



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102611116 B

(45) 授权公告日 2015. 01. 28

(21) 申请号 201210051065. X

CN 101170284 A, 2008. 04. 30, 说明书第 5-6

(22) 申请日 2012. 02. 29

页, 附图 3、6.

(73) 专利权人 澳门大学

审查员 张震

地址 中国澳门氹仔徐日昇寅公马路澳门大学科技学院

(72) 发明人 黄民聪 戴宁怡 刘景荣 黄志刚

(74) 专利代理机构 广东秉德律师事务所 44291
代理人 闫有幸

(51) Int. Cl.

H02J 3/18 (2006. 01)

H02J 3/01 (2006. 01)

H02J 3/26 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101409450 A, 2009. 04. 15, 说明书第 3 页, 附图 6.

CN 1697279 A, 2005. 11. 16, 全文.

JP 特开 2000-41338 A, 2000. 02. 08, 全文.

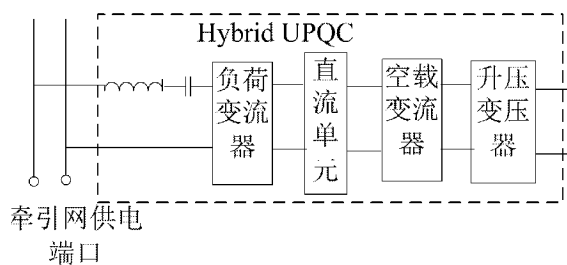
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器

(57) 摘要

本发明涉及一种用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器, 其特征在于, 包括: 负荷侧变流器、空载侧变流器、直流单元、容性阻抗及升压变压器; 负荷侧变流器和空载侧变流器通过直流单元交换能量, 组成“背靠背”的整流逆变器; 负荷侧变流器连接容性阻抗, 空载侧变流器与升压变压器相连。本发明所提出的控制器同时具有有功功率控制, 无功功率补偿和谐波补偿的功能, 能有效改善电气化铁路牵引供电系统中的电能质量问题, 降低系统损耗。



1. 一种用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器,其特征在于,包括:负荷侧变流器、空载侧变流器、直流单元、容性阻抗及升压变压器;负荷侧变流器和空载侧变流器通过直流单元交换能量,组成“背靠背”的整流逆变器;负荷侧变流器连接容性阻抗,空载侧变流器与升压变压器相连;所述容性阻抗包含一组电容器和一组电抗器,在系统工作频率下,电容器加电抗器总阻抗为容性;所述容性阻抗在系统工作频率下的阻抗值满足在额定负载情况下,负荷侧变流器输出电压的工作频率分量与补偿电流的工作频率分量同方向。

2. 根据权利要求1所述的用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器,其特征在于:电感电容串联支路谐振在牵引负荷电流的某一次主要谐波。

3. 根据权利要求2所述的用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器,其特征在于:所述的某一次主要谐波选择3次、5次或7次。

4. 根据权利要求1至3任意一项所述的用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器,其特征在于:所述升压变压器为单相隔离升压变压器,其变比为负荷侧变流器额定电压和系统电压的比值。

用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于电气化铁路供电系统中的单相电能质量控制器,属于电气工程中的电力电子技术领域。

背景技术

[0002] 中国的电气化铁路普遍采用单相工频交流电为铁路机车供电。电力机车作为大容量单相负荷会将负序电流注入三相供电系统,引起供电系统三相电压不平衡,电压波动的问题。而电力机车同时会产生无功电流和谐波电流,危害电力系统的正常运行。

[0003] 在我国现有的电气化铁道供电系统中,普遍采用相序轮换、分相供电的方案。该方案在一定程度上可以减轻三相不平衡的影响,但不能从根本上解决单相牵引负荷对整个公用电网的影响。同时电分相装置增加了成本并制约了机车的运行速度,难以满足高速重载铁路的要求。

