

基于电力载波的远程开关设计

陈进熹, 王忠飞*

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310012)

摘要: 为解决网络总线技术在控制远程开关时必须架设专用物理网络通道的问题,在分析了电力载波通讯技术特点的基础上,将电力载波技术应用到了远程开关的集中控制中。利用电力载波技术无需架设专用网线的特点,设计了基于电力载波的远程开关控制系统,解决了其他总线技术必须要架设网线的问题;以STM32系列处理器作为系统主站和从站的处理器,根据所用到的功能设计了处理器部分的电路,以ST7540作为调制解调器,根据所选定的工作频率设计了专用滤波器,对通讯周期所需的时间进行了估算。研究结果表明,采用电力载波通讯技术的远程开关控制系统能满足大部分对实时性要求不高的应用要求。

关键词: 电力载波通讯; 远程开关; 数据传输; ST7540

中图分类号: TM73;TM13;TN91

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)09-1095-05

Design of long-distance switch based on power line communication

CHEN Jin-xi, WANG Zhong-fei

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310012, China)

Abstract: In order to solve the problem of network bus technology used in long-distance switch control must laying the private cable, the power line communication technology was investigated, after analysis of power line communication technology's characteristics. Using the characteristics of power line communication technology that did not need to laying private communication line, the long-distance switch based on power line communication was established, which solved the problem that other bus technology must laying the private cable. The special circuit of STM32 as the system's CPU and the special circuit of ST7540 as the system's modem were designed. The time of each communication cycle was estimated. The results indicate that the system of power line communication can satisfy most applications.

Key words: power line communication; long-distance switch; data transmission; ST7540

0 引言

在生产实践中,经常需要同时控制多个距离相对较远的开关,现有的一些总线技术虽然能实现远程开关的集中控制,但都需要铺设专用的网络线缆,这就增加了系统实现的难度。如果研究者采用电力载波通讯技术,就不再需要铺设专用网络线缆了。电力线载波通信是以电网的电力线作为数据的物理信道,把数据耦合到电力线上传输到目的地的一种通讯方式,它不仅把电力线作为电源传输线,又把它作为信号通道,无需外加额外的信号线。

本研究将电力载波通讯技术应用于远程开关系统中,以STM32作为控制器并以ST7540作为调制解调

器,设计远程开关控制系统,既可实现远程开关的集中控制,又不需要铺设专用的网络线缆。

1 系统结构

整个系统由一个主站和若干个从站组成。主站连接上位机,实现信息的更新和接收上位机的命令。从站连接开关,查询开关的状态和控制开关。主站和从站之间通过电网连接。系统整体结构如图1所示。

该系统中有主站和若干从站,主站控制器和从站控制器采用Cortex-m3内核的STM32F103系列处理器,STM32F103系列是专为要求高性能、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的处理器。调制解调器选用ST7540,ST7540是国外电力载波芯片厂商中为数

收稿日期: 2012-03-20

作者简介: 陈进熹(1987-),男,浙江瑞安人,主要从事工业网络方面的研究. E-mail: chenjinxi_002@163.com

通信联系人: 王忠飞,男,博士,副研究员,硕士生导师. E-mail: wzf1225@hzcnc.com

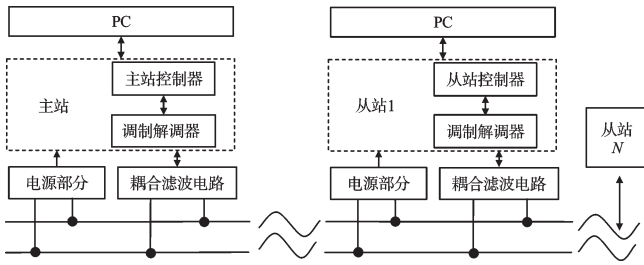


图1 整体系统结构方框图

不多的能适应我国复杂电网环境以及满足我国电力载波频率段要求的调制解调器,其具有价格低,外围电路简单的特点,还可以选择波特率以及载波频率段^[1-4]。

2 控制器与其外围电路的设计

控制器的设计需要根据该系统使用到的STM32F103RBT6中的功能来确定。控制器需要完成与ST7540的通讯功能,ST7540可以通过USART(异步模式)和SPI(同步模式)与控制器进行通讯,该设计采用了SPI(同步模式)的方法,所以需要用到控制器中SPI的功能。控制器需要对从站状态的信息数据进行存储,所以需要一片ROM作为存储器,STM32F103RBT6内部集成有128 KB的FLASH存储空间,除了程序占用的空间外,剩余的存储空间可供用户使用,就无需再外加EEPROM了^[5-6]。主站还需要完成与PC机的通讯,故需要一个接口芯片,该设计采用了MAX3232。

