

# 自励源电子式互感器的唤醒电流和唤醒时间

刘忠战<sup>1</sup>, 郑新才<sup>2</sup>, 恽 勋<sup>1</sup>, 杨小春<sup>3</sup>

(1. 西安华伟光电技术有限公司, 陕西 西安 710119; 2. 商丘市电力公司, 河南 商丘 476000;  
3. 西安高压电器研究院有限责任公司, 陕西 西安 710077)

**摘要:** 介绍了电子式电流互感器的“唤醒电流”和“唤醒时间”概念, 阐述了在实际应用中降低唤醒电流以及缩短唤醒时间的物理意义。在详细分析自励供电原理的基础上对如何降低唤醒电流、缩短唤醒时间提出了若干改进措施, 提供了相应的试验数据和实例, 并对应用效果作了介绍。结果表明: 自励源结构的电子式电流互感器, 性能稳定可靠, 试验样机准确反映了电路故障电流, 并使保护系统做出了正确的判断与动作, 表明该型互感器在短路大电流情况下工作的可靠性。

**关键词:** 自励源; 电子式电流互感器; 唤醒电流; 唤醒时间

中图分类号: TM52.93

文献标志码: B

文章编号: 1001-1609(2009)03-0078-03

## The Wake up Current and Wake up Time of Electronic Current Transformers with Self Excitation Power Supply

LIU Zhong-zhan<sup>1</sup>, ZHENG Xin-cai<sup>2</sup>, WU Xun<sup>1</sup>, YANG Xiao-chun<sup>3</sup>

(1. Xi'an Huawei Optic Electric Technology Co. Ltd., Xi'an 710118, China;

2. Shangqiu Electric Power Company, Henan 476000, China;

3. Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute Co. Ltd., Xi'an 710077, China)

**Abstract:** This paper introduces the concept of “wake up current” and “wake up time” and the physical meaning of reducing wake up current and wake up time in application of electric power net. By analyzing the principle of self excitation power supply, some improving methods for reducing wake up current and wake up time are provided, and the relevant experimental data and examples are offered. In addition, the effectiveness of the methods in application is also discussed.

**Key words:** self-excitation power supply; electronic current transformer; wake up current; wake up time

## 0 引言

新型电子式互感器经多年的理论探讨和研制实践, 已在 ECT(电子式电流互感器)结构方案上逐渐形成共识<sup>[1-3]</sup>, ECT 产品也相应地形成了一种“主流结构”, 有源电子式电流互感器成为被市场认可的主流产品, ECT 高压侧“源”的实现方法由外部激光送能演变为以自励电源为主、以激光外补为辅的电源模式。

随着特种高磁导材料的出现以及母线磁场取能方案的不断完善, 自励源的研制水平有了长足的进步, 在电网应用中, 已出现了以纯自励源供电的 ECT 产品<sup>[2]</sup>。自励电源, 实质上是由母线电流磁场激励获取能量的一种自供电方式, 因不受外部运行条

件的约束, 所以可靠性高于外送方式。这种自供电方式, 能量取自测量对象, 用于测量对象, 所以被称为自励源<sup>[2]</sup>。

依赖自励源工作的 ECT, 需要突破的最大技术难点在于减小启动电流和启动时间, 即笔者将要展开讨论的唤醒电流和唤醒时间。

## 1 ECT 的唤醒

文[4, 5]针对 ECT 定义了唤醒电流和唤醒时间概念, 这也是电子式互感器有别于传统电磁式互感器的新概念之一。

### 1.1 唤醒电流

依标准定义, 唤醒电流是指唤醒电子式电流互感器所需的最小一次电流的方均根值, 对于自励源

收稿日期: 2009-01-20; 修回日期: 2009-04-11

作者简介: 刘忠战(1947), 男, 总工程师, 高级工程师, 长期从事光电测控技术教学与研究, 近年, 专业从事光电互感器产品研发。

供电方式,唤醒电流的大小,一方面取决于由母线磁场获取能量的效率,另一方面也取决于变电电路本身的功耗,增强取能或降低功耗都能有效地减小唤醒电流。一次电流小于唤醒值时,ECT无输出,形成所谓测量死区,尽可能降低唤醒电流,减小测量死区,是自励源技术追求的目标之一。

## 1.2 唤醒时间

依标准定义,唤醒时间是指在一次电流接通后(互感器启动)迟延的时间。依靠自励源供电,唤醒时间包含两个时段:即自励取能、稳压输出时段;电路加电启动至送出数据时段。实际应用要求尽可能短的唤醒时间,这是自励源技术追求的另一目标。

## 2 自励源的唤醒电流

载流母线环周存在交变电磁场,磁场储存并可向外输出能量,式(1)表述了磁能与电流及外场条件的关系<sup>[6]</sup>

$$W_m = \frac{1}{2} BHV = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1)$$