[0004] 在“基于 YN, vd 接线变压器的铁道机车交流牵引同相供电装置”(中国发明专利,授权公告日:2009年6月24日,公告号 CN100505499C)中,提出一种可以实现铁路全线同相供电而无需分相,同时消除铁路牵引负荷对公用电网电能质量影响的同相供电装置。其中基于电力电子技术的整流逆变器在同相供电系统中起关键作用。对于该整流逆变器的结构和控制方法的描述,可见于以下的两篇科技文献中:文献1:张秀峰,李群湛,吕晓琴,基于有源滤波器和 V, v 接同相供电系统,中国铁道科学,2006,27(2):98-102;文献2:曾国宏,郝荣泰,基于有源滤波器和阻抗匹配平衡变压器的同相供电系统,铁道学报,2003,25(3):49-54。其中文献1选择 V, v 变压器作为牵引变压器,文献2选择阻抗匹配平衡变压器为牵引变压器,两种变压器均一次侧接入三相电网,二次侧转为两相输出。

[0005] 上述文献中的同相供电方案,整流逆变器两侧都需要变压器将变流器与牵引电网相联,其简化的原理结构如图1所示。在“用于电气化铁路供电的单相统一电能质量控制器”(中国发明专利,授权公告日:2009年11月4日,公告号 CN 100557935C)中,提出一种用于电气化铁路供电的单相统一电能质量控制器(简称 UPQC),该 UPQC 通过采用大容量链式 H 桥变流器,省去一侧的变压器,从而减小装置的成本、占地面积和损耗,其结构如图2所示。但就整流逆变器本身而言,因为一侧变流器通过电感直接并联接入牵引电网,考虑到牵引机车为感性负荷,为了能实现对于负荷谐波、无功和不平衡电流的补偿,如该专利实施例中的参数,整流逆变器的总直流侧电压必须要高于牵引变压器二次侧电压的幅值。缺陷在于,整流逆变器成本高,限制了该方案的应用。

发明内容

[0006] 本发明的目的是提供一种新型的用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器;该目的由以下技术方案实现:

[0007] 一种用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器,其特征在于,包括:负荷侧变流器、空载侧变流器、直流单元、容性阻抗及升压变压器;负荷侧变流器和空载侧变流器

通过直流单元交换能量,组成“背靠背”的整流逆变器;负荷侧变流器连接容性阻抗,空载侧变流器与升压变压器相连。

[0008] 所述容性阻抗包含一组电容器和一组电抗器,在系统工作频率下,电容器加电抗器总阻抗为容性。

[0009] 所述容性阻抗在系统工作频率下的阻抗值满足在额定负载情况下,负荷侧变流器输出电压的工作频率分量与补偿电流的工作频率分量同方向。

[0010] 所述容性阻抗的电感电容串联支路谐振在牵引负荷电流的某一次主要谐波,通常选择 3 次、5 次或 7 次。

[0011] 所述升压变压器为单相隔离升压变压器,其变比为负荷侧变流器额定电压和系统电压的比值。

[0012] 本发明的特点及有益效果:

[0013] 本发明所提出的用于电气化铁路供电系统的单相电能质量控制器(简称 Hybrid UPQC),同时具有有功功率控制,无功功率补偿和谐波补偿的功能,能有效改善电气化铁路牵引供电系统中的电能质量问题,降低系统损耗。利用本发明提出的 Hybrid UPQC,通过容性阻抗将变流器接入牵引供电系统,可以将整流逆变器的直流总电压减少到现有方案的 50 ~ 80%,从而减少电力电子变流装置的容量,达到降低成本和运行损耗的目的。

附图说明

[0014] 图 1 为已有的基于双变压器隔离结构的同相供电系统。

[0015] 图 2 为已有的一侧采用隔离变压器,一侧经电感直接并入系统的 UPQC 结构示意图。

[0016] 图 3 为本发明提供的一侧采用隔离变压器,一侧经容性阻抗并入系统的 Hybrid UPQC 结构示意图。

[0017] 图 4 为 Hybrid UPQC 向系统注入有功电流和补偿负荷感性无功时的矢量图。

[0018] 图 5 为 UPQC 向系统注入有功电流和补偿负荷感性无功时的矢量图。

[0019] 图 6 为实施例一中 Hybrid UPQC 被安装在一个使用 V, v 变压器的牵引变电站中实现同相供电系统的系统结构图。

[0020] 图 7 为实施例二中 Hybrid UPQC 被安装在一个使用单相变压器的牵引变电站中实现同相供电系统的系统结构图。

具体实施方式

[0021] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步详细描述。

[0022] 本发明提供的用于电气化铁路同相供电系统的单相电能质量控制器(简称 Hybrid UPQC)总体结构如图 3 所示,本装置包括负荷侧变流器(简称负荷变流器)、空载侧变流器(简称空载变流器)、直流单元、升压变压器及容性阻抗。基于电力电子器件(GTO 或 IGBT)的负荷侧变流器和空载侧变流器通过直流单元交换能量,组成“背靠背”的整流逆变器。容性阻抗连接牵引供电网和负荷侧变流器,该阻抗由一组电容器和一组电感组成,电容电感谐振在负荷的某一次谐波,因而其在系统工作频率下的总阻抗总为容性。空载侧变流器通过升压隔离变压器接入系统。