主站控制器部分的电路图如图2所示。

STM32RBT6总共64个引脚,该设计中使用到了24个引脚,所以图2中隐藏了40个没用到的引脚。MAX3232总共16个引脚,该设计只用到12个,故隐藏

了其余4个引脚。L和N代表零线和火线,主站的供电是220 V交流电通过ACDA开关电源后提供12 V直流电源,12 V直流电源直接供给ST7540。而STM32的工作电源为3.3 V,如果笔者直接使用LDO芯片AMS1117-3.3,会因为压差太大而造成发热太大,使得系统不稳定,所以本研究先采用LM7805将12 V电压转成5 V,再经过AMS1117-3.3为STM32供电。主站中两个主要功能单元分别是与ST7540的接口和与PC机的接口。BOOT为可选模式,当本研究把BOOT0接为高电平时,可以通过串口为主站更新程序。从站控制器与主站控制器类似,只是少了与PC机的通讯接口,多了信号输出的端口连接开关或者开关前的光耦。

3 调制解调器及其滤波电路的设计

ST7540是为数不多的能适应国内电网环境的国外厂商的芯片,ST7540采用BCD5混合信号技术的功率处理功能,利用了原有的ST7538内核,将一个新的单端功率放大器嵌入在这个集成的模拟前端内,能够推动500 mArms的连续输出电流和高于3.5 Vrms的输出电压,ST7540还集成两个3.3 V和5 V的线性稳压器,以供给外部控制器的电源。其接口透明,使用简单可靠,仅需要少量的外围元件就可实现一个控制功能。ST7540的波特率可选,研究者可以根据使用环境来调节波特率,且具有报文检测功能。对ST7540的使用,关键是设计合适频率的滤波器,该设计使用72 kHz的频率作为载波频率,需要设计72 kHz的带通滤波器。

