[充电系统]

半桥式DC/DC转换器在48 V充电系统中的设计

文/刘广艳
中航太克（厦门）电力技术股份有限公司

将半桥式DC/DC变换技术应用于48 V充电系统，应用闭环电压控制技术，使原来稳定的直流输入220 V等电压值稳定在电压54 V的直流输出，从而提高了整个系统的电源稳定性。半桥式DC/DC转换器因其构造简单，功能器件组合搭配较少，因此在UPS等中小容量场合中获得了较普遍的使用。

随着新型电力电子系统开发和工业的不断进步，越来越多的新技术与新理论也随之引入到UPS电源产品等行业中。而UPS不间断电源的产品特点、空间尺寸大小、场地条件及安全可靠性特点尤为突出。UPS的充电器主要有四种类型设计，大电流充电器中可以使用多管IGBT进行功率因数管理，以实现高性能电流和大电压，本文所介绍的48 V充电器使用半桥式总体设计方法，其集成电路设计构造简单，功率元器件较少，大功率管受电压应力小，是半桥DC/DC直流转换器的主要优点，因此如何将半桥式DC/DC变换技术应用于48 V充电系统是近年来的重要研究课题。

电子设备工业的快速增长，大大地促进了开关电源的开发。而高频紧凑型的开关电源及其工艺技术早已成为了现代计算机系统的首选。在电子行业中，人们一般将整流电路称为一次供电，而将DC/DC直流转换器称为二次电源。一次供电的主要功能就是将原来单相或三相的电网转成指标值为48 V的直流电源电压。而目前，在消费电子产品普遍使用的一次供电中，常规的相控式稳压电源开始逐渐被高频开关的供电代替，利用MOSFET或IGBT来实现高频的工作，以达到小型高性能。

由于在电子器件中所使用的嵌入式集成电路的品种很多，其电源电压也多种多样，如DC 192 V/DC 220 V/DC 348 V/DC 384 V/DC 484 V等，在电网系统中，通过DC/DC隔离电源电子模块，将取用中间段的母线电压转换成所需要的各种直流电压，能够极大降低能量消耗，便于维修，通常设备都可垂直安置在标准主控制板上，可满足二次电源的电子设备容量的不断增加，保证了安装和扩容的方便。

半桥式DC/DC转换器的工作原理

DC/DC转换器一般使用的电子元器件主要是由电子开关、开关管、电感、电容和变压器等构成。电子开关都是很快打开、很快闭合这两种状态，从而完成切换。力求变化速度，使开关速率线性带载最大放宽，对开关状态变化所产生的能量损失降低到最小。因此本文的工作原理电路主要讲的是将原来直流电压220 V等恒定直流输入改为54 V稳定直流输出，可使各大组成元器件损耗值变最小。 DC/DC半桥式转换器基本电路如图1所示。

通过使用两个电容器C_1、C_2以及二个开关管Q_1、Q_2共同形成两个桥，桥的对角线上跟与变压器T的一次绕组直接连通，故称之为半桥式转换器。

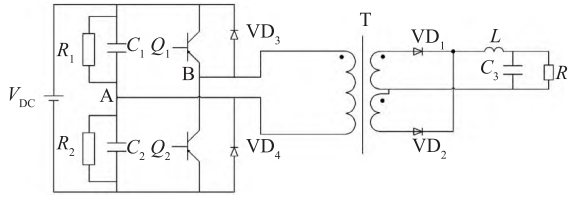

图1　DC–DC半桥式转换器基本电路

C_1=C_2，某一开关晶体管开合通过时，其电压值只是正常电源的50%。当变压器T导通后，电容器C_1上的1/2电压V_{DC}附在了一次线圈上，变压器T通过负载电流I。电源回路电源主要由开关管Q_1、电容和交流变压器等构成，同时根据两头极性的变化不同也可分为上正下负，在50%占空比系数的规定时间内，变压器T关断。如果负载电流I方向不变，则电流值逐渐减少，此时在B处为负电位，VD_4导通，由于此时电源能量再生，给电容器C_2补充电能能量，负电位B连接点的中心电压在阻尼电阻的影响下呈荡动状态，重新回归至原先的中心电压值。当变压器T关闭后，再加一个触发脉冲，使变压器T导通，同时一次侧的黑点边端电压变为负值。最后该电路再次通过电容C_1、开关管Q_2和变压器T重新组成电源回路。如此类推重复以前步骤方法。

