



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110277788 B

(45) 授权公告日 2023.12.12

(21) 申请号 201910676650.0

H02J 3/01 (2006.01)

(22) 申请日 2019.07.25

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 3/26 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110277788 A

(43) 申请公布日 2019.09.24

(73) 专利权人 国网青海省电力公司果洛供电公司

地址 814000 青海省果洛藏族自治州大武镇黄河路

专利权人 国网青海省电力公司 上海大学 济南拉斐叶电力科技有限公司

(72) 发明人 陈文君 徐国卿 范越 杨森林 李永斌 马丽山 李沛然 于涛 董顺虎 向大为 张国瑞 谭协初 刘雨 丁元杰 段宏川 马泽隆 郭晓靖

(74) 专利代理机构 杭州星河慧专利代理事务所 (普通合伙) 33410

专利代理师 周丽娟

(51) Int. Cl.

H02J 3/12 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 210041333 U, 2020.02.07

CN 109390960 A, 2019.02.26

JP 2011172387 A, 2011.09.01

CN 103036236 A, 2013.04.10

CN 103414190 A, 2013.11.27

CN 109470967 A, 2019.03.15

CN 104527462 A, 2015.04.22

CN 105207208 A, 2015.12.30

CN 103545812 A, 2014.01.29

JP H1042467 A, 1998.02.13

雷鹏;周林;周莉;万蕴杰;张海;夏雪.基于单周控制的三电平三相四线制有源电力滤波器.电力自动化设备.2007,(01),全文.

王德金;党成斌;颜勇;张东;郭健.配电网无功及三相不平衡综合补偿仿真系统设计与应用.电气应用.2017,(21),全文.

审查员 王为鑫

权利要求书1页 说明书11页 附图3页

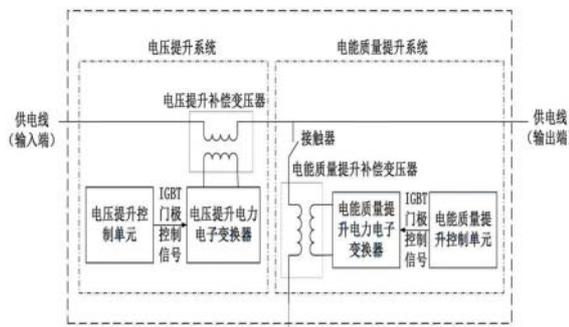
(54) 发明名称

长距离稀疏供电用复合补偿装置

(57) 摘要

本发明提供了长距离稀疏供电用复合补偿装置,其输入为供电线输入端,其输出为供电线输出端,包括:电压提升系统和电能质量提升系统,其中,电压提升系统包括:电压提升补偿变压器、电压提升电力电子变换器和电压提升控制单元,电能质量提升系统包括:接触器、电能质量提升补偿变压器、电能质量提升电力电子变换器和电能质量提升控制单元。本发明运用电力电子变换器和补偿变压器向电网注入电流与电压并进行实时控制,实现电力谐波、功率因数、三相不平衡补偿等综合电能质量提升及长输电线稀疏用电区域的电压补偿功能,对稀疏用电地区的供电

半径延长、投资节省和电网安全具有重要意义。



1. 一种长距离稀疏供电用复合补偿装置,其输入为供电线输入端,其输出为供电线输出端,其特征在于,包括:电压提升系统和电能质量提升系统;

所述电压提升系统包括:电压提升补偿变压器、电压提升电力电子变换器和电压提升控制单元,其中,所述电压提升补偿变压器副边串联在所述供电线上,所述电压提升补偿变压器原边与所述电压提升电力电子变换器的输出端相接,所述电压提升电力电子变换器的输入端与所述电压提升控制单元的输出端相接;所述电压提升控制单元,包括三相输电电压、相位检测模块,变压器磁通计算模块和变压器电压控制模块,其中,所述三相输电电压、相位检测模块的输出端与所述变压器磁通计算模块的输入端相接,所述三相输电电压、相位检测模块的输出端还与所述变压器电压控制模块的输入端相接,所述变压器磁通计算模块的输出端也与所述变压器电压控制模块的输入端相接,所述变压器电压控制模块的输出端与所述电压提升电力电子变换器的输入端相接;

所述电能质量提升系统包括:接触器、电能质量提升补偿变压器、电能质量提升电力电子变换器和电能质量提升控制单元,其中,所述接触器的一端接所述供电线,所述接触器的另一端与所述电能质量提升补偿变压器副边连接,所述电能质量提升补偿变压器原边与所述电能质量提升电力电子变换器的输出端相接,所述电能质量提升电力电子变换器的输入端与所述电能质量提升控制单元的输出端相接;所述电能质量提升控制单元,包括:三相输电电压、电流、相位检测模块,谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元,补偿电流合成单元和补偿电流控制单元,其中,所述三相输电电压、电流、相位检测模块的输出端与所述谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元的输入端相接,所述谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元的输出端与所述补偿电流合成单元的输入端相接,所述补偿电流合成单元的输出端与所述补偿电流控制单元的输入端相接,所述三相输电电压、电流、相位检测模块的输出端与所述补偿电流控制单元的输入端相接,所述补偿电流控制单元的输出端与所述电能质量提升电力电子变换器的输入端相接。

2. 如权利要求1所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置,其特征在于,所述电压提升补偿变压器采用工频变压器。

3. 如权利要求1所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置,其特征在于,所述电压提升电力电子变换器为交流-直流-交流变频器。

4. 如权利要求3所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置,其特征在于,所述电压提升电力电子变换器中,逆变器的拓扑结构为三相桥式拓扑。

5. 如权利要求1所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置,其特征在于,所述接触器采用交流接触器。

6. 如权利要求1所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置,其特征在于,所述电能质量提升补偿变压器采用工频变压器。

7. 如权利要求1所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置,其特征在于,所述电能质量提升电力电子变换器为交流-直流-交流变频器。

8. 如权利要求7所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置,其特征在于,所述电能质量提升电力电子变换器中,逆变器的拓扑结构为三电平逆变拓扑。

长距离稀疏供电用复合补偿装置

技术领域

[0001] 本发明属于供电或配电的电路装置或系统,具体涉及交流输电线或交流配电网的补偿装置或系统。

背景技术

[0002] 我国西部地区地域辽阔、人员密度小、用电稀疏,采用传统的方式在延伸的供电线路上新建变电站,其建设投资大且经济效益差,因此,有必要考虑延长供电半径来实现长距离供电。但是,长距离供电会带来较大的线路电损和电压跌落,例如,10kV配电网的线路超过200km时,线路电损高达30%且供电电压跌落50%以上;此外,稀疏地区的电网技术,还存在其它诸多挑战,如,电能质量问题:沿途用电主要为非工业负荷,人员分布和用电差别导致三相不平衡,用电设备多样导致谐波增加、功率因数降低等。这样一来,在西部地区的长距离稀疏供电线路中,存在电能补偿复杂化的问题,既需要补偿线路容性电流,又要补偿用电端电压跌落。

[0003] 为解决长距离输电线路中的线路损耗、电压跌落问题,现有技术主要采取电容器串联补偿装置和特高压有载自耦变压器进行补偿。电容器串联补偿装置是将多组电容器串联在输电线路中改变电压相位角来提高线路电压。由于电容器的电容值受多方面环境因素的影响,因此会导致补偿不精确,补偿效果较差;且电容故障将导致输电线断路,从而影响供电。电容器寿命有限,容易受到电路问题的影响,比如高次谐波会造成电容损坏,更加降低供电可靠性。此外,补偿所需电容体积较大导致装置过大。特高压有载自耦变压器是用机械触点式开关改变变压器原边匝数来调节电压,由于投切式仍属于有级调节,补偿效果仍然不够精确。而且,有载开关机械寿命有限,每2000次需更换变压器油,增加维护工作量,设备故障同样会影响送电。可见,传统的电压跌落补偿方案,一方面补偿不精确,另一方面可靠性较低,一旦断路,会影响供电线路的正常供电。

