文章编号:1005-0523(2009)06-0031-04

一种无环流数字控制STS模块的研制

袁义生,邹 娟,程良涛

(华东交通大学 电气与电子工程学院,江西 南昌 330013)

摘要:分析了静态转换开关(STS)的无环流切换控制的工作原理。针对其中关键的电流状态检测问题,提出了一种根据晶闸管门极电压来检测晶闸管导通状态的方案。设计了1个TMS320LF2406控制的12 A静态转换开关模块,描述了DSP中电压掉电时的控制时序,实际测试表明模块断电时间小于规定时间,提出的电流检测方法正确。

关 键 词:静态转换开关;晶闸管;无环流控制。

中图分类号:TN913 **文献标识码**:B

静态转换开关(STS)是一种能对两路电源进行切换的装置,主要应用于传统的不间断电源(UPS)中[1],是其装置的一部分。而随着新能源的多样化如风电、光电和燃料电池逆变系统的应用等,发展通用的模块化的静态转换开关更加重要。

静态转换开关通常要求在故障状态下断电时间小于5 ms,而且切换时不能产生环流。而电源和负载的状况多种多样,如何可靠而迅速地判断各种故障状况显得非常重要。为了实现无环流切换,正确地检测电源通道上的电流状态则是关键。

针对上述问题,本文首先分析了静态转换开关无环流切换的原理。对关键的电流状态检测问题,创新性地提出检测晶闸管门极和阴极之间的电压来判断晶闸管导通状态的方案。总结了电源故障种类,描述了DSP中对电压掉电的处理流程。设计了1个DSP控制的12 A静态转换开关模块。实验结果表明模块工作正常,提出的控制流程和电流状态检测方案有效可靠。

1 静态转换开关无环流切换原理

图1为静态转换开关的主电路结构。两路交流电源 u_1 和 u_2 到负载的通道上都由两个反向并联的晶闸管控制。

故障电源发生故障时根据其电压电流相位和方向有4种状况。以下仅分析当故障电源在电压正半周阶段发生故障时电流两种方向下的切换控制过程。

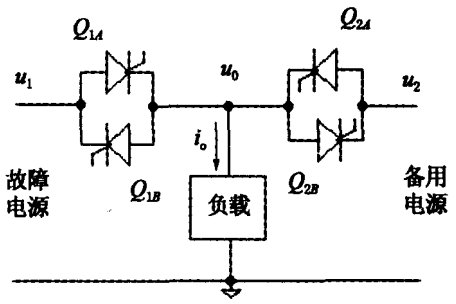


图1 STS主电路

1.1 电流流过晶闸管 Q_{1A}

先立即关断 Q_{1A} 和 Q_{1B} 的驱动,然后开通与 Q_{1A} 电流同向的 Q_{2A} 的驱动,同时检测 Q_{1A} 的电流状态。此时再分两种情况:

(1) 如果电源电压 $u_1 < u_2$,则 Q_{1A} 承受反压,Q_{2A} 承受正压,两者实现强迫换流。换流过程中流过 Q_{1A} 的电流可表示为

$$i = i_o - (u_2 - u_1)\cdot t/L \tag{1}$$

式中:L 为线路分布电感。

(2) 此时如果电源电压 $u_1 > u_2$,则 Q_{2A} 尽管有驱动信号却因承受反压不能导通。

收稿日期:2009-08-28

科技项目:江西省教育厅科技项目(GJJ08240)

作者简介:袁义生(1974-),男,江西上高人,博士,研究方向为逆变器、不间断电源、通信电源技术。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

不论上述哪两种情况，当检测到 Q_{1A} 中的电流为零时，开通 Q_{2B} 驱动信号。只不过在 $u_1 < u_2$ 的情况下，是 Q_{2B} 和 Q_{2A} 之间实现自然换流。在 $u_1 > u_2$ 的情况下，则是 Q_{2B} 和 Q_{1A} 之间实现自然换流。

1.2 若电流流过晶闸管 Q_{1B}

先立即关断 Q_{1A} 和 Q_{1B} 的驱动，然后开通与 Q_{1B} 电流同向的 Q_{2B} 的驱动，同时检测 Q_{1B} 的电流状态。此时再分两种情况：

(1) 如果电源电压 $u_1 > u_2$，则 Q_{1B} 承受反压，Q_{2B} 承受正压，两者实现强迫换流。

(2) 如果电源电压 $u_1 < u_2$，则 Q_{2B} 尽管有驱动信号却因承受反压不能导通。

不论上述哪两种情况，当检测到 Q_{1B} 中的电流为零时，开通 Q_{2A} 驱动信号。在 $u_1 > u_2$ 的情况下，是 Q_{2A} 和 Q_{2B} 之间实现自然换流。在 $u_1 < u_2$ 的情况下，则是 Q_{2A} 和 Q_{1B} 之间实现自然换流。

