基于 FPGA的数字移相触发系统

邵国君

(上海交通大学电子信息与电气工程学院,上海 200030)

摘 要:介绍了一种数字移相晶闸管触发系统,分析和讨论了该系统的设计方法和工作原理;利用现场可编程门阵列(FPGA)为核心芯片,并以三相同步电路为基准,以 QUARTUS为软件开发平台,使用 VHDL语言实现在线编程,而设计的数字式晶闸管触发系统,电路结构简单,稳定性好,无需调整相序,具有相序自适应性;实验结果证明,本系统适用于三相全控整流,逆变,调压需双脉冲触发的场合。

关键词:同步电路;数字移相触发;相序自适应性

中图分类号: TN4 **文献标识码**: B **文章编号**: 1002 - 2279(2008)02 - 0033 - 03

Digital Trigger of Silicon Controlled Rectified Based on FPGA

SHAO Guo - jun

(Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: A novel digital phase - shifted thyristor trigger system is introduced in this paper, The digital trigger system with FPGA (Field Programmable Gate Array) and three - phase synchronous circuit is developed based on QUARTUS, the system has small volume and high stability and could be programmed, the system doesn't need phase sequence adjusting and is se self - adjustable, the experimental results show that the system is suitable for three phase fully - controlled rectification inversionand voltage regulation etc, where the double pulse string for triggering is needed.

Key words: Synchronous circuit; Digital phase shifted trigger; Phase self - adjusting

1 三相全控整流桥的触发原理

三相全控整流桥的触发电路主要功能是根据同步电路获得的同步过零信号以及给定触发角实现对可控硅的移相控制。

三相全控整流桥的触发顺序是:按照各元件换相规律顺序触发即可使整流桥可靠工作,按上述各整流元件的排列顺序,得出触发脉冲的顺序即各元件的标号:1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6(见图 1)。

改变触发角即可改变整流桥输出的电压或电流值。

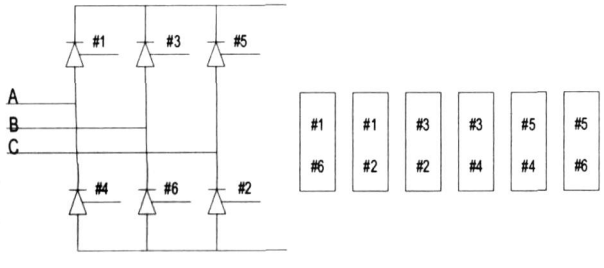

图 1 三相整流桥及晶闸管触发顺序

2 数字式触发电路组成

晶闸管构成的三相全控桥触发电路结构图如图 2所示。

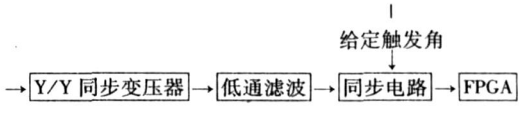

图 2 数字触发电路结构

触发电路的基本要求:①输出触发脉冲具有一定的宽度一般取工频 18度宽,我们设定 30度宽;②输出触发脉冲移相范围宽,以满足控制系统的要求;③输出脉冲波形对称性好,性能稳定可靠;④电路简单,抗干扰能力强。

下面采用 ALTERA公司生产的 cyclone系列 FPGA(EP1C6)作为脉冲生成电路,具有比模拟触发电路更简单更可靠,精确,快速,稳定,脉冲波形对称等优点,抗干扰能力也比模拟触发电路强。是一种比较好的整流控制装置。

