

一种混合型电气化铁道电能质量综合治理系统 及其容量分析

张志文,王 丹,胡斯佳,罗隆福,陈明飞

(湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要: 为应对电气化铁道供电系统电能质量问题,提出了一种能适用于平衡牵引变压器的混合型电气化铁道电能质量综合治理系统(H-RPQIS)。分析了该系统有源部分的端口电压特性,给出了 LC 耦合支路的参数设计方法,并将其与传统铁路功率调节器(RPC)进行了容量对比分析。分析结果指出在同等补偿电流下 H-RPQIS 有源部分的补偿容量大幅低于 RPC 系统。结合某 40 MV·A 牵引变电所的实测数据对系统进行了仿真研究,结果显示 H-RPQIS 有源部分的补偿容量约为 RPC 的 20%~30%,验证了 H-RPQIS 的补偿效果及容量分析的正确性。

关键词: 电气化铁道; 补偿; 容量; 平衡牵引变压器; 电能质量; 铁路功率调节器; 牵引变电所

中图分类号: TM 862

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.12.015

0 引言

随着我国电力机车不断朝高速、重载方向发展,由牵引网造成的公共电力系统的负序、无功和谐波显著增加,严重威胁电网的安全稳定运行,引起了铁路及电力运营商的广泛关注。考虑到经济性,我国牵引变电所三相进线普遍采用相序轮换技术,但对于山区等电网相对薄弱地区的牵引变电所,该方法仍难以满足国家标准对电能质量所提出的要求^[1-3]。平衡牵引变压器以其较好的负序抑制能力在我国牵引供电系统中得到了广泛应用,但该优异特性受负载影响较大,两相负荷越不平衡其抑制负序的能力越差^[4-5]。在两相牵引馈线安装 SVC 能对无功和谐波进行补偿,但对负序的抑制效果有限,而且在占用较大安装空间的同时,易与系统阻抗产生谐振^[6-8]。

针对上述方法的不足,国内外同行提出了多种基于大功率全控型功率器件的有源解决方案^[9-18]。其中,日本学者 Mochinaga Y 所提出的铁路功率调节器 RPC(Railway static Power Conditioner)以其优异治理效果和通用性受到了大家的广泛关注,但较高的补偿容量和投资成本限制了它的进一步推广,自 1993 年提出至今,仅在国内外少数牵引变电所投入了实际应用^[15-17]。鉴于此,提出一种适用于我国国情且具

有较高性价比的电气化铁道电能质量综合治理系统成为了目前亟需解决的重要课题。

基于上述背景,针对目前在我国广泛使用的以平衡变压器作为主变的牵引变电所,本文提出了一种混合型电气化铁道电能质量综合治理系统 H-RPQIS (Hybrid Railway Power Quality Improvement System)。该系统将 RPC 中与牵引网相连的纯耦合电感,替换成了电感、电容相串联的 LC 耦合支路。在不改变原有检测、控制方法的前提下获得了大幅降低系统中逆变器补偿容量的优越性能。本文将对系统的补偿原理和逆变器的端口电压特性进行详细分析,给出 LC 耦合支路最优阻抗的设计方法,并基于某牵引变电站的实测数据进行仿真研究,以验证本系统补偿和节容效果的有效性。

1 H-RPQIS 的拓扑结构

H-RPQIS 的拓扑结构如图 1 所示。其中,主变为目前我国牵引变电所应用十分广泛的阻抗匹配平衡变,背靠背单相逆变器经 LC 耦合电抗和降压变压器与牵引网相连(若逆变器采用多个小功率 H 桥级联的多电平结构,可省去降压变压器)。通过控制逆变器各自端口的输出电压,能对两相馈线的有功进行重新分配,并独立补偿各相的无功和谐波,故该系统能有效应对牵引变电所的各种电能质量问题。

2 H-RPQIS 的补偿原理

补偿原理如图 2 所示。其核心是通过 H-RPQIS 将 α 、 β 相负载有功电流之差的一半(即图中的 $|\Delta I_p/2| = ||I_{\alpha p}| - |I_{\beta p}||/2$)从重载相(β 相)转移至轻载相(α 相),并补偿各相的无功和谐波,最终将主变两相出口的馈线电流从 $I_{\alpha L}$ 、 $I_{\beta L}$ 校正为 I_{α} 、 I_{β} 。其检测和控制方

