

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.10.021

基于TMS320F2812的船舶电网短路电流 自动录波软件设计与实现

阳世荣

(中国舰船研究设计中心,湖北 武汉 430064)

摘要: 针对船舶直流幅压电网短路故障电流上升率高、幅值大的特点,对一种结合电流上升率和电流幅值的短路故障判据算法进行了研究,提出了一种基于TMS320F2812 DSP处理器平台的短路电流自动录波软件设计方案,对录波软件的工程实现方法、工作流程和通信协议设计等作了重点说明,利用脉冲功率发生器测试电路对录波软件的效能进行了测试。研究表明,该录波软件能够实现短路故障电流自动检测及短路全过程电流波形自动记录且实时性强,能为船舶电网事故后分析提供重要的数据。

关键词: 短路电流;录波;直流幅压电网;软件;TMS320F2812

中图分类号: TM13; TP27 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)10-1328-05

Design and implementation of auto wave-recording software of short current in ship power grids based on TMS320F2812

YANG Shi-rong

(China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)

Abstract: Aiming at the high-rate and large-amplitude of the short current in DC voltage-variation grid of ship, a short-fault detection algorithm with rate of current rise and amplitude of short current were researched. A design scheme of wave-recording software which is used in wave-measurement and recording of short current in DC voltage-variation grid of ship was presented. And the software should run on TMS320F2812 DSP platform. The engineering implementation method and the workflow and communication protocol of the wave-recording software were highlighted. The performance of the wave-recording software was tested by using a pulsed power generator test circuit. The results indicate that the wave-recording software can realize the automatic detection of short fault current and record the whole process of current waveform. It can also provide important data for the accident analysis of ship power grid.

Key words: short current; wave-recording; DC voltage-variation grid; software; TMS320F2812

0 引 言

短路是船舶直流幅压电网中最常见的故障。如何快速检测短路故障并将短路故障切除,是船舶电网保护设计的主要任务,也是船舶电网安全性的重要保障。通过精确计算短路电流可以为船舶电力系统制定保护策略、选择电气保护元件、校核开关分断能力等提供必要的数据^[1]。因此,短路电流计算是电力系

统设计的重要内容之一^[2-3]。目前的船舶电网短路电流计算主要采用经验公式结合数学建模仿真验证的手段,由于计算得到的理论值以及数学仿真得到的数值结果与实际的短路电流情况并不完全一致,从而导致依据计算或仿真结果设计的保护设备(如断路器)短路整定值、最大分断电流值等可能偏大或者偏小,甚至可能导致电网的安全保护设计存在风险。因此,为提高电网短路保护设计的准确性,很有必要获取船舶电网的实际短路电流波形数据,与理论计算值

收稿日期: 2014-05-04

作者简介: 阳世荣(1980-),男,湖南衡阳人,工程师,主要从事电力系统自动化方面的研究. E-mail:oyangceee@163.com

及仿真得到短路电流波形进行对比,进而修正计算参数及数学仿真模型,最终改进电网安全保护设计可能存在的不足。另一方面,电网短路电流波形数据反映了短路故障的发生、发展全过程,是电网事故后分析的重要数据依据。所以,对船舶电网短路故障电流波形进行测量、记录,对于电网保护设计以及电网的短路故障事故分析有着重要意义。

相对于陆地交流高压大电网(电压等级为数十千伏至数百千伏),船舶直流幅压电网的电压等级较低(一般为数百伏),输电距离短,电缆线径粗,线路阻抗小,其短路电流上升速度快、电流幅值大,在数十微秒至数百微秒的极短时间内可超过上百千安,尤其在短路的初期,电流上升率最大,此时的短路电流波形类似脉冲的上升沿部分^[4-5]。并且,船舶直流幅压电网的短路故障是一种随机发生的且极其短暂的电磁暂态过程,只能通过自动检测短路故障,才能捕捉到启动短路电流录波的时机,进而自动记录、存储短路故障前及短路故障后一段时间内的电流变化参数,才能真实地还原完整的短路故障全过程。因此,尽快检测到短路故障是短路电流录波的前提条件。目前的直流短路故障检测大都采用电流幅值作为判据,由于船舶直流幅压电网短路电流上升率极快,采用电流幅值作为判据,则无法在短路的初始阶段即检测出故障,导致故障检测存在滞后。

