

# 基于 MATLAB 的交直交贯通同相供电装置仿真研究

季嘉泓

(河海大学 江苏 南京 210098)

**【摘要】**为解决电气化铁道存在的电能质量和电分相问题,研究了一种交直交型贯通同相供电系统。首先分析了供电装置结构和原理,其次在 Matlab 仿真平台上搭建了仿真模型。仿真结果表明,搭建的模型能够很较好的模拟供电装置工作过程,对进一步研究该供电系统具有参考价值。

**【关键词】**贯通式同相供电系统; PWM 整流 / 逆变; 仿真

## 0 引言

随着现代交流技术的发展以及大功率开关器件价格的降低,采用三相-单相电力电子变换技术的牵引变电所能够灵活的调节单相牵引网出口处电压幅值和相位,为牵引网全线贯通同相供电提供了新的解决方案。所以本文研究了一种采用三相交流-直流-单相交流变换的电气化铁路新型供电方式——贯通同相供电方式。该方式一方面能够实现三相电力系统到单相牵引供电系统的对称变换,完全消除负序分量;另一方面能够调节单相交流电压幅值和相位,使牵引网全线取消电分相环节,有利于牵引网的安全;再者,通过直流环节隔离,实现了牵引供电系统与三相电力系统的解耦,二者独立性增强,牵引供电系统中的谐波、无功将不会影响到三相电力系统。贯通同相供电方式可谓是一种非常理想的新型供电方式。本文通过 MATLAB 仿真平台搭建了交直交贯通供电装置仿真模型,来研究方案的可行性。

## 1 交直交贯通同相供电装置

贯通同相供电装置基本结构如图 1 所示,图中装置由三相可控整流单元、直流储能稳压单元和单相交流逆变单元组成。三相整流单元实现三相交流到直流的变换;直流储能稳压单元由大容量电容组成,能够保持直流侧电压的稳定,并且提供了直流能力储存功能,单相逆变单元为牵引网提供单相交流电能,逆变能量取自直流侧。贯通同相供电装置实现了三相有功功率到单相有功功率的传递。

## 2 贯通同相供电装置的工作原理

### 2.1. 三相整流单元

三相桥式整流电路如图 2 所示。

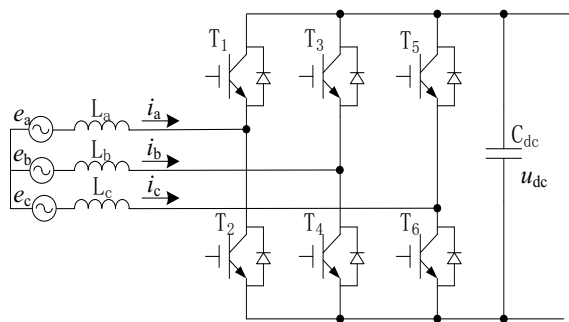


图 2 三相桥式整流电路示意图

如图 3 所示,三相全桥电路通过串联电感与电网并联,要完成控制目标,交流网侧的电压和电流必须是同相位、同频率的,功率因数为 1。交流侧电感 L 包含交流电源的内部电感和外接电抗器的电感。

以单相结构整流为例,整流器基本原理为:设交流母线电压的基波分量为  $\dot{u}_i$ ,整流桥输出电压的基波分量为  $\dot{u}_c$ 、换流电抗器为  $X$ ,  $\dot{u}_c$  滞后于  $\dot{u}_i$  的角度为  $\delta$ 。则整流器吸收的有功和无功

功率分别为:

$$P = \frac{U_s U_c}{X} \sin \delta \quad (2)$$

$$Q = \frac{U_s (U_s - U_c \cos \delta)}{X} \quad (3)$$

由式  $P = \frac{U_s U_c}{X} \sin \delta$  可以得知,有功功率的大小主要取决于

$\delta$ ,当  $\delta < 0$  时 VSC 向外发出有功功率,相当于工作在逆变器状态;当  $\delta > 0$  时 VSC 吸收有功功率,相当于整流器运行状态。控制  $\delta$  角的大小就可以控制有功功率的大小及方向。