式(1)中, $W_m$ 为磁场储能; $B$ 为磁感应强度; $H$ 为磁场强度; $V$ 为包容的内场体积; $L$ 为电感量; $I$ 为电流。

参照图1的磁场取能装置,式(1)表明,由母线环周磁场可获取的磁能 $W_m$ 取决于电流母线 $I$ 及线圈电感 $L$ 的大小,同时也表明,在确保 $W_m$ 不变的前提下,减小唤醒电流 $I$ ,意味着必须增大电感 $L$ 。

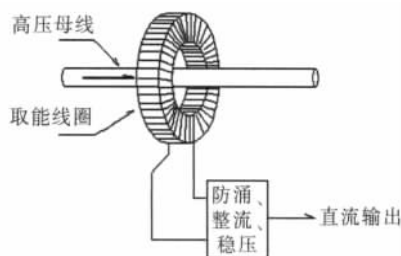


图1 磁场取能的自励源结构示意图

在图1所示的自励源基本结构中,套在母线外的线圈是截取能量的主要部件,为了增大线圈电感,线圈内骨架采用高磁导铁基微晶带绕环,线圈的电感量 $L$ 与线圈结构参数的关系由式(2)表明<sup>[6]</sup>。

$$L = [(\mu \cdot N^2 \cdot h) / (2\pi)] \ln(R_2/R_1) \quad (2)$$

式(2)中, $L$ 为电感量; $\mu$ 为磁导率; $N$ 为母线匝数; $h$ 为芯环厚度; $R_1$ 为芯环内半径; $R_2$ 为芯环外半径。

由式(2)可见,增大 $L$ 值可以有多个选项,调整结构尺寸 $R_2/R_1$ 及 $h$ ,原则上总会得到期望的功率输出以及唤醒电流值,为了不使结构尺寸过大,应力求采用高值软磁材料。现代铁基微晶带材的初始磁导率已达到80000(Gs/Oe),而最大磁导率已达到600000(Gs/Oe),分别是普通硅钢带材的80倍和30倍,较

大的初始磁导率,对于提高小电流下的取能效果尤为重要,因为小电流在磁环内建立磁场,主要取决于初始磁导率,而最大磁导率反而需要加以限制,这是因为大于唤醒电流以后,更多的磁能转换是无用且有害的,它将引起后续电路的过压、过流及温升,有关此议题的讨论参见文[2]。图1中,线圈输出端还接有防涌流、防过压以及整流、稳压、储能管理等功能电路模块,以构成完整的自励电源装置。

图2是取能线圈取能效果与母线电流关系的一组实验曲线,其采用的铁基微晶带绕环结构: $R_1=25\text{ mm}$ ; $R_2=50\text{ mm}$ ;母线匝数 $N_1=1$ ;线圈匝数 $N_2=75$ 。取能效果是通过测取线圈负载上的电流和电压得出。其中曲线I采用的芯环厚度 $h=30\text{ mm}$ ,曲线II采用 $h=45\text{ mm}$ ,从图2可以看出:①通过改变环的结构尺寸(厚度),可以获得期望的取能效果,假定变电电路最小功耗为20 mW,则采用曲线I代表的结构,其唤醒电流为0.5 A,而采用II结构,则唤醒电流仅为0.4 A;②假定变电电路最小功耗为40 mW,即使采用了II结构,唤醒电流也增至0.6 A,这反映了降低电路功耗对减小唤醒电流的作用;③在母线电流大于1.2 A后,取能曲线上升趋势逐渐减缓,最终趋于饱和,这是我们期望的效果,通过合理选用磁材料的饱和磁通量,可以控制取能上限。国内研制的自励源ECT,已可在0.2~1.0 A范围选择标称唤醒电流值,以满足不同的使用要求。

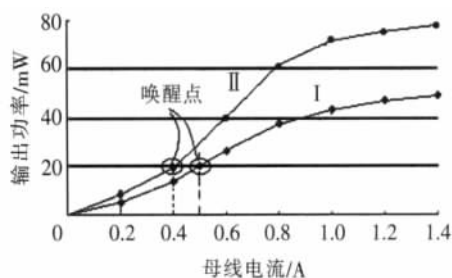


图2 微晶线圈取能曲线

减小唤醒电流的另一个重要途径是减小电路功耗,选用MOS类低功耗器件,可以有效地减小功耗,另外采用间歇式工作(按照数据采集周期)等措施,可使变电电路实际功耗降至15~20 mW。实际应用中,长线路往往在空载状态也有1 A左右的(容性或感性)电流,所以在大多数情况下,ECT即使在空载线路上也能正常启动工作,向外发送测量信号。

某些应用,诸如中性接地、补偿电容等线路,常态电流往往仅有数安,所以需要更小的唤醒电流,由于其额定电流小,往往采用较小的一次连线,所以可考虑多匝母线结构,多匝结构可以成倍地减小唤醒电流,合理使用以上措施,唤醒电流降至几十毫安也

