

宽输入电压的智能配电终端电源设计

稳定的电源供给是配电网保护、测控等各类智能终端的基础，直接关系到智能配电网的可靠、稳定运行。针对当前配电网智能终端的电源形式多样化和电源波动较大等问题，研发了一种宽输入电压范围的配电网智能终端电源模块。首先介绍了电源模块的拓扑原理，进而重点分析了各关键子模块的具体电路设计。实际的测试结果表明，所设计的电源模块在多种输入电压且强干扰情况下仍能输出稳定电源。

蒋 秀/广东电网有限责任公司江门供电局

0 引言

随着配电自动化水平的不断提高，各类智能配电终端的数量也不断增加。作为配电自动化系统的基本单元，智能配电终端主要用于实现保护、测量、控制以及通信等功能，直接关系到整个配电网核心电气设备的稳定、可靠运行。智能终端一般包括电源、采集、计算和通信等模块，其中实现电能量转换的电源模块是保证智能终端正常运行的基础。目前大部分的智能终端电源模块设计的输入类型单一，输入电压较窄，只能应用于特定的环境，在电压波动范围较大的配电网等场合中适应性较差。

随着智能配电终端被越来越多的应用，配电终端的物理分布更为广泛，装置获取自身电源的形式也更加多样化，除了传统的蓄电池提供稳定电源外，还包括直接从电网获取电源、从光伏等分布式能源中获取电源等多种形式，对装置电源的强适应性提出了更高的要求。在研究如何保障智能终端电源模块关键性能的同时，拓宽其输入电压类型以及输入电压范围，有利于增强智能终端在状

况多样化的配电网中的适用性。

为了满足智能配电网发展对智能终端电源的需求，本文结合现代开关电源技术，设计一种具备宽输入电压类型以及输入电压范围能力的智能配电终端电源模块，以实现不同配电网应用环境下的适用性。

1 配电网终端的电源需求

智能配电终端分布于配电网各个环节，其输入电源根据终端所处环境具有多样化特性。当智能配电终端位于配置有二次直流电源的配电子站或主站时，可直接使用配电子站或主站供电系统中的直流电源；当智能配电终端以光伏等分布式能源作为电源时，需接入电压等级较低的蓄电池。常见的配电网蓄电池电压包括直流24 V、48 V、60 V、110 V和220 V。当智能配电终端无法从蓄电池获取电源时，则需要从交流电网直接汲取电能，考虑到配电网电压波动性较大，因此在设计电源模块输入电压时应具备较大范围。

本文针对当前配电网主要的两种电源输入场合进行智能配电终端电源设计，所设计的直流电源电压满足DC 24~240 V宽幅输入。直接从电网汲取的电能经互感器变换后，一般以110/220 V输出，为了更好地适应配电网的电压波动，所设计的电源模块输入电压波动范围为标准电压的25%，即AC 88~276 V。因此，所设计的DC 24~240 V、AC 88~276 V的宽幅交直流输入电源模块可满足绝大部分智能配电终端的应用环境。



蒋 秀/高级工程师

关键词/Keywords

电源 ·
智能配电网 ·
智能终端 ·
宽输入 ·

不同类型的智能配电终端的额定功率不尽相同,一般由其功能以及性能决定,其中最为耗电的模块主要包括计算处理模块、通信模块以及继电器驱动模块。考虑到一般智能配电终端采用的处理芯片以及通信模块的功率在10 W之下;继电器驱动模块的功率根据继电器类型的不同有所差别,但一般在10 W以下,极端情况下同时具备测控、多重保护以及通信功能的智能配电终端的功率不大于25 W。因此,结合具体应用情况并考虑一定的容量裕度,所设计的电源模块额定功率为30 W,已能满足智能终端的需要。

2 功能模块

配电网智能终端投运后将长时间运行,对电源效率要求很高;而且电源插件需嵌入到智能终端中,电源的空间应尽可能小,由于开关电源具有转换效率高、占用空间小等优点,因此,配电网智能终端设计选择开关电源。