VSC 的控制采用正弦脉宽调制 (SPWM) 技术,其基本原理是:将三角载波与给定的正弦波(期望的整流桥每相输出电压波形)相比较来决定每个桥臂开关的开通与关断状态。当直流侧电压保持恒定时,VSC 每相输出交流电压的幅值取决于 SPWM 的调制度,VSC 每相输出电压的频率与相位取决于正弦给定信号的频率与相位。

要实现对有功功率和无功功率相互独立的调节,只需要控制 SPWM 给定正弦信号的相位和调制度就可以实现。

### 2.2. 直流 / 单相逆变单元

单相逆变单元实现直流到单相交流的变换,要求交流侧输出电压达到额定 27.5 kV,目前电力电子器件难以达到这么高的电压等级,因此常常需要在交流侧采取措施,比如采用升压变压器、采用多组低电压单元级联等。

单相逆变的控制有多种形式可选,常见的有单电压闭环、电压准双环、电压电流双环等,其中电压电流双环因其响应快、输出电压波形失真小,目前在大功率逆变场合应用广泛。本文主要采用升压变压器结构和电压电流双环控制。

电压外环为比例积分控制,其中  $K_v$ 、 $k_i$  分别为电压外环中比例调节系数和积分调节系数;而电流内环仅采用单比例控制来加快动态响应,其中电流环的比例调节系数为  $K_c$ 。 $G_o(s)$  是逆变器开环时的系统传递函数。

多个贯通式变电所沿线分布时,相当于多个电压源换流器的并网控制,变电所之间可采取的控制策略有主从控制、无互连线下垂控制、反下垂控制等等,具体控制方案细节见文献中介绍,本文未展开重点探讨。

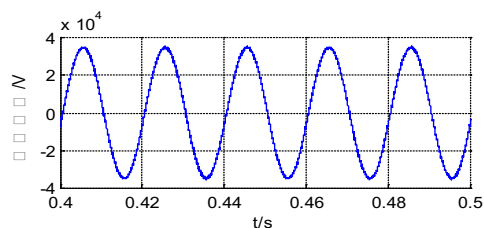
## 3 仿真实验

在 Matlab/Simulink 下搭建贯通供电交-直-交电能变换器仿真模型,为和实际情况接近,交直交装置中加入升、降压变压器,其中,三相降压变压器变比为 110kV/3.5kV,直流电压给定  $U_{dc}=5kV$ ,升压变压器变比为 3.5kV/27.5kV,负载功率机车功率选定为 4MW,交直交装置的仿真模型参数为:

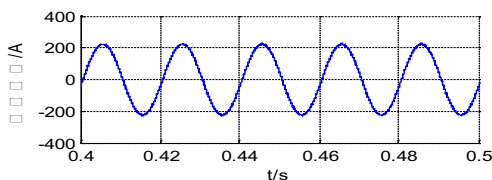
三相输入母线电压  $E_a=3.5kV$

单相输出电压  $U_c=3.5kV$

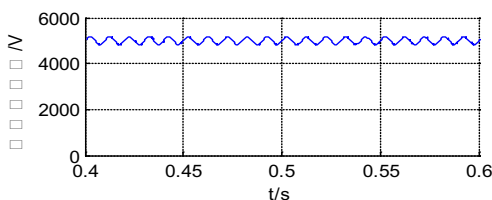
输入电感  $L_a=L_b=L_c=2\text{mH}$   
直流支撑电容  $C_{dc}=8\text{mF}$   
输出电感  $L_1=1\text{mH}$



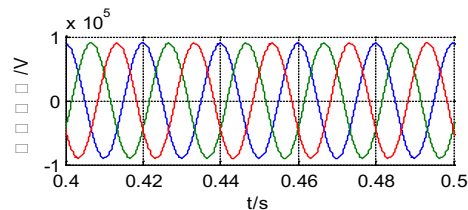
单相输出电压波形



单相输出电流波形



直流侧电压波形



三相交流侧电压波形

图7 贯通式同相供电仿真结果

仿真结果如图7所示，由仿真结果可以看出，交直交供电装置能够较好的实现三相和单相供电系统的变换，输出电压、电流稳定，三相侧电流对称。

#### 4 结束语

三相-单相交直交变换装置是贯通式同相供电系统的关键设备，论文研究了一种该变换装置的构成方案。在 Matlab 仿真平台上进行了相关仿真，研究表明该变换装置能够实现三相-单相对称变换，输出侧电压和电流稳定，输入侧三相电流波形对称，实现了三相电力系统与单相牵引供电系统之间的良好耦合。

#### 参考文献：

- [1] 常非. 多电平变换器在同相供电中的应用研究 [D]. 西南交通大学大学, 2013.
- [2] 胡景瑜. 贯通式同相供电系统潮流控制策略研究 [D]. 西南交通大学大学, 2013.
- [3] 何晓琼, 彭旭, 周瑛英, 等. 一种新型同相牵引供电系统均流性能研究 [J]. 电力自动化设备 02014034(4): 53-58.