是可行的。

### 3 自励源的唤醒时间

如果把唤醒过程看作是外部信号对变送电路的一种激励,则这个外部信号可以是一次电流本身,也可以是一次电流以外的其它信号,现在分4种情形来讨论。

#### 3.1 一次电流的能量唤醒

一次合闸带电后,自励源由一次电流获取能量达到一定值,进而对变送电路加电使其启动工作,这一过程可视为能量唤醒,见图3。其唤醒时间约在5 ms以上,50 Hz正弦交流电经整流、滤波、稳压后向电路供电,至少需要1/2周期(10 ms),所以仅适用于一般稳态计量或保护。能量唤醒方式所耗费的时间主要取决于取能的速度,取能电路设计得当,则额定电流下的唤醒时间,可控制在20 ms以内。

#### 3.2 一次电流的信号唤醒

信号唤醒是指一次电流仅作为触发信号启动变送电路进入工作状态,由于没有取能的过程,唤醒时间缩短到2 ms以内(参见图3),这一方法的前提是自励源必须附有储能元件。在ECT唤醒并正常工作后,自励源可将富余的电能充入储能元件,以备下一次启动。唤醒时间小于2 ms,已经可以满足电网计量、保护的需要。

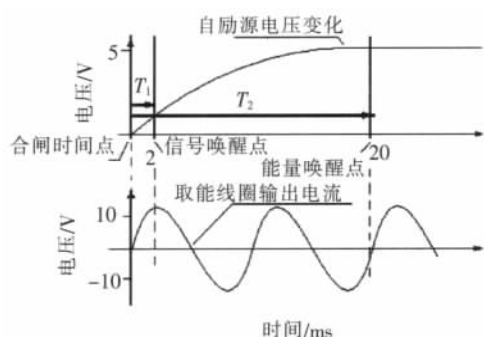


图3 电流的能量唤醒和信号唤醒示意图

图3示意了能量和信号唤醒的不同过程,合闸后,取能线圈送出电流,自励源整流、稳压后的直流输出约在1.2个周期达到稳定,所以 $T_2$ 较长(20 ms)。信号唤醒仅将线圈输出波的起始沿作为触发信号,所以 $T_1$ 较短,仅为2 ms。

这一方式要求自励源必须有事先储存的电能,储能元件通常选用微型复充电池,并对其复充次数加以管理<sup>[5]</sup>。

在这里,人们普遍关注的问题是:储能电池能持续多久,复充能量又从何而来,据一组变送电路(芯片组)典型试验,处于掉电休眠态,功耗仅为3 V/5  $\mu$ A,使用3.6 V/720 mAh电池可维持待机态10年以上。自

励源正常送电后,可由自励源对电池进行复充。现代微型复充电池的使用寿命主要取决于复充次数,电源管理芯片控制复充次数可有效延长电池使用寿命。

#### 3.3 二次侧信号唤醒

二次信号唤醒机理与上述相同,不同的是信号来自二次侧的合并通信单元或继保装置,信号先于一次合闸前送出,实现提前唤醒。通常信号是由通信光纤中的同步信号实现的。在一次电流到达前,互感器已提前工作,所以是一种理想的唤醒方式。这一方式也要求必须事先储能。为了避免电池空耗能量,所以应避免过早或长时间向不企望投运的线路发送同步唤醒信号。

#### 3.4 重合闸期间的唤醒

线路重合闸操作一般在数秒内完成,在此期间,一次电流可能有数次间断,要求互感器连续传输信号,而不应出现唤醒过程,自励源互感器的随机储能(电容储能)可以维持互感器在断电后延时工作30 s以上,所以可以确保重合闸操作正确无误进行,不存在多次唤醒的问题。

## 4 结语

笔者研制的HW-LDTZGB-110W2型电子式电流互感器,采用了自励源及微型复充电池储能结构,唤醒电流为0.5 A,双套自励源并列使用时唤醒电流为0.35 A。电路同时保留了两种唤醒方式,即:一次电流信号唤醒和二次同步信号唤醒,两种唤醒方式中以较早收到的信号为有效,这样,可以自动适应不同的应用模式。其中一次电流信号唤醒时间为1.5~2.5 ms;一次断电,可延时工作200 s。

自2005年起,该型ECT先后在3个66 kV电站和一个110 kV电站挂装18台套,其唤醒电流均在0.6 A以下,唤醒时间在5 ms以内,进行了长达3年多的运行,结果表明:自励源结构的电子式电流互感器,性能稳定可靠,试验样机准确反映了电路故障电流,并使保护系统做出了正确的判断与动作,表明该型互感器在短路大电流情况下工作的可靠性。

## 参考文献:

- [1] 李红斌,张明明,刘延冰,等. 几种不同类型电子式电流互感器的研究与比较[J]. 高电压技术, 2004, 30(1): 4-6.
- [2] 刘忠战. 电子式电流互感器高压侧自励源供能方法研究[J]. 高压电器, 2006, 42(1): 55-57.
- [3] 王海明,郑绳植. 电子电流互感器高压侧电源方案研究[J]. 电力电子技术, 2004(7): 72-74.
- [4] IEC 60044-8-2002. Electronic Current Transformers[S].
- [5] GB/T 20840.8-2007. 电子式电流互感器[S].
- [6] 王 蕾,李国定,龚 克. 电磁场理论基础[M]. 北京:清华大学出版社, 2006.