[0004] 为解决电网长距离输电线路的电能质量问题,现有技术主要采取无源滤波器、无功功率补偿装置、SVG(Static Var Generator,静止无功发生器)补偿装置等等。但是,这些装置都有其自身的缺陷,无法适用于西部长距离输电线路的电能质量提升。例如,无源的补偿装置运用电容、电感等器件,装置体积较大;又例如,静止无功补偿器,可以平滑调节,响应速度快,是一种比较理想的无功电源,但是,这种装置系统设计复杂,补偿复杂且装置成本较高,操作和运行维护要求高,无法大面积推广应用。再例如,并联电容器无功功率补偿装置不能连续调节、负荷的调节特性较差,对系统中的高次谐波有放大现象,在谐波电流过大时可能会引起爆炸,投切过程会产生严重的操作过电压和合闸涌流,这些暂态过程往往成为系统故障的诱因,影响供电可靠性,从而也不能完全满足解决电网长距离输电线路末端电能质量问题的特殊要求。

[0005] 因此,采用投资较小的新技术,同时解决长距离稀疏地区供电线路的电能质量问题和延伸供电半径的电压跌落问题,具有重要的经济价值和社会意义。

发明内容

[0006] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种长距离稀疏供电用复合补偿装置,由电力电子电路、变压器和控制单元构成,运用电力电子电路和补偿变压器向电网注入电流(并联电流源)并提供补偿电压(串联电压源)来进行实时控制,实现电力谐波、功率因数、三相不平衡补偿等电能质量提升和长输电线(稀疏用电区域)电压跌落的补偿,对稀疏用电地区的供电半径延长、投资节省和电网安全具有重要意义。

[0007] 一种长距离稀疏供电用复合补偿装置,其输入为供电线输入端,其输出为供电线输出端,包括:电压提升系统和电能质量提升系统;

[0008] 所述电压提升系统包括:电压提升补偿变压器、电压提升电力电子变换器和电压提升控制单元,其中,所述电压提升补偿变压器副边串联在所述供电线上,所述电压提升补偿变压器原边与所述电压提升电力电子变换器的输出端相接,所述电压提升电力电子变换器的输入端与所述电压提升控制单元的输出端相接;

[0009] 所述电能质量提升系统包括:接触器、电能质量提升补偿变压器、电能质量提升电力电子变换器和电能质量提升控制单元,其中,所述接触器的一端接所述供电线,所述接触器的另一端与所述电能质量提升补偿变压器副边连接,所述电能质量提升补偿变压器原边与所述电能质量提升电力电子变换器的输出端相接,所述电能质量提升电力电子变换器的输入端与所述电能质量提升控制单元的输出端相接。

[0010] 本发明所述的长距离稀疏供电用复合补偿装置中,

[0011] 所述电压提升控制单元用于计算得到所述电压补偿变压器原边侧需要补偿的电压值,生成相应的IGBT驱动控制信号并输出至所述电压提升电力电子变换器,所述电压提升电力电子变换器用于根据所接收的IGBT驱动信号控制各IGBT导通关断,并输出与电网同步相位且幅值大小为补偿值的正弦电压至所述电压提升补偿变压器原边侧,所述电压提升补偿变压器副边感应出相应的补偿电压并接通所述供电线,从而注入电网中;

[0012] 所述电能质量提升控制单元用于生成所述电能质量提升补偿变压器原边侧需要补偿的电流波形,产生相应的IGBT驱动控制信号并输出至所述电能质量提升电力电子变换器,所述电能质量提升电力电子变换器根据所接收的IGBT驱动信号控制各IGBT导通关断,输出目标电流补偿波形,所述电能质量提升补偿变压器副边感应出相应的补偿电流并通过所述接触器接通所述供电线,从而注入到电网中。

[0013] 本发明的一具体实例中,所述电压提升补偿变压器采用工频变压器。

[0014] 本发明的一具体实例中,所述电压提升控制单元,包括三相输电线电压、相位检测模块,变压器磁通计算模块和变压器电压控制模块,其中,所述三相输电线电压、相位检测模块的输出端与所述变压器磁通计算模块的输入端相接,所述三相输电线电压、相位检测模块的输出端还与所述变压器电压控制模块的输入端相接,所述变压器磁通计算模块的输出端也与所述变压器电压控制模块的输入端相接,所述变压器电压控制模块的输出端与所述电压提升电力电子变换器的输入端相接。

[0015] 其中,所述三相输电线电压、相位检测模块用于获取三相输电线的电压、相位信息,所述变压器磁通计算模块用于根据所述三相输电线电压、相位信息计算磁通量,所述变压器电压控制模块用于根据目标补偿电压、所述三相输电线电压、相位信息以及所述磁通量计算出所述电压补偿变压器原边侧需要补偿的电压值,生成相应的IGBT驱动控制信号,

并输出至所述电压提升电力电子变换器加以控制。

[0016] 本发明的一具体实例中,所述电压提升电力电子变换器为交流-直流-交流变频器。

[0017] 本发明的一具体实例中,所述电压提升电力电子变换器中,逆变器的拓扑结构为三相桥式拓扑。

[0018] 本发明的一具体实例中,所述电压提升电力电子变换器的整流器采用三相桥式整流电路,逆变器的拓扑结构为三相桥式拓扑。

[0019] 本发明的一具体实例中,所述电压提升电力电子变换器中,所述逆变器的三相桥式拓扑包含6个绝缘栅双极型晶体管,其中,

[0020] 第一绝缘栅双极型晶体管的集电极、第二绝缘栅双极型晶体管的集电极、第三绝缘栅双极型晶体管的集电极连在一起并接至直流母线的一端,第四绝缘栅双极型晶体管的发射极、第五绝缘栅双极型晶体管的发射极、第六绝缘栅双极型晶体管的发射极连在一起并接至直流母线的另一端;

[0021] 第一绝缘栅双极型晶体管的发射极与第四绝缘栅双极型晶体管的集电极相连组成a相桥臂,其连接点引出a相输出端口;第二绝缘栅双极型晶体管的发射极与第五绝缘栅双极型晶体管的集电极相连组成b相桥臂,其连接点引出b相输出端口;第三绝缘栅双极型晶体管的发射极与第六绝缘栅双极型晶体管的集电极相连组成c相桥臂,其连接点引出c相输出端口;所述a相输出端口、b相输出端口、c相输出端口分别与所述电压提升补偿变压器的三相相连接;

[0022] 所述6个绝缘栅双极型晶体管的栅极均与相应的驱动电路相连,所述驱动电路与所述电压提升控制单元相连。所述电压提升控制单元输出的IGBT驱动控制信号通过驱动电路向所述6个绝缘栅双极型晶体管传送,控制其开通与关断,从而产生目标电压波形。

