

基于 VSC 的 DCIPC 阻尼系统功率振荡 及限制短路电流研究

李 娟,严宇昕,聂 鹏

(东北电力大学 电气工程学院,吉林 吉林 132012)

摘要: 根据相间功率控制器(IPC)和电压源型变换器(VSC)的基本原理、工作特性,将二者结合构成移相环节连续可调的动态可控相间功率控制器(DCIPC)。通过参考电压值对 VSC 进行调节,进而改变电感和电容支路的注入电压,达到快速连续地改变 IPC 各支路移相角的目的。分析移相角控制对带 DCIPC 联络线传输功率的调节作用,以发电机角速度变化作为反馈控制信号设定 VSC 产生的移相电压,从而实现抑制功率振荡的功能。该控制器电感支路由晶闸管控制电抗器(TCR)代替,电容支路由晶闸管控制串联电容器(TCSC)容性微调模式构成,分析 TCR 支路感抗和 TCSC 支路容抗对短路电流的限制作用,以晶闸管触发角作为控制信号设定 DCIPC 的等值参数,从而实现限制短路电流的功能。以经带 DCIPC 联络线相连的两机系统为例,验证了所提方法的有效性。

关键词: 电压源型变换器; 移相器; 动态可控相间功率控制器; 功率振荡; 短路电流; 控制; 相间功率控制器
中图分类号: TM 712 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.05.009

0 引言

伴随社会的进步与经济的发展,电力已经成为社会生活中各个领域不可或缺的重要能源之一。随着科技和社会生产的迅猛发展,用户对电能质量的要求也越来越高。在电力工业不断发展壮大的趋势下,电力系统已经进入大系统、超高压远距离输电、跨区域联网的新阶段。全国联网后,由于地理环境等因素的限制难以建设新的输电线路,区域电网间仅仅通过 500 kV 交流线路弱互联,使得互联系统对于区域间出现的振荡能够起到的作用很小^[1]。面对互联系统中出现的稳定性易遭到破坏的问题,一般习惯用二次设备(柔性交流输电系统(FACTS)控制器等)将弱互联转变为较强的互联^[2]。

相间功率控制器 IPC(Interphase Power Controller)是 FACTS 家族中的新成员。IPC 最早是由加拿大魁北克输电技术革新中心提出的,它是一种可对有功和无功功率进行控制的组合型 FACTS 控制器^[3]。IPC 具有潮流控制的鲁棒性和限制事故电流、消除事故波及的优良特性^[4-5]。国外对 IPC 的研究已经发展到研制出实际装置并将其应用于电网的阶段^[6]。国内对于 IPC 的研究较晚,仅在理论方面取得了一些成果^[7]。

IPC 基本结构是由电感和电容支路组成,传统 IPC 的移相环节多由移相变压器构成或是通过相与相之间的穿越连接而成,特定类型的 IPC 移相控制角都是确定的,因此不能够灵活地控制^[8-9]。IPC 连接

的两电网联络线受端发生短路故障时,系统发生扰动,若不采取措施进行有效的控制,可能引起系统功率振荡,将不利于系统的稳定运行。

本文详细分析电压源型变换器(VSC)的基本工作原理、控制模型,通过控制 VSC 能灵活地控制联络线路的传输功率以达到阻尼系统功率振荡、提高系统稳定性的目的,并且调节晶闸管控制电抗器 TCR(Thyristor Controlled Reactor)支路感抗和晶闸管控制串联电容器 TCSC(Thyristor Controlled Series Capacitor)支路容抗来限制短路电流。最后通过仿真验证其有效性和适用性。

1 IPC 的基本结构原理

IPC 被视为一种能创新出不同结构和实现更多功能的潮流控制器,而不是一种具有固定结构的 FACTS 控制器。IPC 的通用结构如图 1 所示,每相包括并联的容性和感性支路,分别由容性和感性阻抗与独立的移相单元串联构成,包括 2 个阻抗和 2 个相移环节共 4 个可控单元^[10-11]。

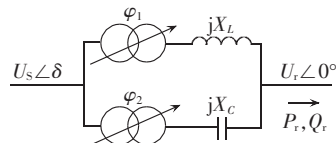


图 1 IPC 通用结构

Fig.1 General structure of IPC

图 1 中 U_s 、 U_r 分别为 IPC 入口和出口电压幅值, φ_1 、 φ_2 分别为电感和电容支路的移相角, δ 为 IPC 两侧电压相位差, X_L 、 X_C 分别为 IPC 电感、电容支路的感抗和容抗。由图 1 可得 IPC 出口输送功率为^[12]:

$$P_r = \frac{U_s U_r}{X_L} \sin(\delta + \varphi_1) + \frac{U_s U_r}{X_C} \sin(\delta + \varphi_2) \quad (1)$$

$$Q_r = \frac{U_s U_r}{X_L} \cos(\delta + \varphi_1) + \frac{U_s U_r}{X_C} \cos(\delta + \varphi_2) - \left(\frac{1}{X_L} + \frac{1}{X_C} \right) U_r^2 \quad (2)$$