系统采用的同步变压器是由三个湖北天瑞公司生产的 TR1102 - 1C型 PT组成的 Y/Y型三相变压

作者简介:邵国君(1978 -),男,江苏镇江人,硕士研究生,主研方向:电力电子与电力传动。
收稿日期: 2005 - 10 - 24

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

器,没有相位移。体积小,结构简单,稳定可靠。低通滤波器为 R - C滤波,移相角为 30度。

(1)同步电路

同步电路是实现数字化触发装置的基准,是实现精确触发的前提,这里我们采用能实时反映三相电源换相的同步过零电路,电路结构如图 3所示。

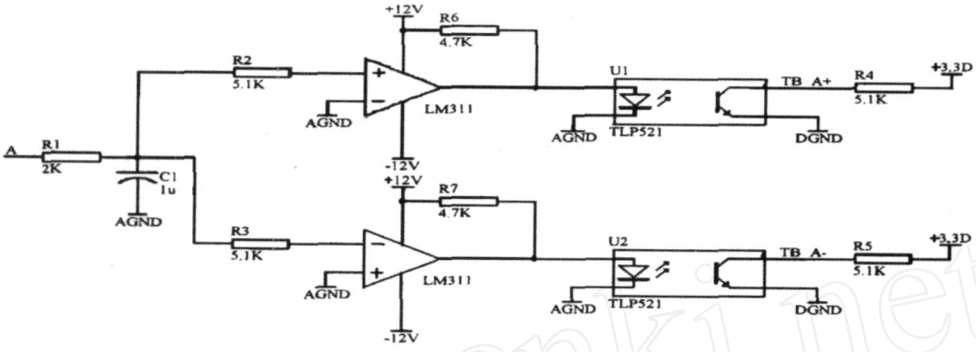

图 3 A相同步电路

由上述同步电路分别得到 A相电源的正反相过零信号,即 #1号晶闸管的同步信号 TB_A +以及 #4号晶闸管的同步信号 TB_A - ;同理,采用三个独立的上述同步电路就能得到反映 B相和 C相的过零信号 TB_B +, TB_B - 和 TB_C +, TB_C - 。得到的六路同步信号幅值接近于 3. 3V,可以直接输入 FPGA,为了正确反应各相的相位,每相过零信号还得经过一个非门。

(2)数字移相触发脉冲的形成

对于三相整流电路,要求顺序输出的六路触发脉冲间隔 60度,同步过零信号的上升沿作为 16位数字计数器的计数起始点,由 12M时钟信号分频得到的 3M时钟作为计数时钟。由图 4可知,本文所讲述的数字化触发装置主要由分频 (divide_freq),锁存器 (latch_modulate),脉冲形成单元 (trigger),脉冲输出 (final_out)等组成。

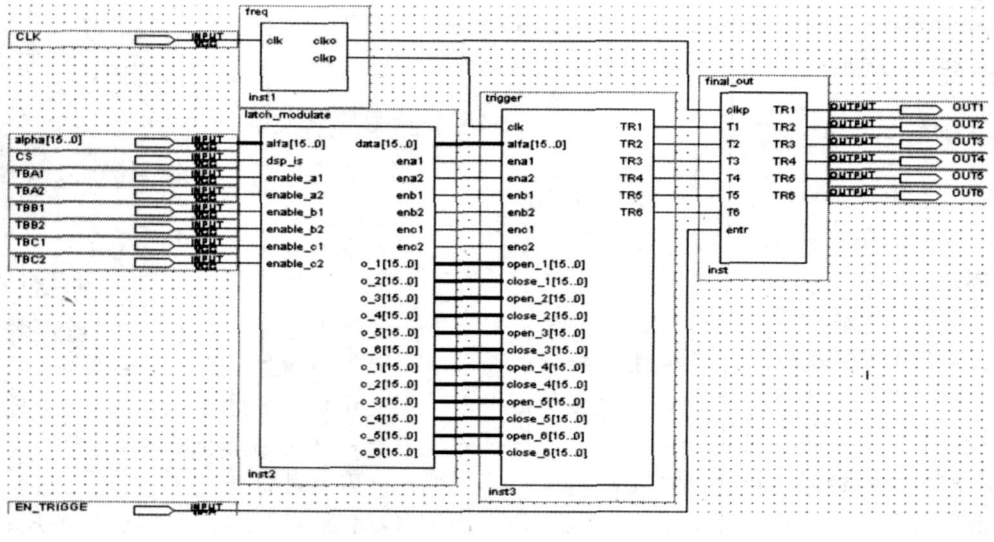

图 4 外部使能,分频,锁存,脉冲形成,输出单元原理图

Divide_freq模块将 12M时钟输入分频得到 clko (3M)和 clkp (5KHz), clko作为计数器的基准时钟, clkp作为脉冲调制的调制时钟,将触发脉冲调制成脉冲列,以减少晶闸管的功耗。