在智能终端中,考虑到所需的电压包括5 V(装置主电源)、 ± 12 V(采样回路和继电器回路)等多种电压,为了简化电路设计,本文电源模块设计采用了两级转换拓扑,包括Booster升压转换电路以及反激式转换电路,具体电源模块整体设计如图1所示。本电路设计兼容配电网多种电源输入模式,能满足DC 24~250 V电压输入或AC 88~276 V输入,经滤波和整流电路变换后,采用Booster电路将电压转换为355 V的直流输出,最后采用反激式变换器将直流电压转换为 ± 12 V以及带隔离地的5 V输出,具体包括以下主要的子模块。

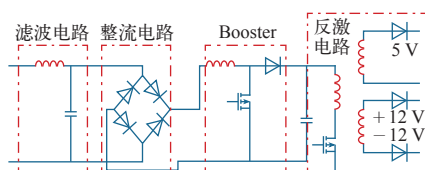


图1 电源模块整体设计

(1) 滤波电路

所设计的电源模块具有直流和交流电压两个独立的输入接口,电压输入模块连接到前端EMC

滤波电路。同时电源输入模块具有浪涌保护功能,配置有金属氧化物变阻器、共模扼流圈,支持差模以及共模浪涌保护。而共模滤波以及差模滤波分别通过Y电容、X电容以及漏电感实现。

(2) 整流电路

由于Booster的输入电压为直流,而本文所设计的电源输入类型包括直流以及交流电压,故在Booster升压前设置整流子模块。考虑到输入电压范围较宽,为了保障转换的效率,采用的是分立二极管搭建全桥整流电路。

(3) Booster升压

桥式整流的输出直流电压作为Booster升压电路的输入,Booster升压电路输出电压为355 V直流。Booster升压电路如图2所示,电路核心采用TPS40210芯片,芯片工作在非连续导通模式,以避免连续导通所带来的损耗。

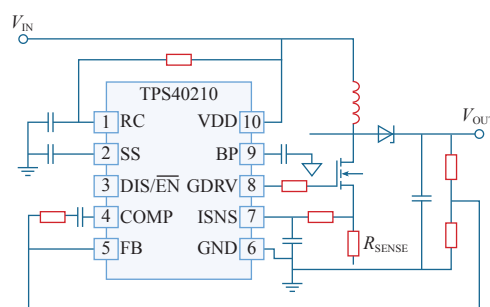


图2 Booster升压电路

(4) 反激变换

为了得到配电网终端所需的5 V/ ± 12 V直流电压,第二级转换器采用TI UCC28600芯片的反激变换电路,如图3所示。将第一级回路得到的355 V直流电压作为反激回路的输入,通过控制芯片UCC28600向MOSFET发出控制信号,从而调整一次电压,进而获取多种类型的输出电压。同时,设计了缓冲电路以最大限度地降低Booster升压、反激变换电路的MOSFET以及输出二极管的瞬变,并有效降低EMI。