收稿日期:2014-04-03;修回日期:2014-10-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51077044,51477046);湖南省自然科学基金重点资助项目(12JJ2034);湖南省研究生科研创新项目(CX2014B131);湖南省战略性新兴产业科技攻关项目(2014GK1037);国家电网公司重大专项(5216A014002) Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51077044,51477046),the Key Program of Natural Science Foundation of Hunan Province(12JJ2034),Hunan Provincial Innovation Foundation For Postgraduate(CX2014-B131),the Scientific and Technological Research for Hunan Province Strategic and New Industries(2014GK1037) and the Key Program of Science and Technology Project of SGCC(5216A014002)

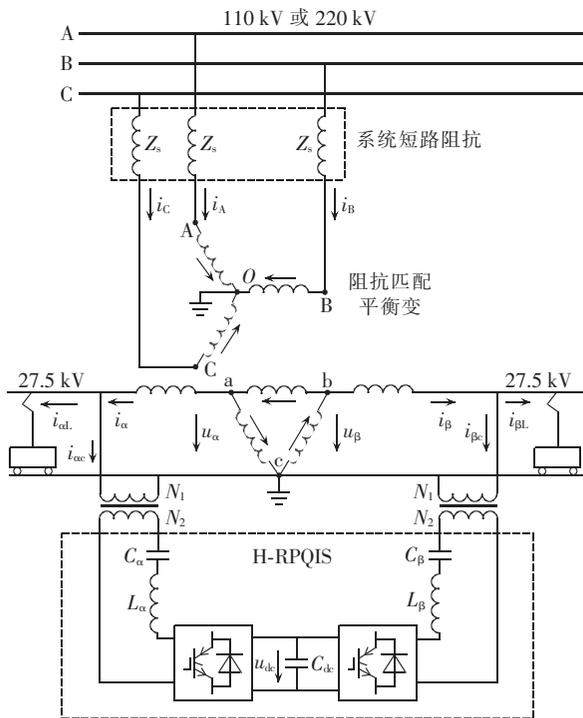


图 1 H-RPQIS 的拓扑结构
Fig.1 Topology of H-RPQIS

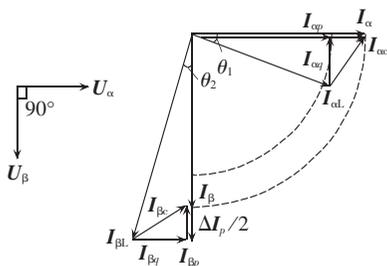


图 2 H-RPQIS 的补偿原理
Fig.2 Compensation principle of H-RPQIS

法和 RPC 完全相同^[18], 此处不再赘述。

3 容量分析

本节将对 H-RPQIS 与 RPC 的补偿容量进行分析, 以此说明本系统的优势。为方便讨论, 作如下假设: 由于 α 、 β 相的分析相同, 下面以 α 相作为研究对象; 不考虑变压器变比的影响。

图 3 为两系统 α 相的等效电路图。其中, U_α 为主变 α 相端口电压; I_α 为 α 相供电臂电流; $I_{\alpha L}$ 为 α 相

负载电流; $I_{\alpha c}$ 为综合补偿电流。在图 3(a) 的 H-RPQIS 等效电路中, $U_{LC\alpha}$ 为 LC 耦合支路的电压降, $U_{LC\alpha c}$ 为 α 相逆变器端口电压, $X_{LC\alpha}$ 为 LC 耦合电抗; 在图 3(b) 的 RPC 等效电路中, $U_{L\alpha}$ 为 L 耦合支路的电压降, $U_{L\alpha c}$ 为其 α 相逆变器端口电压, $X_{L\alpha}$ 为 L 耦合电抗。

由图 3 及补偿原理易得如图 4 所示的相量图。

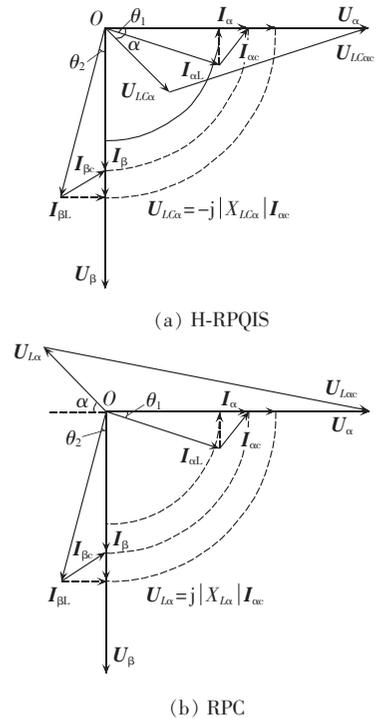


图 4 相量图
Fig.4 Phasor diagram

令 α 相和 β 相负载的功率因数分别为 $\lambda_1 = \cos \theta_1$ 、 $\lambda_2 = \cos \theta_2$, 并假设 $|I_{\beta L}| > |I_{\alpha L}|$, $|I_{\beta L}| / |I_{\alpha L}| = \varepsilon$, 由图 4 易得逆变器端口电压:

$$U_{LC\alpha c} = \sqrt{x_1^2 I_{\alpha c}^2 + U_\alpha^2 - K_1 x_1 I_{\alpha c} U_\alpha} \quad (1)$$

$$U_{L\alpha c} = \sqrt{x_2^2 I_{\alpha c}^2 + U_\alpha^2 + K_1 x_2 I_{\alpha c} U_\alpha} \quad (2)$$

$$x_1 = |X_{LC\alpha}|, \quad x_2 = |X_{L\alpha}|$$

$$K_1 = \frac{4\sqrt{1-\lambda_1^2}}{\sqrt{4(1-\lambda_1^2) + (\lambda_2 \varepsilon - \lambda_1)^2}}$$

将式(1)、(2)转化为标幺值, 可得:

$$U_{LC\alpha c}^* = \sqrt{|X_{LC\alpha}|_*^2 - K_1 |X_{LC\alpha}|_* + 1} \quad (3)$$

$$U_{L\alpha c}^* = \sqrt{|X_{L\alpha}|_*^2 + K_1 |X_{L\alpha}|_* + 1} \quad (4)$$

其中, 基值为 $U_B = U_\alpha$, $I_B = I_{\alpha c}$ 。

在 $\varepsilon = 1.2$ 的情况下 (ε 可取两相负载电流的平均值之比), 可以绘制出如图 5 所示的端口电压三维曲面。

从图 5(a) 可知, 无论 λ_1 取何值, 都有一个最优阻抗值 $|X_{LC\alpha opt}|_*$ 使得 H-RPQIS 的 α 相逆变器的端口电压 $U_{LC\alpha c}^*$ 达到最小, 且都小于 1。从图 5(b) 可观察到, 当 λ_1 一定时, 随着阻抗值 $|X_{L\alpha}|_*$ 的增大, RPC 的 α 相逆变器的端口电压 $U_{L\alpha c}^*$ 亦线性增大, 且都大于 1。

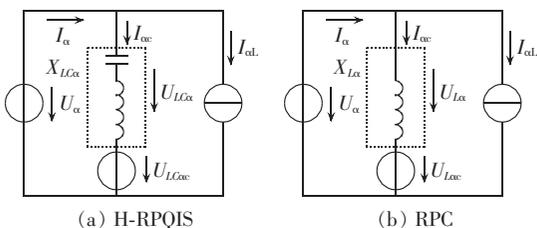


图 3 等效电路
Fig.3 Equivalent circuit

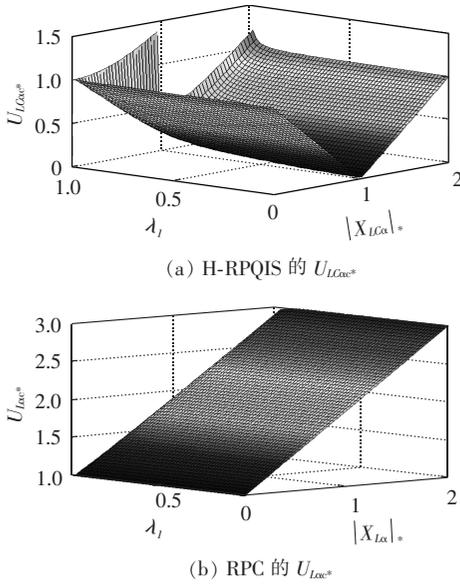


图 5 电压三维坐标图
Fig.5 3-D plots of port voltage

由式(1)、(2)容易计算得到两系统 α 相逆变器的补偿容量为:

$$S_{Lc\alpha c} = I_{\alpha c} \sqrt{X_{Lc\alpha}^2 I_{\alpha c}^2 + U_{\alpha}^2 - K_1 X_{Lc\alpha} I_{\alpha c} U_{\alpha}} \quad (5)$$

$$S_{Lc\alpha c} = I_{\alpha c} \sqrt{X_{Lc\alpha}^2 I_{\alpha c}^2 + U_{\alpha}^2 + K_1 X_{Lc\alpha} I_{\alpha c} U_{\alpha}} \quad (6)$$

