



# 基于自供电技术继电保护装置的电源设计

范兴明, 任小明, 张鑫

(桂林电子科技大学电气工程及其自动化系, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 为克服电力设备在户外通过传统的取电方式取电不便以及供电不稳定的缺点, 设计一种改进的 CT 自供电继电保护装置。该装置通过特制 CT 直接从被保护的电网汲取电能, 去除对辅助电源的依赖性, 同时能够实现对线路电流的采样、计算和保护。针对在实际应用中存在的轻负荷或过负荷(或者短路故障)状态下电流不稳定的问题, 分别采取由微控制器控制远方跳闸输入电路、输入外部电能供电以及动态电能管理电路进行电流泄放的解决方案, 使用 Matlab 软件对传递函数公式以及自供电电源取电分别进行仿真分析与验证。结果表明能够实现稳定取电, 并验证公式的正确性, 达到预期效果。

**关键词:** 自供电; 感应取电; 电容分压; 继电保护

中图分类号: TM774

文献标志码: A

文章编号: 1674-5124(2018)09-0080-06

## Power supply design of relay protection device based on self-powered technology

FAN Xingming, REN Xiaoming, ZHANG Xin

(Dep. of Electrical Engineering & Automation, Guilin University of Electronic and Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** In order to overcome the inconvenience of power equipment taking electricity outdoors traditionally and the instability of power supply, a type of improved CT self-powered relay protection device was designed. The device, designed in this paper extracting power directly from the protected grid through a custom CT, removes the reliance on auxiliary power supply while enabling sampling, computation and protection of line currents. As for the current instability with light load and overload (or short circuit fault) during practical application, microcontroller was adopted to control the remote trip input circuit to input external power supply and dynamic power management circuit was adopted to discharge current, and Matlab software was also adopted to carry out simulation analysis and verification for transfer function formula and self-power supply. The results show that it can achieve a steady power take-up, verify the formula, and achieve the desired results.

**Keywords:** self-powered; induction power; capacitance divider; relay protection

收稿日期: 2017-12-08; 收到修改稿日期: 2018-02-06

基金项目: 国家自然科学基金(61741126, 51067002); 广西科技开发项目(桂科重 1348003-8); 广西制造系统与先进制造技术重点实验室主任课题(16-380-12-006Z)

作者简介: 范兴明(1978-), 男, 广西桂林市人, 教授, 博士, 主要研究领域为智能化电器和高电压新技术。

通信作者: 张鑫(1976-), 女, 广西桂林市人, 讲师, 硕士, 主要研究领域为智能化电器。

## 0 引言

近年来,随着智能电网技术的不断发展,数字化在线监测技术在电力设备中的应用日益普遍,而在线监测设备必须解决的一个难点是电源供电问题,因此,电源设计成为了关注的焦点<sup>[1]</sup>。

目前主流的自供电方式有传统 CT 取电、电容分压取电、激光取电、光伏电池取电、超声波取电以及微波辐射式取电等<sup>[2]</sup>。传统 CT 取电方式能量转换率高,易取电,但是取能不稳定;电容分压取电由于缺少电气隔离,存在一定的安全隐患<sup>[3]</sup>;激光取电输出精度高、供能稳定,但成本较高<sup>[4]</sup>;光伏电池是一种可再生能源,不产生温室气体,但易受外界环境的影响,不能实现持续供能;超声波取电较为安全可靠,但设备成本较高,并且超声波-电能的转换率较低;微波辐射式取电能够实现远距离无线输电,定向性好,但传输效率低,成本高。

本文所采用自供电技术主要基于电磁感应与电容分压原理,从 CT 二次侧汲取电能,经整流、分压、滤波与稳压处理后,向继电保护装置提供稳定的直流电源<sup>[5]</sup>。针对传统自供电方式取电不稳定以及一次侧电流范围小的问题,本装置具有以下特点:由所测电流计算出零序电流,根据零序电流的变化来判断电力线路是否发生了故障,并及时做出响应;微控制器根据自供电电源输入的信号实时监测线路的电流和电压,当线路能量过大时,控制电流泄放电路将多余的能量泄放,维持电能的稳定;当电流过小不足以驱动脱扣器跳闸时,由微控制器控制远方跳闸输入电路输入外部电能为设备提供能量<sup>[6]</sup>。