转换器上的隔离变压器是由变压器T与开关电源构成，导通时刻基本上是全部的循环，V_I和V_0电压比通过匝比确定。电压380 V转变为220 V等可单向改变的特性，该回路叫作隔离变压器回路。半桥隔离变压器连接图如图2所示。

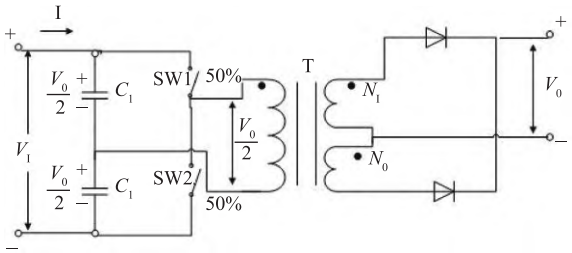

图2　半桥变压隔离器连接图

在图2中，交互导通的电子开关SW1和SW2，当电子开关SW1导通时，SW2闭合，然后反之。其中任意一个已经断开的开关，其两头的输出电压不小于源电压V_0，那么任意一个相互导通开关的峰值电流都等于平均源电流I的两倍。如果互相导通在50%的间隔时间内，当一种直流电压V_I经过带中心抽头的二次侧N_I以及二极管VD_1、VD_2就能够获得完全不同于V_I的另外的一种直流电压V_0，电压比由匝比决定。开关SW1和SW2之间可以多次相互循环导通，确保每一次循环引导时间长度约为整个开关循环时间的50%。而转换成两个导通开关后的实际效果仅仅是在T上的一个一次电流上产生出了另一种对称的正向交换电流，因此变压器的一次电流电压在理论上约为输入电压V_O的50%。因此，对于给定V_I、V_O值时，绕组N_I、N_O只需要较少的匝数，即可通过调整开关SW1和SW2的工作速率来控制变压器T，作为通常的半桥隔离变压器。

从以上可以得知，半桥隔离变压器实际上是由开关SW1和SW2及高频交流隔离变压器电路构成，它并非独立的元件。开关的50%占空比恒定不变，电压主要靠与一二次的线圈匝数比来决定。隔离变压器不是完全独立工作，而只是接入到DC/DC转换器中，并起到入/出口分离的作用。隔离变压器可以取到抗干扰性和隔离的作用。

为使充电后电压的稳态值限制在54 V，可以选择对系统使用闭环控制。由于按照输入输出电压会发生相应变化，通过适当调整开关管中电流导通的占空比关系来调整控制输入和输出电压。闭环控制方法结构图如图3所示，由给定阶段、对比控制阶段、修正控制阶段、释放控制阶段、执行反馈机构、受控反馈对象和反馈检测控制单元装置构成。给定阶段定义的最大输出充电电压为54 V，对比控制阶段将所要求的最大输出电压54 V和实际的输出电压进行对比寻求误差，修正控制阶段按照偏差的极性、频率调节开关管的通断长度，释放控制阶段将修正中的电压调整至合理的比例，反馈检测控制单元是将实际产生的电压测量出来。

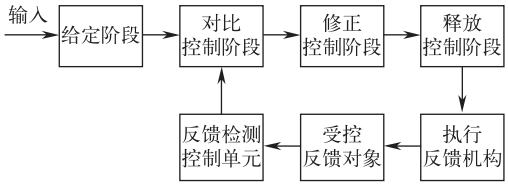

图3　闭环电压控制技术结构图

设置使用闭环电压控制技术时，闭环控制系统回路如图4所示，控制器的电路由PID控制器、二极管元器件和按对比等各个阶段构成。将输入电压取名为反馈电压，极性取负；所需要的稳态以输入电

压54 V为给定，极性取正，将与输入反馈与给定电压作对比，当在完成PID控制调节、二极管元器件过滤之后，先与给出的给定电压54 V相比较，按比例缩小，成为闭环控制中的输出电压。在此，由于PID控件具备扩大误差、减少误差的功能， 为防止积分中各个环节将误差无限地积分、扩大，并可能损坏元器件，所以需要引入限幅过程。将检测控制过的误差数据与给定电压相比，比例阶段技术参数的选择方法为：当控制系统输出电压等于54 V时，偏差信号为零，但在经过限幅循环阶段过程后仍然为零，然后再与所需要的输出值叠加，通过对比后，此时占空比恰好为0.7～0.8，故在对比阶段的参考值应选为0.04。