其中, $S_{Lc\alpha c}$ 为 H-RPQIS 的 α 相逆变器的补偿容量; $S_{Lc\alpha c}$ 为 RPC 的 α 相逆变器的补偿容量。

下面计算 $|X_{Lc\alpha opt}|_{*o}$ 。如图 6 所示,当 $U_{Lc\alpha c} \perp U_{Lc\alpha c^*}$ 时 $U_{Lc\alpha c^*}$ 最小。故容易计算得到 LC 耦合电抗的最优值 $|X_{Lc\alpha opt}|_*$ 为:

$$|X_{Lc\alpha opt}|_* = \frac{2\sqrt{1-\lambda_1^2}}{\sqrt{4(1-\lambda_1^2) + (\lambda_2 \varepsilon - \lambda_1)^2}} \quad (7)$$

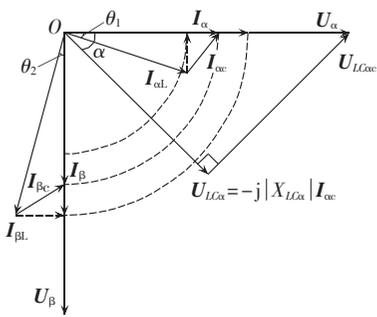


图 6 $|X_{Lc\alpha opt}|_*$ 的计算示意图
Fig.6 Schematic diagram of $|X_{Lc\alpha opt}|_*$ calculation

由于电力机车的功率因数一般在 0.7~0.85,且变化不大^[1],此处取 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.75$ (这也是大多数中高速混跑牵引馈线的平均功率因数); ε 取两相馈线的平均负荷电流之比,即 $\varepsilon = I_{\beta av} / I_{\alpha av}$ ($I_{k av}$ 为 k 相馈线电流有效值的均值, k 取 α、β); 此处以某牵引变电所实测数据为例加以说明,即: $I_{\alpha av} = 192$ A, $I_{\beta av} = 438$ A, $\varepsilon = 2.281$ 。将上述 λ_1 、 λ_2 和 ε 的数据代入式(7)可得:

$$|X_{Lc\alpha opt}|_* = 0.809$$

另外,将 $|X_{Lc\alpha}|_*$ 、 $|X_{Lc\alpha opt}|_*$ 转化为有名值分别代入式(5)、(6)可得:

$$S_{Lc\alpha c} = \sqrt{1-k_1^2} U_{\alpha} I_{\alpha c} \quad (8)$$

$$S_{Lc\alpha c} = \sqrt{3k_2^2+1} U_{\alpha} I_{\alpha c} \quad (9)$$

其中, $k_1 = |X_{Lc\alpha}|_*$, $k_2 = |X_{Lc\alpha}|_{*o}$ 。

按现有设计经验,当 RPC 的单边补偿容量为 5~15 MV·A 时,其耦合电抗值一般取 15~25 Ω^[10]。这里取 $X_{Lc\alpha} = 18$ Ω,在取与 H-RPQIS 相同的基值 ($S_B = 8.66$ MV·A, $U_B = 27.5$ kV) 下其标么值为 $|X_{Lc\alpha}|_* = 0.206$ 。另外,令 $|X_{Lc\alpha}|_* = |X_{Lc\alpha opt}|_* = 0.809$,在相同工况下(此时两者的补偿电流均为 $I_{\alpha c} = 315$ A),将其分别代入式(8)和(9),可得:

$$S_{Lc\alpha c} = 5.1 \text{ MV} \cdot \text{A}, S_{Lc\alpha c} = 9.2 \text{ MV} \cdot \text{A}$$

其中选取 $U_{\alpha} = 27.5$ kV。

由此可见,在此种工况下,与传统补偿系统相比, H-RPQIS 具有更强的节容能力。β 相的分析及设计原理完全相同,此处不再赘述。

由上述分析可知: H-RPQIS 有源部分的补偿容量比 RPC 小,其原因是 LC 耦合电抗在采用最优阻抗设计后能最大限度地分担牵引馈线的基波电压,从而有利于降低 H-RPQIS 主电路的成本,提高其可靠性。

4 仿真研究

4.1 参数设计

为验证本系统的补偿效果及容量分析的正确性,本节结合广铁集团某牵引变电所的实测数据对 H-RPQIS 进行仿真研究。该牵引变电所高压进线为 110 kV,三相进线短路容量为 2082 MV·A;主变为阻抗匹配平衡变压器,容量为 40 MV·A,短路阻抗为 8.14%。测试所用仪器为 HIOKI-PW3198 电能质量分析仪,每隔 3 s 保存一组数据,测试时间为 26 h。

