

# 基于 MCF52235 的新型低频减载装置的设计研究

唐利军<sup>1</sup>, 余楚中<sup>1</sup>, 张青<sup>1</sup>, 熊伟<sup>2</sup>

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400030; 2. 重庆新世纪电气有限公司, 重庆 400041)

**摘要:** 在传统低频减载保护装置中由于技术的局限性, 采用一段时间内的频率变化平均值表示实际的频率变化率, 导致保护动作的速动性能降低, 为杜绝上述现象, 设计了一种基于 MCF52235 的新型低频减载装置。该装置借助 MCF52235 具有输入捕捉能力的 DMA 定时器模块捕捉被测信号的跳变脉冲沿, 由内部计数寄存器和捕捉寄存器配合记录一个周波内标频脉冲个数 N, 再通过相应的软件算法计算出被测信号频率及其变化率, 消除了平均计算导致的偏差。测试结果表明, 该装置在系统频率降低时可及时准确动作, 并能有效地防止异常情况下所导致的低频减载误动作。

**关键词:** 低频减载; 频率变化率; MCF52235; 输入捕捉; 减载误动作

## Design and research on a novel UFLS device based on MCF52235

TANG Li-jun<sup>1</sup>, YU Chu-zhong<sup>1</sup>, ZHANG Qing<sup>1</sup>, XIONG Wei<sup>2</sup>

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Chongqing New Century Electrical Co., Ltd, Chongqing 400041, China)

**Abstract:** Limited by the techniques in the traditional protection device of under frequency load shedding(UFLS), the frequency change rate is always represents by an average value in a time segment. In order to put an end to the above phenomenon, the paper designs a sort of novel UFLS device based on MCF52235. By means of the module of DMA timer that owns input capture ability, the new device could capture the jump step pulse edge of the measured signal. Combined inner timer counter register with capture register, it could record the standard pulse number during a cycle. And by use of corresponding software algorithm, it could work out the measured signal's frequency and its change rate. Therefore the deviation resulted from average computing could be eliminated. The test result shows that the device can accurately act in time when the system frequency is reduced, and can effectively prevent wrong action of under frequency load shedding in abnormal cases.

**Key words:** under frequency load shedding; frequency change rate; MCF52235; input capture; wrong action of load shedding

中图分类号: TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)06-0107-04

## 0 引言

电能在生产、传输和分配的过程中遵循功率平衡原则, 电力系统频率反映了发电机组所发出有功功率与负荷所需有功功率之间的平衡情况。当系统因事故而出现严重有功功率缺额时, 其频率将会随之急剧下降, 其下降幅度和速度与功率缺额有关。当系统频率降低时, 将对系统运行不利, 甚至会造成系统崩溃<sup>[1]</sup>。

控制电力系统发、用电平衡的方案有两种, 即改变系统发电机出力 and 改变系统负荷量。就发电不足而言, 控制方式可分为低频调速控制 (Under Frequency Governor Control, UFGC) 和低频减载 (Under Frequency Load Shedding, UFLS)。其中低频

调速控制受系统旋转备用容量及其调用速度的限制<sup>[2]</sup>。由于电网经济运行要求, 系统旋转备用容量普遍偏低, 低频减载已成为严守的最后一道防线, 是防止系统崩溃的主要手段。

针对目前电力系统低频减载装置的硬件水平低, I/O 口线有限、精度低、运算速度慢; 软件闭锁条件尚不完善等问题, 本文提出采用 32 位微控制器 MCF52235 为核心研制新型的低频减载装置。该装置能充分利用 MCF52235 丰富的片内资源, 只需扩展很少的外围芯片就可实现丰富的人机交互以及通信功能, 可使用芯片自带的 12 位 AD 转换模块和输入捕捉功能, 简化数据采集硬件。在软件设计上, 提出了新的频率变化率测量算法, 可提高数据测量精度和适应性, 完善在异常情况下防止装置低频误

