

一种基于超级电容的输电线路在线监测系统电源设计

褚强¹,李刚²,张建成¹

(1. 华北电力大学 电气与电子工程学院,河北 保定 071003;

2. 上海思源电气股份有限公司,上海 201100)

摘要: 所设计的系统使用电流互感器取电,利用超级电容的大容量储能和快速充放电特性,经储能超级电容和放电超级电容输出给监测系统供电。电源根据负载端电压变化,通过控制储能电容与放电电容的通断,利用储能电容为放电电容充电,最后通过放电电容对外供电。针对母线电流不稳定,过压保护部分特别设计了能量再利用电路。仿真分析表明互感器输出功率在临界点波动时电源输出稳定,并可满足GPRS/GSM装置传输数据时的功率需求。经样机实测,装置运行效果良好。

关键词: 输电线路; 监测; 电流互感器; 电源; 超级电容

中图分类号: TM 72

文献标识码: B

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2013.03.026

0 引言

输电线路在线监测系统供电方式很多,监测系统远传信号中继装置可以安装在杆塔底部或周围比较低矮的位置,所以一般都会采用太阳能供电^[1],可以选用相对较大的电池板和容量较大的蓄电池组。但是对于悬挂在高压输电线上的监测设备的传感器的供电,较大功率的太阳能板体积过大且受天气影响;单独蓄电池不能提供足够的功率;激光供电^[2-3]易受地理条件限制,设备复杂导致成本过高且功率和效率都很低;电压互感器对绝缘的要求比较高,易受周围电磁环境影响;微波^[4]和超声波供电虽然已经取得一定进展,且功率也较高,但仍不成熟,需进一步深入研究,目前在军事领域已经得到了应用。

电流互感器(TA)取电在电力行业已经得到广泛的应用^[5-7],但大部分都用在功率很小的监测设备中,如故障定位系统中TA用2组线圈分别进行电流采样和取能,功率只有几十毫瓦,但配以电池,足以提供相应能量。但这种供能方式存在取电死区,在母线电流很小时,如仅有几安培到十几安培时,根本不足以提供用电设备所需能量;且一年的不同季节,一天的不同时段,母线的负荷电流变化很大,母线电流波动造成二次侧取电十分不稳定,一次电流过大或过小都会对电源的稳定输出产生很大的影响。文献[8]研究表明根据不同的特性来选取合适的互感器铁芯材料,选择原则是尽量减小启动电流,提高能量传递效率,降低损耗。在一次电流、匝数、磁通面积不变的条件下,只有提高初始磁导率才能减小启动电流。硅钢片等传统导磁材料的饱和磁通密度较高,但初始磁导率很低,而新型纳米晶磁材料如铁基晶片的初始磁导率值上升了约40倍。

文献[9]通过研究线圈匝数、截面积、磁路长度和最小启动电流的关系来确定线圈的各项参数以求达到最佳效果,使输出功率最大化。经过大量研究后,已经推导出各种参数之间的关系,为实际操作提供了理论基础。文献[10]提出利用2个电池轮流供电的方式增加电池寿命,并提高电源的可靠性和稳定性,但超级电容已可部分替代电池的功能,并在充放电次数和使用寿命上优于电池。此外,当监测系统有数据远传装置时,超级电容的瞬时大功率放电特性可很好地满足发送数据瞬间的大功率需求,而不会引起大幅压降。目前已经有部分文献对此进行了研究^[11-12],但对超级电容的应用并不充分。

本文的研究主要涉及到以下两方面内容:通过超级电容过渡输出的方式来减小电流死区和稳定输出;二次侧过电压保护储存利用多余能量来防止一次电流过大对二次侧输出稳定造成影响。

1 TA取电原理

TA采用开合式,卡在输电线上,输电线上的电流变化引起周围磁场的变化,电能变为磁能,引起互感器上穿过线圈的磁场变化,在线圈两端感应出感应电动势,此时磁能又转化为电能,从而完成通过电磁感应从输电线取电的过程。此时取出的电能为不稳定的交流,经过外部整流滤波后变成直流输出。取电原理如图1所示。

