

对双向可控硅内部电路的探讨

摘要：为了深入了解双向可控硅内部电路和工作原理，以运用简便易懂的三极管为主，依据双向可控硅内部 P 型半导体和 N 型半导体的分布，设计一种可以被双向触发导通的电路。并从理论上对其进行论述，通过实际电路制作对其进行了验证，在实际运用方面达到与双向可控硅具有同样的效果。

关键词：可控硅，晶体管电路，双向触发

Study the Inner Circuit of the TRIAC

Abstract: According to the P-type and N-type semiconductor distributed in the TRIAC, a bidirectional triggered circuit is researched and designed based on main using the common transistors. This will make for understanding the TRIAC more in the principle and structure. Its correction has been discussed in considering its working theory and has been tested with a real printed board circuit. The result is similar to the TRIAC.

0 引言

双向可控硅（TRIAC）在控制交流电源控制领域的运用非常广泛，如我们的日光灯调光电路、交流电机转速控制电路等都主要是利用双向可控硅可以双向触发导通的特点来控制交流供电电源的导通相位角，从而达到控制供电电流的大小^[1]。然而对其工作原理和结构的描述，以我们可以查悉的资料都只是很浅显地提及，大部分都是对它的外围电路的应用和工作方式、参数的选择等等做了比较多的描述，更进一步的——哪怕是内部方框电路——内容也很难找到。

由于可控硅所有的电子部件是集成在同一硅源之上，我们根本是不可能通过采用类似机械的拆卸手段来观察其内部结构。为了深入了解和运用可控硅，依据现有可查资料所给 P 型和 N 型半导体的分布图，采用分离元器件——三极管、电阻和电容——来设计一款电路，使该电路在 PN 的连接、分布和履行的功能上完全与双向可控硅类似，从而通过该电路来达到深入解析可控硅和设计实际运用电路的目的。

1 双向可控硅工作原理与特点

从理论上讲，双向可控硅可以说是有两个反向并列的单向可控硅组成，理解单向可控硅的工作原理是理解双向可控硅工作原理的基础^[2-5]。

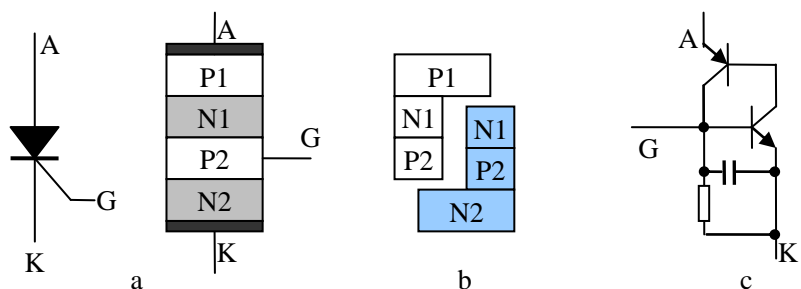


图 1 结构分割

1.1 单向可控硅

单向可控硅也叫晶闸管，其组成结构图如图 1-a 所示，可以分割成四个硅区 P、N、P、N 和 A、K、G 三个接线极。把图一按图 1-b 所示切成两半，就很容易理解成如图 1-c 所示由一个 PNP 三极管和一个 NPN 三极管为主组成一个单向可控硅管。

在图 1-c 的基础上接通电源控制电路如图 2 所示，当阳极-阴极 (A-K) 接上正向电压 V 后，只要栅极 G 接通触发电源 V_g ，三极管 Q2 就会正向导通，开通瞬间 Q1 只是类似于接在 Q1 集电极的一个负载与电源正极接通，随后 Q1 也在 Q2 的拉电流下导通，此时由于 C 被充电，即便断开 G 极的触发电源 V_g ，Q1 和 Q2 在相互作用下仍能维持导通状态，只有当电源电压 V 变得相当小之后 Q1 和 Q2 才会再次截止。

