

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.04.001

基于共载波调制的功率复合型模块化多电平固态变压器

孙毅超, 丁楠木, 王琦

(南京师范大学电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210023)

摘要:整体功率密度低、成本高是制约现有固态变压器(SST)在配电网进一步发展和应用的关键因素。提出一种功率复合型模块化多电平固态变压器(PI-MMSST)拓扑结构,将传统SST输入级和中间级进行功率复合,整个装置的功率变换级数从3级减少为2.5级,装置体积减小,功率密度有效提高;相较于现有混频调制SST拓扑,PI-MMSST对功率分配方式进行改进,大大减少滤波器使用,节约了装置成本。此外,提出双层式子模块(SM)电容电压均衡控制策略,采用高频和基频目标信号共载波的方法进行调制,满足PI-MMSST正常工作需求。最后,通过Matlab/Simulink仿真验证该新型SST拓扑及其双层式均衡控制策略的可行性和有效性。

关键词:模块化多电平变换器(MMC);固态变压器(SST);功率复合;混频调制;电容电压平衡

中图分类号:TM421

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)04-0002-07

0 引言

基于电力电子技术的新颖电能转换装置固态变压器(solid-state transformer, SST)不仅能实现电压等级变换、电气隔离,还能同时连接2个或2个以上的交流或直流电网,实现有功、无功潮流的实时调节,有望在未来交直流混合配电网的发展中获得广泛运用^[1-8]。

然而,现有SST功率密度低、成本高制约其进一步发展和应用。为能够直接接入直流形式的电能,SST的主流拓扑为三级式结构,其在输入输出级中均含有直流环节^[7-11],且因器件耐压水平制约,其输入级多采用级联H桥变换器(cascaded H-bridge converter, CHBC)或模块化多电平变换器(modular multilevel converter, MMC)结构。文献[12]指出,现有SST多功率变换级数、多模块数量是影响整机功率密度的关键因素。因此,为减少功率变换级数,文献[13]提出一种基于混频调制的级联H桥型固态变压器拓扑(hybrid-frequency cascaded H-bridge SST, HCFB-SST),该拓扑中级联H桥部分可以同时处理2种形式的电能,并通过低通滤波器及带通滤波器,分类引出不同频率的交流能量。文献[14]提出基于混频调制的新型电力电子变压器拓扑,该拓扑输入级同样采用CHBC结构,由电感、电容组成的高频阻抗支路对工频和直流功率进行解耦。文献[15]提出一种基于混频调制的MMC电力电子变压器拓扑,该拓扑中输入级采用MMC结构,同样通过由电感、电容组成的滤波器对工频和直流交流

功率进行解耦。然而,这3种混频调制SST都需要采用较为复杂的滤波器对工频及高频交流电能进行物理解耦,增加了一定的装置成本。

文中从混频调制的思想出发,提出一种功率复合型模块化多电平固态变压器(power integrated modular multilevel solid-state transformer, PI-MMSST)拓扑,在减少功率变换级数、提高功率密度的基础上,具有直接接入交/直流电网的能力。与文献[13-15]中提出的拓扑相比,文中通过在调制信号分配层面合理构造共模、差模分量,减少了滤波器的使用。同时,根据MMC中常用的电容电压均衡控制策略^[16-23],针对PI-MMSST提出一种基于共载波调制的双层式电容电压控制方法,使该拓扑能够正常有效工作。Matlab/Simulink仿真验证了所提拓扑及其控制方法的有效性。