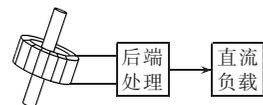


图1 电流互感器取电原理

Fig.1 Principle of energy induction

根据电磁学的基本知识^[13]及互感器的原理可知,互感器二次侧感应电动势的有效值为:

$$E_2 = \sqrt{2} \pi f N_2 B_m S \approx 4.44 f N_2 B_m S \quad (1)$$

其中, N_2 为二次绕组匝数; f 为工频; B_m 为铁芯饱和磁感应强度; S 为铁芯有效截面积, $S = (r_2 - r_1)N_2 / 2$, r_1 为铁芯内径, r_2 为铁芯外径。

在理想条件下, TA 二次电流为:

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_0 \quad (2)$$

其中, I_0 为母线电流; I_2 为二次侧电流; N_1 为一次绕组匝数。

不存在误差的情况下, 实际流入互感器二次负载的电流为:

$$I_2 = \frac{N_1}{N_2} (I_0 - I_m) \quad (3)$$

其中, I_m 为励磁电流, 即建立磁场所需的工作电流。但正常运行时励磁阻抗很大, 励磁电流很小, 因此误差不是很大, 通常可以忽略。

由于铁芯磁饱和时, 二次侧电压十分不稳定, 深度饱和时感应电压波形发生畸变, 成为尖顶脉冲波^[14]。由于后端电子元件耐压值不高, 峰值增大时达几百伏, 可能造成芯片烧毁等严重后果。长期工作在深度饱和状态使铁损居高不下, 线圈温升过高, 有可能引起高频振动甚至烧坏线圈。因此应尽量防止铁芯工作在饱和状态, 避免长期工作在深度饱和状态^[15]。所以, 取电一般都在磁化曲线的近似线性区域进行, 二次功率有近似的函数关系如下:

$$P_2 = E_2 I_2 \approx 4.44 f N_2 B_m S I_2 = 4.44 f N_2 B_m S \frac{N_1}{N_2} (I_0 - I_m) \approx 4.44 f N_1 B_m S I_0 \quad (4)$$

为了避免母线大电流下铁芯磁饱和, 通常使铁芯留有一定的气隙, 文献[9]对此进行了详细的研究, 通过计算可知, 1 mm 的气隙已基本可以使饱和电流大于 1 kA, 超过大部分输电线路的负荷电流。

2 取电装置设计

本设计结构如图 2 所示, 包括取电互感器、冲击保护、整流滤波、稳压、超级电容、锂电池及控制部分。其中冲击保护采用 1 个瞬态抑制二极管(TVS), 其稳压值略大于后端稳压芯片最大允许输入值; 整流采用常用的桥式整流; 滤波也为常用 π 型 LC 滤波; 超级电容 1 储存能量用来为超级电容 2 充电, 作为储能电容使用; 超级电容 2 给负载供电, 作为放电电容使用。下文将说明其他部分设计原理及功能。

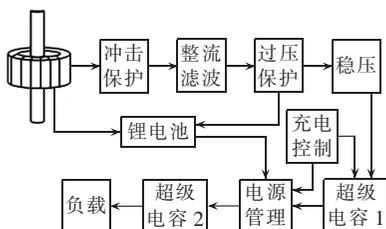


图 2 电源结构

Fig.2 Structure of power supply

2.1 过压保护部分

过压保护整体设计如图 3 所示。电阻 R_1 、 R_2 、 R_3 为均压电阻, 前端电压被均分在 3 个电阻上, 设继电器动作电压为 U_d , 稳压芯片最大、最小输入电压分别为 U_{\max} 、 U_{\min} , 则:

$$\frac{1}{3} U_{\min} \leq U_d \leq \frac{1}{3} U_{\max} \quad (5)$$

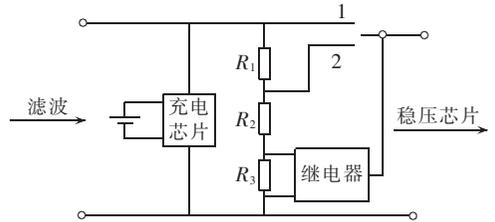


图 3 过压保护设计

Fig.3 Design of over-voltage protection

当 R_3 两端的电压小于继电器的动作电压时, 继电器选通“1”端, 滤波后全部电压加到稳压芯片两端, 全部功率提供给负载; 当 R_3 的电压大于继电器动作电压时, 继电器选通“2”端, R_1 被切除, R_2 和 R_3 电压接入稳压芯片输入端, 供给负载; R_1 电压接入锂电池充电芯片输入端, 为电池充电提供能量。文献[9]中使用稳压二极管来进行均压, 但经过实验测试, 并不能起到均压的作用, 且稳压管串联后, 其中任一稳压管在不导通状态下两端均无电压, 无法为继电器提供控制电压, 导致继电器无法启动。且均压电阻的阻值很大时, 所消耗的功率很小, 经实验可知, 使用 1% 精度、1 M Ω 的电阻, 前端电压为 100 V 的情况下, 其消耗功率为 2~3 mW, 与理论值接近, 基本可以忽略, 加大均压阻值可以进一步减小损耗。

实际操作中, 机械式继电器抗干扰能力较差, 且动作时间是 ms 级, 当母线遭受雷击等产生大电流冲击时, 二次侧经 TVS 抑制后, 会有较高电压值输入到后端电路, 继电器动作时间应很短, 而固态继电器(SSR)可克服以上缺点, 抗干扰能力强, 动作时间是 μ s 级, 提高了可靠性。继电器模块示意图见图 4。

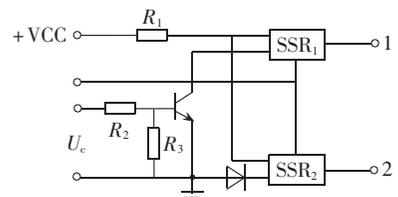


图 4 继电器模块示意图

Fig.4 Schematic diagram of relay module

当控制电压 U_c 的分压值无法使三极管导通时, SSR_1 输入端无输入电压, 输出端断开, 此时 VCC 加到 SSR_2 的输入端上, SSR_2 的输出端接通; 当 U_c 足够大时, 三极管导通, SSR_1 输入端有输入电压, 输出端

接通,电压值不能使 SSR_2 的输出端接通而处于断开状态,因而达到了“单刀双掷”的功能。

2.2 超级电容充电控制

控制电路如图 5 所示,图中, D_1 是反相迟滞电压比较器,一般 5 V 电器在短时 4.8~5.0 V 可以正常工作, GPRS/GSM 装置额定电压也在 4.9 V 左右,所以合理配置比较器外围电路,使比较器动作下限在 4.85 V 以上,控制 C_2 两端电压上下波动在 0.1 V 以内。

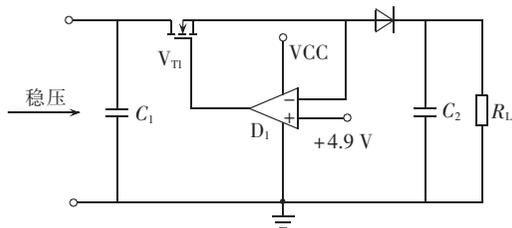


图 5 超级电容充电控制电路

Fig.5 Charging control circuit of super-capacitor

由于 TA 取电不同于其他形式电源,其输出功率受负载大小的影响很大,母线电流一定的情况下,负载只要超出一定范围,输出功率就会不足,因为稳压芯片都有一定的电压输入下限,电压低于下限时,芯片无法正常启动,无输出或输出不稳定。为尽量减小母线电流死区,在使用双电容的情况下,对 C_1 充电作为缓冲,然后以断续的形式供给 C_2 ,再输出给等效负载 R_L ,则负载电压可在合理范围内波动,从而减小电流死区,在输出功率稍不足时可使电器正常工作。当 R_L 两端电压高于 D_1 动作电压下限时, D_1 输出高电平, V_{T1} 断开, TA 为 C_1 充电;当 R_L 两端电压低于电压下限时, D_1 输出低电平, V_{T1} 导通, TA 为 C_1 充电的同时, C_1 为 C_2 充电。由于超级电容可瞬间输出大电流而不会引起大的压降,所以适用于负载中有 GPRS 等数据传输设备的情况。由于双电容充放电情况较复杂,参数可由式(6)、(7)结合仿真实验进行配置。