动的闭锁措施。

## 1 装置的工作原理

### 1.1 频率及其变化率的测量

新装置采用直接测频法测频，即硬件测频。借助 MCF52235 具有输入捕捉能力的 DMA 定时器模块捕捉被测信号的跳变脉冲沿，由内部计数寄存器 DTCNn 和捕捉寄存器 DTCRn 配合以记录一个周波内标频脉冲的个数  $N$ ，再通过相应的软件算法可得被测信号频率及其变化率。被测信号在接入 MCF52235 之前需要进行预处理，以将被测信号整形为可以被 MCF52235 有效捕捉的方波信号，其测频模块框图如图 1 所示。



图 1 测频模块框图

Fig.1 Diagram of frequency measurement module

频率及其变化率测量算法按以下步骤进行：

#### 1) 频率测量算法

设由 MCF52235 内部总线时钟预分频所产生的标准信号的频率为  $f_s$ ，内部计数寄存器和捕捉寄存器记录的方波信号相邻两个上跳变沿内的标频脉冲个数分别为  $N_i, N_{i-1}, N_{i-2}, \dots, N_{i-k}$ 。则相应信号的频率为：

$$f_i = f_s / N_i, f_{i-1} = f_s / N_{i-1}, f_{i-2} = f_s / N_{i-2}, \dots, f_{i-k} = f_s / N_{i-k}$$

周期为：

$$T_i = N_i / f_s, T_{i-1} = N_{i-1} / f_s, T_{i-2} = N_{i-2} / f_s, \dots, T_{i-k} = N_{i-k} / f_s$$

#### 2) 频率变化率测量算法

第  $i$  次测得的频率  $f_i$  与第  $i-k$  次测得的频率  $f_{i-k}$  之间的频率变化  $\Delta f_k$  有：

$$\Delta f_k = f_i - f_{i-k} \quad (1)$$

与之相对应的时间间隔  $\Delta t_k$  为：

$$\Delta t_k = T_i + T_{i-1} + T_{i-2} + \dots + T_{i-(k-1)} = \sum_{j=0}^{k-1} T_{i-j} = \frac{1}{f_s} \sum_{j=0}^{k-1} N_{i-j} = \frac{1}{f_s} N_{\Sigma} \quad (2)$$

其中： $T_{i-j}$  是第  $i-j$  次测得的信号的周期， $N_{\Sigma}$  是  $\Delta t_k$  内所记录的标频脉冲个数。

对频率变化率（即滑差） $\Delta f_k / \Delta t_k$  有：

$$\begin{aligned} \frac{\Delta f_k}{\Delta t_k} &= \left( \frac{f_s}{N_i} - \frac{f_s}{N_{i-k}} \right) \cdot \frac{f_s}{N_{\Sigma}} = \\ &= f_s^2 \frac{N_{i-k} - N_i}{N_i \cdot N_{i-k} \cdot N_{\Sigma}} = \frac{N_{i-k} - N_i}{N_{\Sigma}} \cdot f_i \cdot f_{i-k} \end{aligned} \quad (3)$$

其中： $k=1, 2, 3, \dots$ ，此时有：

1) 当  $N_i = N_{i-k}$  时， $f_i = f_{i-k}$  从而  $\Delta f_k = 0$ ，以至于  $\Delta f_k / \Delta t_k = (f_i - f_{i-k}) / \Delta t_k = 0$ 。

2) 当  $N_i \neq N_{i-k}$  时， $f_i \neq f_{i-k}$  从而  $\Delta f_k \neq 0$ ，即使此时  $f_i \approx f_{i-k}$ ， $\Delta f_k / \Delta t_k$  也不等于 0。

与传统算法相比较：1) 传统算法<sup>[3]</sup>常利用第  $k$  次测得的频率值减去 5 周波前频率测量值，然后再除以间隔时间 0.1 s，用近似的时间间隔代替实际的间隔时间，显然这样得到的频率变化率是近似值而不是实际值。本算法通过对标准频率信号进行计数的方式能够精确计算时间间隔，提高了数据测量精度。该算法的误差来源主要是  $\pm 1$  的计数误差（由标准频率信号和门控信号不同步产生），但实际标准频率信号的频率很高，本装置设为 8 MHz，相对来说  $\pm 1$  计数误差的影响就很小。2) 新算法可根据实际情况灵活选取  $k$  值，可使频率变化率测量具有适应性。

