

DOI: 10.7500/AEPS20131209013

基于五级电荷泵能量收集的电流互感器取能电源

赵强松^{1,2}, 陈宝林¹, 叶永强¹, 杨 峰¹, 吴 丹¹

(1. 南京航空航天大学自动化学院, 江苏省南京市 210016; 2. 中原工学院信息商务学院, 河南省郑州市 450007)

摘要: 针对现有电流互感器取能电源存在供电死区的现象, 提出了一种可适应较小电流电力母线的电流互感器取能电源供电方案。在分析电源取能原理的基础上, 建立了电流互感器取能电源的电路模型, 并推导了电源取得最大功率的条件。选择高饱和磁感应强度的硅钢材料作为铁芯, 设计了五级电荷泵电路、能量收集电路以及电源管理电路。基于所提出的方案研制了样机, 以无线测温模块作为负载, 对样机整体进行了测试。实验结果表明, 当电流在 1~1 000 A 范围内时, 电源工作于非饱和和低热耗状态。

关键词: 能量收集; 电力线; 供电电源; 监测设备; 电荷泵电路

0 引言

智能电网需要对高压线的温度、浮冰、垂度、舞动、电晕、断股, 以及高压配电柜内高压开关触点和电缆接头的温度^[1-4]等状态进行监测。目前, 由于受工作环境、设备成本、安全等因素的限制, 监测设备电源不能直接由低压侧提供, 电源供给仍然是制约电力传输线状态监控发展的重要因素之一。

常见的监测设备供电方式有蓄电池供电^[5]、激光供电^[6]、电流互感器供电^[7]、光伏发电供电^[8]、电容分压器供电^[1,9]、电流互感器与锂电池组合供电等^[10]。

蓄电池供电电路结构简单, 比较容易实现, 但由于受环境温度和自身非线性影响, 其寿命有限, 且维护费用较高, 在实际应用中较少。激光供电电源输出稳定, 纹波较小, 不易受外界其他因素的干扰, 但激光供电成本较高, 是阻碍其广泛应用的关键因素。光伏发电技术发展迅速, 但其输出功率易受环境光照、温度、太阳能极板面积等因素影响, 不适用于电力线监测设备供电。电容分压器供电利用电容提取高压母线周围存在的电场能量, 处理后用作电源。该方法不受母线电流影响, 输出相对稳定, 但需考虑过电压防护、电磁兼容等问题。温度和杂散电容对电源的稳定性和可靠性也会产生很大影响。

电流互感器供电的优点是电源结构简单、尺寸小、重量轻、绝缘性好、耐高压、成本低。由于高压母线电流变化范围大, 电流互感器供电面临两个问题:

母线电流较小时, 难以取得足够的能量, 存在供电死区; 母线电流较大时, 如何保护供电电路元件, 并且稳定输出能量。目前, 母线电流为 10~1 000 A 时, 可以有稳定的电压输出^[10-12]。为了减小电流互感器供电母线电流死区, 一部分研究者采用磁导率高的铁芯材料解决该问题, 如采用铁基纳米晶^[13]、坡莫合金^[14]、微晶材料^[15]。这些方法虽然使母线电流低至 9.6 A 时电源仍能正常工作, 但是这些磁芯材料极易饱和, 导致二次侧电压波形畸变、输出尖峰脉冲, 同时产生线圈发热、电路绝缘性差、短路等问题。另一部分研究者采用电流互感器和锂电池组合供电的方式^[10], 这种方式电路复杂、成本高, 且锂电池长期处于充放电状态导致锂电池寿命有限, 不适应在线监测设备的供能需求。

针对以上情况, 本文采用高饱和磁感应强度的硅钢材料作为铁芯, 基于能量收集的思想, 通过电路设计, 解决目前电流互感器取能不适应高压电缆小电流的问题。

1 电源取能原理

电流互感器磁动势平衡方程为:

$$n_1 i_1(t) = n_2 i_2(t) + n_1 i_m(t) \quad (1)$$

式中: n_1 为电流互感器一次侧匝数, $n_1 = 1$; n_2 为电流互感器二次侧匝数; $i_1(t)$ 为高压电缆母线电流; $i_2(t)$ 为二次侧感应线圈输出电流; $i_m(t)$ 为取能线圈励磁电流。