## 1 自供电继电保护装置电源设计原理

自供电电源通过特制电流互感器从一次母线感应电能,经桥式电路整流后,由分压电容分压,通过电压变换得到不同等级的电压。由于分压后输出的直流电含有较大的交流成分,达不到电路供电的要求,因此需要通过滤波电路将脉动的直流电转换为较为平滑的直流电<sup>[7]</sup>。其中,分压电容的作用是将电流转换为电压,并防止电压突变,吸收尖峰电压,为自供电继电保护装置供能,阻容分压电路通过对电阻的充放电,使输出的电压趋于平滑<sup>[8]</sup>。动态电能管理电路由微控制器控制,当电流过大时,由电流泄放电路进行能量泄放,维持供电端电压稳定;当一次电流过小达不到供能要求时,微控制器控制

远方跳闸输入电路输入外部能量为设备供能,提高装置的电流适用能力<sup>[6]</sup>。

电容分压取电原理如图 1 所示,其中,  $U_{C1}$  为  $C_1$  两端电压,  $U_{C2}$  表示  $C_2$  两端电压,  $U_{C1}$  为设备供能,  $U_{C2}$  主要供测量用。

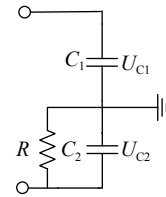


图 1 自供电继电保护装置结构示意图

根据电容分压与电容充放电原理,推导出  $U_{C1}$  与  $U_{C2}$  的分压传递函数为

$$U_{C1}(t) = \frac{0.9N_1}{N_2C_1} \int_0^t |i(t)| dt = \frac{0.9N_1}{N_2C_1} \times \int_0^t |\sqrt{2}I_M \sin(\omega t)| dt \quad (1)$$

$$U_{C2} = \frac{0.9I_M R N_1}{N_2 \sqrt{(1 + \omega^2 R^2 C_2^2)}} \quad (2)$$

其中,  $N_1$  与  $N_2$  分别为一次侧与二次侧线圈的匝数,  $I_M$  为一次侧的母线输入电流峰值,  $\omega$  为角频率,  $C_1$  为供电端电容,  $C_2$  为测量端电容。

## 2 自供电电源系统设计

### 2.1 系统总体控制电路设计

自供电继电保护装置结构示意图如图 2 所示,主要由电流互感器(CT)、断路器、自供电电源、远方跳闸输入电路、系统复位电路、信号调理电路、电流泄放电路、微控制器和跳闸脉冲输出电路组成。

本自供电继电保护装置设计思路:信号调理电路从自供电电源获取 U、V、W 三相电流信号,经变换调理输入到微控制器进行采样计算,根据系统的运行状态及时调整模拟程控电路的增益倍数,使电路具有良好的电流适应能力<sup>[8]</sup>。微控制器对 U、V、W 三相电流的有效值以及零序电流的有效值进行实时监测,并实时进行故障判别与处理,当故障发生时,控制跳闸脉冲输出电路输出跳闸脉冲,打开脱扣器;当能量过剩时,控制泄放电路泄放能量,并将故障数据保存在故障信息记录模块。当上位机通过通信电路与微控制器进行通信时,上位机可以读取故障记录信息与系统工作状态的相关信息<sup>[9]</sup>。当电力系统发生故障需要进行远方跳闸而 24 V 电源输出的能量不足以驱动脱扣器跳闸时,微控制器根

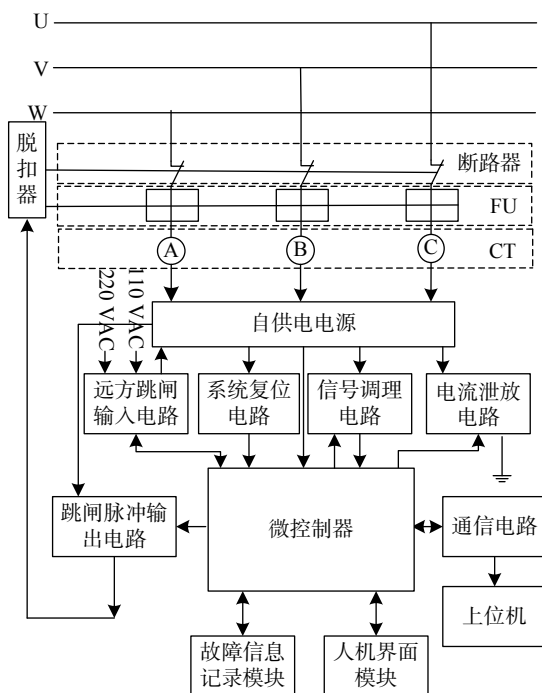


图2 自供电电源结构原理图

据需要控制远方跳闸输入电路输入交流电源。

由于母线电流是不规则变化的,要从电网中获取稳定的能量,自供电电源需要克服以下问题:

- 1)在轻负荷状态下如何获取足够的能量来驱动脱扣器跳闸。
- 2)在过负荷(或者短路故障)状态下,如何从CT二次侧获取稳定的电能。

为了解决上述问题,自供电电源直接从CT二次侧获取电能,图3给出了自供电电源结构原理图,可以看出其为电路提供不同等级的电源,保证系统的稳定供能。

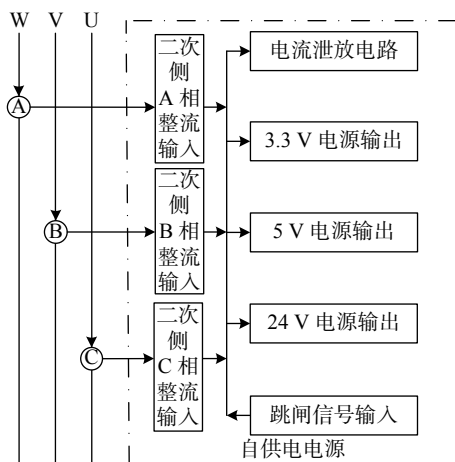


图3 动态电能管理电路结构示意图

CT二次侧电流经过整流后,连接24 V稳压电路、5 V稳压电路、3.3 V稳压电路以及电流泄放电路。其中,5 V稳压电路与3.3 V稳压电路是由24 V稳压电路经过电压转换得到的。24 V电源为跳闸脉冲输出电路提供能量,5 V电源为系统复位电路和信号调理电路提供能量,3.3 V电源为微控制器提供能量。电流泄放电路由微控制器进行控制,当储能电容电压超过设定阈值时泄放电流,从而使输出电压维持稳定。

根据电流互感器的工作特性,在CT感应取能过程中,一次侧相当于一个等幅变化的恒流源,二次侧在经过整流、滤波、稳压电路处理后,相当于一个恒压源,电能通过从恒流源向恒压源的转移,实现取能。

## 2.2 动态电能管理电路设计

为了使设备能够持续稳定地从CT二次侧获取能量,本设计采用动态电能管理技术。动态电能管理电路结构如图4所示,主要包括远方跳闸输入电路、电压比较电路、MOS管开关电路、电流泄放电路以及微控制器,微控制器通过实时监测电路中的能量来判断电路的能量是否过大。

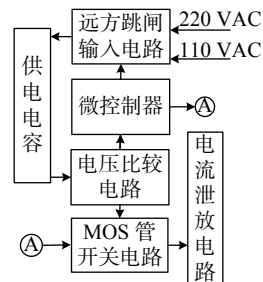


图4 系统工作流程图

正常情况下,MOS管开关电路处于关闭状态,当串接在配电网上的电流互感器一次侧电流突然增大时,二次侧电流也随之增大,此时供电电容电压大于电压比较器的设定参考电压,比较器输出高电平,微控制器控制MOS管开关电路导通,过剩的能量由电流泄放电路进行能量泄放,使输出电压维持稳定;当一次电流过小或者电力系统发生故障导致24 V电源输出的能量无法驱动远方脱扣器跳闸时,微控制器根据需要控制远方跳闸输入电路外部输入220 V或者110 V电压接入自供电电源,驱动脱扣器跳闸。

## 2.3 软件系统设计

软件系统由主程序、中断程序以及故障处理程

程序组成。主程序包括模块初始化、主循环程序<sup>[10]</sup>。中断程序包括 AD 采样中断、通信中断、定时器采样中断以及定时器延时中断程序等。故障处理程序根据微控制器计算结果来判别故障, 发出跳闸脉冲信号。

系统工作流程如图 5 所示, 可以看出系统上电后进入主程序, 首先完成系统初始化以及自检, 由于 RAM 的数据是随机的, 为了防止起动元件误动作, 置位启动标志, 中断延时 60 ms(3 个周期)进行数据采样, 然后进行突变量启动元件的计算<sup>[10]</sup>, 判断是否进行接地保护, 进入主循环程序, 由采集到的三相电流值计算三相电流有效值, 根据系统运行状态调整模拟程控放大电路的增益倍数, 最后进行 EEPROM 与 EXRAM 参数统一性校验程序。