1 PI-MMSST 拓扑及工作原理

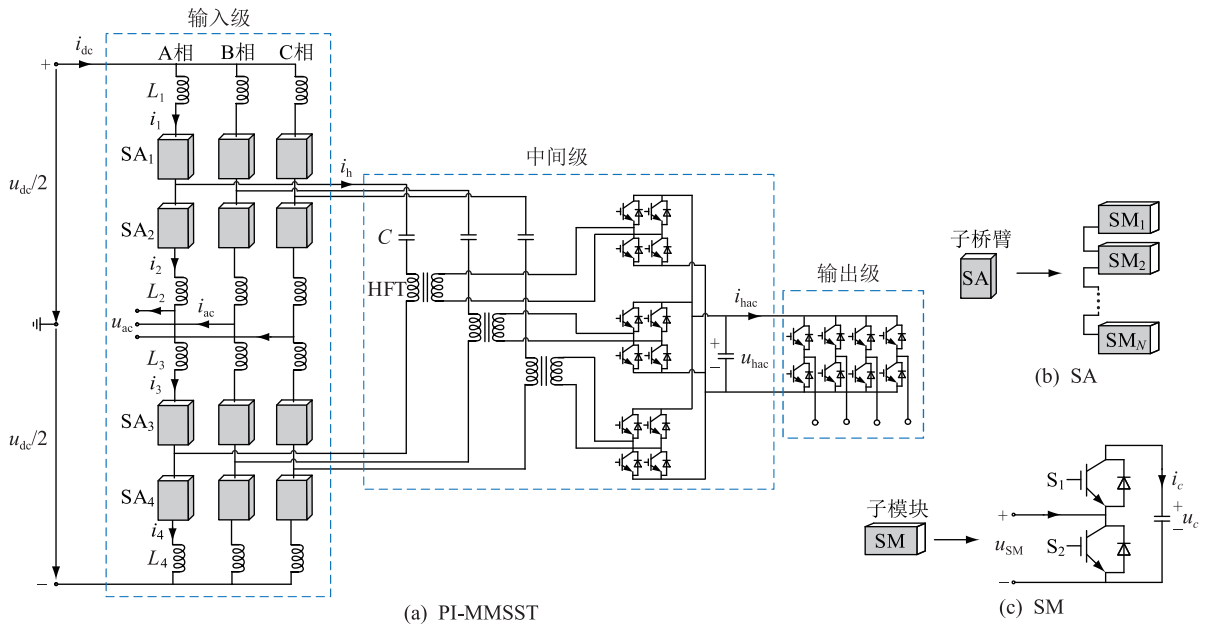
1.1 PI-MMSST 拓扑

PI-MMSST拓扑如图1所示,由输入级MMC、中间级集中式高频变压器(high frequency transformer, HFT)和H桥整流器、输出级逆变器3部分组成。MMC用于将高压侧的直流功率或低频交流功率转换为高频交流功率汇入中间级的HFT中,再经由H桥整流器变换为直流形式的能量,并将三相功率一齐汇入到输出级经由逆变器变换为用户所需的电能形式。与传统三级式SST相比,该拓扑减少了功率变换级数,提高了装置功率密度。

图1中,MMC部分的上、下桥臂被均分为2个相同的子桥臂(sub-bridge arm, SA),每个SA中都含有一个限流电感 L_k ($k=1, 2, 3, 4$)和 N 个完全相同

收稿日期:2020-01-05;修回日期:2020-02-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51807096)



(a) PI-MMSST

(b) SA

(c) SM

图 1 PI-MMSST 拓扑结构

Fig.1 The topology of PI-MMSST

的子模块(sub-module, SM)。因此,1个相桥臂共含有4个限流电感和 $4N$ 个SM。SM采用半桥结构,通过对SM投入与切除可形成等效可控电压源。将 SA_1 和 SA_2 的中点以及 SA_3 和 SA_4 的中点分别引出,经隔直电容 C 后接入中间级HFT的原端,从而形成一条新的高功率流通道。

1.2 PI-MMSST 工作原理

图1中, u_{dc}, i_{dc} 分别为高压直流母线电压和电流; u_{ac}, i_{ac} 分别为高压基频交流母线电压和电流; i_k ($k=1,2,3,4$)为4个SA的桥臂电流; S_1, S_2 分别为SM的上、下开关器件; u_c, i_c 分别为SM的电容电压和电流; u_{SM}, i_{SM} 分别为SM的输出电压和电流; L_k ($k=1,2,3,4$)分别为4个SA的限流电感; i_h 为HFT原边电流; C 为高频通路的隔直电容; u_{hac}, i_{hac} 分别为中间级的输出电压和电流。

1.2.1 SM 工作原理

SM的输出电压 u_{SM} 由SM的开关状态和电容电压决定,满足:

$$u_{SM} = Su_c \quad (1)$$

式中: S 为SM的开关函数,取值1,0分别表示投入或者切除该SM。

SM的输出电流 i_{SM} 等于各SM所在SA的桥臂电流 i_k ,在忽略SM的IGBT和反并联二极管导通压降后,SM的电容电压 u_c 和输出电流 i_{SM} 之间满足:

$$u_c = u_{c,0} + S \int_0^t \frac{i_{SM}}{C_{SM}} dt \quad (2)$$

式中: $u_{c,0}$ 为SM的电容起始电压; C_{SM} 为SM的电容。

u_{SM}, S 与SM电容状态间关系如表1所示。

表 1 SM 工作状态

Table 1 Sub-module operating states

开关状态		i_{SM} 方向	电容状态	u_{SM}
S_1	S_2			
1	0	+	充电	u_c
		-	放电	u_c
0	1	+	维持	0
		-	维持	0