(项目: 书记项目, 项目号: 2020JCZBSJ005)

上接第 168 页

的转变标志。自桓灵之后有很多短赋对于黑暗社会发挥了巨大的抨击作用，并将一直沿袭下来的赋颂传统给打破，逐步成为魏晋六朝先导的抒情赋。而且汉赋具有的一个重要特征是一个重要特征是对对很多种文体并蓄兼收，促进新体制的形成，并对先秦史传文学具有的叙事手法进行汲取，并在其中合理的融入诗歌，进一步说明汉赋有着多方面的文体渊源，文学样式具有综合性的特征，《七发》是有枚乘所著，这也是形成新体制的重要标志，司马相如在这一时代创作出的作品，将汉代新体制充分的体现出来。《两都赋》是由班固所著，同时还有《京赋》是由张衡所著，这些都体现着东汉新的体制。

(二) 现如今，我们了解的很多汉语乐府民歌，很多都是东汉时代最具代表性的文学作品，其农民生活气息非常的突出，多数作品体现着那个时代民众生活的十分艰辛与痛苦，并对我国叙事诗的发展起到了很大的推动作用。而且还有一些作品体现着人生无常的悲哀以及生命短暂，如《蒿里》以及《薤露》便都是这样的作品，也有一些汉乐府民歌如《战城南》、《枯鱼过河泣》中充满活泼生动的想象力，体现着那个时代民众的艰辛，并反映民众的思想。东汉文学还有的文学贡献，是在民歌、民谣影响之下，由文人五言诗的形成，对东汉后期阶段下层民众的思想和生活充分体现，五言诗作者文化修养都较为深厚，创作文学过程当中不仅将乐府民歌的朴素有效延续，同时也经过《楚辞》艺术手法的借鉴，在朴树中求取工整，使得诗歌表现力得以大幅增强，并影响到后来的五言诗。

(三) 叙事散文在汉代文学当中，也突破了文体上束缚，出现了很大发展。《史记》是司马迁所著，通过人物为中心来

进行历史的反应，对于传记文学的发展起到了很大的推动作用。而且《汉书》当中，对于《史记》题材也起到了很大的继承作用，同时相较于《史记》越发完善。《吴越春秋》对于史传文学作品具有的文学性起到了很大的强化作用，而且东汉时代有很多碑文的出现不断迈入新的文体，《封禅仪记》由马第伯所著，也就是这个时代最重要的游记。

(四) 汉代文学推动了民间创作与文人创作更好的发展，而且文人创作与民间创作在这一时代都呈现出非常好的发展局面，尤其于这个时代背景下，采诗制度便是通过民间歌谣采集，对乐府乐章进行充实，并对政治得失于民风民俗进行考察，五言歌谣是这个时代代表，文体中很多都是采自于乐府，并促进乐府歌辞的发展壮大，并深刻影响到很多文人，文人也对此不断的进行模仿，促进了五言诗的形成，并推动其逐步步入成熟。

#### 参考文献：

- [1] 刘黎明. 中国文学先秦两汉卷 [M]. 成都: 四川人民出版社, 2006.
- [2] 孙彬. 中国现当代文学的发展现状与发展方向 [J]. 文学教育 (中). 2019, (2)
- [3] 李慧莉. 中国现当代文学的现状与发展研究 [J]. 青年文学家. 2018, (24)
- [4] 黎保荣. 汉代文学创作的经学教育背景 [J]. 昆明理工大学学报 (社会科学版), 2019, (4).
- [5] 丁慧慧. 汉代女性文学及其审美启示 [J]. 扬州教育学院学报, 2008, (4).
- [6] 刘勇俊. 楚化与儒化: 阐释汉代文学思想的一个框架 [J]. 西南大学学报 (社会科学版), 2008, (3).