



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105634258 B

(45)授权公告日 2019.01.29

(21)申请号 201510046269.8

CN 104092239 A, 2014.10.08,

(22)申请日 2015.01.30

WO 2014169388 A1, 2014.10.23,

(65)同一申请的已公布的文献号

审查员 魏劲夫

申请公布号 CN 105634258 A

(43)申请公布日 2016.06.01

(73)专利权人 华北电力大学

地址 102206 北京市昌平区北农路2号

(72)发明人 赵成勇 张帆 许建中

(51)Int.Cl.

H02M 1/32(2007.01)

(56)对比文件

CN 103236702 A, 2013.08.07,

CN 104167760 A, 2014.11.26,

CN 104022665 A, 2014.09.03,

CN 103795080 A, 2014.05.14,

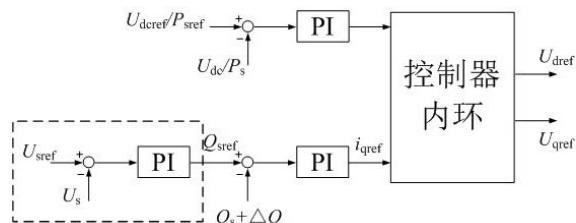
权利要求书1页 说明书2页 附图1页

(54)发明名称

一种基于虚拟阻抗的MMC交流侧故障电流抑制方法

(57)摘要

本发明涉及一种基于虚拟阻抗的MMC交流侧故障电流抑制方法，属于输配电技术领域。MMC的交流侧故障引起开关器件过流，本发明基于现有控制策略，通过将一次系统中的虚拟阻抗并联电路通过反馈函数映射到控制器中，等效增大变压器二次侧阀出口电路阻抗，从而有效抑制MMC交流侧故障时故障电流的瞬时上升速度，且不会加快其他类型故障电流上升速度。本发明核心技术方案是：首先，实时测量MMC系统PCC点出三相电压、电流、无功功率以及直流侧电流；其次，假设虚拟阻抗电路串联入变压器二次侧阀出口电路，对D、Q轴电流经过虚拟阻抗并联电路进行无功功率偏差计算；最后，将相关的偏差修正量附加到DQ解耦控制器的无功类控制量的测量值上进行修正。



1. 一种基于虚拟阻抗的MMC交流侧故障电流抑制方法,其特征是引入了变压器二次侧阀出口电路的虚拟阻抗并联电路,包括以下步骤:

步骤1:利用电压传感器实时测量MMC系统PCC点三相电压,记为 $u_{sa}$ 、 $u_{sb}$ 、 $u_{sc}$ ;利用电流传感器实时测量MMC系统PCC点三相电流,记为 $i_{sa}$ 、 $i_{sb}$ 、 $i_{sc}$ ;将测得的电流电压变换到锁定的Q轴电压为0的DQ坐标系中,得到已变换为直流量的D、Q轴电流,分别记为 $i_{sd}$ 、 $i_{sq}$ ;利用功率测量装置测量MMC系统PCC点处无功功率,记为 $Q_s$ ;利用电流传感器实时测量MMC系统直流母线电流,规定流出换流站为正,记为 $I_{dc}$ ;

步骤2:根据MMC系统电路参数设定虚拟阻抗并联电路中的电阻值 $R_{vir}$ 和电抗值 $L_{vir}$ , $R_{vir}$ 和 $L_{vir}$ 联入系统形式为并联后串联入变压器二次侧阀出口电路;

对D、Q轴电流 $i_{sd}$ 、 $i_{sq}$ 经过虚拟阻抗并联电路进行无功功率偏差值计算,有:

$$\Delta Q = \frac{3}{2} k(i_{sd} \frac{R_{vir} L_{vir} s}{R_{vir} + L_{vir} s} \times i_{sq} - i_{sq} \frac{R_{vir} L_{vir} s}{R_{vir} + L_{vir} s} \times i_{sd}),$$

其中 $s$ 为拉式算子, $k$ 的取值由有功功率传输方向决定,规定为:

$$k = \begin{cases} 1 & I_{dc} < 0 \\ -1 & I_{dc} > 0 \end{cases};$$

步骤3:依据MMC控制器无功类控制量的不同,将相关的偏差修正量附加到DQ解耦控制器的无功类控制量的测量值上进行修正,从而实现对交流故障电流的实时监测与抑制:若换流站为定无功功率控制站,则使用步骤2计算所得的无功功率偏差值对无功功率测量值 $Q_s$ 进行修正,控制器外环反馈值修正为:

$$Q'_s = Q_s + \Delta Q;$$

若换流站为定交流电压控制站,则通过PI控制器进行外环控制得到无功功率参考值 $Q_{sref}$ ,将定交流电压控制转换为定无功功率控制,仍采用上述方法进行偏差修正。