充电时间:

$$C(U_e - U_s) = It_c \quad (6)$$

放电时间:

$$C(U' - U'_s) - I'CR = I't_d \quad (7)$$

其中, t_c 、 t_d 分别为电容充、放电时间; U_e 、 U_s 分别为电容充电终止电压和起始电压; U' 、 U'_s 分别为电容放电起始电压和终止电压; I 、 I' 分别为电容充、放电电流; R 为电容内阻。

超级电容 C_1 下降电压等于超级电容 C_2 电压上升值为可维持负载正常工作边界条件,据此条件可得出 C_1 和 C_2 的参数关系,因充放电时间相等,则:

$$\frac{C_2(U_e - U_s)}{I} \leq \frac{C_1(U' - U'_s) - I'CR}{I'} \quad (8)$$

C_1 对 C_2 的放电电流与 C_2 的充电电流相同,则:

$$\frac{C_2}{C_1} \leq \frac{U_e - U_s}{U' - U'_s - I'R} \quad (9)$$

由式(9)可得到超级电容 C_1 、 C_2 的容量关系,下面推导充电电压确定时,电容容量与充电时间的关系,其中电容内阻固定,主要为直流内阻,交流内阻非常小,可以忽略,充、放电电流为非线性变化,则:

$$U_1 = IR + u_2 = C_2 \frac{du_2}{dt} R + u_2 \quad (10)$$

整理得:

$$\frac{du_2}{U_1 - u_2} = \frac{dt}{C_2 R} \quad (11)$$

两边积分得:

$$U_1 - u_2 = ae^{-\frac{t}{RC_2}} \quad (12)$$

假设 C_2 初始电压为 0,充电完毕后电压为 U_1 ,则:

$$u_2 = U_1 - U_1 e^{-\frac{t}{RC_2}} \quad (13)$$

2.3 电源管理部分

此部分功能包括锂电池充放电控制和负载电源选择。其电路原理图如图 6 所示。

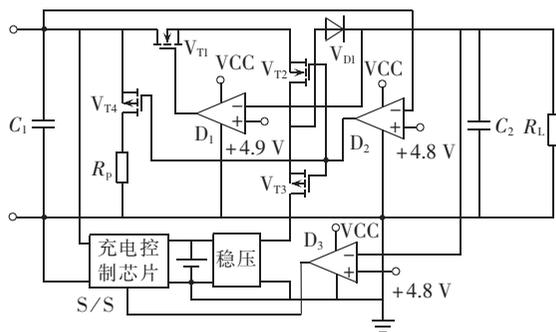


图 6 电源管理电路

Fig.6 Power management circuit

图 6 中, D_1 、 D_2 为单电源迟滞比较器,其中 D_1 反相使用,采用 LVT339 加以简单的外围电路即可实现; D_3 为一般比较器; V_{T1} 、 V_{T2} 、 V_{T3} 、 V_{T4} 为 MOSFET 管,作为选择开关使用;二极管 V_{D1} 用来防止超级电容 C_2 中的电流回流进超级电容 C_1 和锂电池,造成电路无法正常工作;本设计选用的充电控制芯片为凌利尔特公司的 LT1512,该芯片功能强大,外围电路简单,可对多节锂电池充电,甚至可在输入电压低于电池电压时进行恒压或恒流充电,其端口 S/S 可作为充电使能端使用,随时由外部进行控制;由于每节锂电池电压在 4.2 V 左右,所以本设计使用 2 节锂电池进行供电,后端选用使用广泛的 7805 三端稳压器得到 +5 V 输出; R_p 为 TA 输出保护电阻。

锂电池充放电控制功能由比较器 D_3 实现。本设计中, TA 在为负载供电的同时也给锂电池充电。当负载 R_L 的端电压高于 4.8 V 时, LT1512 的使能端 S/S 输入高电平开始正常工作,为电池进行充电;当 R_L 的端电压低于 4.8 V 时, S/S 端输入低电平,电池充电停止,此时 TA 只为负载进行供电。