由磁动势平衡方程, 忽略原副边漏抗和铁芯磁阻, 带电荷泵整流电路的电流互感器整流电路见图 1。图中: u_0 为负载电压; I_s 为电流互感器等效到二次侧的电流源, 其大小为 $i_1(t)/n_2$; L_m 为电流

互感器励磁电感;由 D1 至 D5 和电容 C1 至 C5 构成电荷泵压电路,当母线电流较小时可以收集微弱的能量,为后级电路供电; R_L 为后级电路等效负载。C5 为储能电容,容量较大,则当母线电流较大时 $i_2(t)$ 连续。取电线圈输出电压 $u(t)$ 和磁化电流 $i_m(t)$ 的波形如图 2 所示^[16]。图中: T 为输出电压周期。

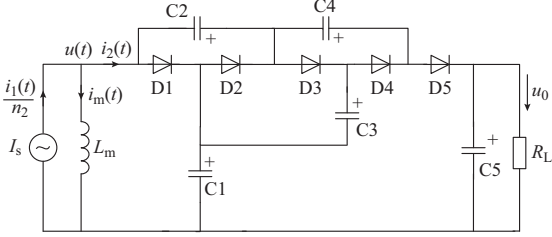


图 1 带电荷泵整流电路的电流互感器等效电路
Fig.1 Equivalent circuit of current transformer with charge pump rectifier

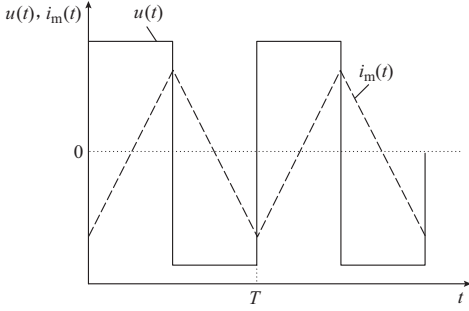


图 2 $u(t)$ 和 $i_m(t)$ 波形
Fig.2 Waveforms of $u(t)$ and $i_m(t)$

取电线圈的输出电压为:

$$u(t) = n_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

式中: Φ 为励磁电动势在取电线圈铁芯中产生的主磁通,且 $\Phi = B_c S$, B_c 为取电线圈铁芯内磁感应强度, S 为取电线圈铁芯截面积。

T 也是一次侧电流的周期,则对式(2)在半个周期内积分,得电压的幅值 u 为:

$$u = \frac{4n_2 SB_c}{T} \quad (3)$$

$u(t)$ 同时也满足:

$$u(t) = L_m \frac{di_m(t)}{dt} \quad (4)$$

由式(4)可得 $i_m(t)$ 在一个周期中的表达式为:

$$i_m(t) = \begin{cases} \frac{u}{L_m} \left[t - \left(kT + \frac{T}{4} \right) \right] & t \in \left(kT, kT + \frac{T}{2} \right) \\ -\frac{u}{L_m} \left[t - \left(kT + \frac{3T}{4} \right) \right] & t \in \left(kT, kT + \frac{3T}{2} \right) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $k=0,1,2,\dots$ 。

将式(3)代入式(5)可得:

$$i_m(t) = \begin{cases} \frac{4n_2 SB_c}{TL_m} \left[t - \left(kT + \frac{T}{4} \right) \right] & t \in \left(kT, kT + \frac{T}{2} \right) \\ -\frac{4n_2 SB_c}{TL_m} \left[t - \left(kT + \frac{3T}{4} \right) \right] & t \in \left(kT, kT + \frac{3T}{2} \right) \end{cases} \quad (6)$$

电流互感器一次侧母线电流即高压电缆母线电流可以表示为:

$$i_1(t) = I_p \cos(\omega t + \varphi) \quad (7)$$

式中: I_p 为电流的幅值; $\omega=2\pi f$,为角频率; φ 为电流的初相位。

由图 1 和图 2 可知,在 $t=0$ 时刻, $i_1(t)/n_2 = i_m(t)$, 即

$$\frac{I_p \cos(\omega t + \varphi)}{n_2} = i_m(t) \Big|_{t=0} = -\frac{n_2 SB_c}{L_m} \quad (8)$$

