

晶闸管关断时间测量的新方案

李 炳 坤

(电子工程系)

摘要 本文简要介绍了晶闸管的关断特性和关断方式,并通过对晶闸管关断时间传统测量方法进行分析,提出了晶闸管关断时间测量的新方案。

关键词 晶闸管,关断时间,波形检测,测量

0 引言

晶闸管是60年代发展起来的一种新型半导体器件。在这之前,半导体器件的应用范围一直限于弱电领域。晶闸管的出现,使半导体器件迈入了强电领域,并得到了非常广泛的应用。目前,晶闸管正向大功率和高频方向发展。普通晶闸管已研制出4000V,3000A的器件,逆导晶闸管已达到2500V,1000A/300A,30 μ s的水平。晶闸管与其它半导体器件相比,具有控制极触发的特殊性能,通过控制极可实现小功率对大功率的控制。

晶闸管的导通和关断都需要一定的时间,并且在开通和关断的过程中,都处于高电压、大电流状态,因此,这一过程的损耗很大。尽管这一过程很短,但在高频情况下,由于开关次数的增加使损耗大大增加,甚至可以与正向功率损耗相比。因此,关断时间 t_{off} 对晶闸管应用的成败和优劣具有很大的影响。另外,在高频变流器和逆变器设计中,晶闸管的关断时间必须是已知的,因此,关断时间成了晶闸管应用不可少的测试项目之一。

1 晶闸管的关断特性、关断方式及关断时间

晶闸管的关断特性就是晶闸管由导通完全恢复到断态(重新施加正向电压 V_{AK} 时,不会因 dV/dt 而开通)的过程。

晶闸管的关断方式不同,其关断时间也不一样,通常关断方式有四种。(1)自然过零关断,即晶闸管中的通态电流 I_T 逐渐减小到维持电流 I_H 以下时,器件由通态转为断态的关断方式。其关断时间较长,常用于整流电路。(2)切断阳极电路关断,即将晶闸管的阳极与外电路切断,

* 本文1990-11-27收到。

从而达到关断的目的,常用于小功率晶闸管。(3)门极负偏压关断,即在门极与阴极之间加反向控制信号,以实现关断的方法,主要用于GTO(可关断晶闸管)门极辅助关断。(4)强迫关断,即在已开通的晶闸管阳极与阴极加反向电压 V_R ,强迫器件由通态转为断态的关断方式,常用于中频电源、斩波器。

强迫关断是实际应用中最常用的一种关断方式,其关断过程如图1所示,图中为晶闸管关断时阳极电流和电压的波形。在实际工作电路中,总包含有一定的电感,因此,关断时器件中的电流不能突变,而是逐渐变化的,加于器件上的电压将包含电感中产生的反电势。图中 di/dt 为电流减小的速率, Ldi/dt 为电感中产生的反电势, U_R 所加的反向电压, dV/dt 为重加电压上升率, t_{off} 为晶闸管的关断时间。

