



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101917011 A

(43) 申请公布日 2010.12.15

(21) 申请号 201010273068.9

(22) 申请日 2010.09.06

(71) 申请人 东南大学

地址 211109 江苏省南京市江宁开发区东南
大学路2号

(72) 发明人 赵剑锋 王书征 林梦涵

(74) 专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任
公司 32112

代理人 朱戈胜

(51) Int. Cl.

H02J 3/18(2006.01)

H02J 3/01(2006.01)

H02J 9/06(2006.01)

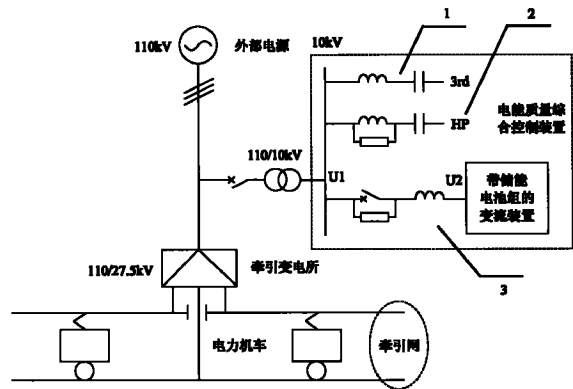
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 4 页

(54) 发明名称

用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制
方法及装置

(57) 摘要

本发明涉及一种用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法及装置,属于电气化铁路供电领域。本发明包括由一个3次滤波器和一个二阶高通滤波器构成的无源滤波器;一组带储能电池组的电压源型变流装置;带能量储存的电压源型变流装置通过一个相电抗器和无源滤波器并联在10kV母线上,然后通过一个电力变压器与110kV电网相连。本发明可以在对电铁供电系统进行功率因数补偿的同时对三相不平衡、谐波、电压波动与闪变等电能质量问题进行控制。另外,尽可能发挥无源滤波器配置简单、成本低廉和电压源型变流装置占地面积小、损耗小的优点,使整套装置的技术指标与经济性能达到最优。



1. 一种用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法,其特征是先在电铁的 10kV 侧加装补偿装置;再通过对电网电流进行跟踪检测,控制补偿装置的输出;

所述补偿装置包括:

a、并联在 10kV 母线上的无源滤波器,为电气化铁路电力机车提供无功功率,并滤除电力机车产生的谐波电流;

b、并联在 10kV 母线上的带储能电池组的电压源型交流装置,提供幅值、相位和频率可控的电压,用于电铁牵引供电系统负序补偿、闪变抑制等;

电压源型交流装置包括电压源型变流器 VSC 和 VSC 输出端串联的相电抗器;电抗器上的电压积分得到 VSC 输出端的电流 I_{VSC} ;由直流侧的参考电压得到 VSC 的输出电流参考值,电流参考值微分得到电抗器的电感电压参考值 U_L ; U_L 与母线电压 U_{BUS} 相加得到 VSC 输出电压 U_{VSC} ;

把从负荷电流中获取的反馈量、 I_{VSC} 的值、 U_{VSC} 的值和 VSC 直流侧的实际电压值送入内环电流控制器,由内环电流控制器对 VSC 进行控制,得到所需输出。

2. 根据权利要求 1 所述的用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法,其特征是从负荷电流中获取的反馈量是指,从负荷电流中获取的、然后分别提取负荷电流中的各种分量、相位取反后的值。

3. 根据权利要求 2 所述的用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法,其特征是所述负荷电流中的各种分量包括:无功电流、负序电流分量、谐波电流分量和电压闪变带来的电流变化。

4. 根据权利要求 1 所述的用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法,其特征是所述 U_{VSC} 作为 VSC 的 PWM 调制波输入,使 VSC 输出和调制波形状一样,大小成比例的电压波形。

5. 一种实现上述方法的装置,其特征是包括:并联在 10kV 母线上的无源滤波器和电压源型交流装置;