3 制作和测试分析

良好的原理设计是保证电源模块的基础,而印制电路板(PCB)设计和元器件布局则是电源模

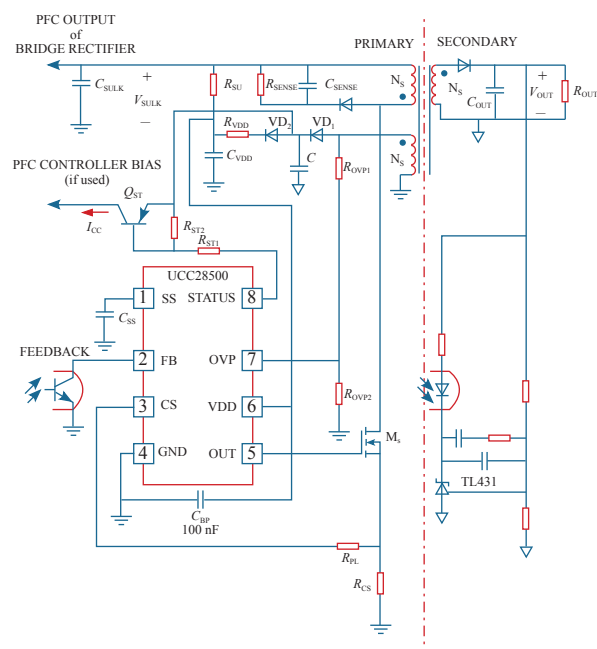


图3 反激变换电路

块成功制作和稳定运行的关键，本电源模块PCB布局时，严格遵循强、弱电分离原则。根据电源的产生顺序依次布局主要元器件，并在PCB上尽可能加粗地线，以防止不同电压等级电源之间的串扰。在加强PCB电磁干扰设计的同时，合理布局各元器件，使整个电路紧凑，占用空间小，可方便嵌入到各种配电终端中，如图4所示。



图4 电源模块实物

3.1 测试内容

为了测试电源模块稳定的电压输出功能及不同负载下的转换效率，在交直流输入电压和负载变动的情况下对模块进行测试。其中，测试使用的交流电源可在2~4 A负载电流情况下稳定输出70~280 V可调交流电压；使用的直流电源可在4 A负载电流情况下稳定输出15~250 V可调直流电

压；测试使用多通道可编程电子负载，每路负载均可连续调整，最大承受电流为40 A，最大承受电压为80 V。在转化效率的测试中，电源模块工作在满载条件，只改变出入的交直流电压；在输出电压的测试中，只改变电源的输出负载，而输入电压保持不变。

在测试过程中使用Fluke电能质量分析仪、数字式示波器对电源模块的整体输入输出以及Booster电路、反激电路的输入输出进行完整记录。

3.2 测试结果

对测试数据进行整理，得到电源效率以及不同负载下的输出电压波形，如图5~图7所示。从图5、图6可以得到，所设计的电源模块具有较高的转换效率，根据所输入的交流电压不同，电

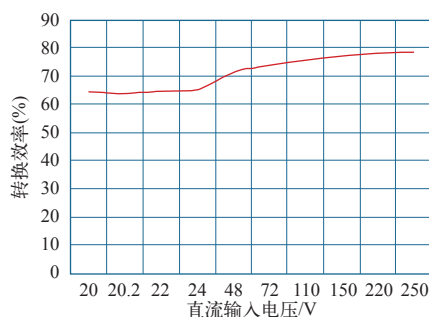


图5 直流输入电压下的转换效率

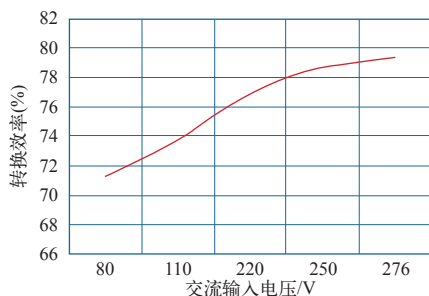


图6 交流输入电压下的转换效率

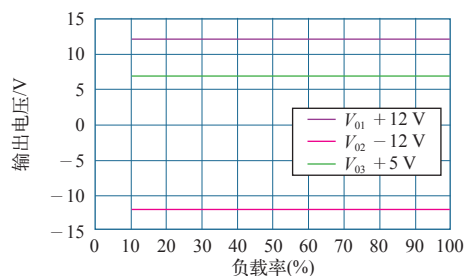


图7 不同负载率下的输出电压波形

源模块的转换效率也随之发生变化,转换效率保持在60%~80%之间,且在测试输入电压范围内随着输入交直流电压的升高,电源转换效率也逐渐提高。由于配电网终端在不同工况下,电源的输出功率会有所差别,如配电网终端因为保护跳闸等原因可能会在短时间内触发多个继电器,此时电源需保障能瞬时带动多个不同负载。为使配电网自动化终端能够可靠地工作,需保证在不同负载率的情况下终端电源模块能输出稳定的电压。从图7可以直观看到电源模块输出电压稳定性高,在10%~100%的负载率下,电源模块均能输出稳定的电压。