电源选择及 TA 保护功能由 V_{T2} 、 V_{T3} 、 V_{T4} 和 D_2 实现。 V_{T2} 、 V_{T3} 采用背靠背连接来实现选择 TA 或锂电池对负载供电。在保证 R_L 正常工作时,使比较器 D_2 的动作下限低于 4.8 V,同时使比较器 D_3 先于 D_2 动作,从而实现当 TA 出现功率不足时先暂停锂电池充电,如果负载电压继续下降到 D_2 动作下限值,即表明只带 R_L 时 TA 输出功率仍然不足,可判定 TA 无法维持 R_L 正常工作, D_2 动作输出低电平, V_{T3} 导通, V_{T2} 关闭, R_L 由锂电池进行供电。在 TA 输出功率充足的情况下, D_2 输出高电平, V_{T2} 导通, V_{T3} 关闭,此时 TA 为 R_L 供电。 V_{T4} 动作由 D_2 控制,由于 TA 二次侧不能开路,否则会出现大电压对 TA 本身和电路造成损坏,所以设计中加入了保护电阻 R_p 。当 R_L 选择锂电池供电时, D_2 输出低电平, V_{T4} 导通,将 R_p 接入超级电容 C_1 两端作为 R_L 的等效负载,其电阻值可根据实际正常使用负载大小情况进行配置。

3 仿真分析

本设计使用互感器为特制取电型 TA,实验用负载额定电压 5 V,额定功率 1 W,互感器使用低磁导率、高饱和和磁感应强度的硅钢片作为磁芯材料,结构为开合式外径 110 mm,内径 50 mm,长 52 mm,二次侧匝数 500 匝,互感器饱和磁感应强度取 1.65 T。

3.1 超级电容对启动电流的影响

一次电流为 50 A 时,互感器最大输出功率由式(14)计算:

$$P_2 = E_2 I_2 \approx \frac{4.44 \times 50 \times 16.5 \times 1.566 \times 500 \times 50 \times 10^{-6}}{10^8} \approx 1.43 (\text{W}) \quad (14)$$

但实际上,由于受铁芯磁饱和程度影响及稳压芯片工作电压范围的限制,互感器不能工作在最大功率输出状态,因此若直接用互感器给负载供电,可能导致功率不足,负载不能正常工作,此时负载端电压波形如图 7 所示。

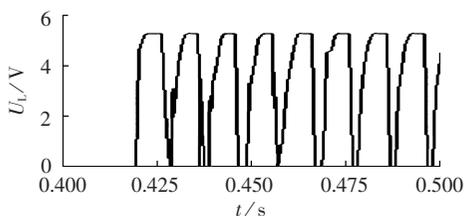


图 7 功率不足时,负载端电压波形

Fig.7 Waveform of load voltage when power is insufficient

由图可知,当功率不足时, U_L 十分不稳定,在 0~5 V 之间波动,因此负载不能正常工作。

当互感器通过超级电容输出功率,母线电流为 50 A,单电容容量为 20 F,额定电压为 2.5 V 时,使用 2 个单电容串联构成 5 V/10 F 电容组输出,负载端

电压 U_L^s 与使用 2 个相同电容组的双电容组切换供电时负载端电压 U_{L1}^b 、 U_{L2}^b 如图 8 所示。由图可知,当采用单组电容输出供电时,即使在母线电流不足时,依然可以维持负载稳定工作 1 min 以上;而使用双电容组切换供电时,负载则可以长时间正常工作,且电压波动小于 0.2 V。因此,采用双电容组切换供电的设计在减少启动电流方面效果明显。图 9 给出了使用双超级电容、在正常工作时,储能超级电容 C_1 和充电超级电容 C_2 的电压变化。