所述无源滤波器包括 3 次滤波器和二阶高通滤波器,它们分别并联在 10kV 母线上;

电压源型交流装置包括电压源型变流器和相电抗器,电压源型变流器的输出端通过相电抗器连接到 10kV 母线上;电压源型变流器为三相级联型 H 桥结构,其中每相由 N 个链节的单相链式功率单元构成;每个功率单元由储能电池组和 H 桥变流器构成;所述电压源型变流器的调制方式是脉宽调制。

6. 根据权利要求 5 所述的用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制装置其特征是所述每个功率单元都设有旁路单元,该旁路单元并联在 H 桥变流器的交流输出回路上;

旁路单元包括晶闸管、整流桥和并联的 RC 电路;所述整流桥的交流端并联在 H 桥变流器的交流输出回路上;所述晶闸管和 RC 电路并联在整流桥的直流端。

7. 根据权利要求 5 所述的用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制装置其特征是所述 H 桥变流器的开关器件是 IGBT。

8. 根据权利要求 5 所述的用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制装置其特征是所述脉宽调制的开关频率是千赫兹量级。

9. 根据权利要求 5 所述的用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制装置其特征是所述储能电池组是,将多个电池串联成串联电池组,再将多个的串联电池组并联起来,构成

一组串并联电池组。

用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法及装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法及装置,特别是提供了一种对电气化铁路进行无功补偿;对有功功率进行控制;对负序、谐波、电压波动与闪变等电能质量进行综合治理的控制装置,属于电气化铁路供电领域。

背景技术

[0002] 电气化铁路中的电力机车负荷由于具有非线性,功率因数低和引起三相不平衡的特点,不仅严重影响电气化铁路牵引供电系统本身的电能质量,还影响到铁路沿线周边电力用户的供电质量。因此必须对电气化铁路的负序、谐波、闪变和无功等电能质量问题采取有效的治理措施。

[0003] 传统的方法是在 110kV 侧加装补偿装置,如采用无源滤波器进行特定次数谐波的滤除,并提供固定容量的无功补偿。但由于电气化铁路的负荷随机性,这种补偿效果很不理想,而且无源滤波器只能对特定次数的谐波进行治理,并存在易与电网阻抗发生谐振造成谐波放大的缺点。有源滤波器能对电气化铁路谐波进行动态抑制,但无法消除电气化铁路中的负序电流。如果采用 TCR 等 SVC 补偿器,可以有效的改善供电系统的不平衡,减小负序电流,但 TCR 本身在运行过程中会产生大量的谐波,必须采用大容量的滤波器滤除电铁自身的谐波及 TCR 产生的谐波,设备的占地面积大,相应的投资大。

发明内容

[0004] 技术问题:本发明的目的是提出一种用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法及装置,在为电铁牵引供电系统提供无功支持、提高电铁负荷的功率因数的同时可以有有效的抑制供电系统中的负序分量、谐波、电压波动和闪变等电能质量扰动。另外,本发明装置可以有效利用无源滤波器的无功补偿作用,从而减小电压源型变流装置的容量,达到节能增效的目的。

[0005] 技术方案:

[0006] 一种用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制方法,先在电铁的 10kV 侧加装补偿装置;再通过对电网电流进行跟踪检测,控制补偿装置的输出;

[0007] 所述补偿装置包括:

[0008] a、并联在 10kV 母线上的无源滤波器,为电气化铁路电力机车提供无功功率,并滤除电力机车产生的谐波电流;

[0009] b、并联在 10kV 母线上的带储能电池组的电压源型变流装置,提供幅值、相位和频率可控的电压,用于电铁牵引供电系统负序补偿、闪变抑制等;

[0010] 电压源型变流装置包括电压源型变流器 VSC 和 VSC 输出端串联的相电抗器;电抗器上的电压积分得到 VSC 输出端的电流 I_{VSC} ;由直流侧的参考电压得到 VSC 的输出电流参考值,电流参考值微分得到电抗器的电感电压参考值 U_L ; U_L 与母线电压 U_{BUS} 相加得到 VSC 输出电压 U_{VSC} ;