总体来说，要实现静态转换开关的无环流控制，当检测到电源故障时，必须立即关断故障电源侧的各 SCR 驱动，同时根据检测到的发生故障时电流方向去触发备用电源上同电流方向的 SCR。之后等待检测到故障电源侧 SCR 上的电流为零后，触发备用电源上另一个 SCR。

2 电流检测环节

如上所述，静态转换开关要实现无环流切换，最关键的是要正确检测判断晶闸管的电流导通状态。如果出现误判则会出现环流，造成设备损坏等后果。

由于晶闸管的维持电流只有几十毫安，而电路正常工作时的电流通常都大于几十安，这样采用串联在电路中的电流互感器和霍尔传感器都可能因为检测出来的信号太弱而出现电流过零误判。美国专利[2]中则提出了检测晶闸管阴阳极之间电压，将其与 +3 V，+0.3 V，-0.3 V 和 -3 V 四个阀值电压比较来做判断，但由于阴阳极间电压波动很大，它的检测电路干扰较大。而如果两路电源电压差很小时，检测可能出现误判断。

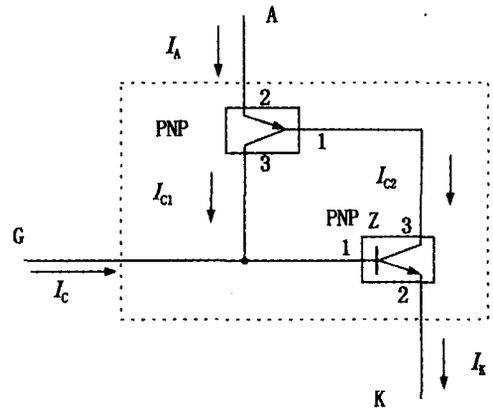


图 2 晶闸管等效电路模型

为此，本文创新性地提出一种新型电流检测方案[3]，如图 2 所示晶闸管的等效电路模型。当晶闸管驱动导通后，其门极 G 和阴极 K 之间就是 1 个导通的 PN 结，电压在 0.5～0.7 V 之间。只要晶闸管持续导通，即使驱动信号已经撤销，因为主电流还是流过 GK 之间的 PN 结，该电压仍然维持在 0.5～0.7 V 之间。所以，可以根据该电压来判断晶闸管是否处于导通状态。

实际设计时，先将检测的 u_{GK} 电压做差分滤波放大 5 倍，然后通过 1 个上限阀值 3 V(对应 0.6 V 的门极电压)，下限阀值为 1.5 V(对应 0.3 V 的门极电压)的滞环比较器产生逻辑信号送入 DSP 处理器。

3 电源故障判断及 DSP 控制时序

主要的电源故障可以分为以下几类。

(1) 电源掉电：包括电源短路和电源断路，这是电网中最常见的两类故障。两者虽然都表现为故障电源电压测量值为零，但不同的负载会带来切换时间的差异。感性负载下出现电源短路和容性负载下出现电源断路是两类所需检测时间最长的故障现象。

(2) 过、欠压故障：当连续几个周期的电源电压有效值超过电压允许最高值和当电源电压有效值低于电压允许最小值的故障。

(3) 负载短路：负载短路故障的判断既要满足电源掉电故障条件，还要满足短路电流条件。

(4) 电源频率故障：当连续几个周期的频率达到频率故障点时就认为电源频率故障。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

选择 TI 公司的 TMS320LF2406 微处理器[4]来控制设计的静态旁路开关模块。TMS320LF2406 具备 16 路A/D 采样通道，12 路 PWM 通道以及可与备用电源进行通讯的通用 CAN 总线等，满足模块功能需求。

电源掉电时的 DSP 控制时序见图 3，为了增加检测的可靠度，对各种信号的处理都需保证连续 6 次采样一致才判定信号性质再做下一步的动作。由流程图可见，当掉电且发生在电流正好为零时，切换时间最短可能为 2.1 ms。而在其他情况下，切换时间都将大于 2.4 ms。