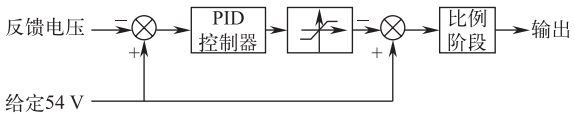

图4　闭环控制系统回路

半桥DC/DC变换系统在直流电压48 V仿真分析

仿真的技术条件：为一个半桥式直流DC/DC转换然，需要将220 V等直流电压降压至最大充电时的54 V，容量为5 kW或者4 kV·A，功率因数为0.8，最大开关频率为50 kHz。稳态误差一般在1%以内，高速性较好。

对半桥DC/DC变换系统的仿真条件搭建如图5所示，为防止因在两个开关管上同时导通电流而造成的直流回路短路问题，要求每个开关管的占空比系数都均为40%～50%，且在通过变压器时可求的电缆匝数比均为64∶2，以达到使半桥DC/DC转换器从220 V等的直流输入至所规定的稳定电压54 V，并且动作特性与稳定参数也都满足要求。

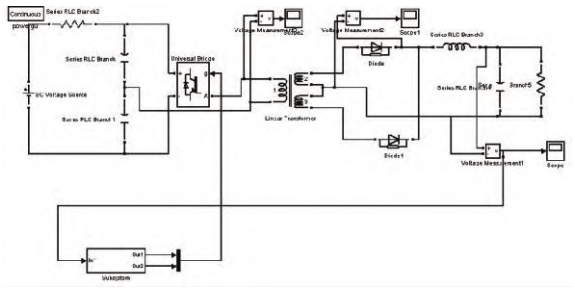

图5　半桥DC/DC变换系统系统仿真条件

开关管控制脉冲仿真分析（如图所示）

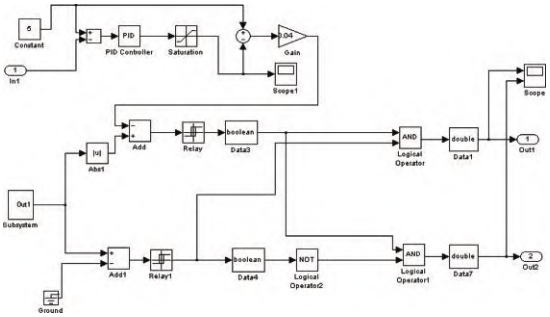

图6　开关管脉冲信号控制

在两个开关管分别满足50%占空比时，输出电压为54 V，与要求在反馈电压输出电路中所产生的垂直和三角波形比较时，所产生的脉宽调制信号的脉宽总长度相当于整个周期的70%～80%。