[0023] 本发明的一具体实例中,所述接触器采用交流接触器。

[0024] 本发明的一具体实例中,所述电能质量提升补偿变压器采用工频变压器。

[0025] 本发明的一具体实例中,所述电能质量提升控制单元,包括:三相输电线电压、电流、相位检测模块,谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元,补偿电流合成单元和补偿电流控制单元,其中,所述三相输电线电压、电流、相位检测模块的输出端与所述谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元的输入端相接,所述谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元的输出端与所述补偿电流合成单元的输入端相接,所述补偿电流合成单元的输出端与所述补偿电流控制单元的输入端相接,所述三相输电线电压、电流、相位检测模块的输出端与所述补偿电流控制单元的输入端相接,所述补偿电流控制单元的输出端与所述电能质量提升电力电子变换器的输入端相接。

[0026] 其中,所述三相输电线电压、电流、相位检测模块用于获取三相输电线电压、电流、相位信息,所述谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元用于根据所述三相输电线电压、电流、相位信息来分析计算线路正序电流、负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流,所述补偿电流合成单元用于将所述负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流组合成一个电流波形并将其旋转 180° 作为目标补偿电流波形,所述补偿电流控制单元用于根据目标补偿电流波形生成相应的IGBT驱动控制信号,并输出给所述电能质量提升电力电子变换器进行控制。

[0027] 本发明的一具体实例中,所述电能质量提升电力电子变换器为交流-直流-交流变频器。

[0028] 本发明的一具体实例中,所述电能质量提升电力电子变换器中,逆变器的拓扑结构为三电平逆变拓扑。

[0029] 本发明的一具体实例中,所述电能质量提升电力电子变换器中,所述逆变器的三电平逆变拓扑包含18个二极管、12个绝缘栅双极型晶体管以及两个直流储能电容,其中,

[0030] A相第一绝缘栅双极型晶体管的集电极与A相第一二极管的阴极相连,A相第一绝缘栅双极型晶体管的发射极与A相第一二极管的阳极相连形成反并联结构;A相第二绝缘栅双极型晶体管的集电极与A相第二二极管的阴极相连,A相第二绝缘栅双极型晶体管的发射极与A相第二二极管的阳极相连形成反并联结构;A相第三绝缘栅双极型晶体管的集电极与A相第三二极管的阴极相连,A相第三绝缘栅双极型晶体管的发射极与A相第三二极管的阳极相连形成反并联结构;A相第四绝缘栅双极型晶体管的集电极与A相第四二极管的阴极相连,A相第四绝缘栅双极型晶体管的发射极与A相第四二极管的阳极相连形成反并联结构;

[0031] B相第一绝缘栅双极型晶体管的集电极与B相第一二极管的阴极相连,B相第一绝缘栅双极型晶体管的发射极与B相第一二极管的阳极相连形成反并联结构;B相第二绝缘栅双极型晶体管的集电极与B相第二二极管的阴极相连,B相第二绝缘栅双极型晶体管的发射极与B相第二二极管的阳极相连形成反并联结构;B相第三绝缘栅双极型晶体管的集电极与B相第三二极管的阴极相连,B相第三绝缘栅双极型晶体管的发射极与B相第三二极管的阳极相连形成反并联结构;B相第四绝缘栅双极型晶体管的集电极与B相第四二极管的阴极相连,B相第四绝缘栅双极型晶体管的发射极与B相第四二极管的阳极相连形成反并联结构;

[0032] C相第一绝缘栅双极型晶体管的集电极与C相第一二极管的阴极相连,C相第一绝缘栅双极型晶体管的发射极与C相第一二极管的阳极相连形成反并联结构;C相第二绝缘栅双极型晶体管的集电极与C相第二二极管的阴极相连,C相第二绝缘栅双极型晶体管的发射极与C相第二二极管的阳极相连形成反并联结构;C相第三绝缘栅双极型晶体管的集电极与C相第三二极管的阴极相连,C相第三绝缘栅双极型晶体管的发射极与C相第三二极管的阳极相连形成反并联结构;C相第四绝缘栅双极型晶体管的集电极与C相第四二极管的阴极相连,C相第四绝缘栅双极型晶体管的发射极与C相第四二极管的阳极相连形成反并联结构;

[0033] A相第一绝缘栅双极型晶体管的发射极与A相第二绝缘栅双极型晶体管的集电极以及A相第五二极管的阴极相连;A相第二绝缘栅双极型晶体管的发射极与A相第三绝缘栅双极型晶体管的集电极相连并在连接点处引出A相输出端口,A相第三绝缘栅双极型晶体管的发射极与A相第四绝缘栅双极型晶体管的集电极以及A相第六二极管的阳极相连;

[0034] B相第一绝缘栅双极型晶体管的发射极与B相第二绝缘栅双极型晶体管的集电极以及B相第五二极管的阴极相连;B相第二绝缘栅双极型晶体管的发射极与B相第三绝缘栅双极型晶体管的集电极相连并在连接点处引出B相输出端口,B相第三绝缘栅双极型晶体管的发射极与B相第四绝缘栅双极型晶体管的集电极以及B相第六二极管的阳极相连;

[0035] C相第一绝缘栅双极型晶体管的发射极与C相第二绝缘栅双极型晶体管的集电极以及C相第五二极管的阴极相连;C相第二绝缘栅双极型晶体管的发射极与C相第三绝缘栅双极型晶体管的集电极相连并在连接点处引出C相输出端口,C相第三绝缘栅双极型晶体管的发射极与C相第四绝缘栅双极型晶体管的集电极以及C相第六二极管的阳极相连;

[0036] A相第一绝缘栅双极型晶体管的集电极、B相第一绝缘栅双极型晶体管的集电极、C相第一绝缘栅双极型晶体管的集电极相连接至第一直流储能元件的正端，A相第四绝缘栅双极型晶体管的发射极、B相第四绝缘栅双极型晶体管的发射极、C相第四绝缘栅双极型晶体管的发射极相连接至第二直流储能元件的负端；A相第五二极管的阳极、B相第五二极管的阳极、C相第五二极管的阳极彼此相连且与A相第六二极管的阴极、B相第六二极管的阴极、C相第六二极管的阴极相连共同接至第一直流储能元件的负端；

[0037] 所述12个绝缘栅双极型晶体管的栅极均与相应的驱动电路相连，所述驱动电路与所述电能质量提升控制单元相连。所述电能质量提升控制单元输出的IGBT驱动控制信号通过驱动电路向所述12个绝缘栅双极型晶体管传送控制信号，控制其开通与关断从而产生目标补偿电流波形。

[0038] 本发明的长距离稀疏供电用复合补偿装置的运行原理如下：

[0039] 电压提升系统利用电压提升控制单元在线检测供电线路电压和相位，根据电压差计算电压补偿数，生成相应的IGBT驱动控制信号，并输出至电压提升电力电子变换器以控制各IGBT开通关断，进而控制电压提升电力电子变换器输出与电网同步相位且幅值为补偿值的正弦电压至电压提升变压器原边侧，电压提升变压器副边感应出相应的补偿电压注入电网中，修正电网电压至 $\pm 2.5\%$ 的误差范围，响应时间20ms。

[0040] 电能质量提升系统利用电能质量提升控制单元在线检测供电线路电流、电压、相位信号，分析计算出线路正序电流、负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流，将负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流再组合成一个电流波形，以该波形旋转 180° 的波形为目标补偿电流波形，生成相应的IGBT驱动控制信号，并输出至电能质量提升电力电子变换器以控制各IGBT开通关断，使电能质量提升电力电子变换器输出补偿电流波形，电能质量提升变压器副边感应出相应的补偿电流波形，通过接触器注入输电线路中，抵消输电线路中的负序电流、零序电流、高次谐波电流，从而达到提高功率因数、消除三相不平衡、消除高次谐波的目的，实现电能质量提升。