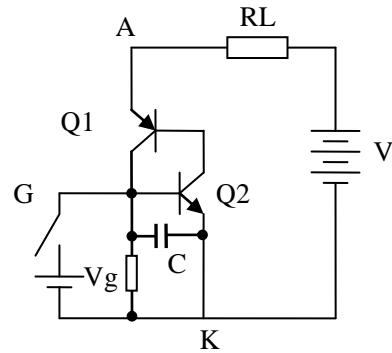


图 2 工作原理简图

1.2 双向可控硅

相比于单向可控硅，双向可控硅在原理上最大的区别就是能双向导通，不再有阳极阴极之分，取而代之以 T1 和 T2，其结构示意图如图 3-a 所示，如果不考虑 G 级的不同，把它分割成图 3-b 所示，可以看出相当于两个单向可控硅反向并联而成^[1-2]，如图 3-c 所示连接。

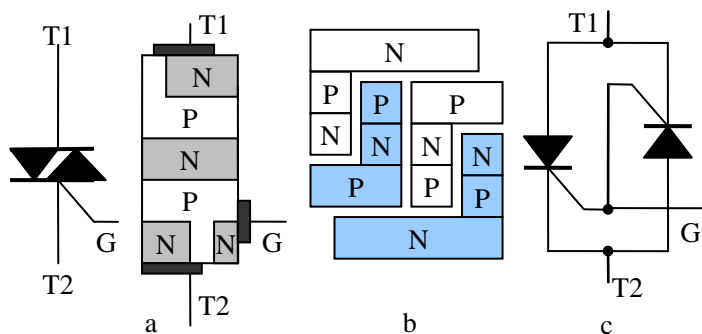


图 3 结构示意图

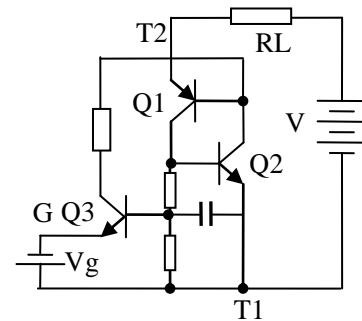


图 4 负触发工作原理图

当 T1 与 T2 之间接通电源后，给 G 极正向触发信号（相对于 T1、T2 所接电源负极而言），其工作原理如前面单向可控硅完全相同。当 G 极接负触发信号时，其工作过原理如图 4 所示，此时 Q3 的基极 B 和发射极 E 处于正偏电压而致使 Q3 导通，继而 Q1 导通给电容 C 充电后致 Q2 导通并保持导通状态。

1.3 双向可控硅的主要特点

双向可控硅的英文简称 TRIC 是英文 Triad AC semiconductor switch 的缩写，其意思是三端交流半导体开关，目前主要用于对交流电源的控制，主要特点表现在能在四个象限来使可控硅触发导通和保持导通，直到所接电源撤出或反向^{[6][7]}。

第一象限是 T2 接电源 V 的正极 T1 接电源 V 的负极，G 触发信号 V_g 的正。

第二象限是 T2 接电源 V 的正极 T1 接电源 V 的负极，G 触发信号 V_g 的负。

第三、四象限是 T1 接电源 V 的正极 T2 接电源 V 的负极，G 触发信号分别接 V_g 的正、负极。

2 类双向可控硅电路设计

在理解了前面所述双向可控硅的内部结构和工作原理之后，依据其内部结构采用我们熟悉的晶体管来设计一种类似有双向可控硅工作的双向可触发电路。如图 5 所示，电路采用 7 个三极管和几个电阻组成。把图 5 电路中 PN 结的结构按图 6 所示结构图描出，与图 3-a、b 比较很是相似。在图 5 所示电路中，内部电流在外界所接电源的极性不同而有两种流向，如 I_{t12} 和 I_{t21} 所示， I_{t12} 流向是从 P2 流入经 N2-P1-N1 流出， I_{t21} 从 P1 流入经 N2-P2-N32 流出；G 极触发电流 I_{g+} 由 P2 流入或 I_{g-} 从 N31 流出。下面是所设计电路在四个象限的触发导通工作过程。

