

# 电力电子器件课程的特点与讲授

杨少春

(武汉职业技术学院 电子信息工程学院,湖北 武汉 430074)

**摘 要:** 电力电子器件的特性是电力电子器件课程的重点。在可控硅正常导通情况下,将单向可控硅控制极对地短路是实现可控硅关断的另一种方式的结论作为一个特殊的教学案例,通过实践教学中采用声光控延时开关电路原理的分析,说明了单向可控硅 MCR100-6 关断的特点,基于理论分析和实际电路测量数据两个方面证实了以上结论并不是实现可控硅关断的方式,此种教学方法收到良好的效果。

**关键词:** 电力电子器件课程;课程特点;实例讲授;深入讲解

中图分类号: G642

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2011) 06-0077-04

## 引言

电力电子器件是高等职业技术学院电类专业的一门专业基础课,它讲授的是电力工程(强电)和电子技术(弱电)两个专业常用的元器件的工作原理和技术特性,因此需要专业理论不但有一定的深度,还应有一定的广度,同时也是一门应用性、实践性很强并与其它专业基础课密切结合的课程,在专业课程体系中处于重要的地位。近几年来,随着电力电子器件制造技术的进步,各种电力电子器件、电路层出不穷,电力电子技术在国民经济的许多部门得到广泛的应用,电力电子设备的数量和品种急剧增长,生产第一线迫切需要大量的具有一定理论基础和技能的人员对其进行操作和维护。对于以培养技能型人才为目的的高职院校,学生是否快速的适应企业岗位的需求,能否清楚的了解电力电子器件的工作原理和技术特性,与是否学好这门课程有很大关系。但我们在教学中发现,有人在可控硅(晶闸管)应用方面发表的文章理论并不严密,结论也不太准确,比如在互联网上发现有人设计的控制开

关,认为将单向可控硅控制极对地短路是实现可控硅关断的另一种方式的结论,教师将学生提出的这个问题作为一个典型的教学案例,怎样让学生透彻的理解可控硅的特性,用什么的教学方法达到最佳的效果,笔者谈一谈用理论分析和实际电路测量数据的教学方法证实该设计的控制开关结论并不是实现可控硅关断的方式。实践证明,此种教学方法收到了良好的效果。

## 一、电力电子器件课程的特点

为什么用互联网上发表的文章作为一个特殊的教学案例呢?我们先回顾一下本课程的特点,电力电子技术是一种利用电力电子器件对电能进行控制、转换、和传输的技术,其中电力电子器件的特性是本课程的重点,要了解本课程的特点,首先要了解器件的特性,虽然电力电子器件有许多种类和不同的分类方式,但按照其开通、关断的控制方式一般可分为三大类。

