

Design of PWM Amplifier Drive Module in Radar Servo System

Ying Han^{1,*}, Xu Zhang¹, Weifeng Quan¹, Nan Li²

¹The 20th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Xi'an, China

²School of Automation, Northwestern Polytechnical University, Xi'an, China

Email address:

812886870@qq.com (Ying Han)

*Corresponding author

To cite this article:

Ying Han, Xu Zhang, Weifeng Quan, Nan Li. Design of PWM Amplifier Drive Module in Radar Servo System. *Science Discovery*.

Vol. 7, No. 5, 2019, pp. 341-346. doi: 10.11648/j.sd.20190705.24

Received: November 7, 2019; **Accepted:** November 23, 2019; **Published:** December 3, 2019

Abstract: In this paper, a PWM (Pulse width modulation) amplifier drive module in radar servo system has been designed. It's the core of the drive and made up of rectifier filtering circuit and IPM. The rectifier filtering circuit produces the DC bus voltage by rectifying and filtering the single 220V50Hz AC current. The IPM receives the control signal from the control module and makes the DC bus voltage inverted into the three-phase AC voltage to drive the motor. At the same time, the protection design and software design has been given. This system has high accuracy, good quick response features and strong dynamic carrying interference capability. It has been the driving form which is used in widest in the high-precision servo control area.

Keywords: PWM Amplifier Drive Module, The Rectifier Filtering Circuit, The Drive Protection Design, The Drive Software Design

雷达伺服系统中PWM功放驱动模块的设计

韩颖^{1*}, 张旭¹, 权渭锋¹, 李楠²

¹中国电子科技集团有限公司第二十研究所, 西安, 中国

²西北工业大学自动化学院, 西安, 中国

邮箱

812886870@qq.com (韩颖)

摘要: 本文设计了一种应用于雷达伺服控制系统中的PWM(脉冲宽度调制)功率放大驱动模块,它是驱动器的核心部分,主要由整流滤波电路和IPM两部分组成,整流滤波电路将单相220V50Hz交流电经整流和滤波产生所需的直流母线电压;IPM接收控制模块的PWM控制信号,将直流母线电压逆变为三相交流电压以驱动电机。同时给出了驱动器的保护设计方法以及软件设计流程。该系统具有精度高、快速响应特性好、动态抗干扰能力强等诸多优点,已经成为高精度伺服控制领域中应用最广泛的驱动形式。

关键词: PWM功率放大驱动, 整流滤波电路, 驱动器保护设计, 驱动器软件设计

1. 引言

PWM (Pulse width modulation) 技术始于20世纪60年代, 最初用于飞行器中小功率伺服系统; 20世纪70年代中后期, PWM技术较广泛地应用于中等功率的直流伺服系统上。如自动记录仪、自动跟踪望远镜等; 到20世纪80年代, PWM驱动在直流伺服系统中的应用已得到普及。近八、九年来, PWM技术已从最早的空间技术和军事工业中的应用进一步扩展到民用工业, 特别是在自动生产线、机床行业及机器人等领域中得到广泛应用。PWM 晶体管功率放大器工作在开关状态, 其功耗低、体积小。特别在PWM 功放输出一串宽度可调的矩形脉冲时, 除包含有用的控制信号(直流分量)外, 还包含一个频率同切换频率相同的高频分量, 适当选择切换频率, 在高频分量作用下, 伺服电机处于微振状态, 可起到“动力润滑”作用, 既减小了执行轴上的静摩擦, 也能够改善伺服系统的低速特性。近年来, 器件的不断更新使得PWM 功放的应用向大功率小型化延伸, 特别是研究合理的切换频率设计, 可改善和拓宽舰载火控雷达伺服系统的调速范围[1, 2]。本文设计了一种应用于雷达伺服控制系统的PWM功放驱动模块, 它与传统的可控整流式调速系统相比具有诸多优点: (1) 开关频率较高, 仅靠电枢电感的滤波作用就可获得平稳电流, 低速特性好; (2) 快速响应特性好, 动态抗干扰能力强, 可以获得很宽的频带; (3) 主电路损耗小, 装置工作效率高[3]。