调制解调器部分的设计电路图如图3所示。

220 V的交流电经过开关电源后输出12 V最大电流为800 mA的直流电,一般来说ST7540部分最大电

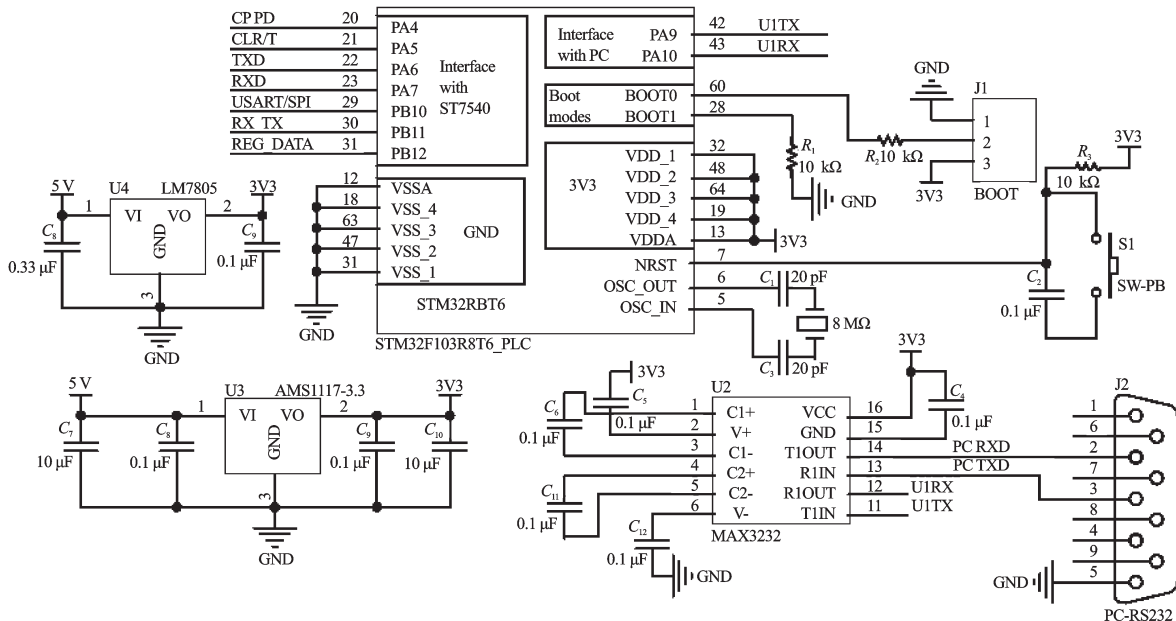


图2 主站控制器原理图

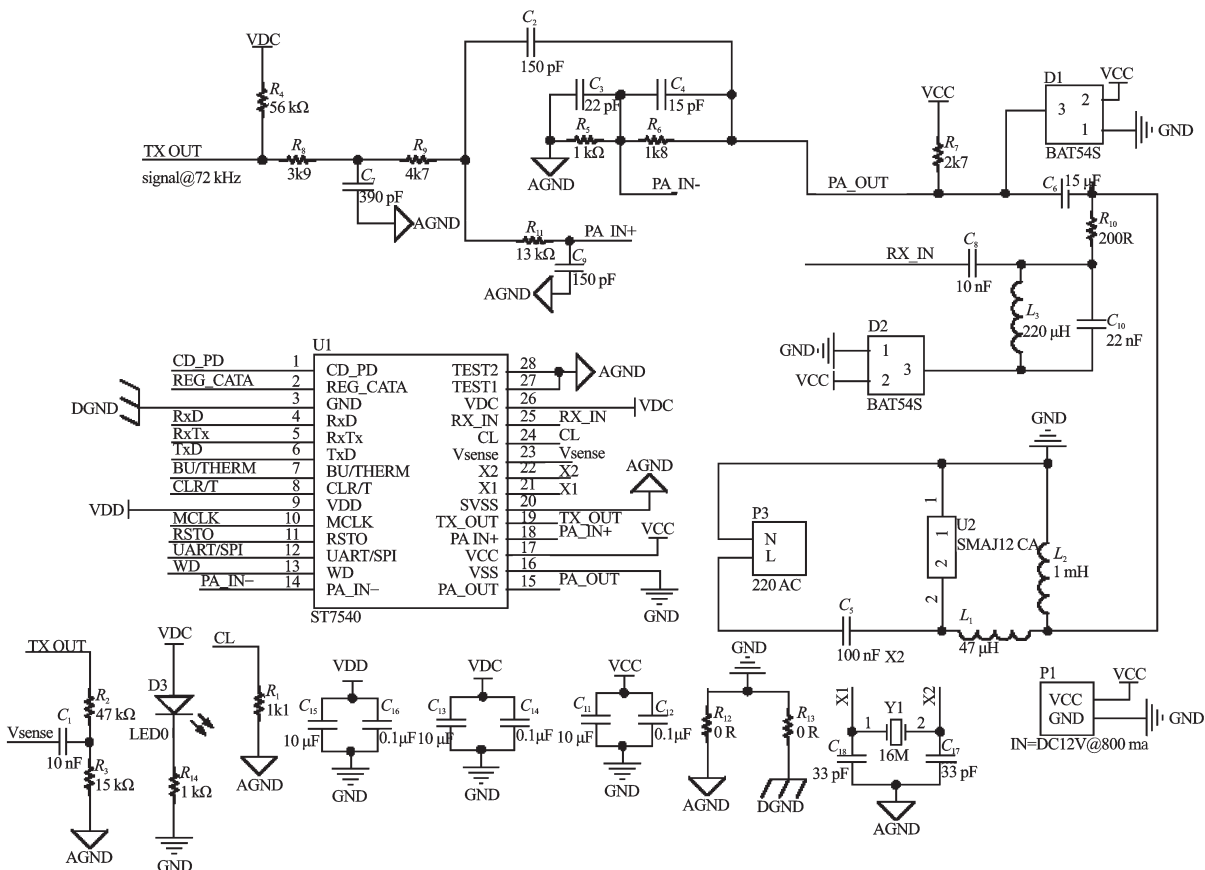


图3 调制解调器部分的电路原理图

流在 100 mA 左右,所以在 200 mA 以上基本能满足设计要求,考虑到 STM32RBT6 的消耗,开关电源选择了 800 mA,保证主站电流供给。D3 为工作指示灯,ST7540 内部集成有 3.3 V 和 5 V 的线性稳压电源,能提供外部设备使用,VDC 是 5 V 的线性电源输出,在该设计中用来指示 ST7540 的工作状态。ST7540 内部有电压控制回路和电流控制回路,Vsense 提供电压回路的参考电压来调节输出电压,起到抑制噪声的作用。电流环限制 PA_OUT 上输出的最大电流,通过 R₁ 来设定。该设计中的滤波器包含有 3 个部分,其中第 1 部分由两个低通滤波器组成,第 1 个是由 R₈ 和 C₇ 组成的前置一阶低通滤波器,其输出特性为:

$$U(s) = \frac{1}{\tau s + 1} \quad (1)$$

式中:τ—代表 RC,即该设计中的 R₈ 和 C₇。

一阶 RC 低通滤波器的截止频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2)$$

式(2)为一阶 RC 低通滤波器截止频率计算公式,代入 R₈ 和 C₇ 的值,得: f = 104 kHz,也就是说它的截止频率为 104 kHz,对 72 kHz 有良好的通过性并且能有效滤除高频噪声。信号发送经过一阶 RC 低通滤波器后送入后面的二阶低通滤波器,ST7540 内部集成有

PA 放大器,本研究利用这个内部集成的运算放大器可以设计一个高性能的二阶 sallen-key 滤波器。其外围器件取值如图 4 所示。

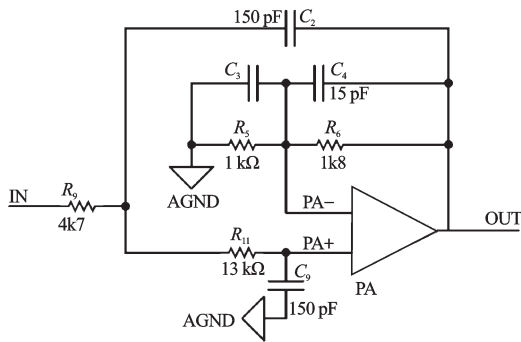


图4 二阶 sallen-key 滤波器

本研究假设 PA 为理想滤波器,经计算,图 4 的传递函数为:

$$\frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{K}{s^2 R_9 R_{11} C_2 C_9 + s(R_9 C_9 + R_{11} C_9 + R_9 C_2(1 - K)) + 1} \quad (3)$$

式(3)为二阶 sallen-key 滤波器的传递函数,其中, K 为放大倍数,且:

$$K = 1 + \frac{R_6}{R_5} \quad (4)$$

本研究将如图 4 所示的所有电阻和电容的值代入计算公式,用 Matlab 计算的结果如图 5 所示。

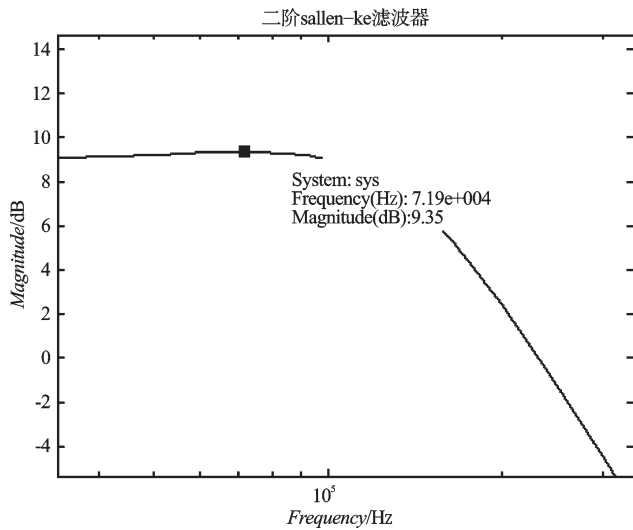


图5 二阶 sallen-key 滤波器计算结果

图5的 Matlab 的计算结果说明其在 72 kHz 时增益为 9.35 dB, 所以该设计中二阶 sallen-key 能满足 72 kHz 频率的要求。

L_1 和 C_5 组成一个串联谐振电路, 该设计采用 72 kHz, 根据 LC 串联谐振公式:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

取 L_1 和 C_5 的值为 47 μ H 和 100 nF。

R_{10} , C_{10} 和 L_3 组成一组并联谐振电路, C_{10} 和 L_3 的并联阻抗 Z 等效于:

$$Z = \frac{j\omega L}{1 + j\omega C_j \omega L} \quad (6)$$

所以, 加载在 L_3 上的电压 U_l 与输入电压 U_i 之间的关系函数为:

$$\frac{U_l}{U_i} = \frac{j\omega L}{-RLC\omega^2 + j\omega C + R} \quad (7)$$

式(7)中, 用 s 代替 $j\omega$:

$$H(s) = \frac{Ls}{RLCs^2 + Cs + R} \quad (8)$$

式(8)为 LC 并联电路的传递函数。

LC 并联电路的中心频率为:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 72 \text{ kHz} \quad (9)$$