且 $\varphi = \arccos \frac{B_c n_2^2 S}{L_m I_p} - \pi$ 。在一个周期内,负载上的平均电流为:

$$\bar{i}_2 = \frac{1}{T} \int_0^T |i_2(t)| dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left| \frac{i_1(t)}{n_2} \right| dt = \frac{2}{\pi n_2} \sqrt{I_p^2 - \left(\frac{SB_c n_2^2}{L_m} \right)^2} \quad (9)$$

忽略电荷泵上的能量损耗,取能的平均功率为:

$$P_{av} = u \bar{i}_2 = \frac{2u}{\pi n_2} \sqrt{I_p^2 - \left(\frac{T n_2^2}{4 L_m} \right)^2} u^2 \quad (10)$$

则当满足 $u = 4L_m I_p / (\sqrt{2} T n_2)$ 或者 $R_L = 2\pi L_m / T$ 时,取电互感器输出的最大功率 P_{max} 为:

$$P_{max} = \frac{4L_m I_p^2}{\pi T n_2^2} \quad (11)$$

而励磁电感 L_m 为:

$$L_m = \frac{n_2^2 \mu S}{\pi d} \quad (12)$$

式中: μ 为铁芯材料的磁导率; d 为铁芯直径。

将式(12)代入式(11)得:

$$P_{max} = \frac{4I_p^2 \mu S}{\pi^2 T d} \quad (13)$$

由式(13)可知,取电线圈的最大输出功率与一次侧母线电流 $i_1(t)$ 、铁芯材料的磁导率 μ 、取电线圈铁芯截面积 S 和铁芯直径 d 有关,和副边线圈匝数 n_2 没有关系。为了使电流互感器取电电源能够在母线电流较小的情况下输出足够的功率,需要选用磁导率高的铁芯材料。但是,随着母线电流的增加,磁导率高的铁芯很快达到饱和,会给电路带来严重影响。因此,为了避免铁芯进入饱和状态,本文选

用高饱和磁导率的硅钢作为铁芯。在高压侧监测技术领域,监测系统往往不需要连续采样高压电力线状态,一般采用间隔周期工作模式。针对母线电流较小的情况,设计基于能量收集的电荷泵电路,可以使电源断续为负载供电。

2 电源电路设计

电源电路由取电线圈、电荷泵、储能模块、泄能通道、泄能控制器、多点电压采样模块、供电控制器、供电通道、稳压模块等组成,其原理框图如图 3 所示。

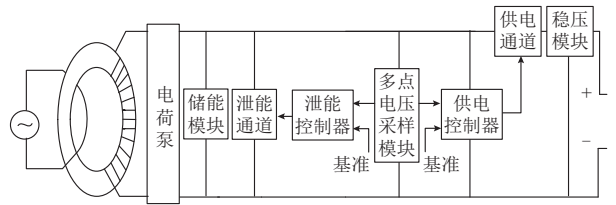


图 3 电流互感器电源电路原理框图
Fig.3 Principle block diagram of current transformer power supply

高压电缆作为取电线圈一次侧输入端,当高压电缆中电流较小时,根据电磁感应原理,取电线圈作为二次侧获取感应电能,感应输出电压、电流,流入电压泵模块中,经电压泵模块电能转移和倍压作用后,由储能模块收集和存储起来,当储能模块的储能增量大于负载工作一个周期所需能量时,电子开关闭合,向稳压器和负载供电,然后储能模块电压下降,当下降到不能供给负载稳定电压时,电子开关断开,储能模块重新存储电能,周而复始,为电力线监测设备间歇供电。当电力电缆中电流足够大时,储能模块快速充满电,直接为后级电路持续供电。

2.1 铁芯与线圈匝数的选取

由式(13)可知,电流互感器能够输出的最大功率与铁芯材料的磁导率 μ 有关系,即磁导率越大输出功率越大,但磁导率高的铁芯随着磁场强度的增大,容易达到饱和,磁感应强度将不随磁场强度的增大而增大,线圈的输出电压不再随电流线性变化,而出现畸变,这是应该避免的。铁基纳米晶和硅钢片的磁化曲线如图 4 所示^[13]。

由图 4 可知,硅钢片在弱磁场阶段(0 至 H')的初始磁导率较小,在强磁场阶段饱和和磁通密度很高,不容易饱和;而铁基纳米晶不仅初始磁导率高,易饱和,而且磁通密度也没有硅钢片高。因此,本文采用初始磁导率相对小的硅钢材料作为铁芯。