为解决该问题,本研究介绍一种结合短路电流上升率的故障检测算法,并基于该算法阐述短路电流自动录波的软件设计方案,该方案能够自动、快速地在船舶直流幅压电网的短路初始阶段完成故障检测,并自动采样、记录短路故障全过程的电流波形数据,还能够实现波形数据的通信传输,从而为船舶直流幅压电网短路故障分析和电网安全性设计提供重要的数据依据。

1 故障检测及录波算法的基本原理

由于船舶直流幅压电网短路电流上升时间极短,且不存在过零点,研究者根据通常的基于电流幅值的短路检测原理难以在短路初期检测到短路故障。为解决该问题,该软件将电流上升率引入到短路故障判据中来。与电流的幅值相比,电流的上升率可以更快地反映出短路故障的发生^[6-8],因此,通过采用电流上升率作为检测参数能够提高短路故障的检测速度,在短路的初期即检测出故障^[9],并启动录波,从而为记录短路电流的发生发展过程提供了技术基础。另外,为了避免偶尔出现的小电流尖峰(小电流尖峰也可能有

很高的电流上升率,但幅值很小)导致短路故障的误判断,该短路故障检测算法仍然保留了电流幅值参与判断。因此,短路故障检测算法如下式所示:

$$K_i > K_{set} \text{ 且 } I > I_{set} \quad (1)$$

式中: K_i —电流上升率, K_{set} —电流上升率的短路故障限值, I —电流幅值, I_{set} —电流幅值的短路故障限值。

需要说明的是,由于电流上升率被采用作为短路故障判据,电流幅值只作为故障判断的从属判据,式(1)中的 I_{set} 一般约为实际短路电流幅值的1/5~1/4,从而确保在短路的初期,电流尚未上升到最大值时,即检测到短路故障。

由于船舶直流幅压电网短路故障的发生存在随机性,即使系统在短路初期检测到故障,同时启动电流录波,仍然会丢失一部分故障最开始阶段的电流波形数据,导致无法完整地记录短路故障全过程的电流波形。为解决该问题,短路电流的录波算法采用了“双存储区数据组合”技术。录波算法设置了两个数据存储区:其一为实时数据缓存区,容量较小;其二为录波数据存储区,容量较大。未发生短路时,系统采集的正常电流波形数据存入数据缓存区,采用“先进先出”的实时数据刷新处理技术,从而确保缓存区内始终能保留最近一段时间的电流波形数据;检测到短路故障后,则系统将其后的短路电流波形数据存储到录波数据存储区,开始电流波形数据快速记录,录波结束后,再将缓存区中保留的故障前及故障最初阶段的电流波形数据也存入录波数据存储区,从而组合成完整的短路全过程电流波形。录波算法的原理如图1所示。

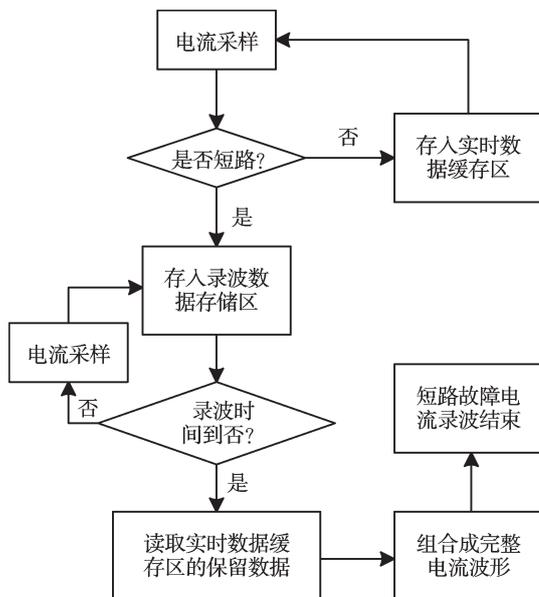


图1 短路电流录波算法原理框图

2 软件所需的硬件平台与开发环境

为确保故障检测及短路电流波形记录的实时性,本研究所软件的运行硬件平台采用基于 DSP 的嵌入式电路系统。DSP 芯片采用 TI 公司 32 位微处理器 TMS320F2812,其最高时钟频率可达 150 MHz,单指令周期仅为 6.67 ns^[10],内置 16 路 A/D 采样通道,数据存储的读写速率高达 6 ns/Byte^[11]。为完整地记录船舶直流幅压电网的短路电流特性,该软件的电流采样率为 200 kHz。TMS320F2812 的高速处理性能能够保证系统在采样的间隔时间内(5 μs)完成对当前采样数据的运算、存储,因此,该硬件平台能够实现高频率采样、短路故障自动检测及快速大容量的短路电流波形记录。另外,TMS320F2812 芯片的外部硬件接口资源丰富,具备 SCI、SPI、ECAN 等通信接口^[12-13],便于输出录波数据。