## 一种基于虚拟阻抗的MMC交流侧故障电流抑制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于输配电技术领域,尤其涉及一种基于虚拟阻抗的MMC交流侧故障电流抑制方法。

### 背景技术

[0002] 模块化多电平换流器(Modular Multilevel Converter,MMC)具有较高电力传输容量、无需大量IGBT压接串联、器件承受电压变化率低以及谐波特性较好等优点,逐渐成为柔性直流输电的发展趋势。

[0003] MMC的交流侧(交流系统侧,变压器二次侧)故障会导致换流器交流电流的升高,子模块的充、放电,进而引起开关器件过流。故障工况下开关器件闭锁动作发生前流过器件的瞬时电流大小直接影响了开关器件参数的选取。针对MMC发生交流侧故障时故障电流的抑制,已有研究大多针对发生非对称故障时对负序电流分量的抑制;对于交流侧故障,尤其是严重三相接地短路等对称性故障发生瞬间故障电流上升速度的抑制,现有研究几乎未有涉及。

### 发明内容

[0004] 针对上述背景技术中提到MMC发生交流侧故障的故障电流抑制问题,本发明采用虚拟阻抗控制策略,基于现有DQ解耦控制策略,通过在Q轴增加无功功率反馈环节,对系统传递函数进行修正,将反馈控制映射到一次系统中形成虚拟阻抗并联电路,等效增大变压器二次侧阀出口电路阻抗,从而能够有效抑制MMC交流侧发生故障时交流电流及桥臂电流的瞬时上升速度。

[0005] 本发明为控制系统在一次系统中的映射,本身不会对系统的稳态运行工况产生影响;且系统发生直流侧故障等其他故障时,本发明所设计的附加控制不会加快其故障电流的上升速度。本发明的技术方案的特征包括以下步骤:

[0006] 步骤1:利用电流传感器实时测量MMC系统PCC点三相电流,利用电压传感器实时测量MMC系统PCC点三相电压,并将测得的电流、电压变换到锁定的Q轴电压为0的DQ坐标系中;利用电流传感器实时测量MMC系统直流母线电流。步骤2:根据MMC电路参数设定虚拟阻抗电路中的电阻值和电抗值,虚拟电阻与虚拟电抗联入系统形式为并联后串联入变压器二次侧阀出口电路中;依据MMC控制器传输有功功率方向的不同,对D、Q轴电流经过虚拟阻抗并联电路进行无功功率偏差计算。步骤3:依据MMC控制器无功类控制量的不同,将步骤2所得无功功率修正量附加到DQ解耦控制器的无功类控制量的测量值上进行修正,通过对交流电压幅值变化的抑制实现对交流故障电流的实时监测与抑制。

[0007] 本发明通过三个步骤,能够实现在MMC系统发生交流侧故障时对交流故障电流(交流电流、桥臂电流)的上升速度实现有效抑制。

### 附图说明

[0008] 图1为附加到变压器二次侧阀出口电路的虚拟阻抗电路示意图;图2为无功功率偏差计算框图;图3为附加无功类控制量偏差的DQ解耦控制器。

### 具体实施方式

[0009] 下面将对本发明涉及的一种基于虚拟阻抗的MMC交流侧故障电流抑制方法作详细说明。应该强调的是,下述说明仅仅是示例性的,而不是为了限制本发明的范围及其应用。

[0010] 本发明所要解决的技术问题采用虚拟阻抗控制策略,基于现有DQ解耦控制策略,通过在Q轴增加无功控制量的反馈环节,对系统传递函数进行修正,将反馈控制映射到一次系统中形成虚拟阻抗并联电路,等效增大变压器二次侧阀出口电路的阻抗,从而能够有效抑制MMC交流侧发生故障时交流电流及桥臂电流的瞬时上升速度。本发明采用如下技术方案实现:

[0011] 步骤1:利用电压传感器实时测量MMC系统PCC点三相电压,记为 $u_{sa}$ 、 $u_{sb}$ 、 $u_{sc}$ ;利用电流传感器实时测量MMC系统PCC点三相电流,记为 $i_{sa}$ 、 $i_{sb}$ 、 $i_{sc}$ ;将测得的电流电压变换到锁定的Q轴电压为0的DQ坐标系中,得到已变换为直流量的D、Q轴电流,分别记为 $i_{sd}$ 、 $i_{sq}$ ;利用功率测量装置测量MMC系统PCC点处无功功率,记为 $Q_s$ ;利用电流传感器实时测量MMC系统直流母线电流,规定流出换流站为正,记为 $I_{dc}$ 。步骤2:根据MMC系统电路参数设定虚拟阻抗电路中的电阻值 $R_{vir}$ 和电抗值 $L_{vir}$ , $R_{vir}$ 和 $L_{vir}$ 联入系统形式为并联后串联入变压器二次侧阀出口电路,如图1所示;对D、Q轴电流 $i_{sd}$ 、 $i_{sq}$ 经过虚拟阻抗并联电路进行无功功率偏差计算,有:

$$\Delta Q = \frac{3}{2} k \left( i_{sd} \frac{R_{vir} L_{vir} s}{R_{vir} + L_{vir} s} \times i_{sq} - i_{sq} \frac{R_{vir} L_{vir} s}{R_{vir} + L_{vir} s} \times i_{sd} \right), \text{其中 } s \text{ 为拉式算子}, k \text{ 的取值由有功功率传输方向决定, 规定为: } k = \begin{cases} 1 & I_{dc} < 0 \\ -1 & I_{dc} > 0 \end{cases}.$$