[0011] 把从负荷电流中获取的反馈量、 I_{VSC} 的值、 U_{VSC} 的值和 VSC 直流侧的实际电压值送入内环电流控制器,由内环电流控制器对 VSC 进行控制,得到所需输出。

[0012] 从负荷电流中获取的反馈量是指,从负荷电流中获取的、然后分别提取负荷电流中的各种分量、相位取反后的值。所述负荷电流中的各种分量包括:无功电流、负序电流分量、谐波电流分量和电压闪变带来的电流变化。

[0013] 所述 U_{VSC} 作为 VSC 的 PWM 调制波输入,使 VSC 输出和调制波形状一样,大小成比例的电压波形。

[0014] 一种实现上述方法的装置,包括:并联在 10kV 母线上的无源滤波器和电压源型变流装置;所述无源滤波器包括 3 次滤波器和二阶高通滤波器,它们分别并联在 10kV 母线上;电压源型变流装置包括电压源型变流器和相电抗器,电压源型变流器的输出端通过相电抗器连接到 10kV 母线上;电压源型变流器为三相级联型 H 桥结构,其中每相由 N 个链节的单相链式功率单元构成;每个功率单元由储能电池组和 H 桥变流器构成;所述电压源型变流器的调制方式是脉宽调制。

[0015] 所述每个功率单元都设有旁路单元,该旁路单元并联在 H 桥变流器的交流输出回路上;旁路单元包括晶闸管、整流桥和并联的 RC 电路;所述整流桥的交流端并联在 H 桥变流器的交流输出回路上;所述晶闸管和 RC 电路并联在整流桥的直流端。

[0016] 所述 H 桥变流器的开关器件是 IGBT。所述脉宽调制的开关频率是千赫兹量级。所述储能电池组是,将多个电池串联成串联电池组,再将多个串联电池组并联起来,构成一组串并联电池组。

[0017] 所述由一个 3 次滤波器和一个二阶高通滤波器构成的无源滤波器,用于为电气化铁路电力机车提供无功功率,并滤除电力机车产生的谐波电流,无源滤波器并联在 10kV 母线上;

[0018] 所述带储能电池组的电压源型变流装置,能够产生幅值、相位和频率可控的电压,用于电铁牵引供电系统负序补偿、闪变抑制等。

[0019] 所述储能电池组串并联电池组组成,能够对有功功率进行连续动态调节,更有效地抑制牵引供电系统中电能质量扰动。

[0020] 所述三相级联型 H 桥结构,使得所有链节最终合成的输出电压谐波可相互抵消,以使其输出侧获得良好的谐波抑制特性,不需要增加额外的滤波器。

[0021] 脉宽调制开关频率是千赫兹量级,这种快速响应时间使该装置可以用作有源滤波器。

[0022] 有益效果:

[0023] (1) 在本方案中,无源滤波器提供一部分无功功率补偿,可降低电压源型变流装置的容量而使整个系统的造价降低。

[0024] (2) 在本发明的方案中,该装置可以用作有源滤波器,即通过电流跟踪控制,使得变流装置发出特定幅值、相位和频率的谐波电流,实现谐波抑制。

[0025] (3) 本发明的装置采用级联型 H 桥结构和脉宽调制 (PWM) 技术,可使其输出电流接近正弦波,从而不需要附加额外的滤波器。

[0026] (4) 本发明装置可有效的抑制供电系统中的负序分量,并对谐波、电压波动和闪变等电能质量扰动进行综合治理。

[0027] (5) 该装置能单独动态控制电力系统中的有功和无功功率,控制无功功率就是说能够以快速动态响应的方式控制电网的电压和电网的稳定性;由于引入基于动态储能的高新技术,可以独立控制有功功率,以更好的抑制电压闪变等电能质量问题。