[0041] 可见，本发明的长距离稀疏供电用复合补偿装置中，由串联在输电线路的电压补偿变压器和与输电线路并联的电能质量提升补偿变压器构成补偿变压器系统，将电压补偿变压器接入到电压提升系统，将电能质量提升补偿变压器接入到电能质量提升系统，利用相应的电力电子变换器和控制单元，通过补偿变压器向电网注入电流（并联电流源）与电压（串联电压源）并进行实时控制，实现电力谐波、功率因数、三相不平衡补偿等电能质量提升和长输电线（稀疏用电区域）电压补偿功能。

[0042] 与现有技术相比，本发明的长距离稀疏供电用复合电能补偿系统具有以下有益的技术效果：

[0043] 1) 本发明首次公开了通过补偿变压器进行电压补偿的拓扑，形成了电力电子-变压器-控制系统构成的复合补偿装置，从而通过“电力电子变换器+工频变压器”的方式实现补偿调节功能，这完全不同于现有的电力电子变压器（PET）。

[0044] 2) 本发明装置首次同时解决了线路损耗、电压跌落补偿以及电能质量提升两大问题，相对而言，现有技术的电能质量提升系统几乎都没有考虑输入电压损耗大的情况，所以仅适用于无损或损耗较小的输电系统，而不适用于西部地区长距离稀疏供电中线路损耗以及电压跌落大的情况。在西部地区长距离稀疏供电中，单独的电能质量提升系统根本无法

满足用户的用电需求,也无法真正实现电能质量提升。

[0045] 3) 本发明装置采取无级调节,补偿精确度高,动态调节性能好,能实现线路损耗、电压跌落的精确补偿,可实现 $\pm 2.5\%$ 误差范围内的电压调节;同时,本发明装置可靠性较高,即使是变压器原边断路也不会造成供电中断等问题,也仅仅相当于供电线路中多串入了一段电阻。

[0046] 4) 本发明装置设计原理简单,基于对波形的科学分析而计算出线路目标的补偿量进行补偿,补偿调节精确,补偿效果好,电能质量提升效果显著;而且,还减少了体积较大的无源器件的应用,做到了小体积和低成本。

[0047] 5) 本发明装置通过电力电子电路和补偿变压器向电网注入电流(并联电流源)与电压(串联电压源)并进行实时控制,实现电力谐波、功率因数、三相不平衡补偿等电能质量提升和长输电线(稀疏用电区域)电压补偿的即时性,对稀疏用电地区的供电半径延长、投资节省和电网安全具有重要意义。

附图说明

[0048] 图1为本发明的长距离稀疏供电用复合补偿装置的结构示意图。

[0049] 图2为电压提升控制单元的结构示意图。

[0050] 图3为电压提升电力电子变换器的主拓扑结构图。

[0051] 图4为三相桥式整流电路的拓扑结构图。

[0052] 图5为电能质量提升控制单元的结构示意图。

[0053] 图6为电能质量提升电力电子变换器的主拓扑结构图。

具体实施方式

[0054] 为了更好地说明本发明,以便于理解本发明的技术方案,下面结合附图和具体实施例,对本发明作进一步详细说明。应理解,下述的实施实例仅用于说明本发明,并不代表或限制本发明的权利保护范围,本发明的保护范围以权利要求书为准。

[0055] 一种长距离稀疏供电用复合补偿装置,其输入为供电线输入端,其输出为供电线输出端,如图1所示,包括:电压提升系统和电能质量提升系统。

[0056] 电压提升系统包括:电压提升补偿变压器、电压提升电力电子变换器和电压提升控制单元,电压提升补偿变压器副边串联在电网输电线(即,供电线)上,电压提升补偿变压器原边与电压提升电力电子变换器的输出端相接,电压提升电力电子变换器的输入端与电压提升控制单元的输出端相接;其中,电压提升控制单元用于计算出电压提升补偿变压器原边侧需要补偿的电压值,生成相应的IGBT驱动控制信号(即,IGBT门极控制信号)并输出至电压提升电力电子变换器,电压提升电力电子变换器用于根据所接收的IGBT驱动控制信号控制各IGBT(电压提升电力电子变换器中的各IGBT)导通关断,并输出相位与电网同步、幅值大小为补偿值的正弦电压至电压提升补偿变压器原边侧,电压提升补偿变压器副边感应出相应的补偿电压接通输电线并注入电网中。

[0057] 电能质量提升系统包括:接触器、电能质量提升补偿变压器、电能质量提升电力电子变换器和电能质量提升控制单元,接触器用于连接电能质量提升补偿变压器与输电线,接触器的一端接输电线(即,供电线),接触器的另一端与电能质量提升补偿变压器副边连

接,电能质量提升补偿变压器原边与电能质量提升电力电子变换器的输出端相接,电能质量提升电力电子变换器的输入端与电能质量提升控制单元的输出端相接;其中,电能质量提升控制单元用于生成电能质量提升补偿变压器原边侧需要补偿的电流波形,产生相应的IGBT驱动控制信号(即,IGBT门极控制信号)并输出至电能质量提升电力电子变换器,电能质量提升电力电子变换器根据所接收的IGBT驱动控制信号控制各IGBT(电能质量提升电力电子变换器中的各IGBT)导通关断,输出目标电流补偿波形,电能质量提升补偿变压器副边感应出相应的补偿电流并通过接触器接通输电线注入到电网中,实现电能质量提升。

[0058] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,电压提升补偿变压器可以采用市售的常用的工频变压器。

[0059] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,电压提升控制单元,如图2所示,包括三相输电线电压、相位检测模块,变压器磁通计算模块和变压器电压控制模块;其中,三相输电线电压、相位检测模块的输出端与变压器磁通计算模块的输入端相接,三相输电线电压、相位检测模块的输出端还与变压器电压控制模块的输入端相接,变压器磁通计算模块的输出端也与变压器电压控制模块的输入端相接,变压器电压控制模块的输出端与电压提升电力电子变换器的输入端相接。

[0060] 电压提升控制单元中,三相输电线电压、相位检测模块用于获取三相输电线的电压、相位信息,变压器磁通计算模块用于根据三相输电线电压、相位信息计算磁通量,变压器电压控制模块用于根据目标补偿电压、三相输电线电压、相位信息以及磁通量计算出电压提升补偿变压器原边侧需要补偿的电压值,生成相应的IGBT驱动控制信号,并输出至电压提升电力电子变换器加以控制。

[0061] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,电压提升电力电子变换器,可以采用交流-直流-交流变频器,也可以采用交流-交流变频器。为了便于理解,以下将以交流-直流-交流变频器为例对电压提升电力电子变换器进行说明。