当SM投入时,若SM输出电流 i_{SM} 为正(以流入SM为正方向),则电容呈充电状态,若输出电流 i_{SM} 为负,则电容呈放电状态;而当SM切除时,无论输出电流 i_{SM} 极性如何,SM电容电压都会保持原有状态不变。在第3节中将根据该原理具体设计电容电压的均衡控制方法。

1.2.2 输入级调制信号分配原理

PI-MMSST的高压侧MMC可以同时处理3种形式的能量:高压直流、高压基频交流和高压高频交流,文中将这种同时处理多种形式能量的思想称为功率复合思想。

直流分量是由直流电源向桥臂注入的直流功率。然后通过MMC的SM中分配基频交流和高频交流的调制信号,从而将直流功率转化为各功率端口所需要的各形式的能量并解耦,送入高压基频或高频交流端口。

这3种功率分量都可采用载波移相的调制方法生成触发脉冲。其中,移相载波可使用 $N+1$ 电平或

$2N+1$ 电平的相位模式,调制信号分配及桥臂电流解耦如图 2 所示。

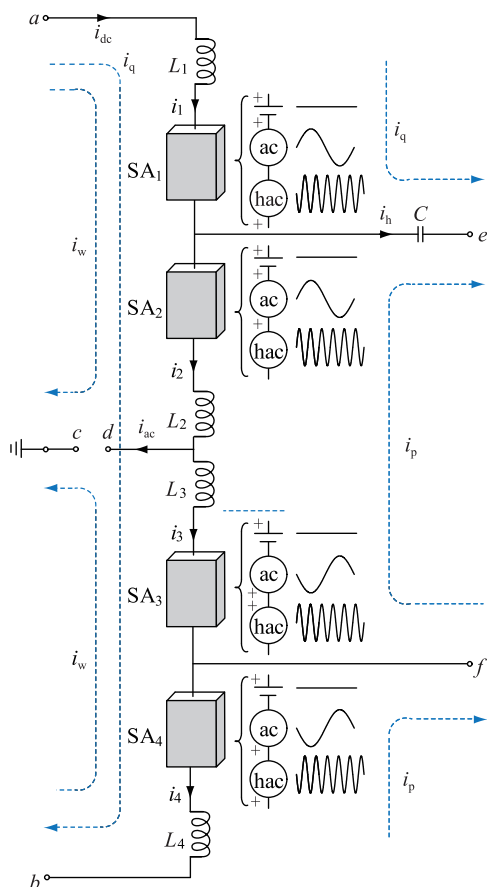


图 2 调制信号分配及桥臂电流解耦
Fig.2 Modulation signal distribution and decoupled arm current

图 2 中, i_q, i_w, i_p 分别为解耦后的直流、基频交流和高频交流电流。在相桥臂的 4 个 SA 中,上、下桥臂内 ($SA_1, SA_2; SA_3, SA_4$) 基频 (ac) 调制信号幅值、相位相同;高频 (hac) 调制信号幅值相同、相位相反。上、下桥臂间 ($SA_2, SA_3; SA_1, SA_4$) 基频调制信号幅值相同、相位相反;高频调制信号幅值、相位相同。在此调制方式下,SA 的基频交流输出在高压直流端口 ab 处叠加为 0,在高频交流端口 ef 处叠加亦为 0。而 SA 的高频交流输出在高压直流端口 ab 处叠加为 0,在基频交流端口 cd 处叠加亦为 0。

此外,高频输出端口需配置隔离电容 C ,防止高压直流信号流入高频通路引起高频变压器饱和。该 PI-MMSST 拓扑与文献[13—15]中的混频 SST 拓扑相比,减少了无源滤波器的使用,从而降低了装置成本。