### 1.2 低频减载判别及动作过程

新装置采用“基本段（低频段）+后备段（低频特殊段）”的减载方式，具体的动作过程如下：

#### 1) 缓慢变化判别

- $f \leq F_{qld}, t \geq T_{f_{qld}}$  低频启动
- $\downarrow f \leq FL1, t \geq T_{FL1}$  低频 1 段动作
- $\downarrow f \leq FL2, t \geq T_{FL2}$  低频 2 段动作
- $\downarrow f \leq FL3, t \geq T_{FL3}$  低频 3 段动作
- $\downarrow f \leq FL4, t \geq T_{FL4}$  低频 4 段动作

#### 2) 快速变化时加速甩掉负荷判别

- $f \leq F_{qld}, t \geq T_{f_{qld}}$  低频启动
- $\downarrow f \leq FL1, t \geq T_{FL1}$  低频 1 段动作
- 若  $f \leq FL1, DFL1 \leq -df/dt < DFL2, t \geq T_{DFL1}$  则在甩掉低频 1 段的同时加速甩掉低频 2 段的负荷。
- 若  $f \leq FL1, DFL2 \leq -df/dt < DFLs, t \geq T_{DFL2}$  则在甩掉低频 1 段的同时加速甩掉低频 2 段和低频 3 段的负荷。

#### 3) 低频特殊段动作逻辑

- $f \leq F_{qld}, t \geq T_{f_{qld}}$  低频启动
- $f \leq FL_e, t \geq T_{FL_e}$  低频特殊段动作

其中： $F_{qld}, T_{f_{qld}}$  分别为低频启动定值和延时定值； $FL_n, T_{FL_n}$  分别为低频第  $n$  段动作定值和延时定值，在此  $n=1, 2, 3, 4$ ； $FL_e, T_{FL_e}$  分别为低频特殊段启动定值和延时定值； $DFL1$  为加速甩掉低频 2 段的定值； $DFL2$  为加速甩掉低频 2 段和低频 3 段的定值； $DFLs$  为滑差闭锁定值； $T_{DFL1}$  和  $T_{DFL2}$  是加速甩掉负荷延时定值。

### 1.3 异常情况下防止误动作的闭锁措施

为防止负荷反馈、频率异常和电压回路接触不

良等异常情况下引起装置低频误动作,采取如下闭锁措施。

(1) 低电压闭锁。当电压  $U \leq U_{Ls}$  (低电压定值) 时,瞬时闭锁出口。当电压再恢复至启动电压值以上时,自动解除闭锁。

(2)  $df/dt$  闭锁(即滑差闭锁)。当  $(-df/dt) \geq DFLs$  时,瞬时闭锁低频出口,直到频率再次恢复至启动频率值以上时,才自动解除闭锁。

(3) 频率异常闭锁。当  $f < 45 \text{ Hz}$  或  $f > 55 \text{ Hz}$  时,则认为测量值异常,瞬时闭锁出口,直到频率再恢复至启动频率值以上时,才自动解除闭锁。

(4)  $df/dt > 0$  闭锁。利用该判据可防止低频过切负荷。只有如下三个条件同时满足时才甩掉负荷:

1)  $f \leq FLn$ ; 2)  $df/dt \leq 0$ ; 3)  $t \geq TFLn$ 。

(5)  $-df/dt \geq DF0$  判断:如 DF0 整定为 0,则与上述判据相一致;如 DF0 整定为一个很小的值,则可在地区电网孤立运行时防止由频率波动引起的误切机。(其中 DF0 为  $df/dt$  变化不灵敏区设定值)

## 2 新型装置硬件平台设计

### 2.1 MCF52235 简介

MCF52235 是一款基于 ColdFire V2 内核的 32 位精简指令集微控制器,在内部锁相环的作用下,其总线频率可高达 60 MHz,具有增强型乘法累加单元的 ColdFire V2 内核处理能力可达到 56 Dhrystone 2.1 MIPS。该芯片内资源丰富、性价比高<sup>[4]</sup>。