[0062] 电压提升电力电子变换器中,整流器通常采用常见的三相桥式整流电路,逆变器可以根据实际情况进行调整。图3示出了一种电压提升电力电子变换器的主拓扑结构,其中,逆变器的拓扑结构是包含有6个绝缘栅双极型晶体管IGBT(分别标记为:第一绝缘栅双极型晶体管 S_1 、第二绝缘栅双极型晶体管 S_2 、第三绝缘栅双极型晶体管 S_3 、第四绝缘栅双极型晶体管 S_4 、第五绝缘栅双极型晶体管 S_5 、第六绝缘栅双极型晶体管 S_6)的三相桥式拓扑,其中,第一绝缘栅双极型晶体管 S_1 的集电极、第二绝缘栅双极型晶体管 S_2 的集电极、第三绝缘栅双极型晶体管 S_3 的集电极连在一起并接至直流母线的一端,第四绝缘栅双极型晶体管 S_4 的发射极、第五绝缘栅双极型晶体管 S_5 的发射极、第六绝缘栅双极型晶体管 S_6 的发射极连在一起并接至直流母线的另一端;第一绝缘栅双极型晶体管 S_1 的发射极与第四绝缘栅双极型晶体管 S_4 的集电极相连组成a相桥臂,其连接点引出a相输出端口;第二绝缘栅双极型晶体管 S_2 的发射极与第五绝缘栅双极型晶体管 S_5 的集电极相连组成b相桥臂,其连接点引出b相输出端口;第三绝缘栅双极型晶体管 S_3 的发射极与第六绝缘栅双极型晶体管 S_6 的集电极相连组成c相桥臂,其连接点引出c相输出端口。a相输出端口、b相输出端口、c相输出端口分别与电压提升补偿变压器的三相相连接。6个绝缘栅双极型晶体管 S_1 - S_6 的栅极均与相应的驱动电路(驱动电路也称为调制电路)相连,该驱动电路(即该逆变器的调制电路)与电压提升控制单元相连。电压提升控制单元输出的IGBT驱动控制信号通过驱动电路向6个绝缘栅双

极型晶体管 S_1 - S_6 传送,控制其开通与关断,从而产生目标电压波形。

[0063] 上述整流器所采用的三相桥式整流电路,其拓扑结构如图4所示。该拓扑结构是包含有6个绝缘栅双极型晶体管IGBT(S_7 - S_{12})的三相桥式拓扑,其中,第七绝缘栅双极型晶体管 S_7 的集电极、第八绝缘栅双极型晶体管 S_8 的集电极、第九绝缘栅双极型晶体管 S_9 的集电极连在一起并接至直流母线的正端,第十绝缘栅双极型晶体管 S_{10} 的发射极、第十一绝缘栅双极型晶体管 S_{11} 的发射极、第十二绝缘栅双极型晶体管 S_{12} 的发射极连在一起并接至直流母线的负端;第七绝缘栅双极型晶体管 S_7 的发射极与第十绝缘栅双极型晶体管 S_{10} 的集电极相连组成A相桥臂,其连接点与A相输入端口连接;第八绝缘栅双极型晶体管 S_8 的发射极与第十一绝缘栅双极型晶体管 S_{11} 的集电极相连组成B相桥臂,其连接点与B相输入端口连接;第九绝缘栅双极型晶体管 S_9 的发射极与第十二绝缘栅双极型晶体管 S_{12} 的集电极相连组成C相桥臂,其连接点与C相输入端口连接。A相输入端口、B相输入端口、C相输入端口分别与电网输电线的三相相连接。6个绝缘栅双极型晶体管 S_7 - S_{12} 的栅极均与相应的驱动电路(驱动电路也称为调制电路)相连,该驱动电路(即该整流器的调制电路)与电压提升控制单元相连。电压提升控制单元输出的IGBT驱动控制信号通过驱动电路向6个绝缘栅双极型晶体管 S_7 - S_{12} 传送,控制其开通与关断。

[0064] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,接触器采用交流接触器,可以为市售常见的交流接触器。

[0065] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,电能质量提升补偿变压器采用工频变压器,可以为市售的常用的工频变压器。

[0066] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,电能质量提升控制单元,如图5所示,包括:三相输电线电压、电流、相位检测模块,谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元,补偿电流合成单元和补偿电流控制单元,其中,三相输电线电压、电流、相位检测模块的输出端与所述谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元的输入端相接,谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元的输出端与补偿电流合成单元的输入端相接,补偿电流合成单元的输出端与补偿电流控制单元的输入端相接,三相输电线电压、电流、相位检测模块的输出端与补偿电流控制单元的输入端相接,补偿电流控制单元的输出端与电能质量提升电力电子变换器的输入端相接。

[0067] 上述电能质量提升控制单元中,三相输电线电压、电流、相位检测模块用于获取三相输电线电压、电流、相位信息,谐波电流、功率因数、三相不平衡度计算单元用于根据三相输电线电压、电流、相位信息来分析计算线路正序电流、负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流,补偿电流合成单元用于将负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流组合成一个电流波形并将其旋转 180° 作为目标补偿电流波形,补偿电流控制单元用于根据目标补偿电流波形生成相应的IGBT驱动控制信号,并输出给电能质量提升电力电子变换器进行控制。

[0068] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,电能质量提升电力电子变换器,可以采用交流-直流-交流变频器,也可以采用交流-交流变频器。为了便于理解,以下将以交流-直流-交流变频器为例对电能质量提升电力电子变换器进行说明。

[0069] 上述电能质量提升电力电子变换器中,逆变器可以根据实际情况进行调整,例如采取三电平逆变拓扑结构。图6示出了一种电能质量提升电力电子变换器的主拓扑结构,采

用二极管钳位型三电平逆变器电路,逆变器的拓扑结构是包含有18个二极管(记为 D_{a1} - D_{a6} 、 D_{b1} - D_{b6} 、 D_{c1} - D_{c6})、12个绝缘栅双极型晶体管IGBT(记为 S_{a1} - S_{a4} 、 S_{b1} - S_{b4} 、 S_{c1} - S_{c4})以及两个直流储能电容(记为C1、C2)的三电平逆变拓扑。具体如下:

[0070] A相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{a1} 的集电极与A相第一二极管 D_{a1} 的阴极相连,A相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{a1} 的发射极与A相第一二极管 D_{a1} 的阳极相连形成反并联结构;A相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{a2} 的集电极与A相第二二极管 D_{a2} 的阴极相连,A相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{a2} 的发射极与A相第二二极管 D_{a2} 的阳极相连形成反并联结构;A相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{a3} 的集电极与A相第三二极管 D_{a3} 的阴极相连,A相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{a3} 的发射极与A相第三二极管 D_{a3} 的阳极相连形成反并联结构;A相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{a4} 的集电极与A相第四二极管 D_{a4} 的阴极相连,A相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{a4} 的发射极与A相第四二极管 D_{a4} 的阳极相连形成反并联结构;

[0071] B相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{b1} 的集电极与B相第一二极管 D_{b1} 的阴极相连,B相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{b1} 的发射极与B相第一二极管 D_{b1} 的阳极相连形成反并联结构;B相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{b2} 的集电极与B相第二二极管 D_{b2} 的阴极相连,B相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{b2} 的发射极与B相第二二极管 D_{b2} 的阳极相连形成反并联结构;B相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{b3} 的集电极与B相第三二极管 D_{b3} 的阴极相连,B相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{b3} 的发射极与B相第三二极管 D_{b3} 的阳极相连形成反并联结构;B相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{b4} 的集电极与B相第四二极管 D_{b4} 的阴极相连,B相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{b4} 的发射极与B相第四二极管 D_{b4} 的阳极相连形成反并联结构;

[0072] C相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{c1} 的集电极与C相第一二极管 D_{c1} 的阴极相连,C相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{c1} 的发射极与C相第一二极管 D_{c1} 的阳极相连形成反并联结构;C相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{c2} 的集电极与C相第二二极管 D_{c2} 的阴极相连,C相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{c2} 的发射极与C相第二二极管 D_{c2} 的阳极相连形成反并联结构;C相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{c3} 的集电极与C相第三二极管 D_{c3} 的阴极相连,C相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{c3} 的发射极与C相第三二极管 D_{c3} 的阳极相连形成反并联结构;C相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{c4} 的集电极与C相第四二极管 D_{c4} 的阴极相连,C相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{c4} 的发射极与C相第四二极管 D_{c4} 的阳极相连形成反并联结构;