由式(3)可知,二次侧输出电压 u 与 n_2, S, B_c 有关。为了在母线电流较小情况下,二次侧感应出

足够的电压,可以加大铁芯截面积。又由式(13)可知,最大输出功率不仅与截面积有关还与铁芯直径有关,但是考虑到重量不能太大,因此选择尺寸为外径 80 mm、内径 60 mm、高 10 mm,截面为矩形的铁芯。二次侧匝数太少时感应电压太低,不足以驱动电荷泵工作。要保证电荷泵正常工作,二次侧输出电压只要大于一个二极管死区电压就可以。为了使电荷泵更好的工作,实际工作时选取二次侧输出电压为 2 V,铁芯截面积 S 为 $0.000\ 2\ m^2$,工作周期 T 为 0.02 s,铁芯在母线电流为 1 A 时的磁感应强度 B 为 0.03~0.04 T。由式(3)可知,二次侧线圈匝数为 1 250~1 666 匝,实际中取 1 500 匝。取能线圈绕线直径为 0.035 mm,理论允许最大电流为 1 A。

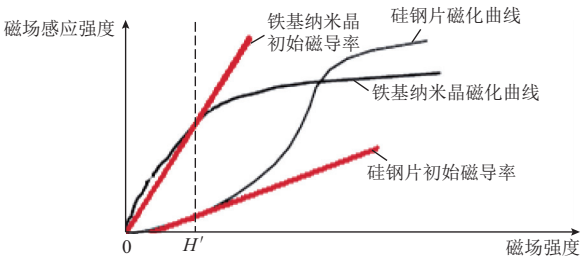


图 4 铁芯材料磁化曲线
Fig.4 Magnetization curves of iron core material

2.2 电荷泵电路

为解决目前电流互感器电源存在取能死区的问题,采用基于能量收集思想的电荷泵电路。电荷泵利用电容电荷累积效应获得高于输入源的电压,它一般由电容、半导体开关管及时钟源组合而成,通过控制开关管的导通和关闭,实现电荷的积累和转移。结合电流互感器取能线圈的输出特点,以减少电路的复杂度及不必要的损耗为出发点,采用二极管和电容设计电荷泵电路。

以设计的五级电荷泵为例,其电路模型如图 5 所示。

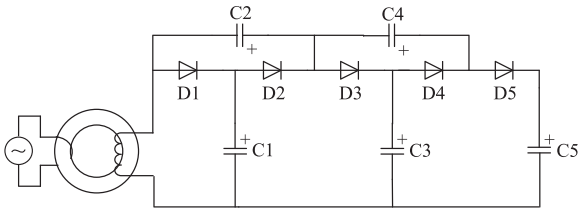


图 5 五级电荷泵电路示意图
Fig.5 Diagram of five-level charge pump circuit

设电流互感器电源二次侧输出交流电压有效值为 U 。二次侧输出经 D1 对 C1 充电;经 C1 和 D2 对 C2 充电;经 C2 和 D3 对 C3 充电;经 C3 和 D4 对 C4 和 C2 充电;经 C2, C4, D5 对 C5 充电, C5 的电压为

5U。至此,电流互感器电源将能量转移到了 C5,C5 为后级电路供电,实现了整流倍压的目标。

为了满足低功耗、大电流、导通压降小的要求,电荷泵电路中的二极管选用肖特基二极管。由电荷泵原理分析知,只要二次侧输出电压大于一个二极管死区电压,电荷泵就能正常工作。

2.3 储能模块

储能模块可以采用锂电池和容量较大的电容。锂电池寿命有限,也需要增加控制模块,使电路变得复杂。电容具有成本低、循环使用寿命长、免维护等优点,是应用比较广泛的一种小容量储能装置。设计的电源采用两个 $470\ \mu\text{F}$ 的电解电容并联储能,也可以采用具有更多优点的超级电容作为储能器件。

2.4 供电控制及泄能控制

此部分采用电压比较器作为控制器,设计滞环控制回路,设置基准电路及采样电路,采用全控元件金属氧化物半导体(MOS)管作为执行元件控制供电通道和泄能通道的开启及关断。