### (一) 不可控型

收稿日期:2011-09-06

作者简介:杨少春(1958-),男,河南南阳人,大学本科,武汉职业技术学院电信学院教授,高级技师,研究方向:电力电子技术。

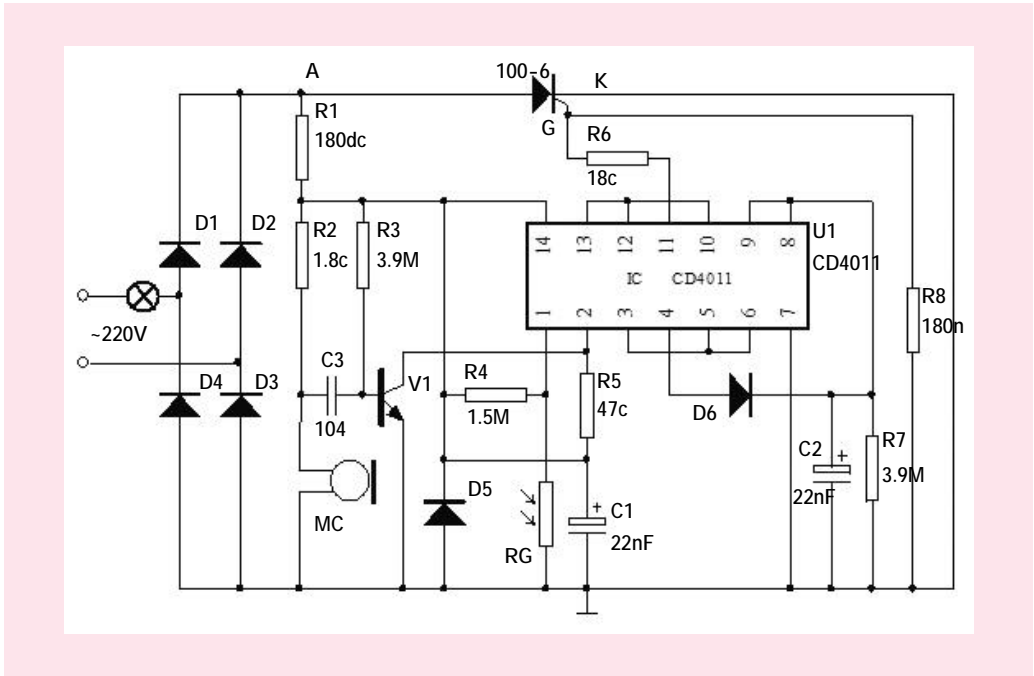


图1 ZX2027 型声光控延时开关电路图

这类器件一般为二端器件,一端是阳极,另一端是阴极。其操作仅取决于阳、阴极间的电压,正向导通,反向关断,流过其中的电流是单方向的。由于开通和关断不能按需要来控制,故这类器件称为不可控器件,常见的有大功率二极管、快速恢复二极管和肖特基二极管。

(二)半控型

这类器件是三端器件,除阳极和阴极外,还增加一个控制极,开通时不仅需要在阳极和阴极间加正向电压,而且还必须在控制极和阴极间加上正向控制电压,因此可以控制开通,但开通以后,就不能再通过控制极关断,只能从外部改变加在阳、阴之间的电压极性或强制使阳极电流变为零才能使其关断。所以把它称为半控型器件,这类器件主要有单向晶闸管和其派生器件,如双向晶闸管、逆导晶闸管等。

(三)全控型

这类器件也是带有控制端的三端器件,但控制端不仅可以控制其开通,还能控制其关断,故称全控型。由于无需外部电路提供关断条件,仅靠器件自身控制即可关断,所以这类器件也被称为自关断器件。此类器件种类多,工作原理不尽相同,代表性的有电力晶体管(GTR),门极可关断晶闸管(GTO),功率场效应晶体管(Power MOSFET),和绝缘栅双极型晶体管(IGBT)等。

虽然在本课程教学中也做过实验,都是单独一个器件的验证性实验,由于条件的限制,未能深入到可控硅在实际控制电路中的应用。

(一)如何通过实例同学生沟通交流

以上谈的三类电力电子器件,其中单向可控硅在小功率的控制电路中应用非常广泛。根据可控硅的关断条件,可控硅一旦导通,控制极即失去作用。下面介绍如何根据学生发现的疑问提出的问题,用什么样的教学方法同学生沟通交流,达到解决此问题的目的。

本文采用学生实训装配的 ZX2027 型声光控延时开关来说明单向可控硅 MCR100-6 关断的特点,原理图如图 1 所示。该电路主要由 CD4011 系列双排集成块和 MCR100-6 单向可控硅(其最大工作电流 1A 和最高工作电压 600 伏)组成,其中 CD4011 由四个与非门组成,A 点是单向可控硅的阳极,G 点是控制极,K 是阴极,RG 是光敏电阻。白天光照时电阻 20KΩ 以下,晚上无光照电阻 100MΩ 以上,因此,白天不管是否有声音震动,IC 的 1 脚为低电位,3 脚输出高电位,4 脚低电位,10 脚高电位,11 脚低电位,G 点电位为 2mv (用 VC890D 数字电压表测量,下同),即可近似认为是 0 伏,可控硅没有开通,阳极电流为 0,A 点电位是 207 伏,晚上因 RG 电阻 100MΩ 以上即 1 脚为高电位,有声音震动时,通过驻极体 MIC 使 2 脚为高电位,通过四个与非门的作用,测得 G 点电位为 0.75 伏,符合可控硅的开通条件,开通后 A 点电位是 10 伏,阳极电流为 240mA,被控制的灯泡发光,经 C<sub>2</sub>、R<sub>7</sub> 延时 3 分钟后,G 点电位又变为为 0 伏,因为 U<sub>AK</sub> 电压是全波整流未加滤波,用示波器观察波形如图 2 所示,当 U<sub>AK</sub> 电压从最高点降到接近 0 伏时,使阳极电流小于维持电流时,单向可控硅被关断,阳极电流为零,灯泡熄