智能终端长时间运行于高电磁干扰的电网中,电源模块作为智能终端最容易受干扰的环节,抗干扰能力尤为重要,因此,在电源模块的核心Booster电路中专门制造电源振荡测试。在输入直流电压发生剧烈波动下,电源模块输出电压的情况如图8所示。从图8中可以得到,电源模块抗波动能力较强,在输入电压剧烈波动的情况下,电源模块仍然能输出稳定的电压,从输出电压的放大图中可以看到,除了少数毛刺外,输出电压具有非常好的稳定性。进一步进行输入电压中断测试,在输入电压中断一个周波时,Booster电路和模块最终输出电压的波形如图9所示。图中,在一个周波内输入电压降到额定值的10%以下,此时Booster电路输出也有一个突降,而模块的输出电压几乎不受影响。因此,即使在输入电压发生较大波动或者输入电压短时中断的情况下,电源模块仍然能输出稳定的电压,这就为配电网自动化终端可靠性工作提供了保障。

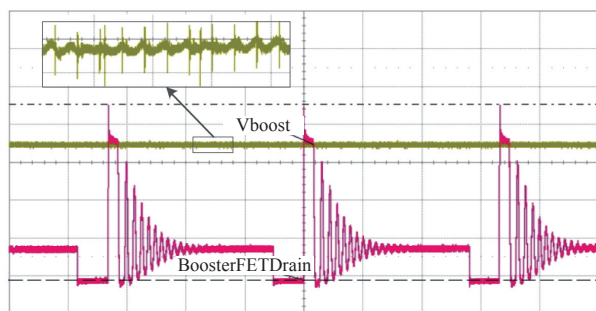


图8 Booster电路输入输出波形分析

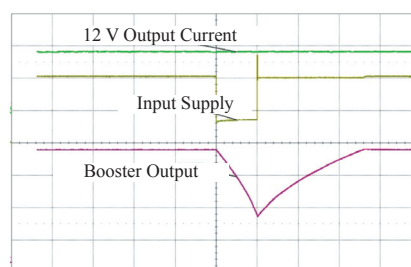


图9 输入电压中断50 ms情况下的波形

对测试结果进行汇总,如下表所示。电源模块的电压调整率小,输入交流电压在AC 80~276 V变化或输入直流电压在DC 20~250 V变化时,电源模块的电压调整率小于1%。电源模块的转换效率较高,在满载的情况下,当输入交流电压在规定范围内时,转换效率随着输入电压的升高在63%~77%变动;当输入直流电压在规定范围内时,转换效率在70%~78%变动。电源模块的负载调整率比较低,负载率在10%~100%变动时,输出电压波动小于1%,输出电压稳定性高。此外,电源模块输出电压的纹波比较低,输出的 ± 12 V电源的纹波小于200 mV。

表 测试结果汇总

测试项目	测试参数	测试结果
电压调整率	DC 20~250 V	<1%
	AC 80~276 V	<1%
效率	DC 20~250 V	在满载条件下64%~77%
	AC 80~276 V	在满载条件下70%~78%
负载调整率	10%~100%负载变化	<1%
纹波	无	<200 mV
穿越性能	无	>100 ms

4 结束语

智能配电网的发展对智能终端电源模块提出了更高的要求,为了提高配电网智能终端的可靠性以及适用范围,本文研究了一种适合于配电网且具有宽输入电压特性的电源模块。分析了电源模块的原理,介绍了各个关键子模块的电路设计,测试了电源模块的效率、电压调整率和负载调整率等性能。测试结果表明,所设计的宽输入电压范围电源模块具有稳定电压输出功能。

(收稿日期:2015-12-03) EA