在两个采样点分别获取采样电压,一个用作供电控制信号,另一个用作泄能控制信号。供电控制信号与基准电压信号比较,当采样电压大于开通电压 $V_{\text{on}}=6.7\ \text{V}$ 时,控制器发出开通信号给执行元件 MOS 管,使电路为稳压器和负载供电,储能模块电压下降;当采样电压小于关断电压信号 $V_{\text{off}}=5.1\ \text{V}$ 时,控制器发出关断信号给执行元件,切断供电电路,储能模块重新存储电能,实现供电滞环控制。

泄能控制信号大于 $V_{\text{H}}=11\ \text{V}$ 时,开通泄能通道,将多余的能量泄放出去,小于 $V_{\text{L}}=8\ \text{V}$ 时,泄能通道关闭。由于高压电缆中电流变化很大,特别是发生短路时,会对电源带来很大的冲击,甚至损坏电源,为了避免这种情况发生,采用瞬态电压抑制二极管(TVS)并联在取能线圈输出端。

3 实验结果及分析

3.1 实验原理

为了验证本文提出的方案,研制了样机。样机额定输出电压为 $3.3\ \text{V}$,并以无线测温模块为负载做了实验。负载要求工作电压为 $3.3\ \text{V}$,工作电流约为 $20\ \text{mA}$,工作一次持续时间大概 $120\ \text{ms}$,休眠电流约为 $5\ \text{mA}$ 。实验平台由调压器、升流器、电力电缆、电源样机、负载等组成,实验原理如图 6 所示。

图中:T1 为调压器;T2 为升流器;A 为钳形电流表,实时测量电缆电流。调压器 T1 保持电压稳定,升流器将 $220\ \text{V}$ 交流转换为大电流,电流在 $0\sim 1\ 500\ \text{A}$ 内可调。T2 输出与电力线相连,取能线圈与之耦合,线圈输出接取能电源,取能电源输出与无

线测温模块连接。样机测试实验现场图见附录 A 图 A1。

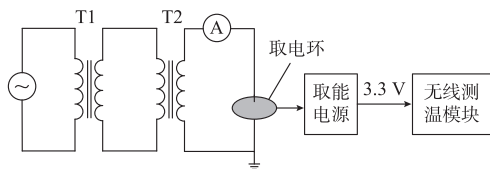


图 6 实验原理框图
Fig.6 Experiment principle diagram

3.2 取能电源输出特性及分析

当电力线电流为 $1\ \text{A}$ 时,电源工作波形如图 7 所示。

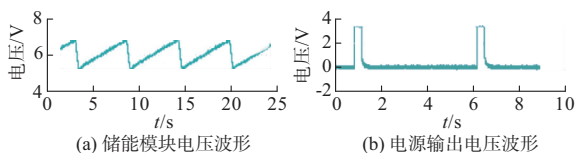


图 7 电力线电流为 $1\ \text{A}$ 时电源工作波形
Fig.7 Work waveforms of power supply when power line current is $1\ \text{A}$

由图 7(a)可知,电源在储能模块电压上升至 $6.72\ \text{V}$ 左右时开始供电,下降至 $5.12\ \text{V}$ 时关闭供电通道,充电周期为 $5.5\ \text{s}$ 。由图 7(b)可知,电源经稳压后输出电压波形为方波,且电压幅值为 $3.36\ \text{V}$ 。输出电压持续时间约为 $320\ \text{ms}$,两次方波输出间隔为 $5.32\ \text{s}$,而负载无线测温模块每次工作所需电压为 $3.3\ \text{V}$,工作一次持续时间为 $120\ \text{ms}$,满足负载需求。

当电力线电流增大至 $40\ \text{A}$ 或 $43\ \text{A}$ 时,电源工作波形如图 8 所示。

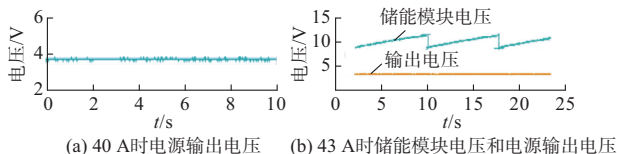


图 8 电力线电流为 $40\ \text{A}$ 和 $43\ \text{A}$ 时电源工作波形
Fig.8 Work waveforms of power supply when power line current is $40\ \text{A}$ and $43\ \text{A}$