由实测数据可知,α、β 相馈线电压的平均有效值分别为 29.37 kV 和 28.87 kV;另外, $\varepsilon = 1.5933$, $\lambda_1 = 0.7391$, $\lambda_2 = 0.812$ (λ_1 、 λ_2 所取值为仿真负荷的实际功率因数),根据前 2 节所述方法,α、β 相 LC 参数如表 1 所示。

表 1 LC 参数
Table 1 LC parameters

L_{α} /mH	C_{α} /mF	L_{β} /mH	C_{β} /mF	$C_{\alpha k}$ /mF
0.3702	3.044	0.2674	4.215	20

另外,两系统降压变压器的变比设为 10:1,电压控制环的 PI 参数设置为 $k_p = 0.1$ 、 $k_i = 0.02$ 。RPC 的耦合电抗按照标么值为 0.206 进行设计,分别为 $L_{\alpha-RPC} = 0.6587$ mH, $L_{\beta-RPC} = 0.5253$ mH。

4.2 仿真验证

该牵引变电站实测的主变一次和二次侧电流波

形如图 7(a)所示。按变电站实际参数和实测数据建立仿真模型,其仿真的主变一次和二次侧电流波形如图 7(b)所示。实测和仿真数据对比如表 2 所示,表中 $\varepsilon_{U_{\text{unb}}}$ 和 $\varepsilon_{I_{\text{unb}}}$ 分别为主变一次侧电压、电流不平衡度。图 7 和表 2 说明两者的波形和电能质量指标接近,证明所建立的仿真模型是正确的。同时也说明,该系统补偿前一次侧的电流畸变超过 16%,不平衡度约 23%,功率因数低于 0.7。

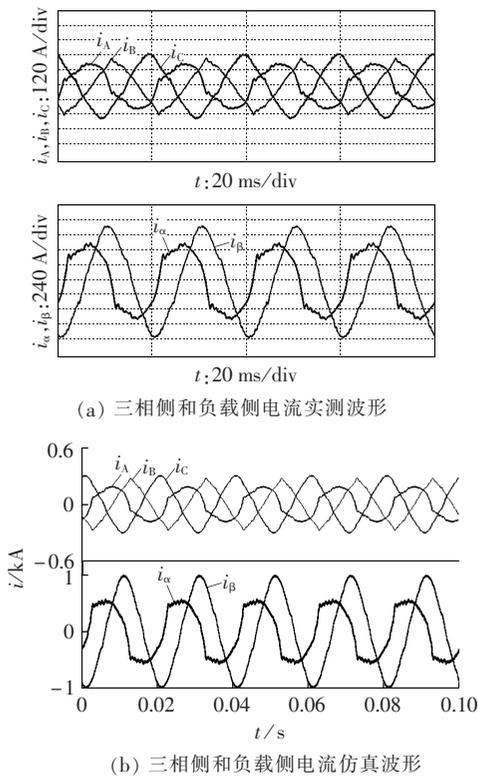


图 7 实测与仿真波形

Fig.7 Measured and simulative waveforms

表 2 实测与仿真电能质量数据对比

Table 2 Comparison of power quality data between test and simulation

条件	功率因数	THD _i /%	$\varepsilon_{U_{\text{unb}}}$ /%	$\varepsilon_{I_{\text{unb}}}$ /%
实测	0.622	16.52	1.88	22.95
仿真	0.616	16.07	1.90	23.00

两补偿系统在 $t=0.8$ s 投入前后的仿真波形如图 8、图 9 所示。当两系统投入后,主变一次侧的各项电能质量均得到了明显提高。另外,由图 8 可知,H-RPQIS 的直流侧电压比 RPC 系统更早进入稳态,同时,在达到相同补偿效果的前提下 H-RPQIS 的直流侧电压约为 RPC 的 1/5,故 H-RPQIS 的设计容量更低,且可靠性更高。

在前述的负荷条件下,H-RPQIS 与 RPC 有源系统补偿容量的曲线如图 10 所示。图中,测量曲线表示直接从仿真模型中测量出逆变器的端口电压和电流有效值(随时间变化),然后将两者乘积得出视在功率(即补偿容量)随时间的变化曲线;计算曲线指

从仿真模型中得出补偿电流波形有效值之后,再由式(8)、(9)计算得到视在功率的曲线(馈线电压取额定值 27.5 kV 不变)。图 10 中稳态后($t>0.4$ s)的数据如表 3 所示。