[0028] (6) 在电路设计中,每个功率单元均装有旁路单元,一旦发生故障,电路可以自动切换到旁路,实现了不因某个或某几个功率单元的故障而影响整个系统的工作。

附图说明

[0029] 下面结合附图对本发明做进一步的说明。

[0030] 图 1 是用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制装置的结构示意图;

[0031] 图 2 是带储能电池组的交流装置结构示意图;

[0032] 图 3 是功率单元的内部结构示意图;

[0033] 图 4 是储能电池组示意图;

[0034] 图 5 是电压源型交流器的电流内环控制框图;

[0035] 图 6 是电铁负荷电流负序补偿原理图;

[0036] 图 7 是本发明装置的控制算法原理图

具体实施方式

[0037] 本发明提出的技术方案,如图 1 所示,包括:由一个 3 次滤波器 1 和一个二阶高通滤波器 2 构成的无源滤波器,用于为电气化铁路电力机车提供无功功率,并滤除电力机车产生的谐波电流,无源滤波器并联在 10kV 母线上;一组作为补偿装置的带储能电池组的电压源型交流装置 3,用于产生幅值、相位和频率可控的电压,相当于一个电压源,通过一个相电抗器并联在 10kV 母线上。

[0038] 如图 2 所示,上述补偿装置中的电压源型交流装置为三相级联型 H 桥结构,其中每相由 N 个链节的单相链式 H 桥变流器 4 组成,使得所有链节最终合成的输出电压谐波可相互抵消,以使其输出侧获得良好的谐波抑制特性。

[0039] 如图 3 所示,每个功率单元并联有电池组储能模块 7,可以在用电低谷时段储存数小时来自电力机车制动时再生的电能,并在高峰时段释放到电网中。

[0040] 上述电压源型交流装置中的 H 桥变流器 5 采用 IGBT 功率器件,且每个 IGBT 均有与其反并联的二极管,以此来保护 IGBT。

[0041] 上述电压源型交流装置采用脉宽调制 (PWM),开关频率达到千赫兹量级,这种快速响应时间使该装置可以用作有源滤波器,并有效消除闪变。

[0042] 如图 3 所示,功率单元的旁路单元 6 包括晶闸管 S1、单相二极管整流桥 D1-D4 以及并联的 RC 电路 R2、C2。RC 电路用于平滑电压波形和减少输出的 du/dt ,保证晶闸管能够可靠地导通。

[0043] 如图 4 所示,上述补偿装置中的储能装置由一组串并联电池组组成,将很多电池串联成“电池组”8,以提供足够高的电压;为了获得更高的功率、更大的容量,将若干的“电池组”并联起来。

[0044] 下面简要介绍本发明装置的工作原理:

[0045] 本发明提供一种用于电铁牵引供电系统的电能质量综合控制装置,其中的关键设

备是基于电压源型变流器 (VSC) 构成的一种并联型控制装置,它采用 IGBT 等大功率可关断电力电子器件,组成全控型的 VSC,可方便的实现电能的转换和利用。本发明提供的综合控制装置包括:(1) 由一个 3 次滤波器和一个二阶高通滤波器构成的无源滤波器,用于为电气化铁路电力机车提供无功功率,并滤除电力机车产生的谐波电流,无源滤波器并联在 10kV 母线上;(2) 一组带储能电池组的电压源型变流装置,能够产生幅值、相位和频率可控的电压,用于电铁牵引供电系统负序补偿、闪变抑制等。

[0046] 所述的无源滤波器的作用是提供容性无功功率补偿以改善供电系统功率因数,并且同时能对 3 次谐波及某特定次谐波以上的谐波电流呈现低阻抗状态,起到滤除谐波的作用。