Latch_modulate模块用于锁存外部给定值生成触发起始值和截止值,并调制外部输入的同步信号。这里给定值是触发角 alfa,将过零输入信号作非运算,使得过零信号的相位关系与电源信号一致,而且更加陡。脉冲形成单元 trigger的工作原理为:以每路过零信号的上升沿作为计数起始点,采用 6个 16位计数器 counter_p1, counter_p2, counter_p3, counter_p4, counter_p5, counter_p6计数,当计数器计数值达到触发起始值 o_1 = alfa (o_2, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6)时,触发脉冲输出高电平,脉冲宽度为 30度,即触发终止值 c_1 = o_1 + x "1388 "(c_2, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6依此类推)。

Final_out模块的功能有四部分:将 trigger模块生成的宽脉冲变换成双窄脉冲,并调制成脉冲列,具体逻辑为:

TX1 < = (T1 OR T2) AND clkp;

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

```
TX2 < = (T2 OR T3) AND clkp;
TX3 < = (T3 OR T4) AND clkp;
TX4 < = (T4 OR T5) AND clkp;
TX5 < = (T5 OR T6) AND clkp;
TX6 < = (T6 OR T1) AND clkp;
```

此外是闭锁,根据三相整流桥工作原理,处于同一桥臂的两个晶闸管不能同时导通,即这两个晶闸管应闭锁,最后,每个晶闸管的触发脉冲必须由外部使能信号闭锁,具体逻辑为:

```
trigger1 < = TX1 AND (NOT TX4) and entr;
trigger2 < = TX2 AND (NOT TX5) and entr;
trigger3 < = TX3 AND (NOT TX6) and entr;
trigger4 < = TX4 AND (NOT TX1) and entr;
trigger5 < = TX5 AND (NOT TX2) and entr;
trigger6 < = TX6 AND (NOT TX3) and entr;
```

仿真波形:以 QUARTUS为开发平台,用 VHDL语言编写的程序,经过仿真后得出触发波形如图 5所示。

单相实验波形:

采用 ALTER公司 cyclone系列 EP1C6型 FPGA,与 EPCS1配置芯片构成 AS配置模式,得到图 6(a)、(b)、(c)所示的典型控制角的实验波形。