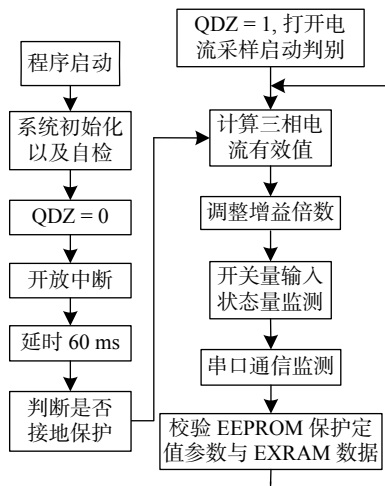


图 5 系统工作流程图

故障处理程序主要通过电流速断保护、限时电流速断保护、定时限/反时限过流速断保护与接地电流保护等功能进行故障判断与逻辑处理<sup>[11]</sup>。首先, 通过信号调理电路将电流信号进行变换调理后输入到微控制器, 由微控制器对输入的信号进行 AD 采样与数据处理, 计算 U、V、W 三相电流有效值与零序电流有效值的大小, 然后将测量计算值与整定值比较, 若大于整定值, 则跳闸脉冲输出电路输出跳闸脉冲, 打开脱扣器, 否则进入下一相保护故障处理程序<sup>[9]</sup>。继电器内部有一个回路, 当处理器或者储存失误时, 这个回路就作为后备保护。

### 3 系统仿真与实验研究

#### 3.1 参数设置

变压器设置: 变比  $N_1:N_2=1:192$ , 容量 0.1 VA; 充

电电容设置:  $C_1$  为 22  $\mu\text{F}$ ,  $C_2$  为 100  $\mu\text{F}$ ; 其他设置:  $R=4 \Omega$ ,  $\omega = 2\pi f$ 。

#### 3.2 传统 CT 取电的仿真及实验数据

传统 CT 取电方式不含动态电能管理电路, 根据 CT 取电原理, 使用 Matlab 软件的动态仿真工具 Simulink 以及 PSB 模块搭建了传统 CT 取电模型并进行了仿真。当一次侧输入不同的电流时,  $U_{C1}$  与  $U_{C2}$  对应的关系曲线分别如图 6 和图 7 所示。

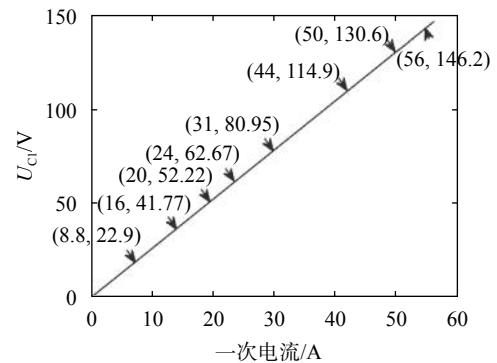


图 6 一次电流与  $U_{C1}$  关系曲线

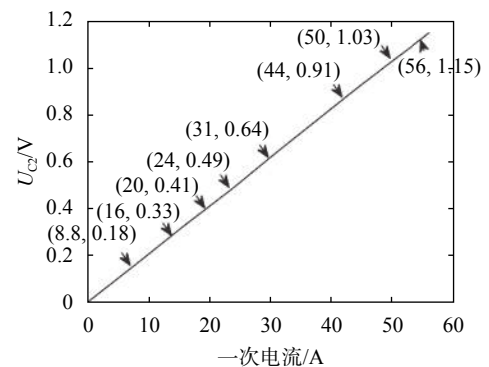


图 7 一次电流与  $U_{C2}$  关系曲线

由图 6 可以看出, 随着一次侧输入电流的增加,  $U_{C1}$  的电压也随之增加, 一次电流经过电能变换后为电容  $C_1$  不断进行充电, 实现了电流向电压的转换; 电容在  $t=0$  时刻没有电能, 所以没有电压。  $U_{C1}$  的仿真数据如表 1 所示。

根据表 1, 一次侧输入电流在 16~56 A 时, 供电端电容输出电压随着输入电流的增加而增大, 与图 6 趋势一致,  $U_{C1}$  的误差基本维持在 3.8%, 小于 5%, 较为稳定, 满足继电保护设备的需求。

由图 7 可得, 测量端电容  $C_2$  两端的电压与一次输入电流成线性关系, 随一次电流的增大而增大。  $U_{C2}$  的仿真数据如表 2 所示。

表1 一次电流与供电端电压仿真结果

输入电流/A	$U_{c1}$ (理论值)/V	$U_{c1}$ (实测值)/V	相对误差/%
8.84	24	22.90	4.6
16	43.43	41.77	3.8
20	54.27	52.22	3.8
24	65.13	62.67	3.8
31	84.14	80.95	3.8
44	119.4	114.9	3.8
50	135.7	130.6	3.8
56	152	146.2	3.8