[0047] 电压源型变流器的电流内环控制原理如图 5 所示,控制的总体目标是控制 VSC 的输出电流,这个是通过在 VSC 的输出端串联一个相电抗器 (L) 实现的,即

$$[0048] \quad i = \frac{1}{L} \int u dt \quad (1)$$

[0049] 从式 (1) 中,可以看出 VSC 输出端的电流是通过串联电抗器上的电压积分得到的。

[0050] 从图 5 中可以得出如下关系:

$$[0051] \quad U_{VSC} = U_L + U_{BUS} \quad (2)$$

[0052]

$$U_L = L \frac{di_{REF}}{dt} \quad (3)$$

[0053] 电流参考值 (由外环控制器输出) 微分形成电感电压参考值,然后再和母线电压相加得到 VSC 输出电压参考值 U_{VSC} ,作为 PWM 调制器的调制波输入,那么 VSC 将输出和调制波形状一样,大小成比例的电压波形。

[0054] 为了解决牵引供电系统的三相不平衡问题,首先对电铁负荷的特性进行分析。电铁负荷电流可以用向量表示,假设机车所在牵引网连接在 B、C 相之间,机车负荷电流可以用两个向量表示:正序电流向量和负序电流向量,即正序电流向量和负序电流向量之和为实际负荷电流 (其中 A 相电流为 0, B 和 C 相电流幅值相等,相位相反)

[0055] 为了补偿电铁中的负序电流分量,VSC 产生了一个完全负序的电流,且相位与电铁中的负序电流完全相反,其补偿原理如图 6 所示。

[0056] 另外,本发明中的电能质量综合控制装置能够明确的实现以下四个控制目标:

[0057] ①三相不平衡负荷补偿,即消除负荷中的负序分量;

[0058] ②功率因数校正,即无功功率补偿;

[0059] ③电压闪变补偿;

[0060] ④有源滤波。

[0061] 为了实现以上控制目标,其算法原理如图 7 所示,其中电流内环控制原理如图 5 所示。控制的主要反馈量是从负荷电流中获取的,然后分别提取负荷电流中的不同分量,相位取反后送入内环电流控制器,VSC 中将产生与从负荷电流中提取部分反相的电流。另外,为了保持直流电压恒定,增加了直流电压控制外环。