2. PWM 功放的设计原理

PWM 的设计需要考虑一下三个因素: (1) 稳定的放大倍数; (2) 改善伺服系统的低速特性; (3) 保证PWM 功放安全可靠工作的保护电路。PWM 功率放大器主要由三角波发生器、比较器、前置放大器、末级功率放大器组成。三角波发生器为PWM 功放提供主振信号, 三角波与控制信号电平相加作为比较器的输入, 比较器输出信号的占空比由控制信号 u_i 决定, t_1 代表脉冲宽度, u_p 为三角波幅值, T 为切换周期, 这几个参数关系如下式所示[4, 5]:

$$t_1 = \frac{T}{4(1+\rho)} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{u_i}{u_p} \quad (2)$$

3. 电压电流核算

采用SVPWM (Space Vector Pulse Width Modulation, 空间矢量脉冲调制) 连续调制方式, 调制度为0.96, 电压利用率为1, 即: 驱动器输出线电压峰值 U_{ABp} 等于母线电压值 U_d 。

$$U_{ABp} = U_d \quad (3)$$

由功率相等原则, 驱动器输入输出功率 P_{in} 相等:

$$P_{in} = U_d \cdot I_d \cdot \eta = \sqrt{3} U_{ABrms} \cdot I_{Arms} \quad (4)$$

其中, 母线电流平均值 I_d 为:

$$I_d = \frac{\sqrt{\frac{3}{2}} I_{Arms}}{\eta} \quad (5)$$

采用PWM控制方式, 母线上是6倍开关频率, 最大幅值为 I_{Ap} 的脉冲电流。

50Hz单相不控整流电路输出电压为:

$$U_d \approx 1.2 U_{rms} \quad (6)$$

50Hz三相不控整流电路输出电压为:

$$U_d \approx 1.35 U_{rms} \quad (7)$$

整流电路可以由三相或单相220V供电, 采用单相220V, 50Hz电源供电时, 整流二极管承受的最大电压为:

$$220 \times \sqrt{2} = 311V$$

采用三相220V, 50Hz电源供电, 整流二极管承受的最大电压为 $220 \times \sqrt{3} \times \sqrt{2} = 539V$ 。不控整流电路根据负载情况选择电容值, 通常按式选择:

$$R \cdot C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2} \quad (8)$$

式中: R 为负载等效电阻; T 为交流电源周期。按上式选择滤波电容 C_l , 当输入为单相220V, 50Hz时, 输出直流电压约为: $220 \times 1.2 = 264V$; 当输入为三相220V, 50Hz时, 输出直流电压约为: $220 \times 2.34 = 515V$ 。

4. 驱动器设计

驱动器原理如图1所示, 秉承模块化、通用化的设计原则, 按功能将驱动器划分为三个功能电路模块: 功率驱动模块、驱动控制模块、驱动接口模块。功率驱动模块是驱动器的核心, 主要由整流滤波电路和IPM两部分组成, 整流滤波电路将单相220V50Hz交流电经整流和滤波产生所需的直流母线电压; IPM接收控制模块的PWM控制信号, 将直流母线电压逆变为三相交流电压以驱动电机。控制模块以DSP为核心, 并设计了模拟、数字信号调理电路, 多种标准接口电路, 以实现传感器信号的采集、控制指令的接收和数据反馈等功能; 驱动器根据控制器或上位机指令和实时采集的各类传感器信号, 通过控制算法, 输出PWM控制信号, 同时对驱动器状态进行监控, 向控制器或上位机实时反馈。驱动接口模块作为驱动器对外接口的补充, 其上设计了实际需求的、控制电路不便设计的接口, 以扩展驱动器的接口形式, 增强驱动器的适应性; 接口电路对内通过数据总线、地址总线、读/写控制线、片选控制线等与控制电路连接, 对外是实际需求的接口, 数据通过接口电路转换成统一的标准格式, 实现驱动器与外部的高效数据交换。