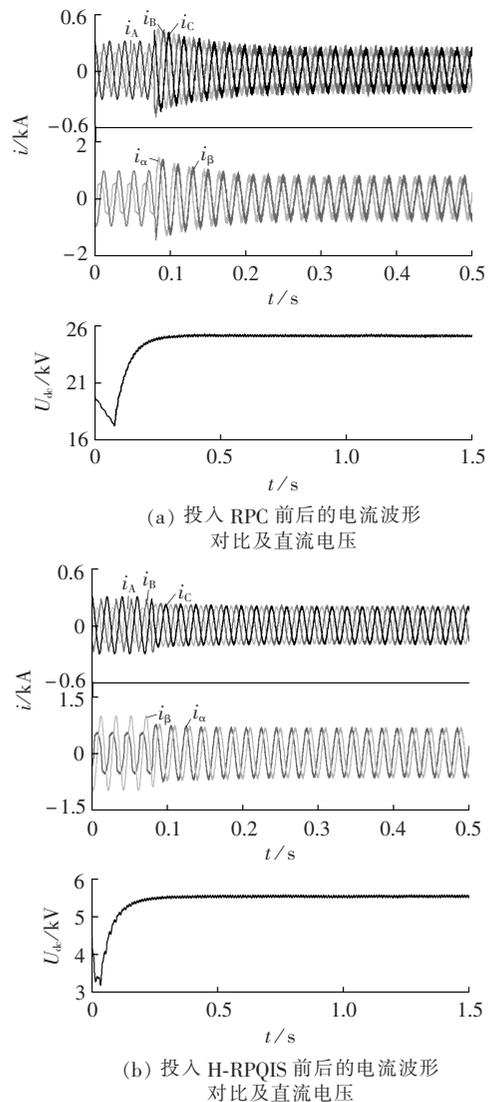
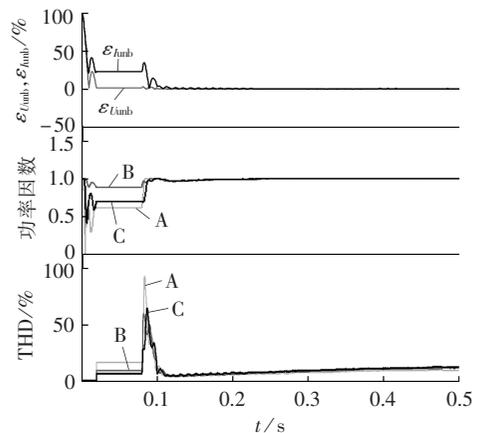
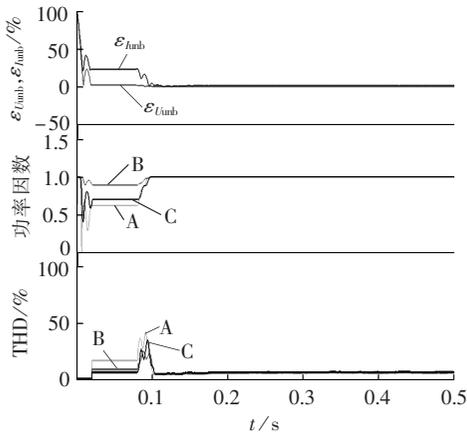


图 8 H-RPQIS 与 RPC 的电压、电流动态波形
Fig.8 Dynamic voltage and current waveforms of H-RPQIS or RPC



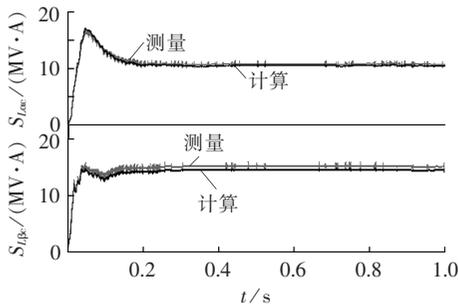
(a) RPC 的电压、电流不平衡度,网侧功率因数和电流畸变率



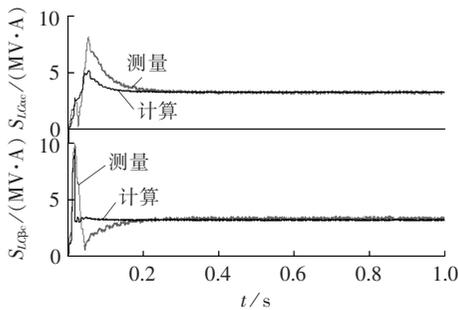
(b) H-RPQIS 的电压、电流不平衡度,网侧功率因数和电流畸变率

图 9 H-RPQIS 和 RPC 投入前后主要电能质量指标变化过程

Fig.9 Variation of main power quality indexes during putting-into-operation of H-RPQIS or RPC