为了提高 LC 并联电路的 Q 值, 本研究必须取 R_{10} 的值尽量小而 L 或 C 的值尽量大。这里取 R_{10} 为 20 Ω , L 变大对 Q 的影响超过 C , 所以取 L 的值比 C 大, 取 L 为 220 μ H, 算出 C 为 22 nF。品质系数 Q 的值为:

$$Q = \frac{L2\pi f}{R} \quad (10)$$

式(10)为品质系数 Q 的计算公式, 代入数值计算得: $Q = 5$ 。所以这样的取值能满足设计要求。

4 软件设计

主站程序流程图如图6所示。

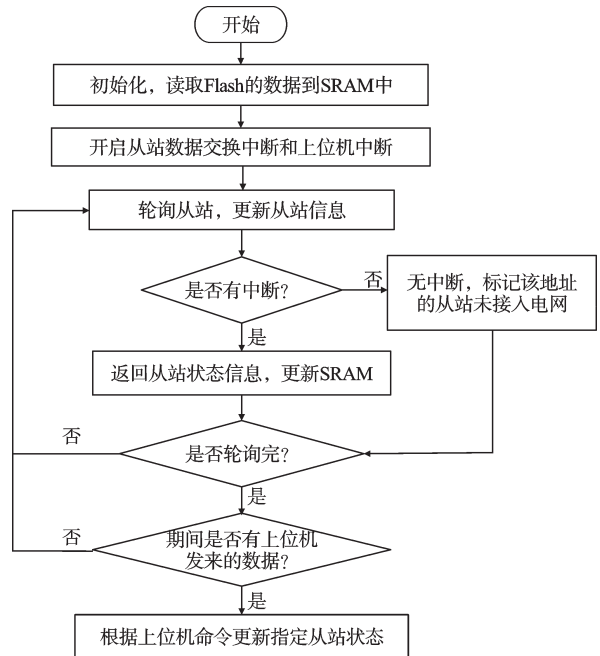


图6 主站程序流程图

如图6所示, 从站的地址信息和配置信息储存于主站的 Flash 内, 主站初始化后读取 Flash 数据到 SRAM 中。主站根据 SRAM 中的内容对所有从站进行轮询, 每个轮询周期是对所有从站进行一次数据交换^[7-10]。在更新从站信息时如果从站无应答发回给主站, 那么就认定该从站不在电网上。上位机可随时写数据到主站。主站在一次轮询完后处理主站发来的数据, 本研究根据这些数据对指定的从站进行开关状态更新。

从站程序流程图如图7所示。

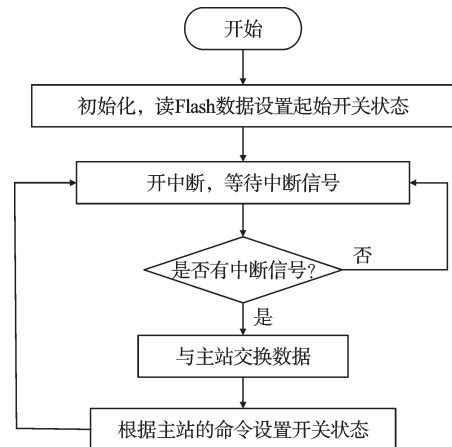


图7 从站程序流程图

本研究在从站上电后先读取 Flash 内的数据, 其中包括起始开关状态和从站自身地址, 设置初始时开关的状态, 然后等待中断, 当主站发送的地址与从站地址一致时从站会产生中断, 然后与主站进行数据交换,

并根据主站发来的数据信息更新自己的开关状态。

5 实验总结

本研究首先根据ST7540的性能指标评估该系统的通讯速度,如选用2 400 bps作为工作速率,则每个位发送的时间约为417 μs ,一个字节的发送时间为 $8 \times 417 = 3\ 336\ \mu\text{s}$ 。主站与从站间交换一次数据时需要给从站发送3个字节以及接收从站3个字节,其中第1个字节为地址段,第2个字节为数据段,第3个字节为校验段,6个字节的通讯时间约为20 ms。所以当只有一个从站的时候,主站控制刷新远程开关所需的时间为20 ms。以一套较大型系统(100个从站)为例,主站在完成对从站的数据交换后到下一次数据交换所需的最长时间为2 s。通过对5个从站的小系统的实验,主站轮询完5个从站所需的时间为100 ms,与估算的一致。