由图 8(a)可知,当一次侧电力线电流为 $40\ \text{A}$ 时,电源连续工作,此时输出电压始终为 $3.36\ \text{V}$ 。由图 8(b)可知,当电流为 $43\ \text{A}$ 时,电源进入保护工作模式。电源储能模块电压上升至 $11\ \text{V}$ 时,开启泄能通道,下降至 $8\ \text{V}$ 时关闭泄能通道,泄能周期为 $8.3\ \text{s}$ 。输出电压波形始终稳定在 $3.36\ \text{V}$ 。

当电力线电流为 $500\ \text{A}$ 和 $1\ 000\ \text{A}$ 时,电源输出波形如图 9 所示。由图可知,电流互感器电源在母线电流为 $500\ \text{A}$ 和 $1\ 000\ \text{A}$ 时仍能够稳定输出

3.3 V 电压,但是储能模块的泄能周期由母线电流 43 A 时的 8.3 s 分别缩短至 60 ms 和 40 ms,说明随着母线电流的增大,电源获得的能量在逐渐增多,除保证负载所需能量外,其余能量通过泄能通道泄放掉。

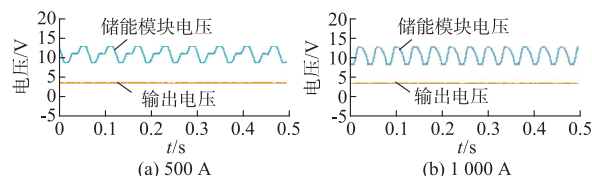


图 9 电力线电流为 500 A 和 1 000 A 时电源工作波形

Fig.9 Work waveforms of power supply when power line current is 500 A and 1 000 A

电源的最大输出功率如图 10 所示。在高压电力线电流为 1 000 A 时,电源最大输出功率为 2.25 W。

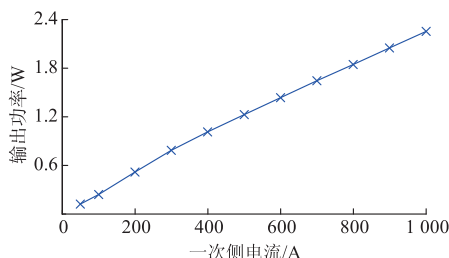


图 10 电源最大输出功率曲线

Fig.10 Maximum output power curve of power supply

4 结语

针对现有电流互感器取能电源存在供电死区的现象,本文提出了一种可适应高压电缆母线小电流的电流互感器取能电源供电方案。采用五级电荷泵电路实现了母线电流小至 1 A 时能够为负载提供足够的能量,同时,电源适应母线电流的上限范围提高至 1 000 A 以上。