如图1所示,晶闸管的关断时间为晶闸管由通态完全恢复到断态的过程(即重加电压上升率为 dV/dt 的正向电压时不会导致器件开通)。

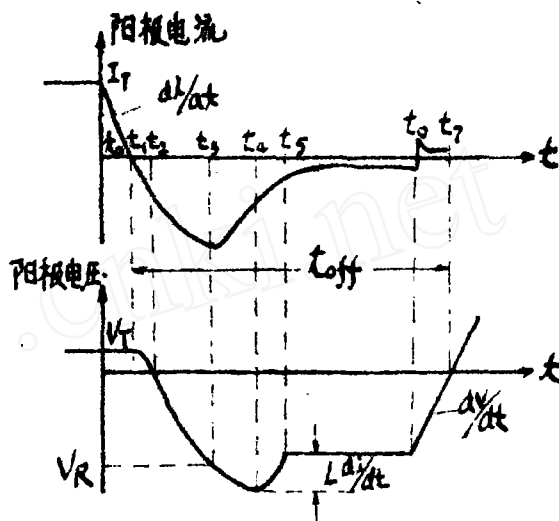


图1 晶闸管在普通线路换向关断时电流、电压波形

2 晶闸管关断时间测量的传统方法和存在的问题

目前,晶闸管关断时间测试仪大多利用示波器观察被测管的电压、电流波形来计算关断时间的,或者把波形显示部分与主电路装在一起,但显示部分可另当示波器使用。该测试仪的测试条件与IEC标准基本相符,是目前国内用得较多的测试仪之一。其线路原理图如图2所示。电路的工作过程分为两个阶段。(1)测量前的准备工作,先触发 SCR_1 , C_2 通过 L_1 - L_2 - SCR_1 - C_2 - R_2 回路充电,当 C_2 的电压与电源接近时, SCR_1 关断,然后触发 SCR_2 ,使 C_2 的电压倒相以向 T_{sc} 提供反向电压, C_2 充电结果的电压极性与图2所示相反。 SCR_2 触通后, C_2 通过 L_3 , SCR_2 产生振荡,振荡半周后 SCR_2 关断,此时 C_2 上的电压极

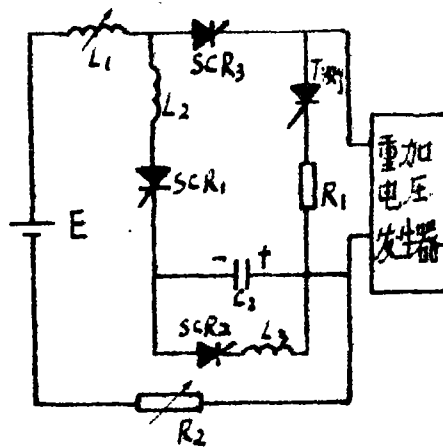


图2 晶闸管关断时间测量仪线路原理图

性与图2相同。(2)正常测量周期.先触发 SCR_1 和 $T_{隔}$ 形成正向阳极电流,其上升率通过 L_1 可调,大小通过 R_2 可调,然后触发 SCR_2 使 C_2 的电压加到 $T_{隔}$ 上,强迫 $T_{隔}$ 关断,最后触发重加电压发生器,对 $T_{隔}$ 施加正向电压,试探其是否已具备好阻断正向电压的能力.上述过程周期地重复进行,操作者调节施加重加电压的时刻,使 $T_{隔}$ 刚好能加上重加电压,则此时即可在显示器上计算关断时间.

利用示波器观察波形来计算关断时间,常因为波形的波动而得不到准确的结果,而且操作复杂,使用不方便,测量结果不直观,要求操作者具有一定的专业知识.这种测试仪体积和重量都较大,价格高昂,显示部分功能利用率低.为此,下面提出了用数码管直接显示测量结果的测量方案.

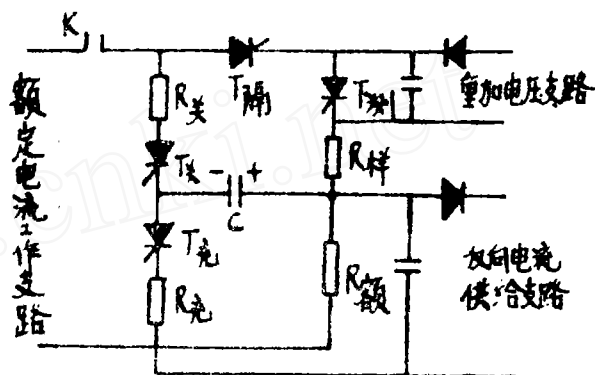


图3 主电路原理图

3 晶闸管关断时间测量新方案的设计

3.1 主电路工作原理

主电路采用三电源结构法原理,其线路原理图如图3所示.当合上开关 K 后, $T_{隔}$ 、 $T_{关}$ 、 $T_{充}$ 三个晶闸管的门极按图4所示顺序加入触发脉冲, $t=t_1$ 时,额定电流支路被接通,电容器 C 被反向电流供给支路通过 $T_{隔}$ 、 $R_{充}$ 充电; $t=t_2$ 时,触发 $T_{关}$ 导通,电容器 C 通过 $R_{样}$ — $T_{隔}$ — $T_{关}$ — $R_{关}$ — $T_{充}$ 回路放电,对被测管 $T_{隔}$ 施加一反向电压,迫使被测管关断,主电流 I_{AK} 下降, $t=t_3$ 时,接通重加电压支路,向被测管施加重加电压.重加电压支路接通时刻 t_3 可调.通过调节 t_3 使被测管刚好能加上重加电压,然后对关断时间进行测量.