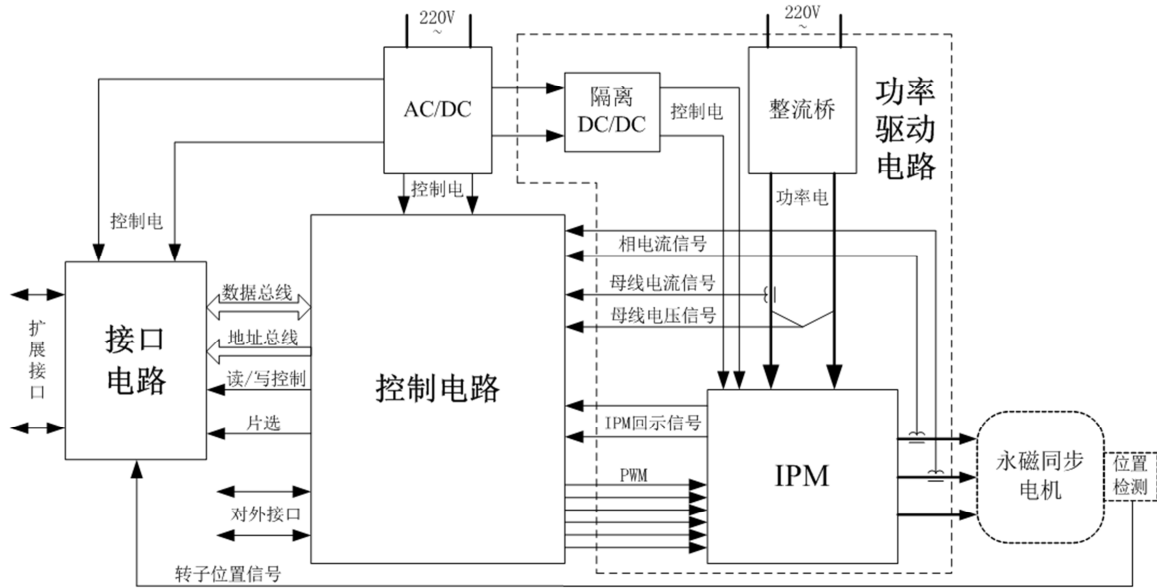


图1 驱动器原理。

4.1. 功率驱动模块设计

功率驱动电路原理如图3所示，它是驱动器的核心电路，将输入的220V，50Hz交流电整流为直流电，再将直流电逆变为驱动电机的交流电。

4.1.1. 整流滤波电路设计

整流电路采用单相不控整流桥[6]，上电时，触点K1和K2处于断开状态，整流后电压通过限流电阻R1向母线滤波电容C₁充电，待电容端电压上升到设定的电压值时，继电器控制电路将触点K1闭合，电阻R1短路，驱动器上电完成。在完成上电和驱动器自检后，继电器控制电路将

触点K2闭合，驱动器进入工作状态。其工作的具体原理如图2所示，驱动器运行过程中，当出现快速制动或快速改变转向的工况时，存储在电机定子绕组和转子上的能量将回馈到直流侧，由于供电采用不控整流电路，无法将这部分电能回馈到电网，将导致母线电压泵升，因此，设计了由R2~R4、U1和VT0组成母线电压泄放电路，在母线电压泵升到设定阈值时，开通VT0，将回馈的电能消耗电阻R4上。通过电阻 R2和R3分压实现母线电压检测，母线电压信号输入滞回比较电路，其输出直接控制泄放开关VT0，母线电压一旦超过泄放阈值，开通VT0，直到母线电压下降到泄放阈值以下设定电压时，才关闭VT0。