相应地,本研究所软件的开发环境采用 TI 公司出品的 DSP 集成开发环境 ccs3.3(Code Composer Studio)。ccs3.3 集成了代码编辑、编译、链接、软件仿真、硬件调试以及实时跟踪等多项功能,支持汇编语言、C 语言等,其操作系统平台为 Windows XP^[14]。为提高软件代码的可移植性,本研究所软件的编程语言采用 C 语言。

3 软件实现方案

3.1 短路故障判断算法的工程化处理

如前文所述,由于船舶直流幅压电网的短路故障电流上升速度快,为完整地记录短路电流波形特性并实现短路故障自动检测,电流采样频率为 200 kHz,故障判断计算必须在每两次采样间隔的 5 μs 内完成,除此以外,系统在采样间隔还需要完成数据存储、通信中断处理等任务。因此,故障检测算法的软件实现方式应尽可能精简。该软件采用 C 语言编写,如果采用普通的斜率计算方法来计算电流上升率,计算步骤较多,会较多地占用 DSP 处理器的运行时间,无法满足故障检测及判断的快速性要求。所以,该软件采用了一种比较简便的方法来计算电流上升率,避免了复杂的运算过程,缩短了运行时间,大大提高了软件在 DSP 中的运行效率。

首先,本研究对式(1)的短路故障判断算法公式进行工程化处理。设电流传感器的比值为 k ,传感器二次侧的采样电阻为 R ,电网电流为 I ,那么采样电压 $U = IR/k$ 。因此,电流上升率 K_i 可由下式计算:

$$K_i = dI/dt = d(kU/R)/dt = k \cdot \Delta U / (R \cdot \Delta t) \quad (2)$$

式中: Δt — 两次采样的间隔时间, ΔU — 当前采样值与前一次采样值之间的差值。

由式(2)可知,当取定 Δt 后,电流上升率与 ΔU 成正比。因此,当采样频率设定后, Δt 即为固定值,只需要求出相邻两次采样电压的差值 ΔU 就可以得到电流的实际变化率。当 ΔU 超过电流上升率限值 K_{set} 时,即可判断电流上升率越限。相应地,电流幅值 I 与采样电压 U 成正比,当 U 超过短路电流幅值限值 I_{set} 时,即可判断电流幅值越限。所以,式(1)的短路故障检测算法公式经过软件工程化处理,如下式所示:

$$\Delta U > K_{set} \text{ 且 } U > I_{set} \quad (3)$$

式中: ΔU — 当前采样值与前一次采样值之间的差值, K_{set} — 电流上升率限值, U — 当前采样值, I_{set} — 电流幅值限值。

经工程化处理后的短路故障判断算法原理框图如图 2 所示。

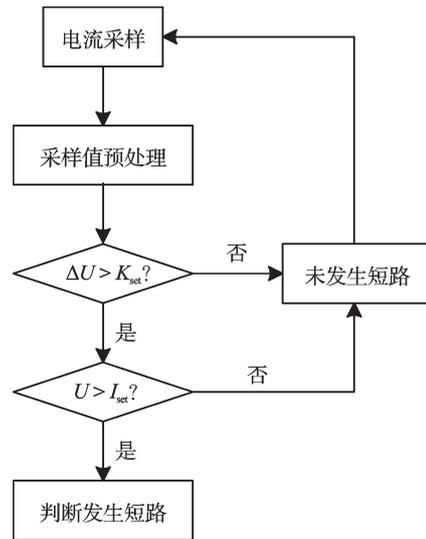


图2 工程化处理后的短路故障判断算法原理框图

3.2 软件工作流程

该软件的基本工作流程如下:

完成初始化后,系统首先进行 5 μs 定时 A/D 采样,实现 200 kHz 采样频率,将电流传感器的模拟采样信号转化为数字量,并进行数据预处理。然后启动故障检测算法程序模块,判断是否发生短路故障,如果没有短路,则按照“先进先出”的原则将采样数据存入实时数据缓存区;如果发生短路,则将之后的采样数据存入录波数据存储区,达到预定的录波时间后,再将实时数据缓存区内的数据转移到录波数据存储区,组合成完整的短路电流波形,同时启动声光报警程序提示完成一次录波。软件运行期间,系统采用通信中断的方式,接收外部的数据查询指令,发送记录的短