2 PI-MMSST 控制策略

2.1 共载波调制信号生成

PI-MMSST 需要同时处理 3 种形式的能量,即

MMC 的每个 SM 需要同时参与基频交流和高频交流的调制,同时还包括半桥模块特有的直流分量。提出一种共载波的调制方法,将每个 SM 的调制信号分为 3 个部分:基频交流的调制信号 u_{acT} (50 Hz 的正弦信号);高频交流的调制信号 u_{hacT} (1 kHz 的正弦信号);将 2 种调制信号叠加后,加上用来控制直流侧向 SM 注入功率大小的直流偏置分量 u_{dex} ,得到最终目标波形 u_T 如式 (3) 所示。

$$u_T = u_{acT} + u_{hacT} + u_{dex} \quad (3)$$

调制信号的叠加如图 3 所示,为了保证 SM 工作在线性调制区域, u_T 幅值应小于载波幅值。

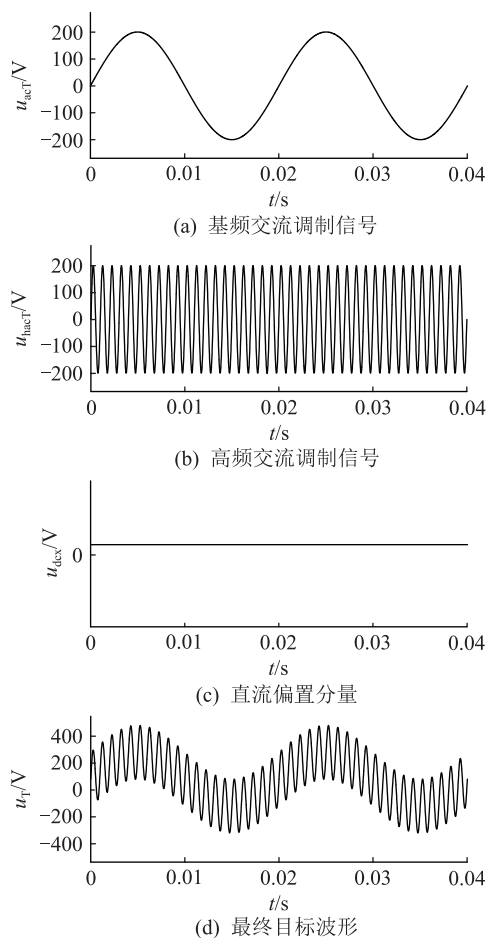


图 3 调制信号的叠加方式

Fig.3 Superposition of modulation signals

2.2 相桥臂电压均值控制

由于三相电路的对称性,针对图 1 中的相桥臂,提出一种双层式控制方法,分别为相桥臂电压均值控制和 SM 电容电压独立控制。

相桥臂电压均值控制采用电压电流双闭环控制原理,让相单元内的 $4N$ 个 SM 电容电压平均值跟随参考值 v_{ref} 。以 A 相电路为例,单相中共含有高压直流、基频交流和高频交流 3 种分量,对于桥臂电流 $i_k (k=1,2,3,4)$,可以解耦为:

$$\begin{cases} i_1 = i_q + i_w + i_p \\ i_2 = i_q + i_w - i_p \\ i_3 = i_q - i_w - i_p \\ i_4 = i_q - i_w + i_p \end{cases} \quad (4)$$

可以看出, i_q 按同一方向流过所有的 SM, 由式 (4) 得:

$$i_q = (i_1 + i_2 + i_3 + i_4)/4 \quad (5)$$

因此, 控制该电流可实时调节直流电源向 4 个 SA 注入的直流功率, 进一步通过控制直流注入功率可控制相桥臂整体的电容电压均值。电压外环采用 PI(比例-积分)控制器, 相桥臂电压均值控制如图 4 所示。

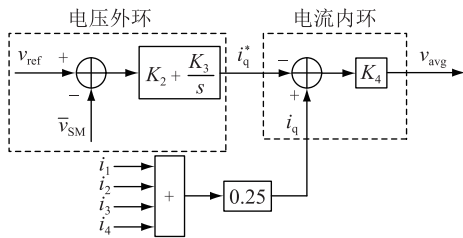


图 4 相桥臂电压均值控制

Fig.4 Average voltage control of a phase-leg

图 4 中, \bar{v}_{SM} 为单相 $4N$ 个 SM 的平均电压, v_{ref} 为 SM 的基准电容电压。 \bar{v}_{SM}, v_{ref} 满足:

$$\bar{v}_{SM} = \frac{1}{4N} \sum_{j=1}^{4N} u_{cj} \quad (6)$$

$$v_{ref} = u_{dc}/2N \quad (7)$$

式中: u_{cj} 为第 j 个 SM 的电容电压。

根据图 4 可得到相桥臂均值控制回路最终输出偏置量 v_{avg} 。

2.3 SM 电容电压独立控制

SM 电容电压独立控制能够确保该相中各 SM 的电容电压跟随该相桥臂平均值 \bar{v}_{SM} 。SM 电容电压不平衡的实质是桥臂电流对 SM 电容的有效充电不一致。因此, 根据表 1 中 SM 电容电压充放电状态与 SM 开关信号、桥臂电流之间的关系, 在 SM 开通时判断此时桥臂电流的正负。