表2 一次电流与测量端电压仿真结果

输入电流/A	$U_{c2}$ (理论值)/V	$U_{c2}$ (实测值)/V	相对误差/%
8.84	0.17	0.18	10.3
16	0.3	0.33	10
20	0.38	0.41	9.3
24	0.45	0.49	8.8
31	0.58	0.64	10.3
44	0.83	0.91	9.6
50	0.94	1.03	9.5
56	1.05	1.15	9.5

根据表2, 低压臂电容的输出电压与一次母线电流成正比,  $U_{c2}$  的误差在 8.8%~10.3% 之间, 较为稳定。

根据图6与图7可以看出, 供电端与测量端电压均随一次输入电流的增加而呈正相关关系, 实验结果和公式理论计算值与仿真结果基本一致, 验证了公式的正确性。

### 3.3 改进的 CT 取电仿真及实验数据

在传统 CT 取电模型的基础上加入动态电能管理电路后得到了改进后的 CT 取电模型, 重新对其进行仿真得到的  $U_{c1}$  与  $U_{c2}$  关系曲线分别如图8和图9所示。

比较图6与图8, 可以看出当一次输入电流达到一定值时, 供电端电压不再随一次电流增加, 而是维持稳定。其一次电流与供电端及测量端电压的仿真结果分别如表3所示。

从表3可以看出, 当一次输入电流 8.84 A 时,  $U_{c1}$  理论输出电压为 24 V, 实际输出为 23.08 V, 与期望电压 24 V 的误差为 3.8%; 当母线输入电流为

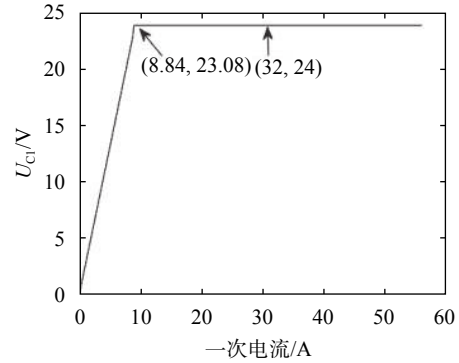
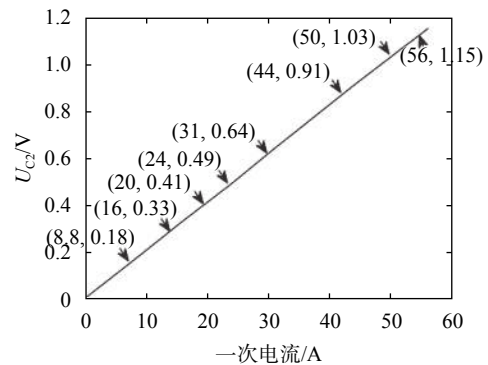
图8 改进的一次电流与  $U_{c1}$  关系曲线图9 改进的一次电流与  $U_{c2}$  关系曲线

表3 改进的 CT 取电方式一次电流与供电端电压仿真结果

输入电流/A	$U_{c1}$ (理论值)/V	$U_{c1}$ (实测值)/V	$U_{c1}$ (期望值)/V	误差/%
8.84	24	23.08	24	3.8
16	43.43	24	24	0
24	65.13	24	24	0
32	86.84	24	24	0
40	108.56	24	24	0
48	130.27	24	24	0
56	152	24	24	0

20 A 时, 根据公式 (1), 输出电压理论值为 54.27 V, 加入动态电能管理电路后, 当  $U_{c1}$  大于 24 V 时, 超过电压比较器设定参考阈值电压, 其输出高电平, 微控制器收到信号后控制 MOS 管导通, 电流泄放电路将过盛的能量泄放, 使  $U_{c1}$  输出电压稳定在 24 V, 以保证电路供能的稳定, 达到了稳压的效果<sup>[2]</sup>。

由图9和表4可以看出, 测量端电压与一次输入电流仍呈正相关。在加入动态电能管理电路后, 测量端的电压信号不受加入的动态电能管理电路的影响, 达到了设计目标。

表4 改进的CT取电方式一次电流与测量端电压仿真结果

输入电流/A	$U_{c2}$ (理论值)/V	$U_{c2}$ (实测值)/V	相对误差/%
8.8	0.17	0.18	10.3
16	0.3	0.33	10
20	0.38	0.41	9.3
24	0.45	0.49	8.8
31	0.58	0.64	10.3
44	0.83	0.91	9.6
50	0.94	1.03	9.5
56	1.05	1.15	9.5