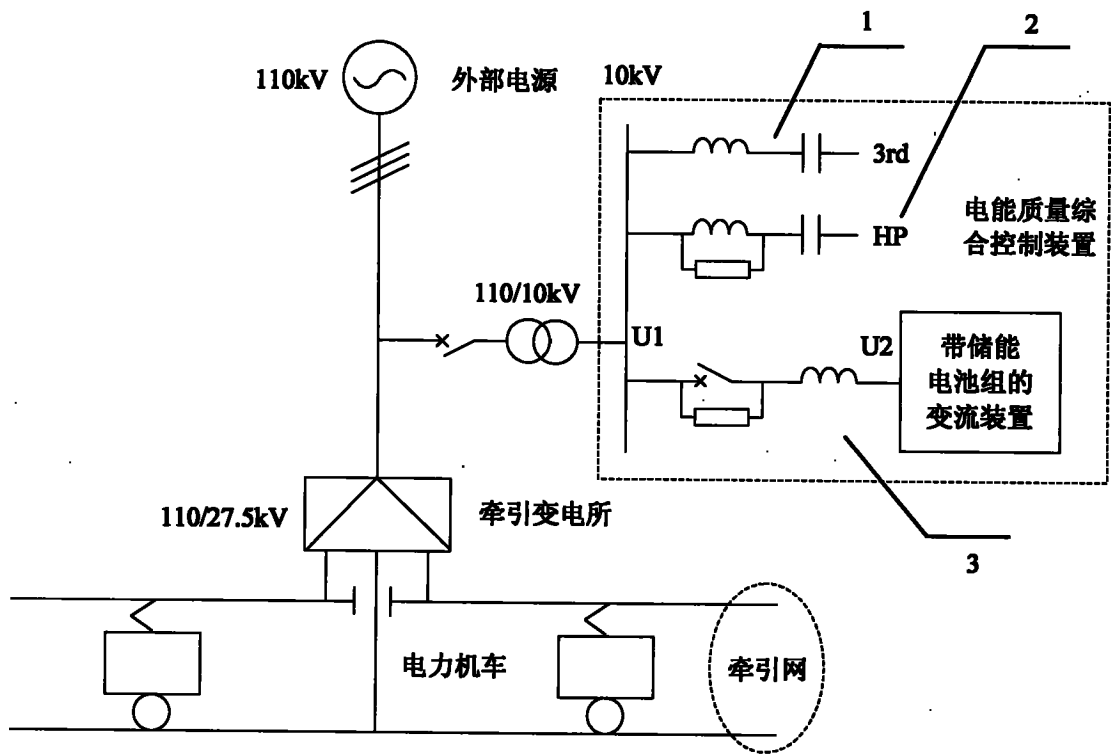


图 1

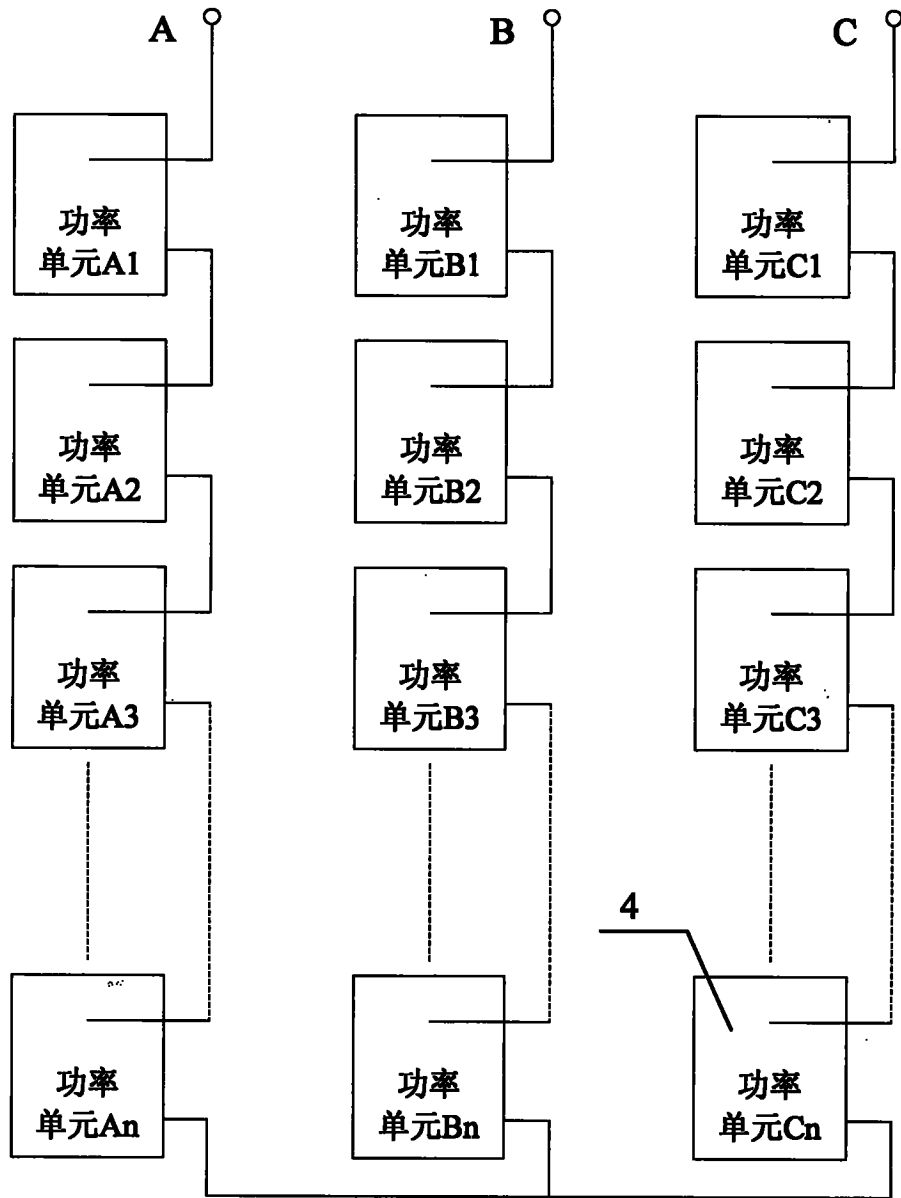


图 2