二、电力电子器件课程的讲授

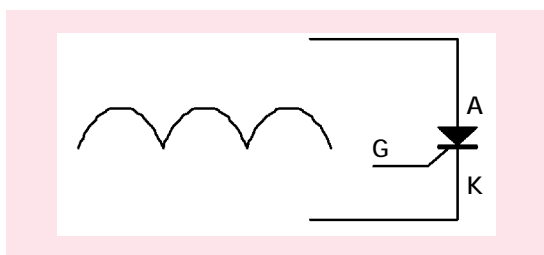


图2 单向可控硅加全波整流电压

灭。当  $U_{AK}$  电压下个周期再次升高时,由于没有控制极触发电压,可控硅被关断。

$U_G=0.75V$  的持续时间与  $C_2$ 、 $R_7$  密切相关,即为3分钟。这段时间内  $U_{AK}$  电压会经历多个降至0伏的周期,此时  $U_{AK}$  较低,可控硅会出现短暂的关断,其余时间均为开通。开通时间远大于关断时间,呈现被控制灯泡持续发光的效果。为了进一步使学生掌握可控硅的关断条件,实训时把图2中的  $U_{AK}$  改为直流,当  $U_G=0.75V$  时可控硅开通;当  $U_G=0V$  时,可控硅关断。以上实例说明,单向可控硅关断的根本原因不是控制极对地短路,而是当  $U_G=0V$  时,  $U_{AK}$  低于导通电压才实现可控硅关断。如果只从表面看单向可控硅的控制极对地短路而不研究阳极与阴极之间所加电压的波形,得出控制极对地短路是关断可控硅的一种方式,显然这样是不全面、不深入的,结论是不正确的。

## (二)深入讲解门极可关断晶闸管特点

通过以上教学实例分析,同学们已感觉到单向可控硅用作控制开关的缺点,为此,人们又研制了门极可关断晶闸管,常写作GTO,它具有普通晶闸管的全部优点,如耐压高、电流大、耐浪涌能力强、使用方便、价格低廉。同时它又具自身的优点,如自关断能力强、工作效率高、使用方便、无需辅助关断电路,可随时用门极信号控制其关断,是一种应用广泛的大功率全控型开关器件,在高压和大容量的斩波器及逆变器中获得广泛的应用。

从图3来分析GTO工作原理:

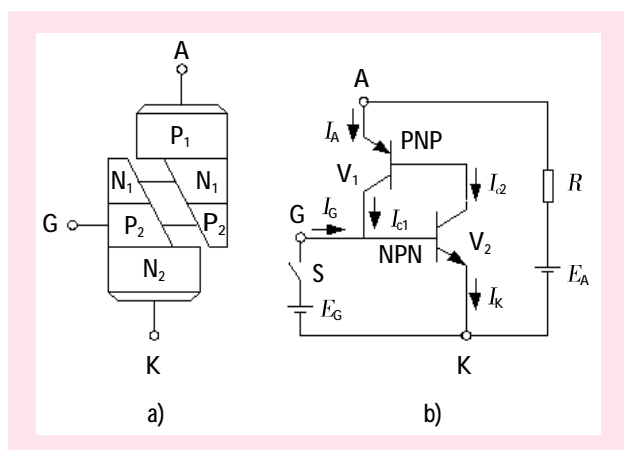


图3 可控硅工作原理图

由  $P_1N_1P_2$  和  $N_1P_2N_2$  构成的两个晶体管  $V_1$ 、 $V_2$  分别具有共基极电流增益  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$ ,  $\alpha_1+\alpha_2=1$  是器件临界导通的条件。当  $\alpha_1+\alpha_2>1$  时,两个等效晶体管过饱和而使器件导通;当  $\alpha_1+\alpha_2<1$  时,不能维持饱和导通而关断。

GTO 能够通过门极关断的原因是其与普通晶闸管有如下区别:

第一,设计  $\alpha_2$  较大,使晶体管  $V_2$  控制灵敏,易于GTO关断。

第二,导通时  $\alpha_1+\alpha_2$  更接近1( $\approx 1.05$ ,普通晶闸管  $\alpha_1+\alpha_2\geq 1.15$ ),导通时饱和不深,接近临界饱和,有利门极控制关断,但导通时管压降增大。