2.1 T2 接电源 V_{t21} 正极，T1 接通电源 V_{t21} 负

此时当 G 极接 V_{g+} 为正电压，Q4、Q5、Q6、Q7 处于反向截止，Q1 的 B 极和 E 极之间无正偏压也处于截止状态， V_{g+} 由 P2 输入后经 R3 使 Q2 的 B 极和 E 极之间产生正偏电压而导通，从而促使 Q3 导通，这时即使撤出 V_{g+} ，在电容 C1 的作用下，Q2、Q3 也仍然能处于导通状态，只有当 V_{t21} 先反向或撤除才重回截止。当 G 极接 V_g 为负，Q4、Q5、Q6、Q7 同样处于反向截止状态，Q1 的 B 极和 E 极之间因 V_g 产生正偏电压而导通，从而使 Q3、Q2 导通并得以保持导通状态。

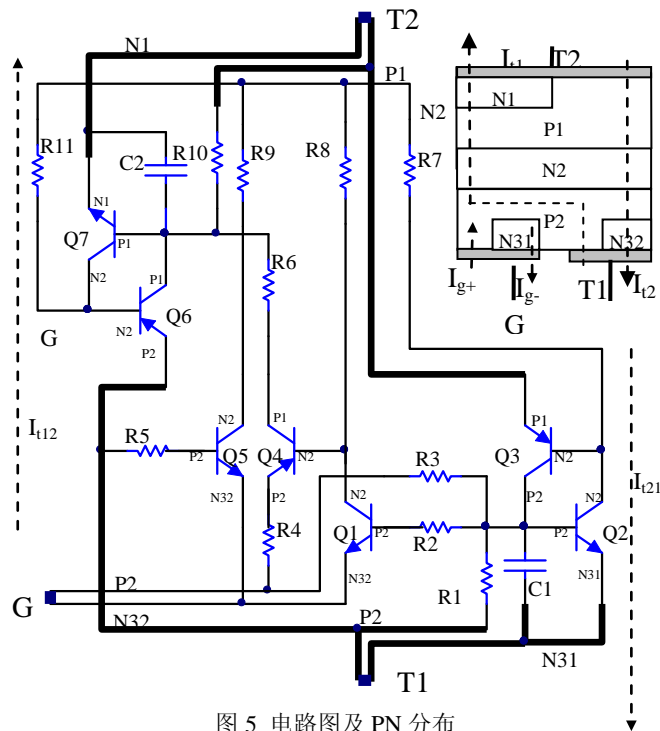


图 5 电路图及 PN 分布

2.2 T1 接电源 V_{t12} 正极，T2 接通负电源 V_{t12} 的负极

此时 G 极接 V_g 为正，Q1 因 B 极和 E 极之间处于反向偏压而截止，Q3 处于反向截止，Q2 因 B 极和 E 极之间处于正向偏压导通而导致 Q4、Q7 的导通，从而 Q6、Q7 导通并保持导通状态，只有当 V_{t12} 先反向或撤除才重回截止。当 G 极接 V_g 为负，Q1、Q2、Q3 和 Q4 处于反向截止，Q5 的 B 极和 E 极之间因 V_g 而处于正偏导通，从而使 Q6 导通，继而 Q7、Q6 导通并得以保持导通状态。

3 电路制作与实验验证

为了验证所设计电路，采用比较常用的 NPN 三极管 S8050 和 PNP 三极管 S8550 来设计制作实际的测试电路板(PCB)，如图 5 所示。图 6 中所标识的 T2、T1 和 G 与图 5