### 2.2 低频减载装置的硬件结构

新型低频减载装置的嵌入式硬件平台如图 2 所示,其功能模块有:CPU 主模块、开关量输入输出模块、模拟量输入模块、人机交互模块、通信模块和存储器模块等。

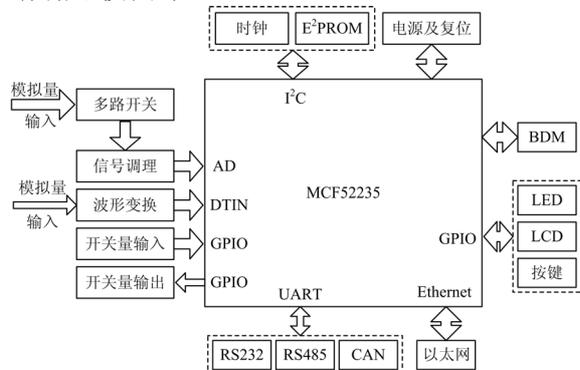


图 2 低频减载装置硬件结构图

Fig.2 Hardware structure for UFLS

#### 2.2.1 CPU 主模块

主模块是该装置的核心,每个模块均在其控制下完成相应的工作,包括数据采集、运行算法、低频减载判断、低频减载动作、与其他设备通信和人机交互等等。

#### 2.2.2 模拟量输入模块

该模块负责电压信号和频率信号采集。电压信号采集采用直接对输入电压信号进行 24 点等间隔瞬时值采样,通过 MCF52235 自带的 12 位 ADC 进行 AD 转换。借助多路开关 MAX333A 可以同时输入 16 路模拟信号。

频率信号采集采用硬件测频法,通过处理器捕获单元捕获方波信号的跳变,借助软件测量频率及其变化率。

#### 2.2.3 开关量输入输出模块

开关量输入信号由开关量辅助接点取得,经光电隔离和电平转换后再送入 GPIO 端口。开关量输出信号通过 GPIO 模块输出,再经过锁存、光电隔离、驱动后控制相应的继电器,可允许 24 路开关量输入和 18 路开关量输出。

#### 2.2.4 存储器模块

考虑到装置在运行过程中有许多动作参数以及设定值需要存放和修改,在处理器片内自带 32KB SRAM 和 256KB Flash 的基础上,使用 I<sup>2</sup>C 总线扩展一块串行 E<sup>2</sup>PROM,以存放动作参数等信息。

#### 2.2.5 人机交互模块

人机交互模块由液晶显示、按键以及 LED 指示灯组成。通过三者的相互配合,操作人员可以进行各种参数或运行方式的查看和修改。

#### 2.2.6 通信模块

充分利用 MCF52235 内部集成的通用异步收发器/控制器、FLexCAN 控制器以及集成的以太网控制器和以太网物理层,使装置具有与以太网、RS232、RS485 和 CAN 的通信功能。

## 3 装置的软件设计

采用模块化方法设计,软件系统由主程序模块、中断服务子程序模块和各功能子程序模块构成。

1) 主程序。主程序模块是一个无限循环的程序,由若干个程序模块组成,各个模块功能相互独立,有利于程序编写和功能扩充。主程序完成各个模块的初始化、数据处理和显示、键盘扫描和处理、电气测量等功能。

2) 中断服务程序。中断服务程序包括采样中断、低频减载功能中断、通信中断等。采样中断负责模拟量和开关量的采集;低频减载中断负责对装置运行状态判别、处理和出口;通信中断完成装置与上