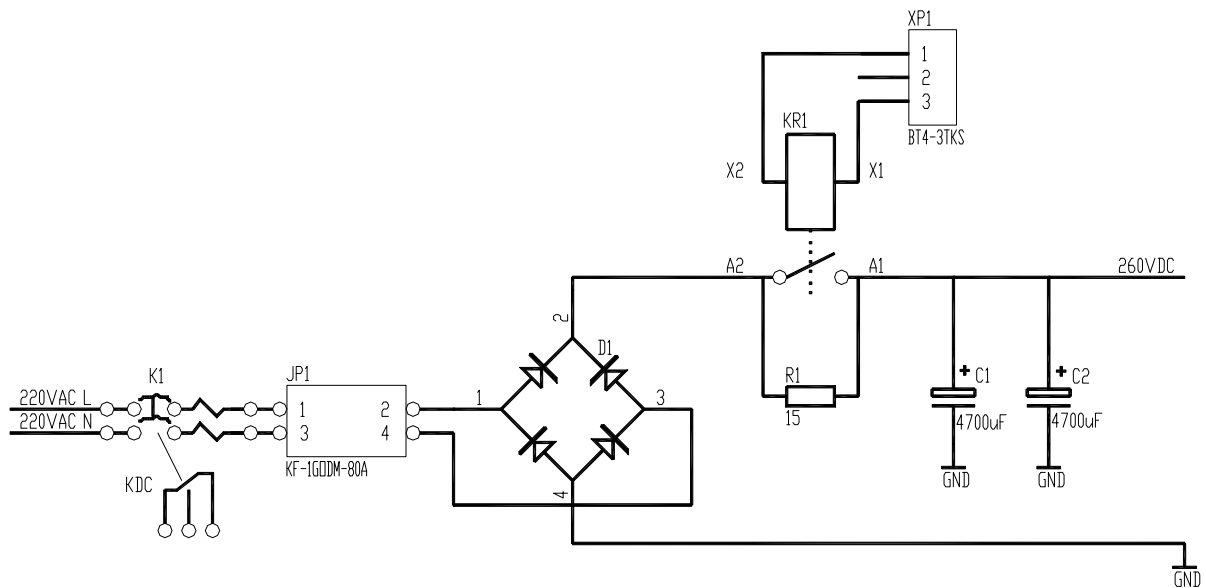


图2 整流滤波电路原理图。

4.1.2. IPM（智能功率模块）设计

功率驱动电路原理如图3所示，功率逆变电路采用IPM[7-12]，IPM内部集成了IGBT三相全桥及其隔离驱动电路、故障检测电路和保护电路，应用时只要供给IPM所需的直流电压和PWM信号即可，IPM内部完成PWM信号隔离驱动以及过流、过温等故障检测和保护功能，并送出故障回示信号。在母线和A、B相线上装有霍尔式电流传感器，以检测母线电流和相电流，一方面用做电流环的反

馈，另一方面用于驱动器的过流保护。系统供电采用50Hz/220VAC供电，该交流电经单相交流滤波器滤波后，加在内部含有四个整流二极管的不控整流桥输入端，由整流桥将220VAC整流为脉动的直流电，并经电容滤波后作为驱动器的直流母线电压。根据所选用永磁交流伺服电机参数，峰值堵转电流20A，直流母线电压约为1.2倍输入电压，也即260VDC。

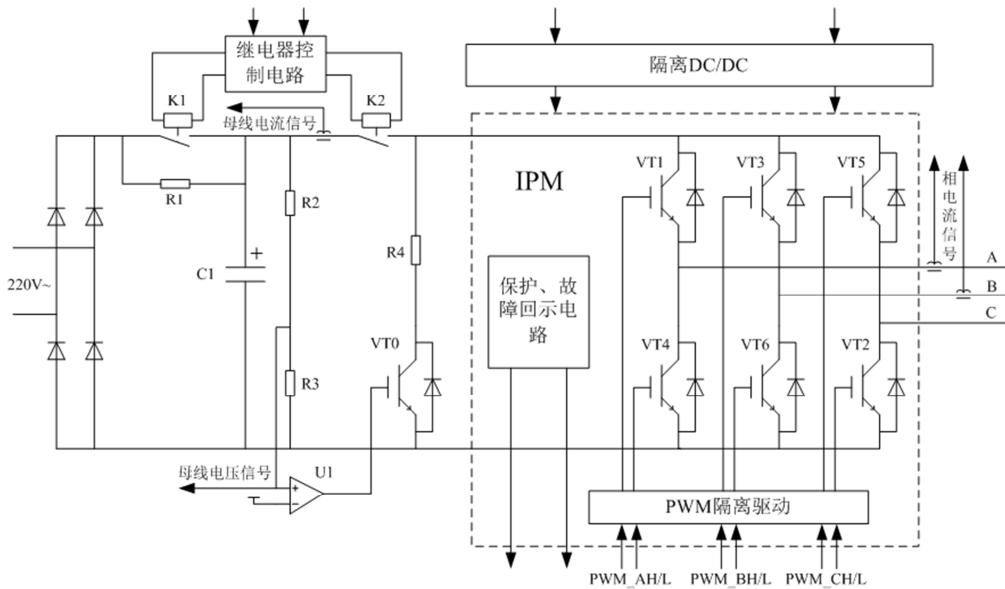


图3 功率驱动电路原理。

4.2. 驱动器的保护设计

保护策略[13-15]是驱动器安全可靠运行的保障，驱动器运行过程中存在高频的电压和电流变化，很容易造成驱动器电路损伤。保护策略分为软件和硬件两方面，软件保护是在软件运行中实时监控母线电压、母线电流、相电流和驱动器回示等信号值，根据故障的不同量级，作出相应的保护动作。硬件保护是指不通过DSP，将威胁等级高的母线电流、相电流信号送入比较器，一旦超过设定值，立即作出保护动作。