[0023] 上述Hybrid UPQC中,一侧通过容性阻抗与牵引变压器的供电端直联,即与电气化铁路牵引负荷并联接入同一牵引电网,该侧的变流器也称为负荷侧变流器;另一侧则通过升压变压器与供电系统相连,该侧的变流器称为空载侧变流器。

[0024] 其中,负荷侧变流器通过容性阻抗接入牵引电网,在其输出电压低于牵引网电压的情况下,可以实现向牵引电网注入有功电流、无功电流和谐波电流。相应的变流器的总直流侧电压也将明显低于牵引变压器二次侧电压的幅值。可以消除铁路牵引负荷所产生的无功,谐波电流对于公用电网电能质量的影响,同时还能够解决单相牵引负荷所产生的公用电网不平衡问题。相对于现有的UPQC,该方案可以降低单相电能质量控制器中整流逆变器的容量,降低电能质量控制器的成本以及损耗。

[0025] 所述容性阻抗包含一组电容器和一组电抗器,在系统工作频率下,电容器加电抗器总阻抗为容性,为了降低整流逆变器直流侧总电压,所述容性阻抗在系统工作频率下的阻抗值满足在额定负载情况下,负荷侧变流器输出电压的工作频率分量与补偿电流的工作频率分量同方向。为了利于滤除铁路牵引负荷所产生的谐波,电感电容串联支路谐振在牵引负荷电流的某一次主要谐波,通常选择3次、5次或7次。

[0026] 上述的Hybrid UPQC中,空载侧变流器经单相隔离升压变压器接入系统,其变比为负荷侧变流器额定电压和系统电压的比值,当电气化铁路中的牵引变电站采用的牵引变压器为三相变两相变压器,例如V, v,阻抗匹配平衡变压器时,系统电压是牵引变压器二次侧输出电压的有效值,通常和牵引网供电电压相同;当牵引变压器为单相变压器时,空载侧变流器经单相隔离升压变压器接入三相供电系统,其变比为负荷侧变流器额定电压和三相供电系统线电压的有效值的比值。

[0027] 上述Hybrid UPQC中,空载侧变流器和负荷侧变流器均可选择多电平单相电压源变流器,如单相链式H桥结构变流器,可采用基于电流跟踪的控制技术(属于常规技术,且不属于本发明内容),确保本发明对于无功电流、谐波电流实现补偿并控制有功电流的转移,同时维持直流侧电压在设定范围内。

[0028] 本发明提供的Hybrid UPQC的工作原理简述如下:

[0029] 在同相供电系统中,Hybrid UPQC的负荷侧变流器对于电气化铁路负荷产生的无功电流和谐波电流进行补偿,同时当牵引变压器为三相变两相变压器,例如V, v,阻抗匹配平衡变压器时,空载侧的变流器接入牵引变压器的另一相绕组;当牵引变压器为单相变压器时,空载侧变流器接入三相供电系统,但要和单相牵引变压器选择不同的线电压接入。空载侧变流器从系统吸收有功功率,通过直流单元,再由负荷侧变流器将该能量注入系统,从而补偿三相侧电流的不平衡。空载侧变流器在吸收有功功率时,采用功率因数校正技术,即控制电流波形,并保证三相供电系统中所测量到功率因数接近为一。