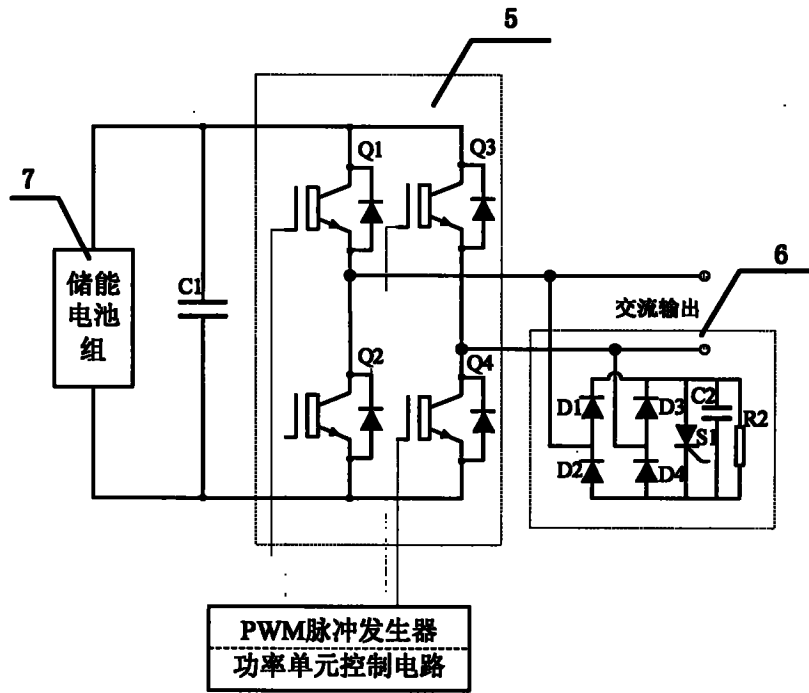


图 3

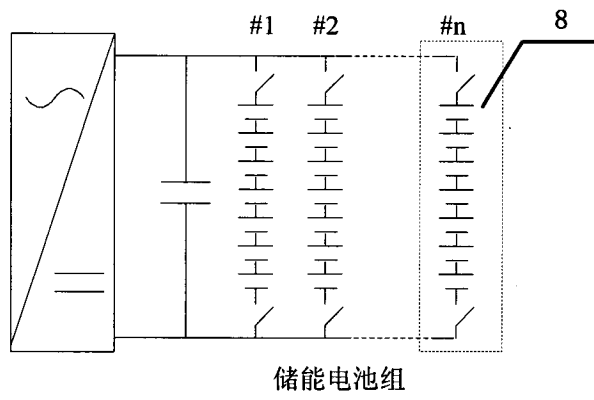


图 4

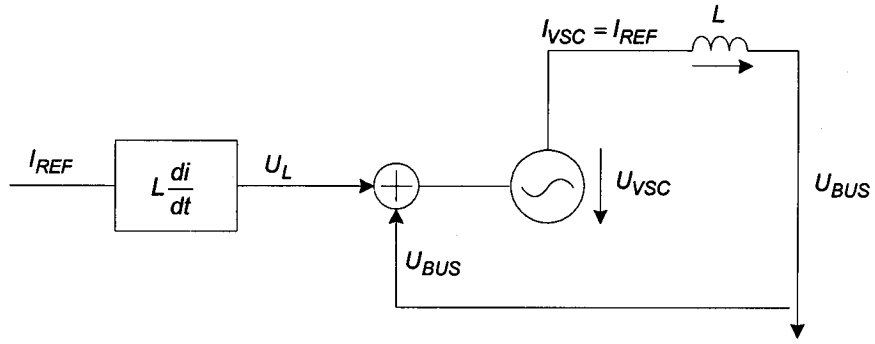