反馈电压经与给定阶段54 V电压对比后，进入PID控制器循环的限幅循环，再经由给定54 V进行比较，与比例环节的参数0.04相除，得到如图7～图9所示波形。

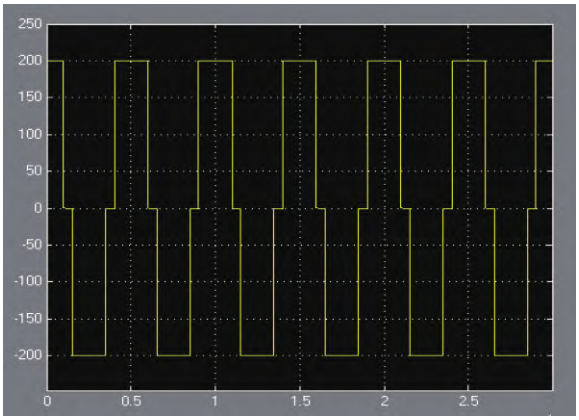

图7　绕组电压

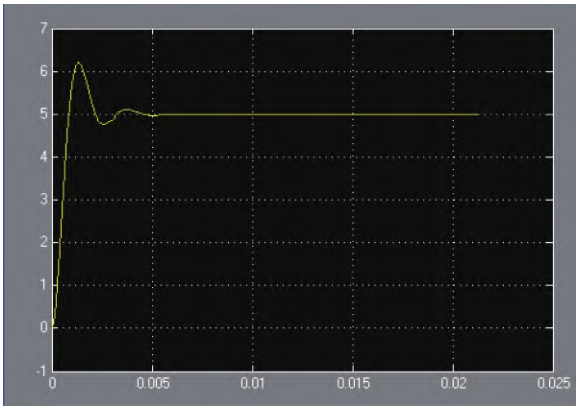

图8　输出电压

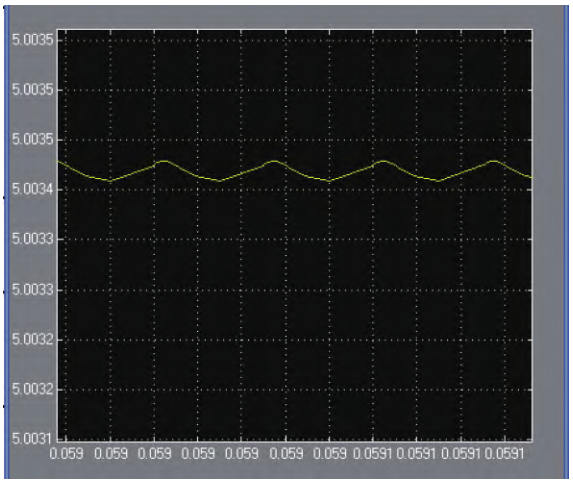

图9　稳态误差

根据图6～图8得稳态误差

$$V=\frac{0.44}{54}=0.00\ 074=0.07\ \%$$

对系统的模拟电路波形的性能指标进行研究。结果表明，所设计的半桥式DC/DC转换器符合稳态偏差较小、迅捷性能等要求，实用安全稳定性高。

应用案例

内蒙古自治区三联化工集团是自治区内生产基础产品和精细化工制品的主要骨干企业和国家氯碱产品生产重点企业，主要成品有聚氯乙烯等各类化学试药等。如果遇到停电或中断电源等事件，将严重影响厂部产品的正常运作。造成极其严重的经济损失。为了实现对厂部区域的不停供电，故选用半桥式DC/DC转换器设计，并通过闭环电压控制技术，将稳定的220 V直流输入改为稳定的54 V直流输出，用于中小功率UPS不间断电源系统的供电，确保了对厂部系统的连续供电。

如图10可得，以上用高智能化的电气方法快速实现了各种转换，并真正做到了低压用不停电源，其中半桥DC/DC变换在直流方面取到了关键效果，由于这种转换器非常适合应用于中小功率UPS不间断电源机箱，因此48 V充电用半桥式转换器设计中，采用MOSFET为主，通过反馈电压来调节脉宽的电流、调整率和瞬态响应率等速率值，达到供电质量提高的目的。完成了用户对电能可靠性日益提高的要求，保护了负载的正常运行。

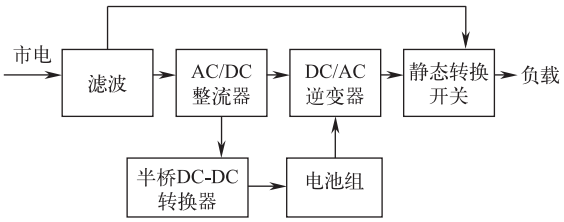

图10　半桥DC／DC变换在UPS系统中的应用

结束语

伴随人们生活水平的提高，电力电子变换技术在当今的社会生活环境中正发挥着越来越重要的作用，开展电能转换技术更深层次的应用探索变得愈发关键。半桥型DC/DC转换器完成了直接将220 V等恒定电压变换为54 V稳定电压的作用。半桥型DC/DC转换器内部结构简单，经仿真研究显示其适应于各种稳态条件，并具备了相当的实用价值。相信电力电子器件理论和控制技术的进一步发展，DC/DC将在中远程和电力数字通信方面具有更广泛的应用前景。**EA**

（收稿日期：2022.10.15）

参考文献

[1] 邹洁．基于DSP的在线式UPS电源研究[D]．大庆：大庆石油学院，2009．
[2] 赵川红．PWM加相移控制的双向DC/DC变换器[D]．杭州：浙江大学，2003．
[3] 孟颖悟．半桥式功率变换器的优化设计[J]．计算机学报，1992．
[4] Roger Adair．Design Review：300W， 300kHz Current-mode Half-bridge Converter with Current Multiple Outputs Using Coupled Inductors．
[5] 许小虎，和军平．半桥DC-DC开关变换器的自适应控制[J]．电力电子技术，2008．
[6] 解妮娜 ，王志强．一族新颖的全桥/半桥组合DC/DC拓扑[J]．通讯电源技术，2006．
[7] 冯福生， 赵振民．移相PWM DC/DC全桥变换器的简述和发展[J]．煤炭技术，2008．
[8] 张晓曦，张鹏飞，张笑天．双变压器构架的大功率推挽DC/DC变换器[J]．电气应用，2020，39(8)：83-88．