### 3.4 自供电电源样机测试与分析

根据理论分析与仿真所设计的自供电电源样机进行测试,所得供电端电压与波形实验数据分别如表5所示。

表5 供电端电压样机测试与仿真结果

输入电流/A	$U_{c1}$ (实验值)/V	$U_{c1}$ (仿真值)/V	相对误差/%
0.7	2.0	1.9	5.26
1.4	4.0	3.8	5.26
2.1	5.9	5.7	3.51
2.8	8.0	7.6	5.26

输入不同的电流时,对应不同的供电端电压值如表5所示。由当输入电流为0.7 A时,仿真输出电压为1.9 V,实际电压为2 V;由以上实验数据可得,实验 $U_{c1}$ 电压随输入电流的增大而增加,与前面的理论分析和仿真结果基本一致,误差在6%之内,较为稳定。

测量端电压所测实验数据与波形分别如表6所示。可以看出,当一次侧输入电流增大时,测量端电压 $U_{c2}$ 也随之增大,由此可以得出一次输入电流与测量端电压呈正相关,验证了理论分析与仿真测试部分。

表6 测量端电压样机测试与仿真结果

输入电流/A	$U_{c2}$ (实验值)/mV	$U_{c2}$ (仿真值)/mV	相对误差/%
0.7	12	13	7.69
1.4	24	26	7.69
2.1	43	39	10.25
2.8	57	52	9.62

## 4 结束语

本自供电继电保护装置通过电流速断保护、定

时限/反时限过流速断保护与接地电流保护等功能实现对线路的保护,无需外加电源,通过专用CT直接从一次母线汲取电能,经过一系列电路处理后转换为装置所需的稳定能量,通过实验结果与公式的计算结果验证了公式的正确性,在小电流与大电流的情况下均能实现稳定供电,具有安全可靠、高度智能化、体积小等优点,解决了传统继电保护装置在户外等特殊场合取电困难的问题<sup>[20]</sup>。随着开关设备小型化、智能化的发展需要,由于无需外加操作电源,并具有微机继电保护装置精度高的优点,通过与断路器配套使用,在35 kV及以下无操作电源的变电站、架空线路柱上开关、紧凑型环网柜等不需要外加辅助电源等设备应用前景广阔。

### 参考文献

- [1] 岳灵平,张浩,姜文东,等.基于高效能感应取电技术的无源视频监测系统的研究及应用[J].*电网与清洁能源*,2015,31(2):87-90.
- [2] 杨雪霞,周华伟,周永金,等.微波无线输能技术研究进展与系统设计[J].*上海大学学报(自然科学版)*,2014,20(5):541-549.
- [3] LUO L F, ZHANG Y B, JIA L X, et al. A novel method based on self-power supply control for balancing capacitor static voltage in MMC[J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2018, 33(2): 1038-1049.
- [4] BANWELL T C, ESTES R C, REITHLA, et al. Powering the fiber loop optically: a cost analysis[J]. *Journal of Light wave Technology*, 1993, 11(3): 481-494.
- [5] EHSAN H, MEHDI V, MAJID S. Current-transformer saturation prevention using a controlled voltage-source compensator[J]. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2017, 32(2): 1039-1048.
- [6] 朱成喜,陈树勇,盛戈峰,等.基于导线监测装置取电研究[J].*电力电子技术*,2011,45(2):78-80.
- [7] 王红星,张国庆,蔡兴国,等.电容分压型电子式电压互感器研究与设计[J].*电力自动化设备*,2009,29(10):83-87.
- [8] 段雄英,邹积岩,张可畏.电压/电流组合型电子式互感器的研究[J].*电工技术杂志*,2002(5):9-16.
- [9] 莫小勇,张鑫,范兴明,等.自供电数字继电器:203261125[P].2013-10-30.
- [10] 徐志坚,刘映杰,王新,等.一种基于单片机的自供电过电流继电器的设计[J].*电力系统保护与控制*,2010,38(11):1117-120.
- [11] 黄新波,刘家兵,王向利,等.基于GPRS网络的输电线路绝缘子污秽在线遥测系统[J].*电气系统自动化*,2004,28(21):92-95.
- [12] 聂一雄,牛如明,陈逸鹏,等.一种新型高压侧在线监测工作电源的研究[J].*高压电器*,2014,50(1):47-55.

(编辑:徐柳)