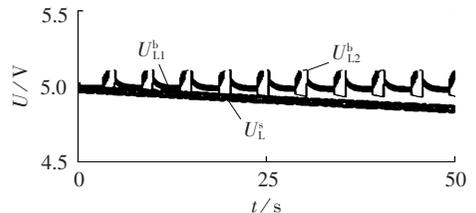


图 8 采用不同电容组合方案时的负载端电压
Fig.8 Load voltage of different capacitor combinations

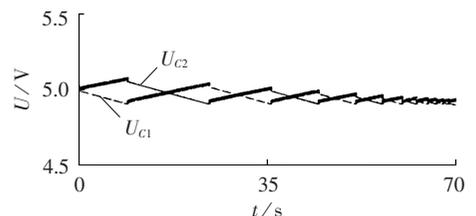


图 9 正常工作时双电容组电压

Fig.9 Voltage of dual super-capacitor group in normal working state

3.2 过压保护及多余能量利用

本设计实验中,使用稳压芯片 TL2575HV-05,其最大输入电压是 50 V,但芯片不能长期稳定工作在极限电压,因此设置过压保护电压为 45 V,使用继电器动作电压为 15 V。实验分 3 个阶段:0~20 s,母线电流 $I_0=100$ A;21~40 s, $I_0=400$ A;41~60 s, $I_0=200$ A。互感器过压保护前后稳压芯片输入电压 U_b 、 U_a 和继电器状态值 p_s 如图 10 所示。其中, U_b 实际测量的是图 3 中 R_1 、 R_2 、 R_3 两端总电压, U_a 实际测量的是图 3 中 R_3 、 R_2 两端总电压。

由图可知,当 I_0 为 100 A 时,继电器状态值 $p_s=1$,表示其未动作,互感器输出全部电压加在稳压芯片输入端;当 I_0 上升到 400 A 时, U_b 上升到 60 V,继电器动作,状态值 $p_s=2$,稳压芯片输入端电压下降到 40 V,低于 45 V;当 I_0 变为 200 A 时, U_b 降低到 50 V,但仍超出允许电压,继电器保持状态,输入端电压下降到 35 V,因此稳压芯片仍可正常工作,实现了过压保护的作用。

当互感器出现过电压时,由图 3 可知, R_1 被切除,实际加在稳压芯片输入端电压为 R_2 、 R_3 端电压之和,此时,多余电量完全消耗在了 R_1 上,为了更好

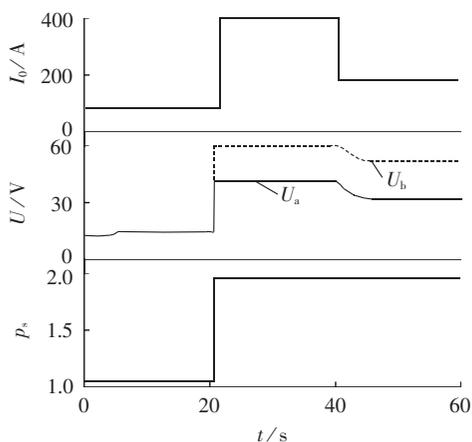


图 10 过压保护启动前后稳压芯片输入端电压比较

Fig.10 Input voltage of voltage stabilization chip before and after over-voltage protection starts

地利用这部分电量,在 R_1 被切除时,将其并接在锂电池充电芯片输入端,从而将这部分电量充入可充电电池,仿真实验中使用大容量超级电容作为电池模型,其初始电压为 3 V,经验证,其电压变化如图 11 所示。由图可知,在过压保护过程中,电池保持充电,其端电压逐渐升高,而电源输出电压则保持 5 V 不变,符合设计要求。

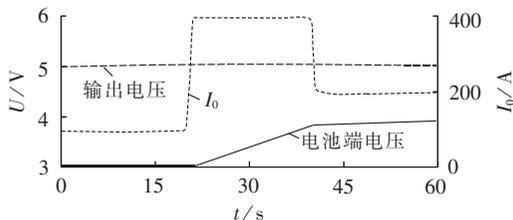


图 11 多余能量充电曲线

Fig.11 Charging curves of excess energy

3.3 电源切换

当互感器输出功率不足时,负载将由锂电池进行供电,实验设定:0~30 s, $I_0=50$ A; 31~70 s, $I_0=40$ A; 71~100 s, $I_0=68$ A。这段时间内,负载端电压 U_L 变化如图 12 所示。

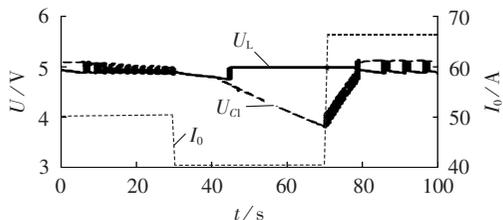


图 12 电源切换时负载及储能电容电压变化

Fig.12 Voltage change of load and storage capacitor during power supply switchover