3.2 测量方案的设计

根据关断时间的定义,关断时间是指电流由正到负的过零点与电压从负到正的过零点之

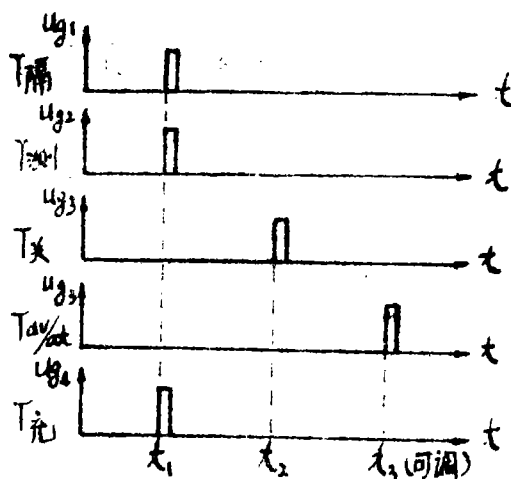


图4 触发脉冲相位图

间的时间间隔. 图3测量回路实际测量时, 被测管关断时电压, 电流的变化如图5(a)所示. 如果在电流由正到负的过零点产生一个脉冲, 同时在电压由负到正的过零点也产生一个脉冲. 如图5(b)所示. 则两脉冲间的时间间隔即为关断时间. 这样, 关断时间的测量就转化为测量两脉冲时间间隔的简单问题. 这就是关断时间测量新方案的基本构思. 被测管 $T_{\text{测}}$ 的电压、电流波形如图5(a)所示. 在测量中被测管的电压信号可直接从 $T_{\text{测}}$ 两端获得, 电流信号可通过取样电阻 R 两端的电压采样得到. 测量方案的总框图如图6所示.

被测管的电压、电流信号经过衰减之后, 再用光电耦合器使测量电路和主电路强电部分隔离开来. 光电耦合器输出的信号经整形、放大电路后, 再经脉冲形成电路产生一个窄脉冲. 脉冲形成电路(2)在电流由正到负的过零点产生一个开门脉冲, 通过控制电路使时钟脉冲发生器开始工作, 计数器开始计数; 脉冲形成电路(1)在电压由负到正的过零点产生一个关门脉冲, 通过控制电路使计数器停止计数. 这样就完成了一个测量周期, 计数器计数的结果经译码器译码后, 在显示器上直接显示测量结果.

关断时间从几微秒到几百微秒, 因此对时钟脉冲的频率要求高于 MHz 数量级. 若时钟脉冲选用精确 10MHz 的频率, 即每个时钟脉冲周期为 $0.1\mu\text{s}$, 这样, 在显示器上用一位小数点, 则显示的结果即为以 μs 为单

位的关断时间. 计数器计数误差为 ± 1 个脉冲, 当关断时间为 $10\mu\text{s}$ 时, 其误差为 $\frac{0.1}{10} \times 100\% = 1\%$; 当关断时间为 $100\mu\text{s}$ 时, 其误差为 $\frac{0.1}{100} \times 100\% = 0.1\%$. 由此可见, 其测量精度是用示波器观察波形所无法比拟的. 关断时间是指晶闸管的正向电流下降到零到刚好能施加加重正向电压而不致于使器件重新导通的最小时间间隔. 因此, 测量时, 首先需要判别被测管是否为刚好