另外，在处理器中，对过欠压故障和频率故障都是要连续 5 个周期故障才做认定，以增加判断的可靠度。

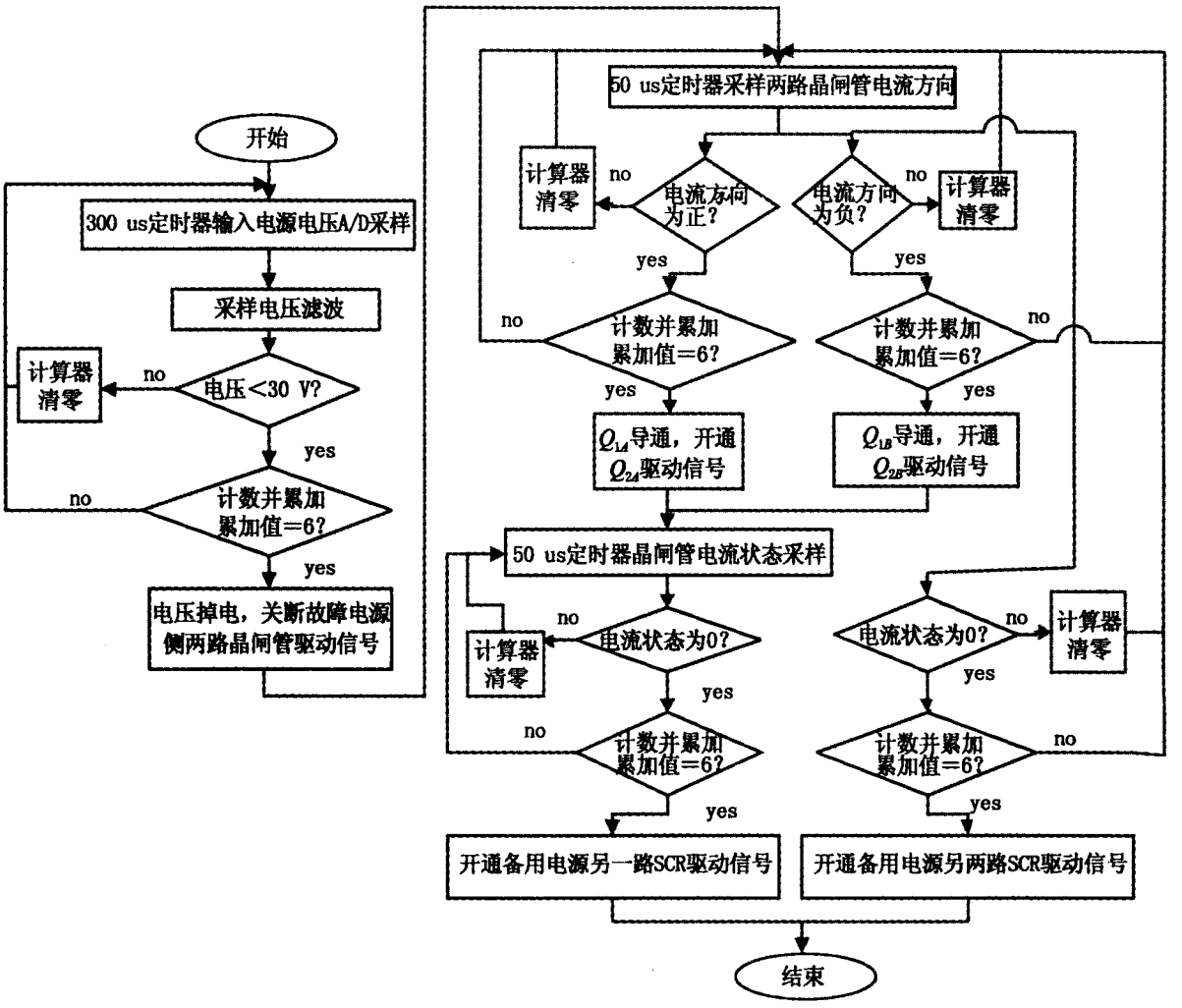


图 3　电压掉电控制时序

4　实验结果

实际制作了 1 台应用于 220 VAC 系统 12 A 输出负载的工业样机。选择故障电源为市电，备用电源为 1 个蓄电池供电逆变电源，备用电源与市电同相锁相。

图 4 测试了掉电时晶闸管门极电压 u_{GK}和流过晶闸管电流 i_o 波形，可见门极电压 u_{GK}能够很好的反应电流状况，设置 0.6 V 和 0.3 V 的滞环门槛电压是合理的。