[0030] 直流电力机车功率因数一般为0.8左右,同时为感性负荷,假定补偿电流的正方向为从Hybrid UPQC的负荷侧变流器注入系统,当Hybrid UPQC向系统注入有功电流和补偿负荷感性无功时,矢量图如图4所示,补偿电流矢量包含与系统电压平行的有功分量和与系统电压垂直的无功分量,该电流流过容性阻抗产生的电压矢量方向为电流矢量顺时针旋转九十度,系统电压和容性阻抗上电压相加,即为Hybrid UPQC负荷侧变流器的输出电压,Hybrid UPQC可在负荷侧变流器输出电压低于系统电压时,实现补偿的要求。而传统的UPQC在向系统注入同样补偿电流时,矢量图如图5所示,因为采用感性阻抗连接逆变器和

系统,补偿电流流过感性阻抗产生的电压矢量方向为电流矢量逆时针旋转九十度,UPQC 负荷侧变流器电压为系统电压和感性阻抗上电压相加,该电压必需高于系统电压才能实现补偿要求。

[0031] 下面是本发明 Hybrid UPQC 的两个应用实例:

[0032] 实例一:Hybrid UPQC 在基于 V, v 变压器的同相供电系统中

[0033] 该实施例中,Hybrid UPQC 被安装在一个使用 V, v 变压器的牵引变电站中实现同相供电系统,该同相供电系统的详细示意图如图 6 所示。

[0034] 假定公共电网,即牵引变压器一次侧三相电压如下:

[0035]

$$\begin{bmatrix} v_A \\ v_B \\ v_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2}V \sin \omega t \\ \sqrt{2}V \sin(\omega t - 120^\circ) \\ \sqrt{2}V \sin(\omega t + 120^\circ) \end{bmatrix}$$

[0036] 上式中 V 代表牵引变电站接入的三相供电系统相电压有效值。

[0037] 如图 4 中的接线, V, v 变压器二次侧电压如下:

[0038]

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{ac} \\ v_{bc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2}V_{\text{sup ply}} \sin(\omega t - 30^\circ) \\ \sqrt{2}V_{\text{sup ply}} \sin(\omega t - 90^\circ) \end{bmatrix}$$

[0039] 上式中 v_α 及 v_β 分别代表 V, v 变压器二次侧的输出电压,其中 v_α 直接给牵引网供电, v_β 为同相供电方案中的空载侧, $V_{\text{sup ply}}$ 是二次侧的输出电压的有效值。

[0040] 当系统中没有接入 Hybrid UPQC 时, V, v 变压器二次侧电流如下:

[0041]
$$\begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_L \\ 0 \\ -i_L \end{bmatrix}$$

[0042] i_L 为电力机车牵引负荷电流,并可以被分解为基波有功电流,基波无功电流和谐波电流:

[0043]
$$i_L = i_{L1p} + i_{L1q} + i_{Lh}$$

[0044] 其中 i_{Lh} 为负载电流中的谐波, i_{L1p} 和 i_{L1q} 分别表示基波有功电流和基波无功电流,可以表示为:

[0045]

$$i_{L1p} = \sqrt{2}I_{L1} \cos \varphi_1 \sin(\omega t - 30^\circ)$$

[0046]

$$i_{L1q} = -\sqrt{2}I_{L1} \sin \varphi_1 \cos(\omega t - 30^\circ) \quad ,$$

[0047] 其中 I_{L1} 是负荷基波电流有效值, φ_1 表示电铁负荷供电电压和基波负荷电流之间的相位差。电铁负荷吸收的有功功率可以表示为:

[0048]

$$P_L = V_{\text{sup ply}} I_{L1} \cos \varphi_1 \quad .$$

[0049] 当系统中加入 Hybrid UPQC 后,Hybrid UPQC 将注入补偿电流,牵引变压器二次侧电流改变为:

$$[0050] \quad \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_L - i_{pa} \\ -i_{pb} \\ -i_L - i_{pc} \end{bmatrix}$$

[0051] 上式中, i_L 为负荷电流, i_{pa} , i_{pb} 及 i_{pc} 分别为从 Hybrid UPQC 注入到系统的三相电流。

[0052] 在完全补偿情况下, 公共电网即牵引变压器原边的电流将三相平衡且功率因数为 1, 这时原边电流可以表示为:

[0053]

$$\begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sqrt{2}I \sin \omega t \\ \sqrt{2}I \sin(\omega t - 120^\circ) \\ \sqrt{2}I \sin(\omega t + 120^\circ) \end{bmatrix}。$$