(a) RPC 的容量曲线



(b) H-RPQIS 的容量曲线

图 10 H-RPQIS 和 RPC 的补偿容量曲线

Fig.10 Compensation capacity curves of H-RPQIS or RPC

表 3 H-RPQIS 和 RPC 有源系统容量数据

Table 3 Compensation capacity data of active system for H-RPQIS and RPC

装置	相别	容量/(MV·A)		误差/%
		测量	计算	
RPC	α	10.686	10.421	2.479
	β	15.160	14.478	4.499
H-RPQIS	α	3.183	3.307	3.906
	β	3.341	3.172	5.067

表 3 的数据表明,在此种工况下 H-RPQIS 两相逆变器的总补偿容量仅为 RPC 的 26% 左右,而且通过图 10 所示的测量曲线和计算曲线的吻合程度,可以证明理论分析的正确性。

5 结论

本文提出了一种混合型电气化铁道电能质量综合治理系统,对逆变器的端口电压进行了定量分析,提出了 LC 耦合支路的最优阻抗设计方法。在此基础上给出了 H-RPQIS 与 RPC 系统的补偿容量对比分析。最后结合实测数据进行的仿真验证了本系统的补偿效果及补偿容量分析的正确性。

本系统充分挖掘了平衡变压器、LC 耦合电抗和单相背靠背逆变器的潜能,使得该系统在得到较好补偿效果的基础上获得了降低逆变器补偿容量的优异性能。对于我国广泛使用的以平衡牵引变压器为主变的牵引变电所,该系统具有较高的性价比。

参考文献:

- [1] 李群湛,连级三,高仕斌. 高速铁路电气化工程[M]. 成都:西南交通大学出版社,2006:155-168.
- [2] 何常红,吴广宁,张雪原,等. 世界高速电气化铁道电能质量现状及治理措施[J]. 电气化铁道,2008,1(1):1-5.
HE Changhong,WU Guangning,ZHANG Xueyuan,et al. The present situation of international high-speed electric railway electric quality and treatment measures[J]. Electric Railway, 2008, 1(1):1-5.
- [3] 武中,王志刚,宋述勇,等. 电气化铁道牵引变电所对电力系统影响及治理的仿真研究[J]. 中国电机工程学报,2011,31(增刊 1):77-82.
WU Zhong,WANG Zhigang,SONG Shuyong,et al. Simulation research on the influence and management of the electrified railway traction substation on power system[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(Supplement 1):77-82.
- [4] 张志文,王耀南,刘福生,等. 多功能平衡变压器的等值电路[J]. 中国电机工程学报,2004,24(4):125-132.
ZHANG Zhiwen,WANG Yaonan,LIU Fusheng,et al. Study on operational mode of multi-function balance traction transformer [J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(4):125-132.
- [5] ZHANG Zhiwen,WU Bin,KANG Jinsong,et al. A multi-purpose balanced transformer for railway traction applications[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2009,24(2):711-718.
- [6] 孟金岭,肖勇,王文,等. 适用于高速电气化铁路的低成本电能质量综合补偿装置[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(14):73-80.
MENG Jinling,XIAO Yong,WANG Wen,et al. A low cost power quality compensation scheme for high-speed electric railway[J]. Power System Protection and Control,2013,41(14):73-80.
- [7] 王果,田铭兴,任恩恩. 降低电气化铁路混合有源补偿装置有源支路容量的分析[J]. 电力自动化设备,2010,30(9):18-23.
WANG Guo,TIAN Mingxing,REN Enen. Reduced active part rating of hybrid active compensation for electrification railway [J]. Electric Power Automation Equipment,2010,30(9):18-23.
- [8] 孙卓,朱东起,姜新建. 牵引变电所新型电能质量调节器的研究[J]. 电力系统自动化,2002,26(19):41-44.
SUN Zhuo,ZHU Dongqi,JIANG Xinjian. A new traction substation on power quality compensator[J]. Automation of Electric Power Systems,2002,26(19):41-44.
- [9] 胡斯佳,张志文,李勇,等. 一种绕组补偿式电气化铁道电能质量