4.2.1. 软件保护

直流母线电压及三相电流检测电路：对母线电压、三相电流进行实时监控，通过采样电路，电平转换电路将母线电压及三相电流状态信息反馈给驱动控制模块，进行软件保护。

4.2.2. 母线电压泄放保护电路

主要包括母线电压采样及调理电路、泄放保护电路。电压检测电路对直流母线电压进行实时检测，当超过母线电压超过400V时，通过驱动控制模块软件及功率驱动模块的硬件双重设置接通泄放电路，对母线上的尖峰电压进行泄放，当直流母线电压小于350V关断泄放电路，保证功率器件的安全。

5. 驱动器软件设计

驱动器软件主要完成位置和电流信号读取、电流环校正、SVPWM计算、控制信号输出、与控制器或上位机通信和驱动器保护等功能。驱动器软件由初始化程序、工作主程序、定时中断子程序等组成。初始化模块完成DSP内核及外设的配置，是DSP正常运行的基础，程序流程图如4所示。

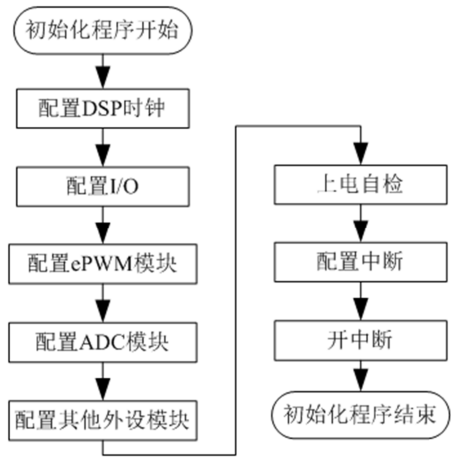


图4 初始化程序流程图。

工作主程序以0.1ms周期循环工作，驱动器的主要功能均在工作主程序中完成，流程图如图5所示。

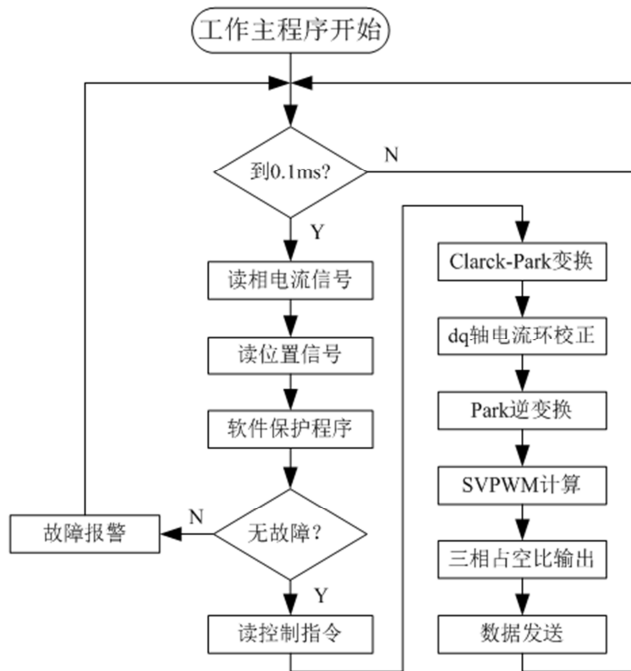


图5 工作主程序流程图。

定时中断以ePWM模块的时基计数器为计时标准，在ePWM时基下溢时产生中断。定时中断服务程序中将“0.1ms到”标志置位，以使能主工作程序。流程图如图6所示。

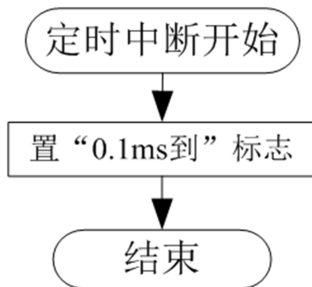


图6 定时中断服务程序流程图。

SCI接收中断在接收FIFO寄存器半满（或慢）时产生接收中断^[6]，将接收数据读出。流程图如图7所示。

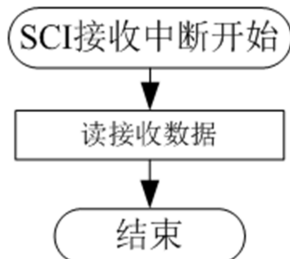


图7 SCI接收中断服务程序流程图。

6. 结论

驱动器作为交流伺服分系统的功率放大驱动部分，在伺服分系统中具有重要的地位，其性能优越与否，直接影响到整个伺服分系统的性能。目前大多数基于永磁交流伺服电机的伺服分系统均采用电压型逆变器，通过脉冲宽度调制（PWM），对电机电流大小和相位实现控制。由整流器、电容滤波器、逆变电路便构成了电压型PWM逆变器，多采用交—直—交拓扑结构，电路结构成熟。功率电子器件方面，智能功率模块（IPM）已成为现代电机控制系统中功率电路的首选。

本文设计了一种应用于雷达伺服控制系统中的PWM功率放大驱动模块，他是驱动器的核心部分，主要由整流滤波电路和IPM两部分组成，整流滤波电路将单相220V50Hz交流电经整流和滤波产生所需的直流母线电压；IPM接收控制模块的PWM控制信号，将直流母线电压逆变为三相交流电压以驱动电机。驱动器根据控制器或上位机指令和实时采集的各类传感器信号，通过控制算法，输出PWM控制信号，同时对驱动器状态进行监控，向控制器或上位机实时反馈。该系统具有精度高、快速响应特性好、动态抗干扰能力强等诸多优点，已经成为高精度伺服控制领域中应用最广泛的驱动形式。

参考文献

- [1] 任平一, 陈娟, 王志宏, 侯云海. 直流PWM模式的研究[J]. 光机电信息, 2004, 7: 26-30.
- [2] 冉多钢, 陈鹏, 刘伟玲, 许亚豪. 超低纹波PWM编码技术分析[J]. 重庆大学学报, 2018, 41(5): 52-59.