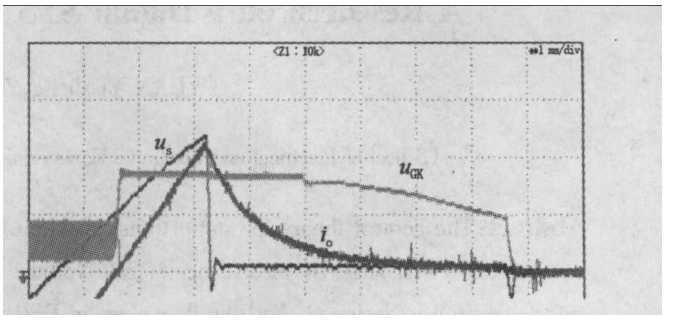
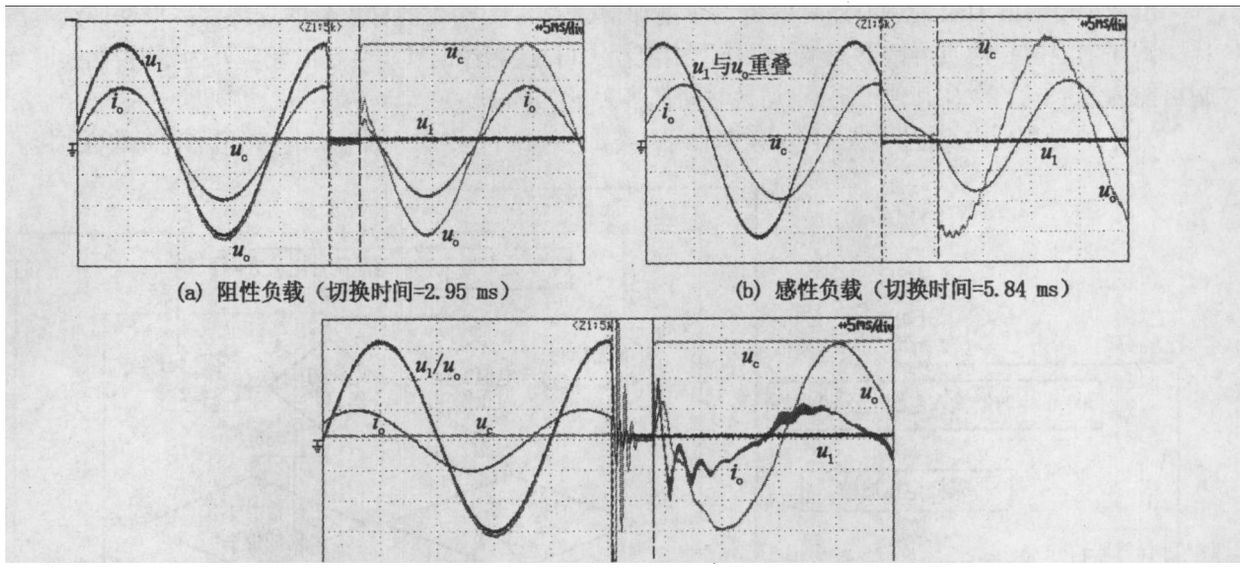


图 4　掉电时刻晶闸管门极电压波形关系图
(u_1 - 100 V/div, u_{GK} - 0.5 V/div, i_o - 1 A/div)

图 5 测量了不同负载电源短路故障下切换波形。可见，阻性负载下切换时间最短为 2.95 ms。而感性负

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

载切换时间最长为5.84 ms,是因为这时电压虽然很快下降到零,但电流缓慢下降到零,这段时间负载并没有断电,负载断电时间远小于5 ms。容性负载下的切换时间为3.66 ms,也符合要求。



(a) 阻性负载(切换时间=2.95 ms)

(b) 感性负载(切换时间=5.84 ms)

(c) 容性负载(切换时间=3.66 ms)

图5 不同负载电源断短路故障下切换波形

(CH1 - u_1,CH2 - u_o,CH3 - u_c 切换控制信号,CH4 - i_o:10 A/div)

5 结论

提出一种无环流的数字化控制静态转换开关模块。它采用检测晶闸管门极电压来判断晶闸管导通状态,简单而可靠。数字化的控制流程保证可靠的检测和控制。样机测试结果符合功能要求。

参考文献:

[1] 瞿遂春,肖强晖.UPS电源交流旁路和逆变器之间切换控制研究[J].电力电子技术,2004,38(3):68-69.

[2] James M Galm.Static Switch Method and Apparatus[P].US:RE38625E,2004-10-19.

[3] 袁义生.SCR检测控制装置和方法以及电源转换控制装置和方法[P].国家发明专利:CN 200710126513,2007-10-12.

[4] 刘和平,严利明,张学峰,等.TMS320LF240x DSP结构、原理及应用[M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.

[5] 谢凤华,张春光.模块化UPS可靠性计算与分析[J].不间断电源,2008,48(5):3-4.

[6] Robert E McAuliffe,James L Benson,Christopher B Cain.A new flexible sequencer architecture for testing complex serial bit streams [J].Hewlett Packard Journal,1995,46(1):76-90.

A Research on a Digital STS Module without Circulation Current

YUAN Yi-sheng,ZOU Juan,CHENG Liang-tao

(School of Electrical and Electronic Engineering,East China Jiaotong University,Nanchang 330013,China)

Abstract:The control theory for static transfer switch (STS) without circulation current is elaborated.The approach to detect SCR on-off state by measuring its gate voltage is proposed.Based on a DSP IC TMS320LF2406,a 12A static transfer switch is designed.And the flow chart in DSP is provided as the power supply lost.The experimental test shows the transfer time of this module is less than required time,and the detecting approach of SCR on-off state is available.

Key words:static transfer switch;SCR;control without circulation current (责任编辑:刘棉玲)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net