控制器实现框图如图2所示。步骤3:依据MMC控制器无功类控制量的不同,将相关的偏差修正量附加到DQ解耦控制器的有功类控制量的测量值上进行修正,从而实现对交流故障电流的实时监测与抑制:若换流站为定无功功率控制站,则使用步骤2计算所的无功功率偏差值对无功功率测量值 $Q_s$ 进行修正,控制器外环反馈值修正为: $Q'_s = Q_s + \Delta Q$ ;若换流站为定交流电压控制站,则通过PI控制器进行外环控制得到 $Q_{sref}$ ,将定交流电压控制转换为定无功功率控制,仍采用上述方法进行偏差修正。控制器具体实现框图如图3所示。需要说明的是步骤1,2和3整体作为发明内容,三个步骤为有机的不可分割的整体。

[0012] 以上所述,仅为本发明较佳的具体实施方式,但本发明的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内,可轻易想到的变化或替换,都应涵盖在本发明的保护范围之内。因此,本发明的保护范围应该以权利要求的保护范围为准。

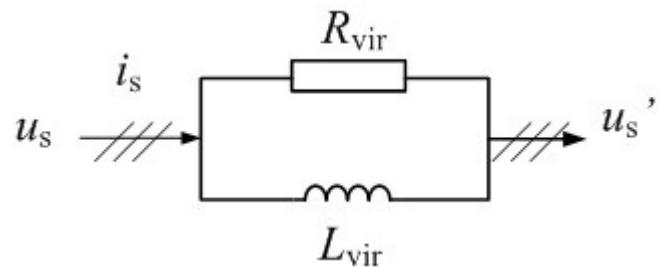


图1

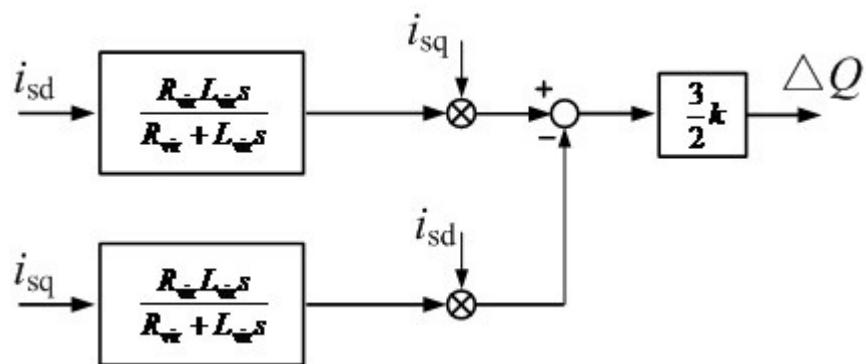


图2

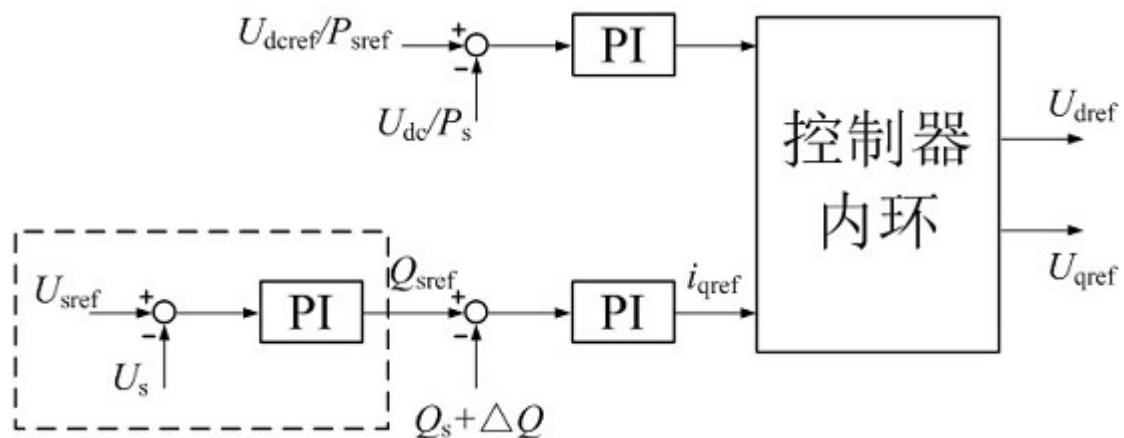


图3