- [3] 陶璐, 李良光. 基于PWM技术逆变器的谐波的研究[J]. 科技世界, 2018, 138.
- [4] 高强, 朱玉川, 罗樟, 陈晓明. 高速开关阀的复合PWM控制策略分析与优化[J]. 北京航空航天大学学报, 2019, 45(6): 1129-1135.
- [5] WU S, ZHAO X Y, LI C F, et al. Multi-objective optimization of a hollow plunger type solenoid for high speed on/off valve [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65(4): 3115-3124.
- [6] 朱家富, 高令, 刘玖红. 整流电路的功率问题研究[J]. 重庆文理学院学报(自然科学版), 2007, 26(6): 47-50.
- [7] 韩立业. 大功率IPM模块的结构设计与仿真[M]. 西安工程大学, 2017.
- [8] 张文彬, 赵镜红. 基于IPM的高频逆变电源驱动和保护电路设计及应用[J]. 舰船电子工程, 2013, 10: 124-126.
- [9] 宋汉梁, 杨天, 修连城, 林健. 基于IPM的并网逆变器系统实验平台设计[J]. 电气电工, 2019, 4: 24-29.
- [10] 张文臣, 赵爱明, 张行, 李国君, 张梓轩. 电流型PWM整流电路功率控制研究与应用[J]. 物联网技术, 2019, 9(10): 67-70.

- [11] 许福鹿, 韩梁, 石亮缘, 李彬. 基于不同控制策略的单相 PWM 整流系统研究[J]. 电力学报, 2018, 33(04): 346-352.
- [12] XIONG L S, ZHUO F, WANG F, et al. Static Synchronous Generator Model: A New Perspective to Investigate Dynamic Characteristics and Stability Issues of Grid-Tied PWM Inverter [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, 31(9): 6264-6280.
- [13] 陈洁菁, 杨胡萍, 徐佳敏, 肖健. 供配电线路自适应电流保护整定系统的研制[J]. 南昌大学学报, 2017, 39 (1) : 98-102.
- [14] PATIL V Y, SAUNSHI G B. An Overview on adaptive protection in power system [J]. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2014, 4 (4): 296-400.
- [15] DELLA G D, DEDE A, ALVAREZD S A, et al. Toward an adaptive protection system for the distribution grid by using the IEC 61850[C]//IEEE International Conference on Industrial Technology, 2015.