[0073] A相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{a1} 的发射极与A相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{a2} 的集电极以及A相第五二极管 D_{a5} 的阴极相连;A相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{a2} 的发射极与A相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{a3} 的集电极相连并在连接点处引出A相输出端口,A相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{a3} 的发射极与A相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{a4} 的集电极以及A相第六二极管 D_{a6} 的阳极相连;

[0074] B相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{b1} 的发射极与B相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{b2} 的集电极以及B相第五二极管 D_{b5} 的阴极相连;B相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{b2} 的发射极与B相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{b3} 的集电极相连并在连接点处引出B相输出端口,B相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{b3} 的发射极与B相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{b4} 的集电极以及B相第六二极管 D_{b6} 的阳极相连;

[0075] C相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{c1} 的发射极与C相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{c2} 的集电极以及C相第五二极管 D_{c5} 的阴极相连;C相第二绝缘栅双极型晶体管 S_{c2} 的发射极与C相第

三绝缘栅双极型晶体管 S_{c3} 的集电极相连并在连接点处引出C相输出端口,C相第三绝缘栅双极型晶体管 S_{c3} 的发射极与C相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{c4} 的集电极以及C相第六二极管 D_{c6} 的阳极相连;

[0076] A相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{a1} 的集电极、B相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{b1} 的集电极、C相第一绝缘栅双极型晶体管 S_{c1} 的集电极相连接至第一直流储能元件C1的正端,A相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{a4} 的发射极、B相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{b4} 的发射极、C相第四绝缘栅双极型晶体管 S_{c4} 的发射极相连接至第二直流储能元件C2的负端;A相第五二极管 D_{a5} 的阳极、B相第五二极管 D_{b5} 的阳极、C相第五二极管 D_{c5} 的阳极彼此相连且与A相第六二极管 D_{a6} 的阴极、B相第六二极管 D_{b6} 的阴极、C相第六二极管 D_{c6} 的阴极相连共同接至第一直流储能元件C1的负端(也即是第二直流储能元件C2的正端)。12个绝缘栅双极型晶体管(记为 S_{a1} - S_{a4} 、 S_{b1} - S_{b4} 、 S_{c1} - S_{c4})的栅极均与相应的驱动电路(驱动电路也称为调制电路)相连,该驱动电路(即该逆变器的调制电路)与电能质量提升控制单元相连,电能质量提升控制单元输出的IGBT驱动控制信号通过驱动电路向12个绝缘栅双极型晶体管传送,控制其开通与关断,从而产生目标补偿电流波形。

[0077] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置的电能质量提升电力电子变换器中也可以加入整流器,整流器采用常见的三相桥式整流电路。

[0078] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,电压提升控制单元和电能质量提升控制单元可以集成在一个控制器(比如ARM PLC控制器)中。

[0079] 电压提升控制单元中的三相输电线电压、相位检测模块,和电能质量提升控制单元中的三相输电线电压、电流、相位检测模块,可以共同调用由电压、电流互感器从输电线路获取的电压、电流、相位检测信号。

[0080] 上述长距离稀疏供电用复合补偿装置的运行原理如下:

[0081] 电压提升系统利用电压提升控制单元在线检测供电线路电压和相位,根据电压差计算电压补偿数,生成相应的IGBT驱动控制信号,并输出至电压提升电力电子变换器以控制各IGBT开通关断,进而控制电压提升电力电子变换器输出与电网同步相位且幅值为补偿值的正弦电压至电压提升变压器原边侧,电压提升变压器副边感应出相应的补偿电压注入电网中,修正电网电压。

[0082] 电能质量提升系统利用电能质量提升控制单元在线检测供电线路电流、电压、相位信号,分析计算出线路正序电流、负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流,将负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流再组合成一个电流波形,以该波形旋转 180° 的波形为目标补偿电流波形,生成相应的IGBT驱动控制信号,并输出至电能质量提升电力电子变换器以控制各IGBT开通关断,使电能质量提升电力电子变换器输出补偿电流波形,电能质量提升变压器副边感应出相应的补偿电流波形,通过接触器注入输电线路中,抵消输电线路中的负序电流、零序电流、高次谐波电流,从而达到提高功率因数、消除三相不平衡、消除高次谐波的目的,实现电能质量提升。

[0083] 将上述所列举的长距离稀疏供电用复合补偿装置接入西部长距离稀疏供电线路(400V/315kVA供电线路)中,采用ARM PLC(基于ARM处理器的可编程控制器)作为控制器,采用IGBT作为电力电子变换器核心器件,电压提升电力电子变换器的主拓扑结构如图3所示,电能质量提升电力电子变换器的主拓扑结构如图5所示。其运行原理如下:

[0084] 由电压提升系统在线检测供电线路电压和相位,以400V为基准根据电压差计算电压补偿数,由电压提升电力电子变换器发出电压(正弦波、相位与电网同步、幅值大小为补偿值),通过电压提升补偿变压器注入电网中,修正电网电压。

[0085] 电能质量提升系统在线检测线路电流、电压和相位信号,分析计算出线路正序电流、负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流,将负序电流、零序电流、19次及以下高次谐波电流再组合成一个电流波形,以该波形旋转 180° 的波形为目标补偿电流波形,控制IGBT,使电能质量电力电子变换器发出电流(目标补偿电流),注入电网线路中,抵消线路中的负序电流、零序电流、高次谐波电流,从而达到提高功率因数、消除三相不平衡、消除高次谐波的目的。

[0086] 经检测,上述长距离稀疏供电用复合补偿装置接入400V/315kVA供电线路后,取得以下的技术效果:

[0087] 1) 修正电网电压至 $400 \pm 2.5\%V$,响应时间20ms。

[0088] 2) 功率因数补偿至0.95以上,能够在容性、感性负荷下实现补偿,并能够实现容性、感性及时平滑转换,补偿实现线性、及时。

[0089] 3) 提高系统供电能力30%。

[0090] 4) 动态补偿额定输出电流THD $\leq 3\%$ 。

[0091] 5) 补偿无功容量自动跟踪电网变化。

[0092] 6) 动态补偿响应时间 $\leq 5ms$ 。

[0093] 由此可见,该装置是以IGBT为核心元器件的电力电子设备,运行于配电变压器低压侧,同时解决电压质量、电流质量问题,包括在50%范围内稳定电压,解决功率因数、三相不平衡、高次谐波问题,容量315kVA-2000kVA,是延长供电半径和需要电能质量较高的场合的关键设备。

[0094] 综上,上述长距离稀疏供电用复合补偿装置中,由电压提升电力电子变换器和电能质量提升电力电子变换器构成电力电子系统,由串联在输电线路的电压提升补偿变压器和与输电线路并联的电能质量提升补偿变压器构成补偿变压器系统,将电压提升补偿变压器与电压提升电力电子变换器连接,将电能质量提升补偿变压器与电能质量提升电力电子变换器连接,利用相应的电力电子变换器和控制单元,通过相应的补偿变压器向电网注入电流(并联电流源)与电压(串联电压源)并进行实时控制,实现电力谐波、功率因数、三相不平衡补偿等电能质量提升和长输电线(稀疏用电区域)电压补偿的即时性,首次同时解决了线路损耗、电压跌落补偿以及电能质量提升两大问题,对稀疏用电地区的供电半径延长、投资节省和电网安全具有重要意义。由于上述长距离稀疏供电用复合补偿装置采取无级调节,补偿精确度高,动态调节性能好,能实现线路损耗、电压跌落的精确补偿;同时,上述长距离稀疏供电用复合补偿装置可靠性较高,即使是变压器原边断路也仅仅相当于供电线路中多串入了一段电阻,不会造成供电中断等问题。而且,装置设计原理简单,基于对波形的科学分析而计算出线路目标的补偿量进行补偿,补偿调节精确,补偿效果好,电能质量提升效果显著;此外,还减少了体积较大的无源器件的应用,做到了小体积和低成本。