图 5

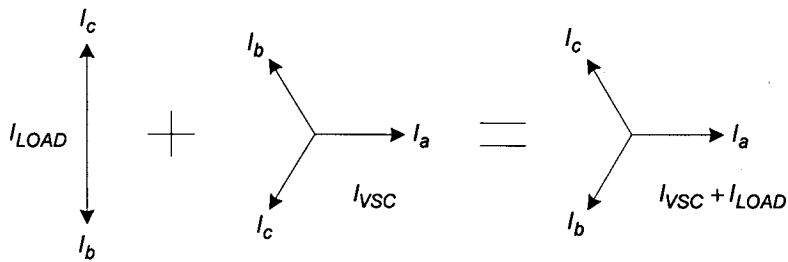


图 6

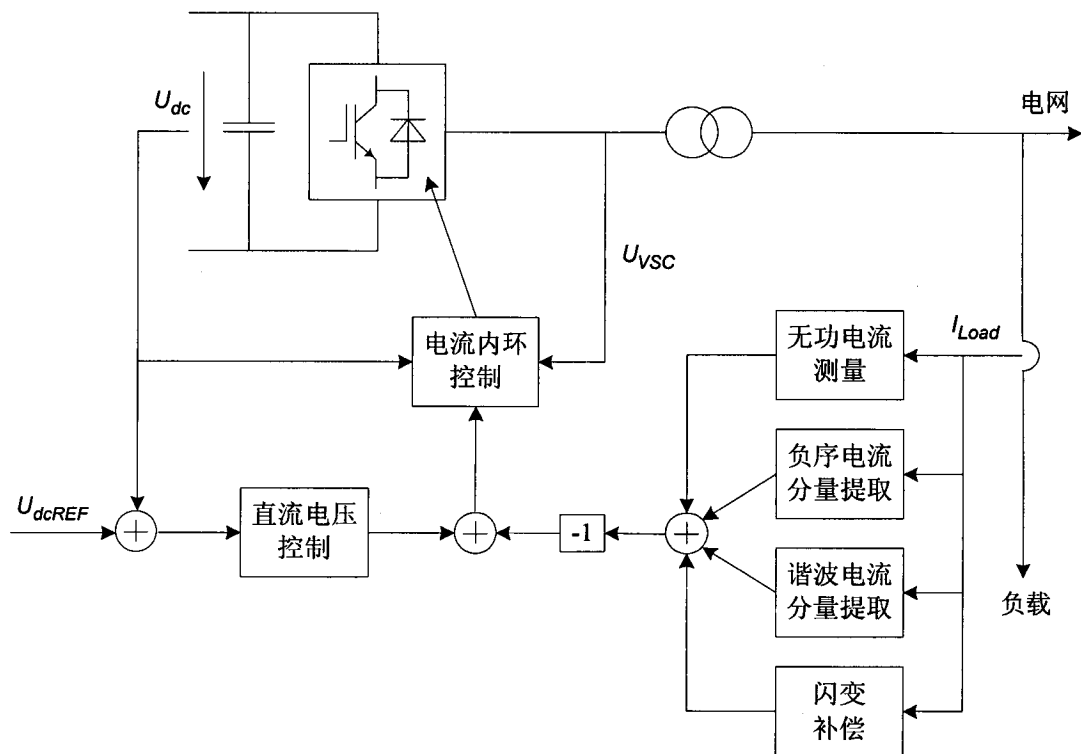


图 7