由图 12 可得在 0~30 s 期间,负载端电压 U_L 保持 5 V 左右;当 I_0 下降到 40 A 时, U_L 持续下降到 4.8 V,表明断开电池充电依然功率不足,则负载切换至由电池供电,此时,保护电阻 R_p 并入超级电容 C_1 , U_L

值立即上升至 5 V;当 I_0 再次上升到 68 A 后, C_1 端电压 U_{C1} 在 71 s 时重新增加到 5 V,此时,负载重新选择由互感器进行供电,并为电池充电。图 13 表示电源切换时 MOSFET 的状态及其动作时间, p_s 标示了 MOSFET 选通操作,即图 6 中 V_{T2} 或 V_{T3} 动作(V_{T2} 、 V_{T3} 通断状态相反,且会同时动作),“1”表示关断,“2”表示导通。

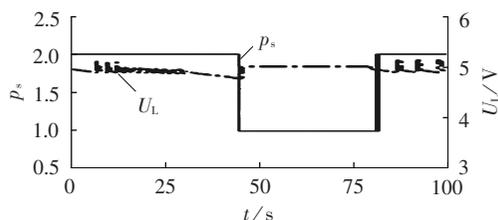


图 13 电源切换动作时刻及负载电压

Fig.13 Switchover time of power supply and load voltage

3.4 超级电容稳压作用

以使用基于西门子 MC35i GPRS/GSM 模块的数据传输设备进行数据通信的输电线路在线监测系统为例,该模块采用单电源 3.3~4.8 V 供电,实际传输设备额定电压为 5 V,数据发送瞬间会产生 2 A 爆破电流,并且电源电压瞬间压降要求低于 0.4 V。

文献[8]对超级电容的稳压作用进行了研究,证明了这种输出方式的有效性,本设计也对此进行了实验,结果如图 14 所示,瞬时压降不超过 0.2 V,符合要求。

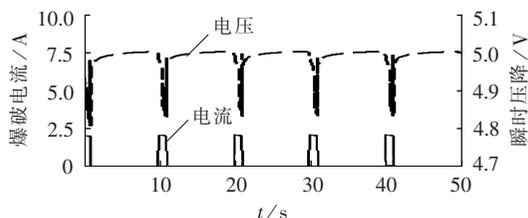


图 14 数据传输瞬间电源输出电压降

Fig.14 Instantaneous output voltage drop during data transfer

4 结论

样机测试中,由于一次母线大电流 I_0 不易在实验室得到,因此通过母线多次穿心的方式,即增加 N_2 来等效增大 I_0 。经实测,在母线电流为 8 A 时,穿心 6 次,额定电压 5 V 的某型号输电线路故障定位装置输入端电压在 4.90~4.96 V 之间波动,能够正常工作,证明了本设计方案可以有效减小启动电流;继续增加 N_2 ,电压在 4.90~5.01 V 之间波动,之后波动范围不再变化,表明了电源输出稳定可靠,并在随后研究中,就超级电容在输电线路在线监测系统电源中的应用设计了不同的方案,同样证明了有效性,前景广阔。

参考文献:

- [1] 陈攀. 基于无线分组的输电线路绝缘子泄漏电流在线监测系统研究[D]. 重庆:重庆大学,2006.
CHEN Pan. Study of insulator leakage current online monitoring system of overhead line based on GPRS[D]. Chongqing:Chongqing University,2006.
- [2] SONG J. A prototype clamp-on magneto-optical current transducer for power system metering and relaying[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1995,10(4):1764-1770.
- [3] MIHAILOVIC P. Development of a portable fiber-optic current sensor for power systems monitoring[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement,2004,53(1):24-30.
- [4] 林为干,赵榆深,文舸一,等. 微波输电,现代化建设的生力军[J]. 科技导报,1994(3):31-34.
LIN Weigan,ZHAO Yushen,WEN Keyi,et al. Power transmission by microwave—a propulsion for modernization construction [J]. Science & Technology Review,1994(3):31-34.
- [5] 周风余,温龙旺,苏鹏,等. 高压输电线路巡检机器人能源在线补给装置的研制[J]. 电网与清洁能源,2010,26(1):18-23.
ZHOU Fengyu,WEN Longwang,SU Peng,et al. Development of on-line energy supply device for high-voltage transmission lines iterative inspection robot[J]. Power System and Clean Energy, 2010,26(1):18-23.
- [6] 钱政. 有源电子式电流互感器中高压侧电路的供能方法[J]. 高压电器,2004,40(2):135-138.
QIAN Zheng. Power supply for high voltage circuit of active electronic current transformer[J]. High Voltage Apparatus,2004, 40(2):135-138.
- [7] 戚栋. 一种应用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] 秦欢. 高压测量系统感应取能电源设计[J]. 现代电力,2009,26(15):32-36.
QIN Huan. Design of induced power apparatus for high voltage measuring system[J]. Modern Electric Power,2009,26(15): 32-36.
- [9] 李先志,杜林,陈伟根,等. 输电线路状态监测系统取能电源的设计新原理[J]. 电力系统自动化,2008,32(1):76-80.
LI Xianzhi,DU Lin,CHEN Weigen,et al. A novel scheme of

- draw-out power supply utilized in transmission line state monitoring[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(1):76-80.
- [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] 张峰铭. 基于超级电容器储能的光伏照明控制系统研究与设计[D]. 长沙:湖南大学,2010.
ZHANG Fengming. The research and design of solar illumination control system based on super capacitor[D]. Changsha:Hunan University,2010.
- [12] 周昶,马磊,吴春泽,等. 使用超级电容的太阳能路灯系统的仿真研究[J]. 照明工程,2010,21(3):76-81.
ZHOU Chang,MA Lei,WU Chunze,et al. The simulation study of photovoltaic road lighting system using super capacitors[J]. China Illuminating Engineering Journal,2010,21(3):76-81.
- [13] 李发海,朱东起. 电机学[M]. 北京:科学出版社,2001:93-95, 149-194.
- [14] 付烈. 混合式光纤电流互感器电源的研究[D]. 秦皇岛:燕山大学,2004.
FU Lie. Research on power supply of hybrid fiber current transducer[D]. Qinhuangdao:Yanshan University,2004.
- [15] 尹忠东,张卫华,韩明晓. 动态电压恢复器注入变压器过饱和抑制[J]. 电力系统自动化,2004,28(24):28-31.
YIN Zhongdong,ZHANG Weihua,HAN Mingxiao. Oversaturation suppression to dynamic voltage restorer injection transformer[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(24):28-31.

作者简介:

褚强(1987-),男,安徽蚌埠人,硕士研究生,主要研究方向为新能源、电能质量、电力系统运行、分析与控制等(E-mail: cq1122@126.com);

李刚(1977-),男,上海人,高级工程师,主要研究方向为电能质量、变电站在线监测技术等(E-mail: ligang@sieyuan.com);

张建成(1965-),男,河北保定人,教授,博士,主要研究方向为柔性储能技术、电能质量控制和电力系统分析等(E-mail: zhang_jiancheng@126.com)。

Power supply of transmission line online monitoring system based on super-capacitor

CHU Qiang¹, LI Gang², ZHANG Jiancheng¹

(1. School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

2. Shanghai Sieyuan Electric Co., Ltd., Shanghai 201100, China)

Abstract: The energy of designed system is induced from the transmission line via current transformer. With large capacity and fast charging/discharging characteristic, both storage super-capacitor and discharge super-capacitor are applied to supply power for the monitoring system. The power is supplied by the discharge capacitor to system while the energy from the storage capacitor to the discharge capacitor is controlled by the connection between them according to the load voltage. An energy re-use circuit is specially designed in the over-voltage protection part to avoid bus current instability. Simulative analysis shows that the output of power supply is stable when the output power of transformer fluctuates at the critical point, meeting the power demand of GPRS/GSM during data transfer. Test results of prototype show its excellent operation.

Key words: transmission line; monitoring; current transformer; electric power supplies to apparatus; super-capacitor