第三,多元集成结构使GTO元阴极面积很小,门、阴极间距大为缩短,使得  $P_2$  基区横向电阻很小,能从门极抽出较大电流。

GTO 导通过程与普通晶闸管一样,只是导通时饱和程度较浅。GTO 关断过程:强烈正反馈——门极加负脉冲即从门极抽出电流,则  $I_{b2}$  减小,使  $I_K$  和  $I_{c2}$  减小,  $I_{c2}$  的减小又使  $I_A$  和  $I_{c1}$  减小,又进一步减小  $V_2$  的基极电流。当  $I_A$  和  $I_K$  的减小使  $\alpha_1+\alpha_2<1$  时,器件退出饱和而关断。

从以上分析可知,GTO 与普通可控硅的导通原理相似,但关断机理不同,普通可控硅不能实现自关断,而GTO器件当其门极加负脉冲可以关断,本节讲课中特别强调两个问题,一是GTO与普通可控硅的重要区别,二是对GTO开通控制与关断控制脉冲的要求。下面予以叙述。

第一,GTO 开通控制,要求门极电流脉冲前沿陡,幅度高,宽度大及后沿缓,上升沿陡峭的门极电流脉冲有利于GTO的快速导通,且可保证使所有的GTO元件几乎同时导通,且使电流分布趋于均匀,通常要求脉冲前沿为  $5\sim 10 A/\mu s$ 。

第二,GTO 关断控制,对门极关断脉冲波形的要求是前沿陡、幅度高、宽度足够、后沿平缓。前沿陡,可以缩短关断时间,减少关断损耗。但前沿不宜过陡,否则会使关断增益降低,阳极尾部电流增加,对GTO产生不利影响,一般使脉冲电流的上升率为  $10\sim 50 A/\mu s$ ,为了保证GTO的可靠关断,关断负电压脉冲宽度应不小于  $40\mu s$ 。

## 三、结束语

通过以上的特殊教学案例,笔者深感对电力电子器件课程的讲授必须结合器件的应用,否则就是纸上谈兵难以收到预期的效果,教师指导学生调试电路、测试数据、分析原因,加深了对器件原理的理解。其讲课的范围不能拘泥于教室与实验室,必须深入到实践应用中,通过实践教学案例,会使学生更深刻的理解电子器件的工作原理,收到更好的教学

效果。今天,电力电子技术无处不在,以至于找不到一个完全不用电力电子器件的领域,对将来的发展可谓不可估量。这对承担电力电子器件课程讲授的教师将提出更高的要求,针对以培养技能型为目的高职院校,教师必须适应快速发展的新形势,掌握新技术,了解新的元器件,尽快更新知识,努力钻研,善于总结,不断提高教师专业理论水平、实践教学能力和讲课艺术,争取做一个专业理论水平高、实践能力强、具有精湛讲课艺术的高职学院教师。

#### 参考文献:

- [1] 龙志文.电力电子技术[M].北京:机械工业出版社,2010:17.
- [2] 王廷才.电力电子技术[M].北京:高等教育出版社,2009:8.
- [3] 吴保芳.现代电力电子电路[M].武汉:湖北科学技术出版社,2003:15.
- [4] 孙汉林.电力电子器件器件[M].北京:机械工业出版社,2008:6.
- [5] 邓木生.电子技能训练[M].北京:机械工业出版社,2008:28.
- [6] 姚彬.电子元器件与电子实习实训教程[M].北京:机械工业出版社,2009:37.
- [7] 马全喜.电子元器件与电子实习[M].北京:机械工业出版社,2009:112.
- [8] 林锦实.检测技术及仪表[M].北京:机械工业出版社,2008:77.

[责任编辑:刘 骋]

## On Characteristics and Teaching of Power Electronic Devices Courses

YANG Shao-chun

(College of Electronic Information Engineering, Wuhan Polytechnic, Wuhan430074, China)

**Abstract:** The characteristics of Power Electronic Devices course are stated in the paper. A design of controlling switch that a thyristor can be turned off through the connection of the controlling electrode and ground under normal operating is found by students on the internet. In this paper, the result is considered as a special teaching case. In training teaching, the on/off characteristics of MCR100-6 thyristor are explained based on the analysis of the principle of time delay switch circuit with sound/light controlling. According to both the theoretical analysis and the measuring data of the real circuit, the design from the internet is not an effective method to tune off thyristor. Thus, a good effect is obtained by using the teaching method.

**Key words:** Power Electronic Devices course; thyristor; characteristics; case teaching