若 SM 电容电压低于基准值, 且桥臂电流大于 0 (SM 电容呈充电状态), 则提高调制信号的电压信号, 从而增加充电时间; 若桥臂电流小于 0 (SM 电容呈放电状态), 则减小调制信号的电压信号, 从而减小充电时间。与此相反的是, 若 SM 电容电压高于基准值, 且桥臂电流大于 0, 则应减小调制信号; 若桥臂电流小于 0, 则增大调制信号。最终按照此原理使 SM 的电容电压跟随其参考值, 整体控制如图 5 所示。

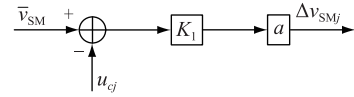


图 5 SM 电容电压独立控制

Fig.5 Sub-module capacitor voltage independent control

图 5 中, 调制信号修正量 Δv_{SMj} 为 SM 电容电压独立控制回路的输出量。当桥臂电流 $i_k \geq 0$ 时, a 为 1; 当桥臂电流 $i_k < 0$ 时, a 为 -1。 Δv_{SMj} 表示为:

$$\Delta v_{SMj} = K_1 a (\bar{v}_{SM} - u_{cj}) \quad j = 1, \dots, 4N \quad (8)$$

得到式 (8) 的电压修正量后, 将其叠加至 SM 的调制信号 u_{Tj} 中, 得到 SM 的调制信号为:

$$\begin{aligned} u_{Tj} &= u_{acTj} + u_{hacTj} + u_{dexj} = \\ &u_{acTj} + \Delta v_{SMj} + v_{avg} + u_{hacTj} \quad j = 1, \dots, 4N \end{aligned} \quad (9)$$

3 仿真验证

为了验证所提基于共载波调制的 PI-MMSST 拓扑及其双层控制策略的有效性, 在 Matlab/Simulink 中搭建 PI-MMSST 拓扑的单相结构, 仿真参数如表 2 所示。

表 2 仿真参数

Table 2 Simulation parameters

参数	数值
直流电压 u_{dc}/kV	2.4
SA 中 SM 个数 N	2
SM 电容/ μF	4 700
SA 中限流电感 L_k/mH	4
隔直电容 $C/\mu F$	6.3
基频交流频率/Hz	50
高频交流频率/kHz	1
载波频率/kHz	20
基频交流调制深度 m_{ac}	0.4
高频交流调制深度 m_{hac}	0.4

SA 的 SM 个数为 2, 即单相 4 个 SA 共含有 8 个 SM, 基频交流采用 $N+1$ 模式载波移相调制方法。

3.1 稳态分析

首先不加入双层控制, 仿真结果见图 6。依次为基频交流 (50 Hz) 输出端口 cd 的输出电压 u_{ac} , 输出电流 i_{ac} , HFT 原端的电压 u_{HFT} , 高频通路的电流 i_h , 中间级输出电压 u_{hac} 。从图 6 可以看出, 在 50 Hz 的基频输出端口 cd 得到 50 Hz 的电压电流, 在 HFT 原端得到 1 kHz 的高频交流电压和 1 kHz 的高频交流电流, 在输出级得到直流电压。PI-MMSST 能够同时将直转化成 50 Hz 的基频交流和 1 kHz 的高频交流输出, 实现了 3 种形式的能量一体化功率变换, 验证了该拓扑的基本功能。