路波形数据。

该软件采用模块化编程思想,通过调用不同的子程序来实现不同的功能,软件的结构清晰,具有良好的可维护性和可扩展性。软件的主要子程序模块包括:

- (1) 初始化子程序;
- (2) 看门狗子程序;
- (3) A/D采样子程序;
- (4) 短路故障判断子程序;
- (5) 通信接收、发送子程序;
- (6) 声光报警子程序。

故障电流录波软件的基本工作流程如图3所示。

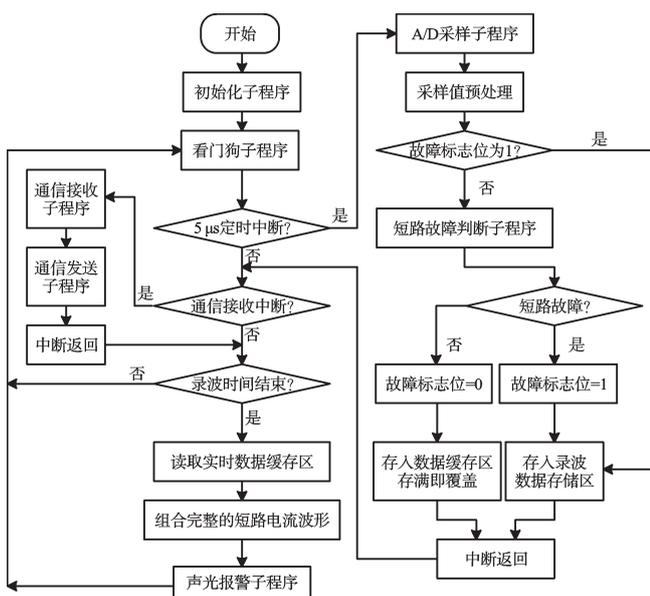


图3 故障电流录波软件基本流程图

图3中,55 μs定时中断的优先级高于通信接收中断,从而保证电流采样及故障判断的实时性。

A/D采样子程序的主要代码如下:

```

AdcRegs.ADCCTRL2.bit.SOC_SEQ1=1;
//启动AD转换
do{while(AdcRegs.ADC_ST_FLAG.bit.SEQ1_BSY= =1);
//AD转换等待标志
adtemp=AdcRegs.RESULT0;
//读取第一通道AD采样数值
adtemp=adtemp>>4;
//12位AD采样值处理
adtemp=adtemp&0x0fff;
//最高4位清零,并存储

```

短路故障判断子程序的主要代码如下:

```

if(faultflag = = 0)//faultflag 故障标志位
{data[k]=adtemp;//adtemp为当前采样值
if(adtemp>Ist)//幅值判据 U>Ist
{if((adtemp>adtemp1)&&((adtemp- adtemp1) >Kst))//电 流 上

```

```

升率判据 ΔU> Kset
{ faultflag=1;
}
}
adtemp1=data[k];
//adtemp1 为前一次采样值
k++;
}

```

如以上程序代码所示,工程化处理后的故障判据算法的程序实现非常精炼,从而确保了电流采样以及故障判断的实时性。

3.3 通信协议设计

该软件采用问答式的串行通信方式,能够接收外部的波形查询、状态查询指令,并按指令要求发送记录的短路电流波形数据。为保证通信的可靠性以及避免发生数据冲突,录波软件采用统一规定的通信协议,通信格式帧如图4所示。

字节1	包头字节7E
字节2	包头字节E7
字节3	包头字节7E
字节4	接收端地址
字节5	发送端地址
字节6	报文类型
字节	数据长度N
N	数据
字节N+8	XOR校验
字节N+9	SUM校验
字节N+10	包尾0D

图4 通信协议数据格式帧

图4中,3个包头字节为帧同步字节,发送与接收端地址字节则说明了报文的来源与去向,报文类型字节作为判断不同命令类型的依据,考虑到通信的实时性与通信软件设计的简便性,数据校验只采用异或和累加两种方式。

3.4 测试结果

本研究在现场用脉冲功率发生器和可调电阻器组成测试回路,对加载了该软件的录波硬件电路进行测试。当测试回路输出峰值5.35 kA,脉宽425 μs的脉冲电流时,该软件自动启动并采样记录数据,其通信接口输出的测量结果峰值5.13 kA,脉宽438 μs。两者基本吻合,达到了设计要求。