[0095] 由此可见,本发明的目的已经完整并有效的予以实现。本发明的功能及结构原理已在实施例予以展示和说明,在不背离所述原理下,实施方式可作任意修改。本发明包括了基于权利要求精神及权利要求范围的所有变形实施方式。

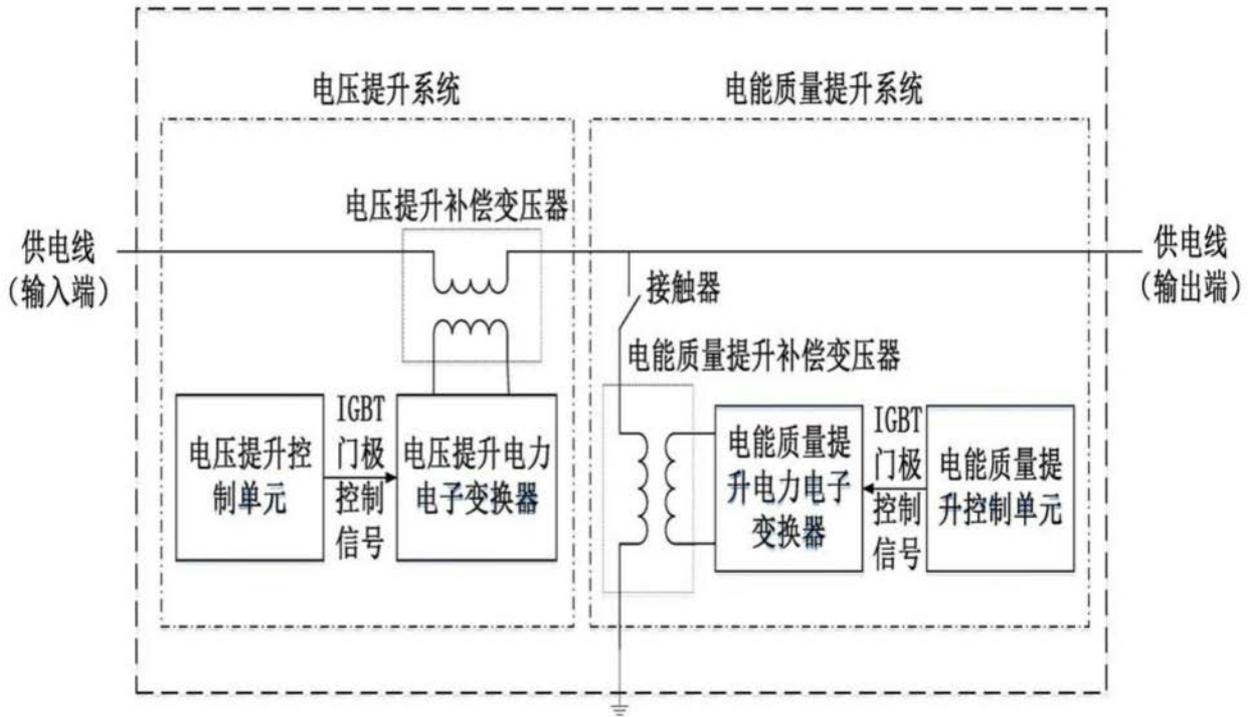


图1

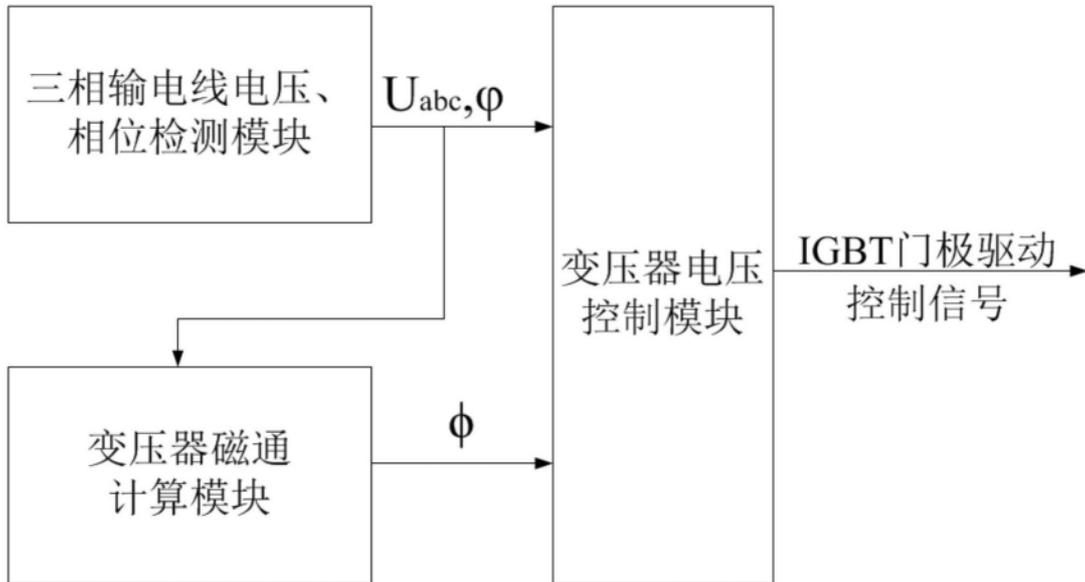