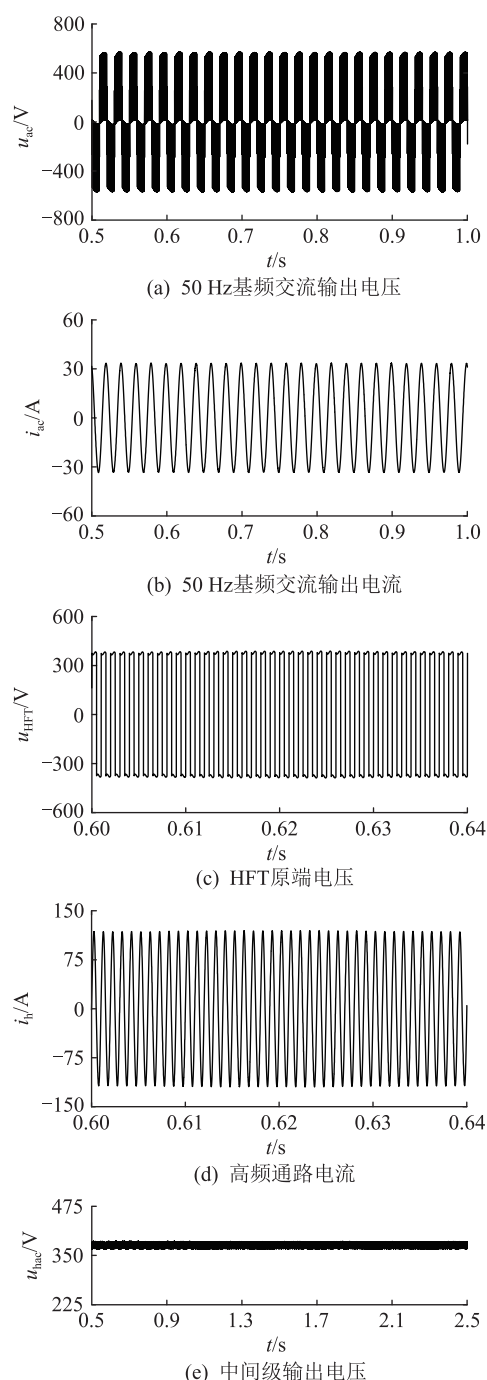


图6 PI-MMSST 稳态输出波形

Fig.6 Steady-state output waveform of PI-MMSST

3.2 SM 电容电压平衡

单相 8 个 SM 的电容电压如图 7 所示,若不加入任何控制,桥臂中各 SM 的电容电压无法实现自然平衡。由图 7(a)可知,从 1.5 s 处开始,各 SM 的电压逐渐发散。在加入双层控制之后,相桥臂 8 个 SM 电容电压的波形如图 7(b)所示,电容电压能够达到较好的平衡状态。且由 1.5~1.55 s 的局部放大波形可知,电容电压波动的幅值也得到了较好控制,从未加控制前接近 35 V 的波动减小至 16 V 左右。

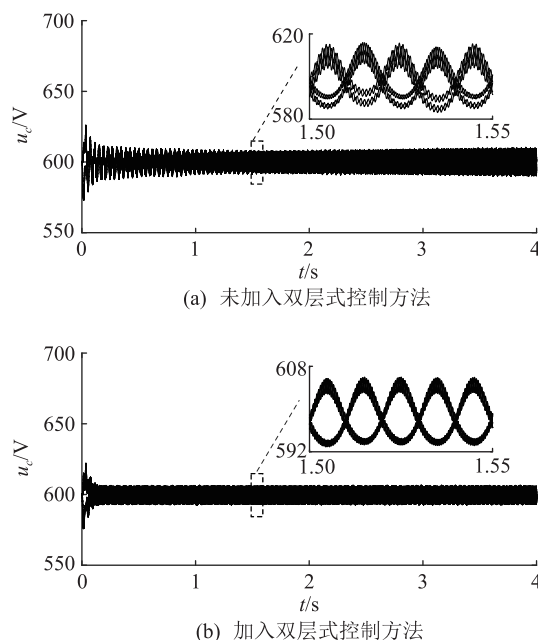


图7 单相 8 个 SM 电容电压波形

Fig.7 Capacitor voltage of single-phase 8 sub-module

4 结语

文中针对现有 SST 功率密度低、成本高的问题,提出了一种基于共载波调制的新型 PI-MMSST 拓扑,降低了功率变换级数,提高了功率密度,减少了滤波器的使用,降低了装置成本。同时,在共载波调制基础上,文中提出了应用于该拓扑的双层式电容电压平衡控制方法,通过使用 Matlab/Simulink 的 PI-MMSST 单相模型验证了该拓扑及其双层式控制策略的有效性和可行性。

本文得到江苏省研究生科研与实践创新计划“功率复合型模块化多电平固态变压器控制技术研究”(KYCX19_0802)资助,谨此致谢!