[0054] 在这种情况下, 公共电网只提供电铁负荷的有功功率, 该功率可以表示为:

$$[0055] \quad P_s = 3V_A I。$$

[0056] 假定不考虑牵引变压器的损耗, 负荷功率等于系统侧输出功率, 即 $P_s = P_L$ 以及 $V_{sup\ p1y} = V \cdot \sqrt{3}/K$, 其中 K 是牵引变压器的变比, 完全补偿下, 公共电网的电流有效值可以表示为:

[0057]

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}K} I_{L1} \cos \varphi_1$$

[0058] 假定所有负荷电流中的谐波都在牵引变压器的二次侧得到补偿, 即牵引变压器中不流过谐波电流, Hybrid UPQC 注入的补偿电流可以表示为:

$$[0059] \quad \begin{bmatrix} i_{pa} \\ i_{pb} \\ i_{pc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_L \\ 0 \\ -i_L \end{bmatrix} - K \begin{bmatrix} i_A \\ i_B \\ i_C \end{bmatrix}。$$

[0060] 基于前面的分析, 补偿电流可以表示为:

[0061]

$$\begin{bmatrix} i_{pa} \\ i_{pb} \\ i_{pc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \sqrt{2} I_{L1} \cos \varphi_1 \sin(\omega t - 30^\circ) - \left(\frac{1}{2\sqrt{3}} I_{L1} \cos \varphi_1 + I_{L1} \sin \varphi_1 \right) \sqrt{2} \cos(\omega t - 30^\circ) + i_{Lh} \\ -\frac{1}{2} \sqrt{2} I_{L1} \cos \varphi_1 \sin(\omega t - 90^\circ) + \frac{1}{2\sqrt{3}} \sqrt{2} I_{L1} \cos \varphi_1 \cos(\omega t - 90^\circ) \\ -i_{pa} - i_{pb} \end{bmatrix}$$

[0062] 其中补偿电流被分解为和牵引网供电电压平行、垂直的分量和谐波分量。

[0063] 当牵引网的供电电压 $V_{sup\ p1y}$ 选择 27.5kV 时, 设定整流逆变器直流电压为 28kV。在之前的解决方案中, 整流逆变器的总直流侧电压必须要高于牵引变压器二次侧电压的幅值, 以本例计算其直流电压必须不低于 39kV。

[0064] 本例中负荷侧变流器连接的容性阻抗中的电感电容谐振于 5 次谐波, 空载侧变流器接入系统的升压变压器的变比为 1 : 1.4。

[0065] 实例二: Hybrid UPQC 在基于单相变压器的同相供电系统中

[0066] 本例与实施例一基本相同,不同的是牵引变电站采用了单相变压器为牵引网供电,Hybrid UPQC 的负荷侧变流器仍接入牵引网,空载侧变流器则通过升压变压器接入系统的另两相之间,如图 7 所示。假定牵引变电站接入 110kV 的公共电网,设定逆变器直流电压为 28kV,容性阻抗中的电感电容谐振于 5 次谐波,空载侧变流器接入系统的升压变压器的变比修改为 1 : 5.5。