- 控制系统[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(13): 2140-2150.
- HU Sijia, ZHANG Zhiwen, LI Yong, et al. A winding compensating power quality control system for electrified railway[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(13): 2140-2150.
- [10] HORITA Y, MORISHIMA N, KAI M, et al. Single-phase STATCOM for feeding system of Tokaido Shinkansen[C]//Proceedings of IEEE Conference on IPEC. Sapporo, Japan: IEEE, 2010: 2165-2170.
- [11] 张定华, 桂卫华, 王卫安, 等. 牵引变电所电能质量混合动态治理技术[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(7): 48-55.
- ZHANG Dinghua, GUI Weihua, WANG Weian, et al. Hybrid dynamic power quality compensation technology for traction substation[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(7): 48-55.
- [12] 朱红萍, 罗隆福. 新型电气化铁道电能质量综合治理装置[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(7): 72-76.
- ZHU Hongping, LUO Longfu. Power quality improving device for electric railroads[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(7): 72-76.
- [13] 张鑫, 江全元. 基于V/V接线变压器的铁路功率调节器容量配置和能量优化补偿策略[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(1): 102-108.
- ZHANG Xin, JIANG Quanyuan. Capacity configuration of V/V transformer-based railway power conditioner and optimal energy compensation strategy[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(1): 102-108.
- [14] 夏焰坤, 李群湛, 解绍锋, 等. 高速和重载电气化铁路V型接线牵引变压器负序补偿研究[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(2): 73-78.
- XIA Yankun, LI Qunzhan, XIE Shaofeng, et al. Negative sequence compensation of high-speed and heavy-haul electric railroad with V-connection transformer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2014, 34(2): 73-78.
- [15] UZUKA T, IKEDO S, UEDA K. A static voltage fluctuation compensator for AC electric railway[C]//Proceedings of IEEE Conference on PESC. Azchen, Germany: IEEE, 2004: 1869-1873.
- [16] MORIMOTO H, ANDO M, MOCHINAGA Y, et al. Development of railway static power conditioner used at substation for Shinkansen[C]//Proceedings of IEEE Conference on PCC. Osaka, Japan: IEEE, 2002: 1108-1111.
- [17] SHU Zeliang, XIE Shaofeng, LU Ke, et al. Digital detection, control, and distribution system for co-phase traction power supply application[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013, 60(5): 1831-1839.
- [18] 欧阳帆, 周友庆, 郭自勇. 基于平衡变压器的电流平衡补偿方法[J]. 电工技术学报, 2007, 22(5): 53-57.
- OUYANG Fan, ZHOU Youqing, GUO Ziyong. A compensation method for current balance based on balance transformer[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2007, 22(5): 53-57.

作者简介:



张志文

张志文(1963—),男,湖南长沙人,教授,博士研究生导师,通讯作者,主要从事电气化铁道电能质量分析与控制、交直流电能变换系统理论与新技术、现代电气装备自动化与新技术、电力系统谐波抑制、新型电力电子器件及应用等研究工作(E-mail:hdzzw@126.com);

王丹(1988—),女,湖南岳阳人,硕士研究生,主要从事电气化铁道负序和谐波综合治理的研究工作(E-mail:mingweiyangxun@sina.cn);

胡斯佳(1987—),男,湖南湘潭人,博士研究生,主要从事电气化铁道电力系统潮流分析与控制、大功率多电平逆变器及柔性交流输电系统的研究工作(E-mail:huda_hsj@163.com);

罗隆福(1962—),男,湖南常德人,教授,博士研究生导师,主要研究方向为现代电器设备的设计和优化、新型换流变压器的研制和高压直流输电新理论研究、高效节能型交直流电能变换技术与装备(E-mail:llf@hnu.edu.cn)。

Hybrid railway power quality improvement system and its power capacity analysis

ZHANG Zhiwen, WANG Dan, HU Sijia, LUO Longfu, CHEN Mingfei

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: An H-RPQIS (Hybrid Railway Power Quality Improvement System) is proposed to comprehensively improve the power quality of traction substations with balance transformers. The port voltage performance of its active part is analyzed, the parameter design of its LC-coupling branches are given, and its power capacity is compared with that of traditional RPC (Railway static Power Conditioner). Analytical result indicates the compensation capacity of its active part is much smaller than that of RPC system. Simulation is carried out for a real 40 MV·A traction substation based on the test data and results show that, the compensation capacity of its active part is about 20%~30% of that of RPC, verifying the compensation effect of H-RPQIS and the correctness of capacity analysis.

Key words: electric railroads; compensation; capacity; balance traction transformer; power quality; railway static power conditioner; traction substation