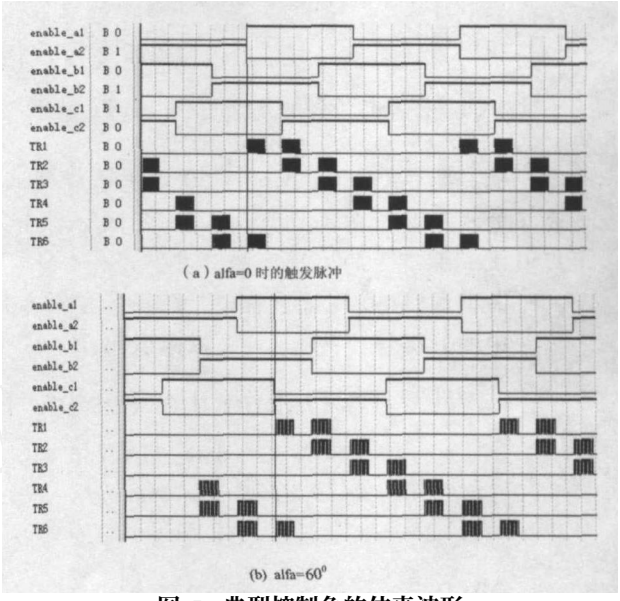

图 5　典型控制角的仿真波形

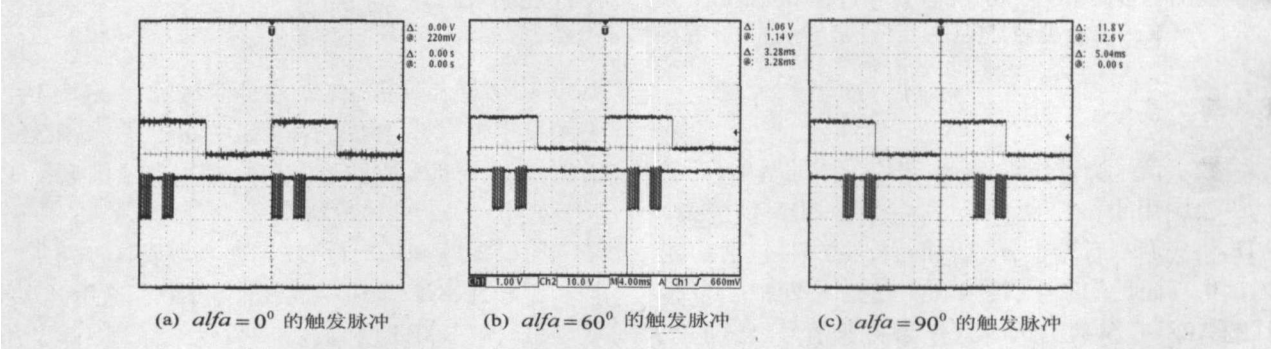

图 6　典型控制角的实验波形

实际应用:以 50Ω/1000W纯电阻做负载,得到图 7(a)、(b)、(c)的实验波形图。

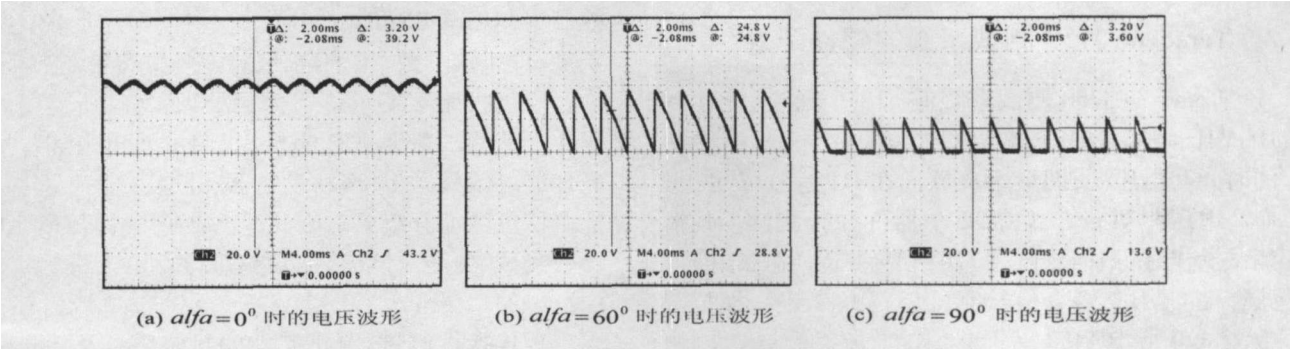

图 7　电阻负载的电压波形

3　结　论

根据仿真和实验结果可以看出,以三相同步电路为基准,FPGA为核心,设计出的晶闸管触发器,电路结构非常简单,运行可靠,可在线编程,相序自适应性好,抗干扰能力强,特别适用于以晶闸管为主功率元件的三相变流装置中,具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 陈云洽,保延翔. CPLD应用技术与数字系统设计[M]. 北京:电子工业出版社,2003.

[2] 候伯亨,顾新. VHDL硬件描述语言与数字逻辑电路设计[M]. 西安:西安电子科技大学,1997.

[3] 孙树朴,肖亮,王旭光,姜建国. 半导体变流技术[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,1994.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net