图2

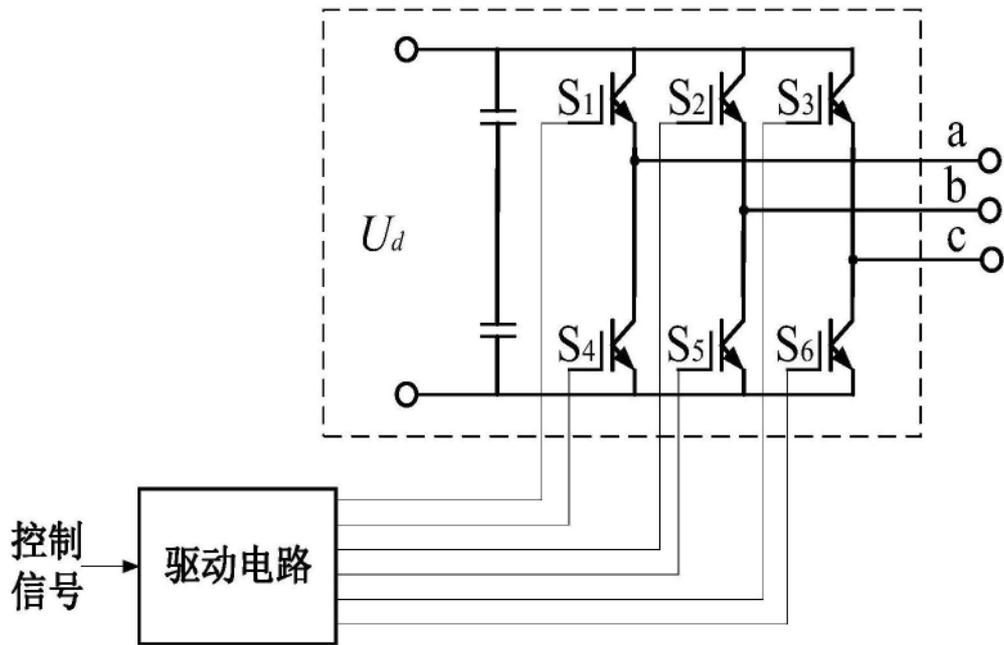


图3

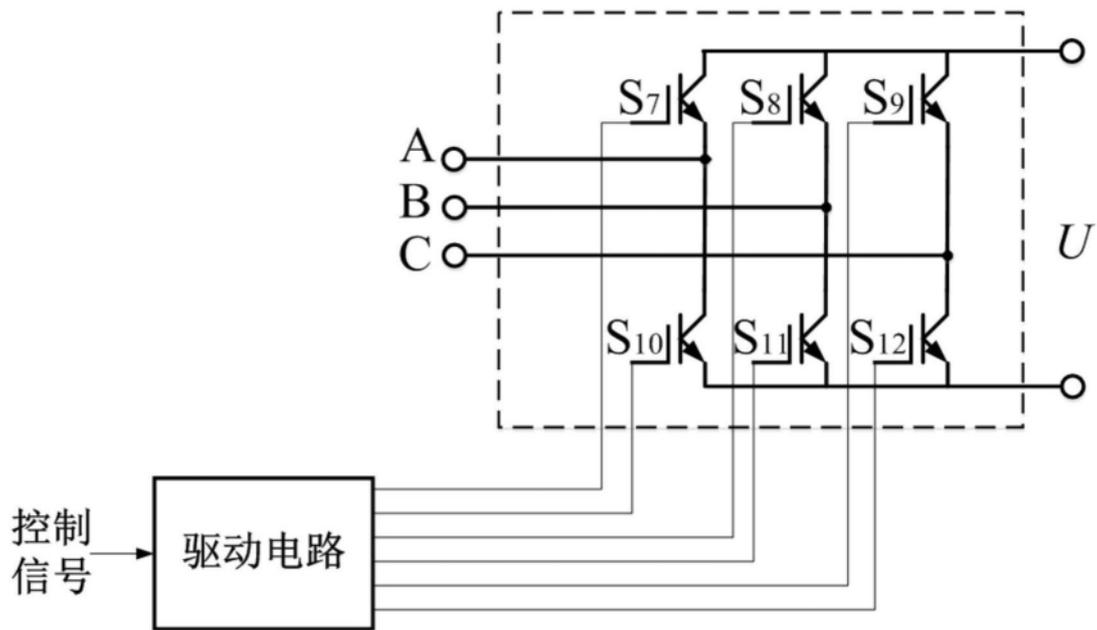


图4

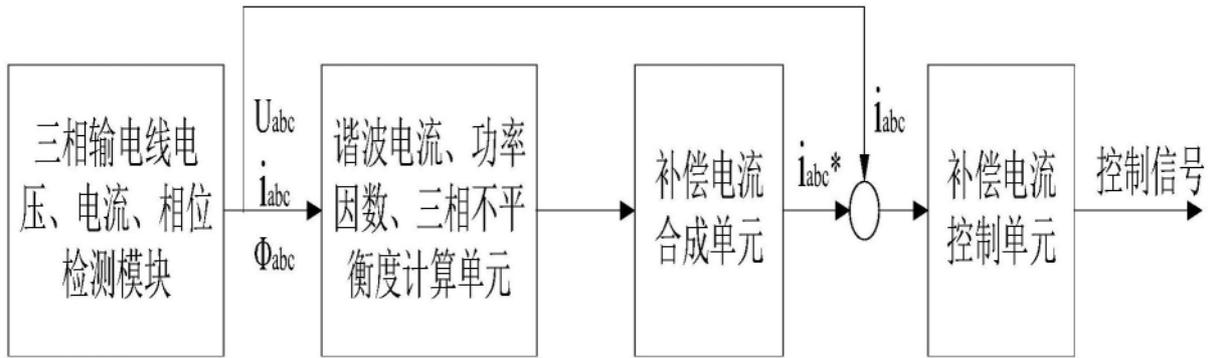


图5

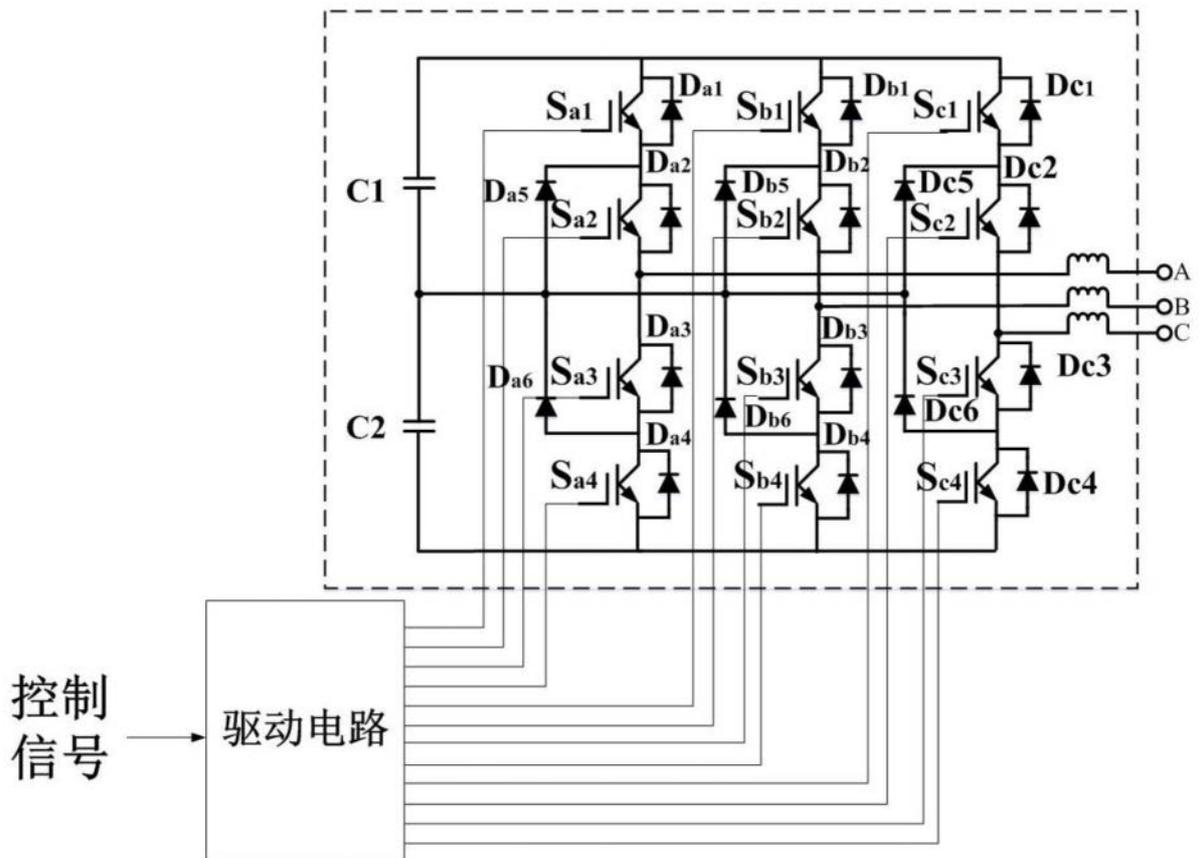


图6