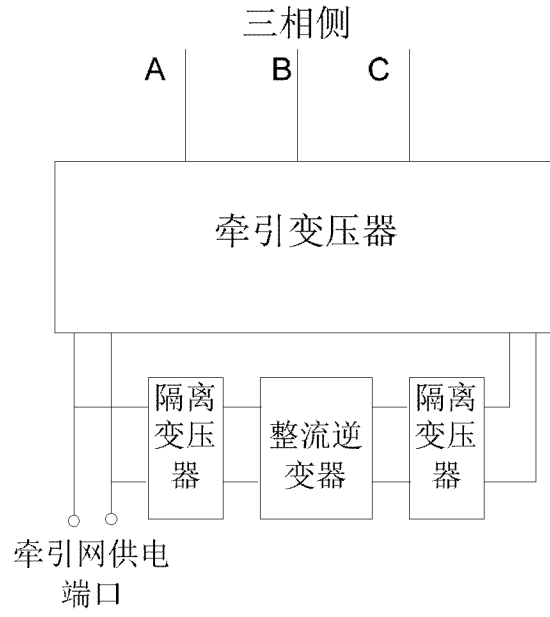


图 1

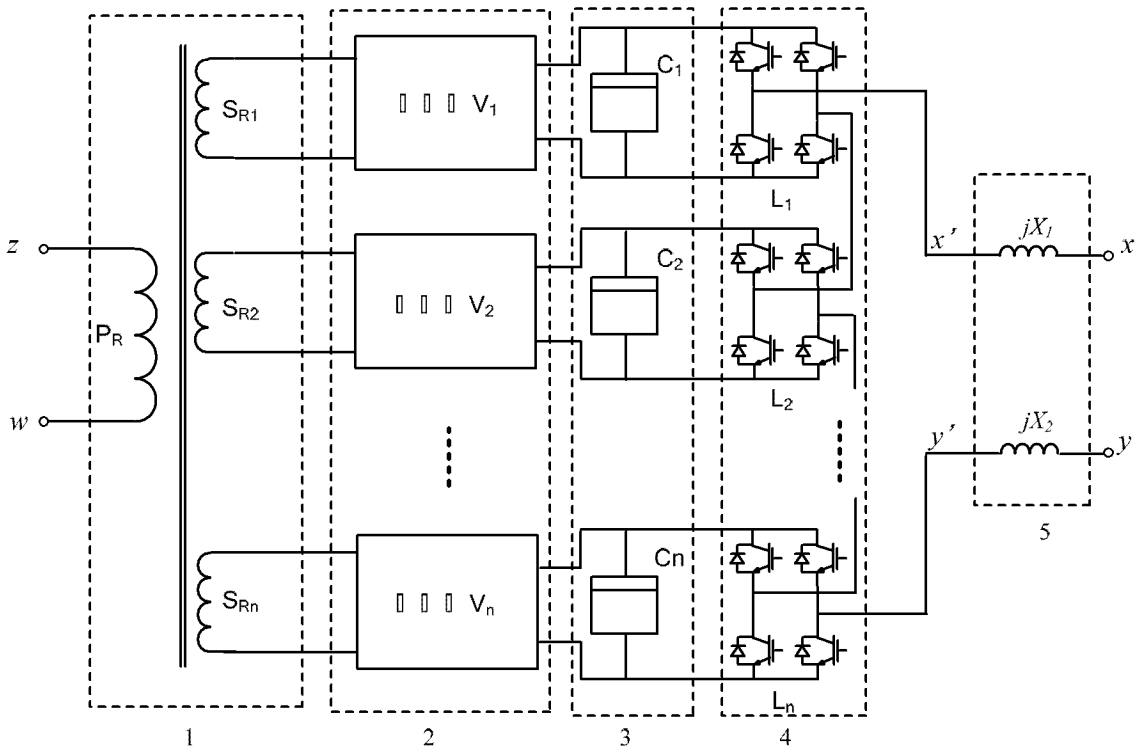


图 2

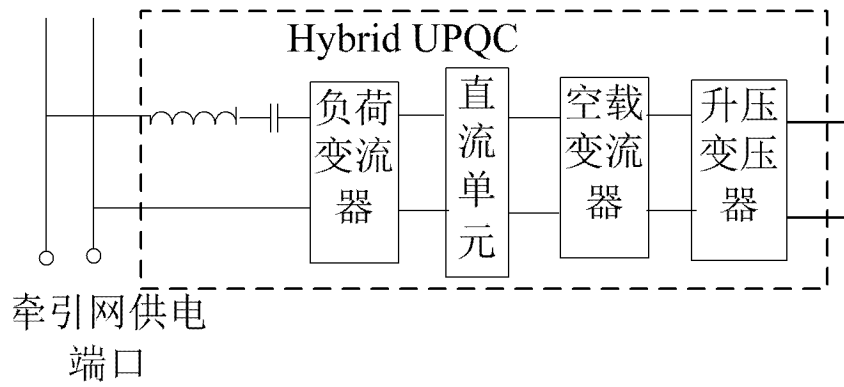


图 3

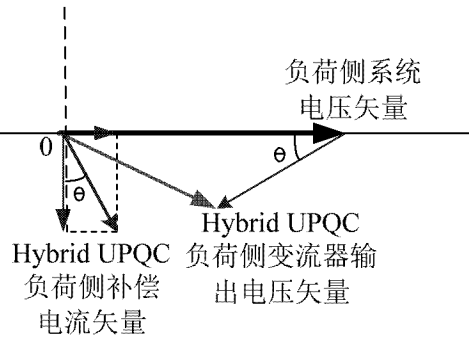