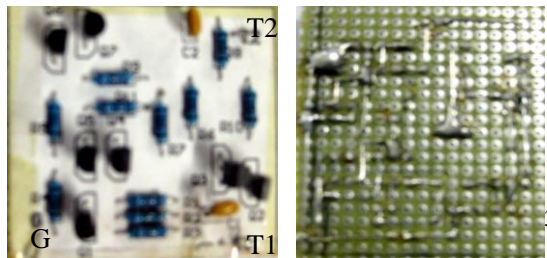


图 6 手工制作的电路板

所示的相同，也类似于双向可控硅的 T2、T1 和 G 三个接线极。利用该模块电路串入负载接通正或负的直流电源和触发信号来测试，所得结果如图 7 所示，在正或负触发信号接入前电流表上的指示为 0，当正或负触发信号接通并撤离后电流表指示依然保持原来的电流值。该实验表明该电路在正负电源供电情况下能双向触发导通。

该模块电路在接通交流电源和脉冲控制信号时，其测验结果如图 8 所示。示波器探针 1 接触发信号，探针 2 接模块电路的两端 T1-T2 之间的电压。在触发信号为 0 是，T1-T2 之间的电压等于电源电压值，表明该电路没有导通，当触发信号脉冲到来时，T1-T2 两端的电压值为 0，表明模块电路已经导通。

4 结束语

在详细解读了双向可控硅的内部结构和工作原理的基础之上，设计了一款以 7 个三极管为主要元器件和电阻电容可以被双向触发的控制电路。利用常用的对管 S8050 和 S8550 制作出实验电路验证了该电路的正确性。在今后具体运用过程中可以通过对此电路的相关器件做适当调整来满足具体的需求和设计要求。同时，利用所设计的电路形象具体地解释了双向可控硅的工作原理与过程。

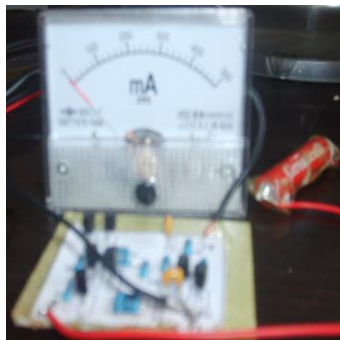


图 7 直流供电触发前后

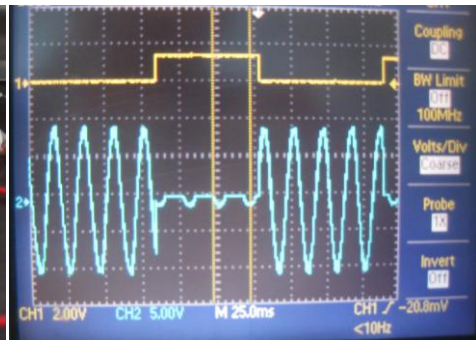


图 8 交流电源下触发导通

参考文献:

- [1] B. Jayant Baliga, Power Semiconductor Devices[M]. PWS publishing Company, Boston. ISBN 0-534-94098-6.
- [2] Adel. S. Sedra and Kenneth. C. Smith, Microelectronics Circuits [M]. 5th edit, Oxford, 2003.
- [3]A. Bourennane, M.Breil, L.Sanchez, P.Austin, J.Jalade. A new triggering mode in a vertical bi-directional MOS-thyristor device [J]. Microelectronics Journal, Volume 35, Issue 3, March 2004, Pages 277-285.
- [4]. R.L.Avant, F.C.Lee, and D.Y.Chen, A practical SCR Model for Computer Aided Analysis of AC Resonant Charging Circuits [J], IEEE,July,1981, :232-243.
- [5] LAWRENCE J.GIACOLETTO, Simple SCR and TRIAC PSPICE Computer Models[J].IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 1989, 36(3):451-455.
- [6] Jr.Nick Holonyak.The Silicon p-n-p-n Switch and Con-trolled Rectifier (thyristor) [J].IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, 2001, 16(1):8-16.
- [7] RAONIC D M.TRIACS Self-Supplied Gate Driver for Medium-Volta Application with Capacitor as Storage Element [J].IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, 2000,36(1):212-216.