4 结束语

本研究介绍的短路电流录波软件采用电流上升率与电流幅值相结合的短路故障判据,并应用“双存储区数据组合”技术及程序代码工程化处理实现了高速电流采样、实时故障判断和短路电流全波形记录,特别适用于船舶直流幅压电网短路电流上升快、幅值大的应用场合。另一方面,该软件采用基于TMS320F2812微处理器的硬件平台,为典型的C语言编程的嵌入式应用软件,运行效率较高,可移植性较好;该软件采用模块化编程思想,通过子程序调用来实现软件功能,具备良好的可扩展性。因此,该软件在进行适应性修改后,还可应用于其他实时性要求较高的数据采样、测量及记录等应用场合。

参考文献(References):

- [1] 张志,彭晓涛,李晓宁,等.改进的多母线船舶电力系统短路电流计算方法[J].电网技术,2013,37(8):2212-2217.
- [2] 唐熊辉,戴超.船舶复杂结构供电网络短路电流计算[J].船海工程,2007,36(6):135-137.
- [3] 张萌,郑建华,王基.船舶艉轴部分式机械密封结构

- 分析[J].流体机械,2013(9):16-19.
- [4] 阳世荣.舰船直流幅压电网短路电流录波装置研究[J].舰船电子工程,2010,30(9):187-191.
- [5] 庄劲武,张晓锋,杨锋,等.船舶直流电网短路限流装置的设计与分析[J].中国电机工程学报,2005,25(20):26-30.
- [6] 赵敏.基于电流变化率的电网短路保护原理[J].电网技术,2008,32(4):105-108.
- [7] 史强,屈乐圣,江波,等.基于DSP的直流短路故障电流快速识别装置[J].低压电器,2013(17):27-30.
- [8] 王晓红,李群湛,陈小川.消除谐波对电流上升率保护影响的算法[J].继电器,2003,31(1):23-25.
- [9] 任志刚,董宏宪,罗锦华,等.基于Rogowski线圈的直流短路电流变化率测量[J].船电技术,2005(2):47-49.
- [10] 张玉广,陈建元,赵振彬.艇用电能质量分析仪中DSP芯片与AD的接口设计[J].舰船科学技术,2006,28(1):106-108.
- [11] 张卫东,王立娜,裴彦军.基于TMS320F2812进行同步数据采样的软件实现[J].舰船防化,2011(3):46-51.
- [12] 张俊深,施伟锋.基于DSP的船舶柴油发电机组转速控制系统[J].机电一体化,2013(7):70-73.
- [13] 罗凌.基于DSP控制的大功率开关电源抗干扰设计[J].兵工自动化,2013,32(12):36-38,41.
- [14] 尹勇.DSP集成开发环境CCS开发指南[M].北京:北京航空航天大学出版社,2003.

[编辑:李辉]

本文引用格式:

阳世荣.基于TMS320F2812的船舶电网短路电流自动录波软件设计与实现[J].机电工程,2014,31(10):1328-1332.

YANG Shi-rong. Design and implementation of auto wave-recording software of short current in ship power grids based on TMS320F2812[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(10): 1328-1332.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1319页)

参考文献(References):

- [1] 赵锦园,黄兴城,刘智力,等.自整角机转换模块位置信号的数字化实现[J].机电工程,2011,28(8):938-940.
- [2] 何献忠.位置随动系统软件控制的研究[J].仪表技术与传感器,2010(4):45-47.
- [3] 叶瑰昀.自动控制元件[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2002.
- [4] 李常伟,高连才,杨立睿.自整角机角位移信号采集方法研究[J].自动化仪表,2009,30(10):55-57.
- [5] 闫莎莎,朱世强,刘华山,等.基于CPLD的光电编码器测

- 量系统[J].机电工程,2009,26(1):77-79.
- [6] 季学武,何正义,张雪峰.磁旋转编码器在永磁同步电机位置测量中的应用[J].电气传动,2008,38(2):6-8.
- [7] 张健,吴忠,吴云涛.基于旋转变压器的伺服电机角位置及速度检测[J].微电机,2013,46(11):22-28.
- [8] 李思维,徐跃鉴,项国辉.自整角机/数字转换器原理及其在轴角测量中的应用[J].国外电子测量技术,2007,26(3):60-62.
- [9] 泮煜.采用MSP430Fe42的自整角机轴角信号测量系统[J].微特电机,2007,35(1):19-20,26.

[编辑:洪炜娜]