图 4

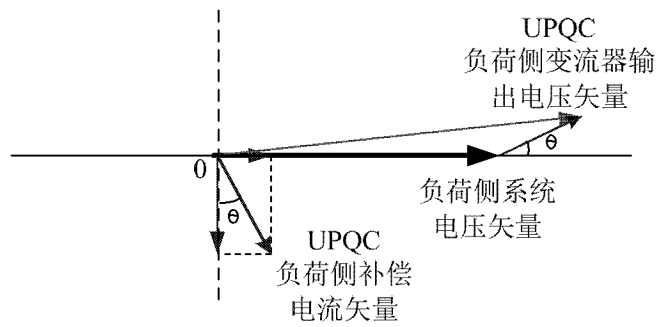


图 5

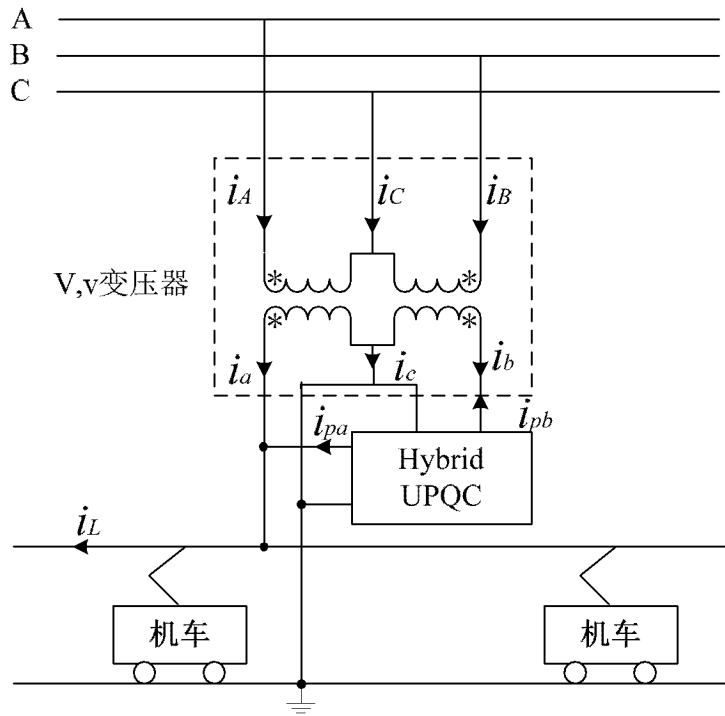


图 6

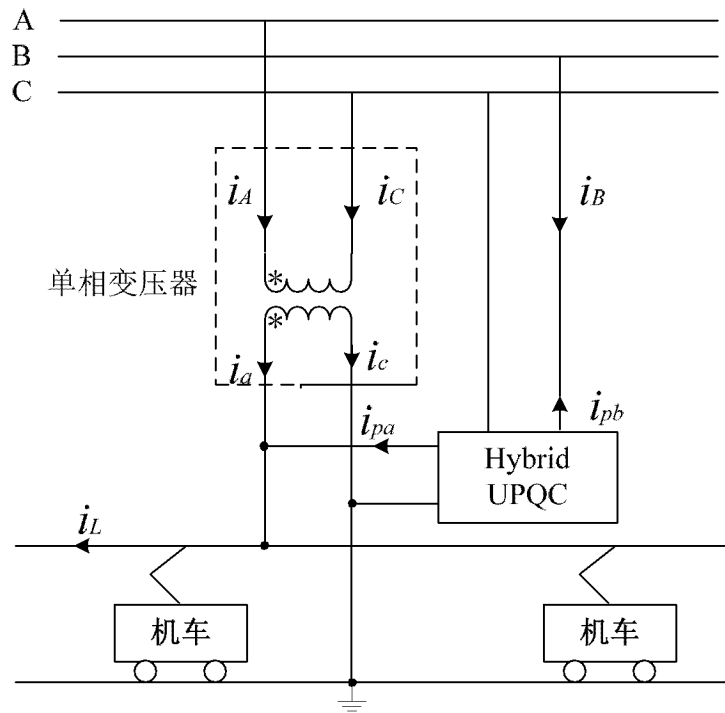


图 7