参考文献:

- [1] 赵争鸣,冯高辉,袁立强,等. 电能路由器的发展及其关键技术[J]. 中国电机工程学报,2017,37(13):3823-3834. ZHAO Zhengming, FENG Gaohui, YUAN Liqiang, et al. The development and key technologies of electric energy router [J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(13): 3823-3834.
- [2] 李子欣,高范强,赵聪,等. 电力电子变压器技术研究综述[J]. 中国电机工程学报,2018,38(5):1274-1289. LI Zixin, GAO Fanqiang, ZHAO Cong, et al. Research review of power electronic transformer technologies [J]. Proceedings of the CSEE, 2018, 38(5): 1274-1289.
- [3] 朱光磊,樊利民,刘红业. 应用于能源局域网的固态变压器运行研究[J]. 广东电力,2018,31(2):24-31. ZHU Guanglei, FAN Limin, LIU Hongye. Research on operation of solid state transformer in energy local network [J]. Guangdong Electric Power, 2018, 31(2): 24-31.

- [4] 赵彪,宋强,刘文华,等. 用于柔性直流配电的高频链直流固态变压器[J]. 中国电机工程学报,2014,34(25):4295-4303. ZHAO Biao, SONG Qiang, LIU Wenhua, et al. High-frequency-link DC solid state transformers for flexible DC distribution[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(25):4295-4303.
- [5] ZHU Qianlai, WANG Li, CHEN Dong, et al. Design and implementation of a 7.2 kV single stage AC-AC solid state transformer based on current source series resonant converter and 15 kV SiC MOSFET[C]//2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. ECCE, 2017:1288-1295.
- [6] 赵剑锋. 输出电压恒定的电力电子变压器仿真[J]. 电力系统自动化, 2003(18):30-33, 46. ZHAO Jianfeng. Simulation study of a power electronics transformer with constant output voltage[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003(18):30-33, 46.
- [7] HUANG A Q, ZHU Q L, WANG L, et al. 15 kV SiC MOSFET: an enabling technology for medium voltage solid state transformers[J]. CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, 2017, 2(2):118-130.
- [8] 高范强, 李子欣, 徐飞, 等. 一种高频链模块化电力电子变压器[J]. 电工电能新技术, 2017, 36(5):51-58. GAO Fanqiang, LI Zixin, XU Fei, et al. Power electronic transformer based on modular converter with high-frequency link[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2017, 36(5):51-58.
- [9] 张雪垠, 徐永海, 肖湘宁. 适用于中高压配电网的高功率密度谐振型级 H 桥固态变压器[J]. 电工技术学报, 2018, 33(2):310-321. ZHANG Xueyin, XU Yonghai, XIAO Xiangning. A high power density resonance cascaded H-bridge solid-state transformer for medium and high voltage distribution network[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2018, 33(2):310-321.
- [10] 孙广星, 苟锐锋, 孙伟. 基于 MMC 结构的电力电子变压器拓扑结构及控制策略研究[J]. 高压电器, 2016, 52(1):142-147, 153. SUN Guangxing, GOU Ruifeng, SUN Wei. Research on topology and control strategy of power electronic transformer based on MMC structure[J]. High Voltage Apparatus, 2016, 52(1):142-147, 153.
- [11] 李子欣, 王平, 楚遵方, 等. 面向中高压智能配电网的电力电子变压器研究[J]. 电网技术, 2013, 37(9):2592-2601. LI Zixin, WANG Ping, CHU Zunfang, et al. Research on medium- and high-voltage smart distribution grid oriented power electronic transformer[J]. Power System Technology, 2013, 37(9):2592-2601.
- [12] 李子欣, 高范强, 徐飞, 等. 中压配电网用 10 kVac-750 V dc/1 MV·A 电力电子变压器功率密度影响因素研究[J]. 电工电能新技术, 2016, 35(6):1-6. LI Zixin, GAO Fanqiang, XU Fei, et al. Power density analysis of 10 kVac-750 Vdc /1 MV·A power electronic transformer/solid-state transformer for medium voltage distribution grid[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy, 2016, 35(6):1-6.
- [13] ZHANG Xueyin, XU Yonghai, LONG Yunbo, et al. Hybrid-frequency cascaded full-bridge solid-state transformer[J]. IEEE Access, 2019(7):22118-22132.
- [14] 舒良才, 陈武, 王琛, 等. 基于混频调制的新型电力电子变压器[J]. 电力系统自动化, 2018, 42(7):146-152. SHU Liangcai, CHEN Wu, WANG Chen, et al. Power electronic transformer based on mixed-frequency modulation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2018, 42(7):146-152.
- [15] 欧阳可凤, 孙斌, 林成, 等. 基于自抗扰控制算法的模块化多电平变换器控制策略研究[J]. 供用电, 2018, 35(2):42-46, 23. OUYANG Kefeng, SUN Bin, LIN Cheng, et al. Research of control strategy in modular multilevel converter based on auto disturbance rejection algorithm[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(2):42-46, 23.
- [16] HAGIWARA M, MAEDA R, AKAGI H. Control and analysis of the modular multilevel cascade converter based on double-star chopper-cells (MMCC-DSCC) [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(6):1649-1658.
- [17] SHI Jianjiang, GOU Wei, YUAN Hao, et al. Research on voltage and power balance control for cascaded modular solid-state transformer [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2011, 26(4):1154-1166.
- [18] 苏剑, 王卓, 崔艳妍, 等. 源-网协同的中压交直流混合配电网换流器选址研究[J]. 供用电, 2019, 36(5):59-65. SU Jian, WANG Zhuo, CUI Yanyan, et al. Converter location research on source-grid coordinated medium voltage AC-DC hybrid distribution network [J]. Distribution & Utilization, 2019, 36(5):59-65.
- [19] 赵昕, 赵成勇, 李广凯, 等. 采用载波移相技术的模块化多电平换流器电容电压平衡控制[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(21):48-55. ZHAO Xin, ZHAO Chengyong, LI Guangkai, et al. Submodule capacitance voltage balancing of modular multilevel converter based on carrier phase shifted SPWM technique[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(21):48-55.
- [20] 曾钰, 邹贵彬, 孙辰军, 等. 一种柔性直流配电网直流侧故障保护方法[J]. 电力信息与通信技术, 2018, 16(7):52-56. ZENG Yu, ZOU Guibin, SUN Chenjun, et al. A DC side fault protection method for a flexible DC distribution network[J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2018, 16(7):52-56.
- [21] 章雷其, 汪湘晋, 徐珂, 等. 基于柔性互联的源网荷储协同主动配电网设计研究[J]. 供用电, 2018, 35(1):28-33. ZHANG Leiqi, WANG Xiangjin, XU Ke, et al. Research on design of a source-grid-load-storage-collaborated active distribution network based on flexible interconnection[J]. Distribution & Utilization, 2018, 35(1):28-33.
- [22] 王杉杉, 王玉斌, 林意斐, 等. 级联型电力电子变压器电压与功率均衡控制方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(22):92-99. WANG Shanshan, WANG Yubin, LIN Yifei, et al. Voltage and