位机通信、实现设定值上传和下载以及事件记录上传等。

为了保证实时采样和动作及时性，各个中断的中断优先级按如下方式设置：采样中断高于低频减载中断，低频减载中断高于通信中断。

3) 功能子程序。功能子程序模块包括电气测量模块、液晶显示模块和键盘处理模块等。

### 4 实验结果

本装置经昂立 A430 计算机自动化(继电保护)测试调试系统测试，实验数据如表 1 和表 2 所示。

表 1 频率实验测试数据

Tab.1 Testing data for frequency

频率定值/Hz	45	45.5	46.5	47	47.5	48	49.5	50	50.5	55
实测值/Hz	45	45.51	46.52	47.01	47.49	48	49.5	50.01	50.52	54.98

表 2 滑差实验测试数据

Tab.2 Testing data for frequency change rate

滑差定值(Hz/s)	0.1	0.5	1	4	7	10	11	12	15	20
实测值(Hz/s)	0.1	0.49	1.02	3.98	7.01	10	11	11.99	15.02	20

从表 1 和表 2 可看出，频率测试误差不超过 0.02 Hz，滑差的测试误差不超过 0.02 Hz/s。

### 5 结论

借助微控制器 MCF52235 的 DMA 定时器单元所具有的输入捕捉功能，将外部信号经波形变换后可测量被测信号的频率及其变化率，在此基础上设计了一个新型的低频减载装置。该装置相对于传统的低频减载装置而言，其数据测量精度更高、低频减载动作更迅速准确，辅以完善的闭锁措施可有效

防止异常情况下装置误动作。

### 参考文献

[1] 杨冠城. 电力系统自动装置原理 (第四版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.  
 YANG Guan-cheng. Electric Power System Automechanism Theory(Fourth Edition)[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.

[2] 陈俊山, 洪兰秀, 郑志远. 电力系统低频减载研究及应用发展[J]. 继电器, 2005, 33(9): 67-69.  
 CHEN Jun-shan, HONG Lan-xiu, ZHENG Zhi-yuan. Investigation and Application of Under-frequency Loading Shedding[J]. Relay, 2005, 33 (9): 67-69.

[3] 刘发宽. 嵌入式电压频率控制装置的硬件研究和设计[D]. 长沙: 湖南大学, 2007.  
 LIU Fa-kuan. Hardware Research and Design of Embedded Control Device of the Electric Voltage & Frequency[D]. Changsha: Hunan University, 2007.

[4] Freescale Semiconductor. MCF52235 ColdFire® Integrated Microcontroller Reference Manual [EB/OL]. <http://www.freescale.com>.

收稿日期: 2009-04-29; 修回日期: 2009-08-06

#### 作者简介:

唐利军 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 电力系统装置及自动化; E-mail: tanglijun32510@126.com

余楚中 (1962-), 男, 副教授/博士, 主要从事电力系统保护与控制方面的研究工作;

张青 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 数字化变电站。

(上接第 106 页 continued from page 106)

入式系统硬件，可保证合并元的稳定性、实时性和可扩展性。同时，该合并单元遵循 IEC61850-9-2 标准，满足采样值网络化传输的要求。该合并单元先后在河南吴河叠彩变、河南郑州陈庄变及山西晋中范村变等数字化变电站成功运行，各项技术参数良好，装置运行稳定，取得了很好的效果。

### 参考文献

[1] IEC60044-7, Electrical Voltage Transformers[S].

[2] IEC60044-8, Electrical Current Transformers[S].

[3] 殷志良, 刘万顺, 秦应力, 等. 一种基于 FPGA 技术的电子互感器接口实现新方法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28 (14): 97-100, 103.  
 YIN Zhi-liang, LIU Wan-shun, QIN Ying-li, et al. A New

FPGA-based Method for Realizing the interface to Electronic Transducer[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28 (14) :97-100,103.

[4] IEC 61850-6 Configuration Description Language for Communication in Electrical Substations Related to IEDs[S].

收稿日期: 2009-04-23

#### 作者简介:

赵应兵 (1976-), 男, 工程师, 从事电力系统保护及自动化装置研发工作; E-mail: yingbingzh@xjgc.com

周水斌 (1975-), 男, 硕士, 工程师, 从事变电站自动化系统和控制网络与集成的研究;

马朝阳 (1983-), 男, 助理工程师, 从事电力系统保护及自动化装置研发工作。