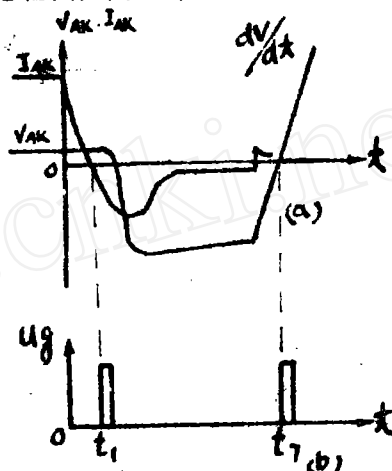


图5 晶闸管关断时电压、电流波形和控制脉冲相图

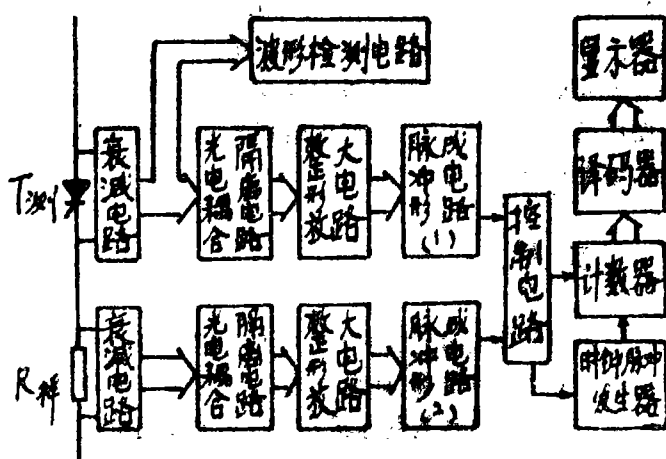


图6 晶闸管关断时间测量方案框图

能加上重加正向电压,即寻找其临界点,临界点左右的波形如图 7 所示.

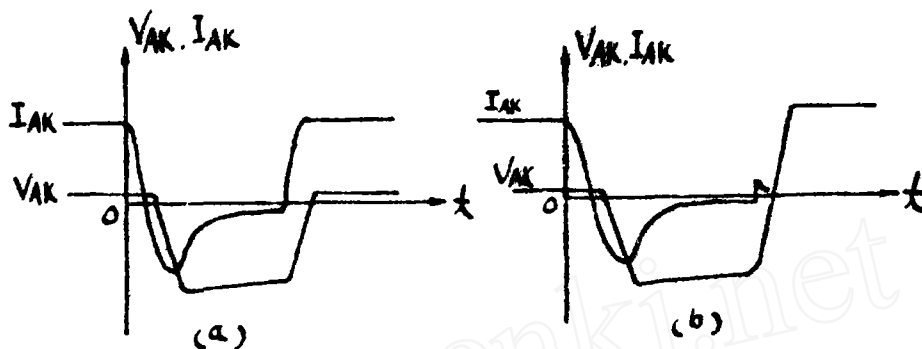


图 7 施加重加电压 T_{re} 导通和不导通的电压电流波形

图 7(a) 为被测管由于施加重加正向电压而导通的电压、电流波形. 图 7(b) 为被测管刚好能加上重加电压而不致于导通电压、电流波形. 波形检测电路就是专门为判断被测管是否为刚好能加上重加正向电压而设计的, 即实现对图 7(a)、(b) 两种波形的检测. 当被测管由于重加电压而导通时, 其两端的电压为器件的通态压降 ($1V$ 左右); 而当被测管不因重加电压而导通时, 其两端的电压即为重加电压, 如图 7 所示. 这样, 只要判别被测管是否承受重加正向电压就可知道被测管是否由于重加正向电压而导通. 因此, 把被测管两端的电压信号送入波形检测电路以鉴别被测管是否承受正向电压. 如图 6 所示. 在波形检测电路中, 可设计一指示灯来判断被测管是否承受重加正向电压. 当被测管承受重加电压时, 指示灯亮, 否则熄灭. 这样, 调节重加电压支路接通时刻, 使指示灯刚好由暗到亮, 此时就量被测管刚好能加上重加正向电压的时刻. 所测的结果即为晶闸管的关断时间.

4 结束语

随着晶闸管应用范围的不断推广, 关断时间的测量越来越显示出其重要性. 采用本文介绍的测量方案可得到准确、直观的结果, 而且操作简单, 同时还使测量仪器的重量、体积和成本都大大减小. 因此, 这种测量方案具有很高的实用价值和推广价值.

参 考 文 献

- [1] 中国科学技术情报研究所重庆分所等编译可探硅应用技术, 科学技术文献出版社重庆分社, (1977).
- [2] J. D 林肯著 (王增福、曲学基译), 电子电路设计手册, 科学普及出版社, (1981).
- [3] 戴国良, 晶闸管关断时间的测量, 电子技术, 4 (1986).

A New Approach to the Measurement of Turn-Off Time of Thyristor

Li Bingkun

(Department of Electronic Engineering)

Abstract To the measurement of turn-off time of thyristor, the author puts forward a new approach based on the analysis of the traditional approach as well as on the study of the turn-off characteristic and turn-off pattern of thyristor.

Key words thyristors, turn-off time, wave detection, measurement