附录见本刊网络版 (<http://www.aeps-info.com/aeps/ch/index.aspx>)。

参考文献

- [1] ZANGL H, BRETTERKLIEBER T, BRASSEUR G. A feasibility study on autonomous online condition monitoring of high-voltage overhead power lines [J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2009, 58(5): 1789-1796.
- [2] SAVADJIEV K, FARZANEH M. Modeling of icing and ice shedding on overhead power lines based on statistical analysis of meteorological data[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(2): 715-721.
- [3] OLSEN R G, EDWARDS K S. A new method for real-time monitoring of high-voltage transmission-line conductor sag[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 17(4): 1142-1152.
- [4] HAN S, RU H, LEE J. Inspection of insulators on high-voltage power transmission lines[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2002, 24(4): 2319-2327.
- [5] TOUSSAINT K, POULIOT N, MONTAMBAULT S. Transmission line maintenance robots capable of crossing obstacles: state-of-the-art review and challenges ahead [J]. Journal of Field Robotics, 2009, 26(5): 477-499.
- [6] 邱红辉,段雄英,邹积岩.基于 LPCT 的激光供能电子式电流互感器[J].电工技术学报,2008,23(4):66-72.
QIU Honghui, DUAN Xiongying, ZOU Jiyan. A laser powered electronic current transformer based on LPCT[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2008, 23(4): 66-72.
- [7] 戚栋.一种适应母线电流动态范围宽的光电式电流互感器供电电源[J].中国电机工程学报,2006,26(19):160-164.
QI Dong. A kind of power supply of optic-electric current transformer for accommodating wide bus dynamic current[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(19): 160-164.
- [8] 张梨,孙凯,吴田进,等.基于光伏发电的直流微电网能量变化与管理[J].电工技术学报,2013,28(2):248-254.
ZHANG Li, SUN Kai, WU Tianjin, et al. Energy conversion and management for DC microgrid based on photovoltaic generation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(2): 248-254.
- [9] 罗苏南,叶妙元,徐雁.光纤电压互感器稳定性的分析[J].中国电机工程学报,2000,20(12):15-19.
LUO Sunan, YE Miaoyuan, XU Yan. Stability research on optical fiber voltage transformer[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(12): 15-19.
- [10] 熊兰,何友忠,宋道军,等.输变电线路在线监测设备供电电源的设计[J].高电压技术,2010,36(9):2252-2257.
XIONG Lan, HE Youzhong, SONG Daojun, et al. Design on power supply for the transmission line on-line monitoring equipment [J]. High Voltage Engineering, 2010, 36(9): 2252-2257.
- [11] 刘亚东,盛戈皞,王葵,等.基于相角控制法的电流互感器取电电源设计[J].电力系统自动化,2011,35(19):72-76.
LIU Yadong, SHENG Gehao, WANG Kui, et al. A new design of current transformer energy harvesting power supply based on phase angle control method [J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(19): 72-76.
- [12] 刘亚东,盛戈皞,王又佳,等.基于功率控制法的电流互感器取电电源设计[J].电力系统自动化,2010,34(3):70-74.
LIU Yadong, SHENG Gehao, WANG Youjia, et al. Current transformer draw-out power supply design based on power-controlled method[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(3): 70-74.
- [13] 任晓东,陈树勇,姜涛.电子式电流互感器高压侧取能装置的设计[J].电网技术,2008,32(18):67-71.
REN Xiaodong, CHEN Shuyong, JIANG Tao. Design of a high side energy extracting device for active electronic current transformer[J]. Power System Technology, 2008, 32(18): 67-71.
- [14] 李英,朱小梅,纪昆.一种应用于高电压侧测量系统中电源[J].高电压技术,2002,28(3):46-47.

LI Fuying, ZHU Xiaomei, JI Kun. The power supply of optic electric current transducer [J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(3): 46-47.

- [15] 刘忠战,莫卫东.自励源电子式电流互感器研发中的关键技术[J].电力系统自动化,2009,33(6):67-69.

LIU Zhongzhan, MO Weidong. The key technology of ECT with self-excitation power supply[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(6): 67-69.

- [16] SHANG Yunwei, LI Huayang, WANG Jinhua, et al. Analysis and design of a current transformer fed power supply from high AC voltage cable[C]// Proceedings of 2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, May 28-31, 2012,

Hangzhou, China: 177-182.

赵强松(1982—),男,博士研究生,讲师,主要研究方向:电力电子建模及其控制。

陈宝林(1963—),男,讲师,主要研究方向:电机及其控制、电力电子技术。

叶永强(1972—),男,通信作者,教授,博士生导师,主要研究方向:电气系统及控制、应用控制理论。E-mail: yongqiang_leaf@hotmail.com

(编辑 万志超)

A Current Transformer Energy-obtaining Power Supply Based on Five-level Charge Pump Circuit

ZHAO Qiangsong^{1,2}, CHEN Baolin¹, YE Yongqiang¹, YANG Feng¹, WU Dan¹

(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China;

2. College of Information & Business, Zhongyuan University of Technology, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: In view of the feed dead zone using the current transformer as power source, a current transformer power supply scheme for low current power line is proposed. A circuit model for power supply is developed based on the electromagnetic induction theory, and the relationship between the output power, output voltage, load condition, magnetic coil turns, and core parameter is analyzed. Silicon steel with highly saturated magnetic flux density is selected as the magnetic core. Then, a five-level charge pump circuit, an energy harvesting circuit and a power management circuit each are designed. Finally, power supply equipment is developed based on the scheme aforementioned, and tested using the wireless temperature measuring module as the load. Experimental test shows that the power supply provides stable outputs with no saturation and low heat consumption when the bus current is 1~1 000 A.

Key words: energy harvesting; power line; power supply; monitoring equipment; charge pump circuit