可分为点接触型二极管、面接触型二极管及平面型二极管。点接触型二极管是用一根很细的金属丝压在光洁的半导体晶片表面，通以脉冲电流，使触丝一端与晶片牢固地烧结在一起，形成一个“PN 结。由于是点接触，只允许通过较小的电流（不超过几十毫安），适用于高频小电流电路，如收音机的检波等。面接触型二极管的“PN 结”面积较大，允许通过较大的电流（几安到几十安），主要用于把交流电变换成直流电的“整流电路中。平面型二极管是一种特制的[硅](#)二极管，它不仅能通过较大的电

第四章 三相桥式半控整流电路设计

设计原理

目前在各种整流电路中，应用最广泛的就是三相桥式可控整流电路，三相桥式可控整流电路里面又分为三相桥式半控整流电路和三相桥式全控整流电路，由于三相桥式半控整流电路比三相桥式全控整流电路的电路结构更简单，更经济，所以在中等容量装置或要求不可逆的电力拖动应用比较广泛，他由共阴极法的三相半波可控整流电路与共阳极接法的三相半波不可控整流电路串联而成，因此这种接法建有不可控和可控的特点，共阳极组有三个整流二极管，总是在自然换相点换流，使电流换到比阴极电压更低的一相，而共阴极组的3个晶闸管则要再触发后才能换到阳极电位高的一个。输出整流电压的波形是3组整流电压波形之和，改变共阴极组晶闸管控制角 α ，可获得 $0\sim 2.34U_2$ (U_2 为变压器二次侧电压)的直流电压。 VT_1, VT_3, VT_5 为触发相位差互差120度的晶闸管， VD_4, VD_6, VD_2 为整流二极管，由这6个管子组成的三相桥式半控整流电路他们的导通顺序是 $VT_1-VD_2-VT_3-VD_4-VT_5-VD_6$

整流电路是电力电子技术中最为重要，也是应用得最为广泛的电路，不仅应用于一般工业领域，也广泛应用于交通运输、电力系统、通信系统、能源系统及其他领域。三相桥式半控整流电路的相关参数和不同性质负载的工作情况进行对比分析与研究具有一定的现实意义，这不仅是电力电子电路理论学习的重要一环。三相桥式整流电路里，在任何瞬间，只要控制晶闸管的导通，相串联的另一个器件是一个不可控二极管，所以称为半控整流电路。

方案介绍

三相桥式半控整流电路由共阴极接法的三相半波可控整流电路与共阳极接法的三相半波不可控整流电路串联而成，因此，这种电路兼有可控和不可控的特性。共阳极组3个整流二极管总是在自然换相点换流，使电流换到比阴极电位更低的一相；而共阴极组3个晶闸管则要在触发后才能换到阳极电位高的一个。负载电流在整个稳态工作过程中保持恒值，因此不论控制角 α 为何值，负载电流如总是单向流动，而且变化很小。在一个周期中，器件工作情况如下：在 $\omega t_1\sim\omega t_2$

期间, a 相电压最高, VD1 导通;在 $wt_2 \sim wt_3$ 期间, b 相电压最高, VD2 导通, 在 $wt_3 \sim wt_4$ 期间, c 相电压最高, VD3 导通。此后, 在下一周期相当于 wt_1 的位置即 wt_4 的时刻, VD1 又导通, 如此重复前一周期的工作情况。因此, 一周中 VD1, VD2, VD3 轮流导通。每管各导通 120° 。在相电压的交点 wt_1, wt_2, wt_3 处, 均出现了二极管换相, 即电流由一个二极管向另一个二极管转移, 称这些交点为自然换相点。对三相半波可控整流电路而言, 自然换相点是各相晶闸管能触发导通的最早时刻, 将其作为计算各晶闸管触发角 α 的起点, 即 $\alpha = 0^\circ$, 要改变触发角只能在此基础上增大, 即沿时间坐标轴右移。若在自然换相点处触发相应的晶闸管导通, 则电路的工作情况与以上分析的二极管整流工作情况一样。

当 $\alpha = 0^\circ$ 时, 变压器二次侧 a 相绕组和晶闸管 VT1 的电流波形如图所示, 另两相电流波形形状相同, 相位依次滞后 120° , 可见变压器二次绕组电流有直流分量。增大 α 的值, 将脉冲后移, 整流电路的工作情况发生相应的变化。对于 $\alpha = 30^\circ$ 的波形, 从输出电压电流的波形可以看出, 这时负载电流处于连接和断续的临界状态, 各相仍导电 120° 。

如果 $\alpha > 30^\circ$, 例如 $\alpha = 60^\circ$ 时, 整流电压的波形如图所示, 当导通一相的相电压过零变负时, 该相晶闸管关断。此时下一相晶闸管虽承受正电压, 但它的触发脉冲还未到, 不会导通, 因此输出电压电流均为零, 直到触发脉冲出现为止。这种情况下, 负载电流断续, 各晶闸管导通角为 90° 小于 120° 。

若 α 角继续增大, 整流电压将越来越小, $\alpha = 150^\circ$ 时, 整流输出电压为零。固电阻负载时 α 角的移相范围为 150° 。

2 阻感负载

如果负载为阻感负载, 且 L 值很大, 则整流电路 I_d 的波形基本是平直的, 流过晶闸管的电流接近矩形波。

$\alpha \leq 30^\circ$ 时, 整流电压波形与电阻负载时相同, 因为两种负载情况下, 负载电流均连续。 $\alpha > 30^\circ$ 时, 例如 $\alpha = 60^\circ$ 时的波形如图, 当 U_2 过零时, 由于电感的存在, 阻止电流下降, 因而 VT1 继续导通, 直到下一相晶闸管 VT2 的触发脉冲

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/976053145012010110>