实验结果表明,该设计系统的通讯速度比较快,能满足大多数多实时性要求不高的应用。

6 结束语

利用意法电子的STM32系列处理器和ST7540电力载波调制解调器,本研究设计了基于电力载波的远程开关控制系统。该设计的最大优点是以现有的供电线作为网络通信物理通道,无需架设专用的网络通道,便于在工程中实现,但是电力载波的速度比较慢,

该设计只能用在一些对开关实时性要求不高的场合。随着技术的发展,今后电力载波的速度也会随之提高,能适应更多的应用。

参考文献(References):

- [1] 胡润生,吴继新. 基于ARM和ST7540的城市路灯监控终端设计[J]. 自动化技术与应用, 2007, 26(1): 111-121.
- [2] 王作东. 新型FSK电力线收发器ST7540及其应用[J]. 现代电子技术, 2006, 29(13): 56-58.
- [3] 王开青,闫相宏,郝海涛. 电力载波通信的喷雾降尘控制系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2011, 11(1): 52-54.
- [4] 杨福财,饶运涛,王进宏. 基于ST7540的电力线载波通信模块的设计[J]. 电子元器件应用, 2008, 10(3): 8-12.
- [5] 潘家斌,刘立祥. 应用电力线载波通信技术的自动抄表系统[J]. 机电工程, 2005, 22(10): 58-60.
- [6] 赵建军,侯彦东,张苗辉. 基于网络技术的电力载波抄表系统[J]. 计算技术与自动化, 2006, 25(2): 52-54.
- [7] RADFORD D. Spread-spectrum data leap through AC power wiring[J]. **IEEE Spectrum**, 1996, 33(11): 48-53.
- [8] 龙凯. 基于PROFIBUS的PLC控制系统的设计研究[D]. 武汉:武汉科技大学信息科学与工程学院, 2008.
- [9] 李峰. 电力数据综合传输网络协议体系结构的研究与实现[D]. 北京:华北电力大学控制与计算机工程学院, 2008.
- [10] 朱永娟. 低压电力载波远程抄表系统的研究[D]. 北京:华北电力大学电气与电子工程学院, 2009.

[编辑:李辉]

(上接第1089页)

- [2] SONG H S, NAM K. Dual current control scheme for PWM converter under unbalanced input voltage conditions [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 1999, 46 (5): 953-959.
- [3] TEODORESCU R, BLAABJERG F, LISERRE M, et al. Proportional-resonant controllers and filters for grid-connected voltage-source converters [J]. **IEEE Proceedings Electric Power Applications**, 2006, 153 (5): 750-762.
- [4] 郑艳文,李永东,柴建云,等. 不平衡电压下双馈发电系统控制策略. 电力系统自动化, 2009, 33 (15): 89-93.
- [5] LI Zi-xin, LI Yao-hua, WANG Ping, et al. Control of three-phase boost-type PWM rectifier in stationary frame under unbalanced input voltages [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2010, 25 (10): 2521-2530.
- [6] TEODORESCU R, BLAABJERG F, BORUP U, et al. A new control structure for grid-connected LCL PV inverters with zero steady-state error and selective harmonic compensation [J]. **APEC Nineteenth Annual IEEE**, 2004 (1): 580-586.
- [7] QUAN Yu, NIAN Heng, YU Ni-sa. A Novel Approach to Obtain Constant dc-link Voltage of the Grid Connected Converter under Harmonically Grid Voltage Conditions [C]//**Electrical Machines and Systems (ICEMS)**, International Conference, Hangzhou: [s.n.], 2011: 1-6.
- [8] 李辉,廖勇,姚骏,等. 不平衡电网电压下基于串联网侧变换器的DFIG控制策略[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(3): 96-100.
- [9] HU Jia-bing, ZHANG Wei, WANG Hong-sheng, et al. Proportional integral plus multi-frequency resonant current controller for grid-connected voltage source converter under imbalanced and distorted supply voltage conditions [J]. **Journal of Zhejiang University SCIENCE A**, 2009, 10 (10): 1532-1540.
- [10] GUO Xiao-qiang, WU Wei-yang, CHEN Zhe. Multiple complex-coefficient-filter based phase-locked loop and synchronization technique for three-phase Grid-interfaced converters in distributed utility networks [J]. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 2011, 58 (4): 1194-1204.

[编辑:李辉]