power balance control for cascaded multilevel converter based power electronic transformer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(22):92-99.

- [23] 殷伟, 吕洋, 马大俊, 等. 一种全桥 MMC 型电力电子变压器的优化均压控制策略[J]. 可再生能源, 2018, 36(11): 1684-1691.

YIN Wei, LYU Yang, MA Dajun, et al. An optimized voltage balance control strategy for full bridge MMC-based power electronic transformer[J]. Renewable Energy Resources, 2018, 36(11):1684-1691.

作者简介:



孙毅超

孙毅超(1987),男,博士,讲师,研究方向为电力电子技术及其在电力系统中的应用(E-mail:yichao.sun1987@gmail.com);

丁楠木(1995),男,硕士在读,研究方向为电力电子变压器;

王琦(1976),女,博士,副教授,研究方向为新能源发电技术。

Power integrated modular multilevel solid-state transformer with common carrier modulation

SUN Yichao, DING Nanmu, WANG Qi

(School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract: Low power density and high cost are the key factors that prevent the solid-state transformer (SST) from further application in the distribution network. Therefore, a novel power integrated modular multilevel solid-state transformer (PI-MMSST) is proposed, aiming at reducing the device volume and increasing the overall power density through power integrating the input stage and intermediate stage of the conventional three-stage SST. Furthermore, as compared to the recently proposed mixed-modulation SST topologies, the PI-MMSST reduces the use of filters and saves the cost of whole system with the help of the new power distribution concept. Based on the common carrier modulation, the working principle of the topology is analyzed, and a dual-layer control strategy is proposed to achieve the voltage balance of the submodule capacitors. Simulation results from Matlab/Simulink validate the feasibility and effectiveness of the PI-MMSST topology and dual-layer control strategy.

Keywords: modular multilevel converter(MMC); solid-state transformer(SST); power integrated; hybrid frequency modulation; capacitor voltage balancing

(编辑 吴楠)