2 基于 VSC 的动态可控相间功率控制器基本原理

2.1 基于 VSC 的动态可控相间功率控制器移相功能

由于 VSC 具有灵活的移相功能,可以将其应用到 IPC 的移相环节,电感支路通过控制晶闸管触发角等效改变电感参数^[13],电容支路利用类似 TCSC 原理可以连续调节电容参数,这样可以将传统的静态 IPC 进行电力电子式改进,形成基于 VSC 的移相环节、电感参数、电容参数连续动态可控的 IPC。经带动态可控相间功率控制器(DCIPC)交流弱联系的两互联电网结构模型如图 2 所示。

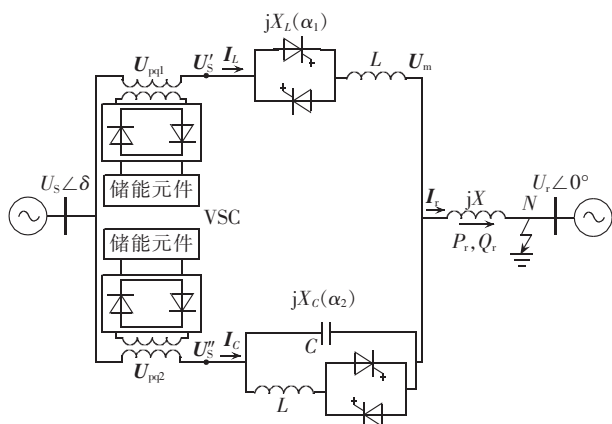


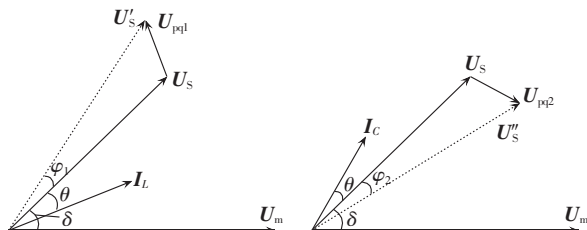
图 2 基于 VSC 的 DCIPC 的结构模型图

Fig.2 Structure of DCIPC based on VSC

在图 2 中,通过控制 VSC 中 GTO 的触发角可调节 U_{pq1} 和 U_{pq2} 。 U_{pq1} 和 U_{pq2} 均是接近正弦的补偿电压,VSC 基本电压 U_{out} 由电容器组构成的直流储能元件提供,因此除本身损耗外,一般与系统之间不存在有功功率的交换,所以 VSC 装置产生的补偿电压与线路电流正交,即 U_{pq1} 和 U_{pq2} 分别正交于电感和电容支路的电流 I_L 和 I_C 。由式(1)可见,电感和电容支路分别以相反的移相角进行控制,由此对有功功率产生较大的调节作用。当以相反的移相角 φ_1 和 φ_2 实现移相功能时,各支路的补偿电压与两端电压及支路电流的相量关系如图 3 所示。

图 3 中 IPC 入口电压与 TCR 和 TCSC 支路电流夹角均为 θ , δ 为 IPC 入口和出口电压的相位差; U_s' 和 U_s'' 为移相后电压。由移相角 φ_1 和 φ_2 相等反向可推导注入电压 U_{pq1} 和 U_{pq2} 存在如下关系:

$$U_{pq1} - U_{pq2} = \frac{2U_{pq1}}{\cos \theta} \angle (90^\circ + \theta) = U_{pq1} \frac{2}{\cos \theta} \angle (2\theta - \delta) \quad (3)$$



(a) 补偿电压为感性

(b) 补偿电压为容性

图 3 电感、电容支路注入电压和电流相量关系图

Fig.3 Phasor diagram of injecting voltage and current of inductor or capacitor branch

由式(3)可知,电感、电容支路的移相注入电压有相互制约的关系,调节控制 U_{pq1} 和 U_{pq2} 应同时进行,并且要满足式(3)的约束,才能实现正常的移相功能。

由于 VSC 注入电压对两端电压的幅值和相位的调节与移相器的主要原理相吻合,所以 VSC 具有与静止移相器相同的功能。然而相对于传统移相器,VSC 在控制方面更加灵活,其响应速度可达到几毫秒,可以实现快速动态的控制。

2.2 基于 VSC 的 DCIPC 功率控制机理

联络线传输的有功功率与电压相位角有关,电感和电容支路的注入电压 U_{pq} 会使 DCIPC 两端的电压产生相位移动,从而对两侧交流系统的有功功率交换起到一定的调节控制作用。

根据图 2 可得出,由 DCIPC 出口经联络线流出的电流 I_r 为:

$$I_r = I_L + I_C = \frac{U_s + U_{pq1} - U_m}{jX_L} - \frac{U_s + U_{pq2} - U_m}{jX_C} \quad (4)$$

假设为调谐型 IPC,令 $X_L = X_C = X_{IPC}$,则有:

$$I_r = \frac{U_{pq1} - U_{pq2}}{jX_{IPC}} \quad (5)$$

IPC 出口电压 U_m 为:

$$U_m = U_r + jX_{IPC} I_r = U_r + \frac{X}{X_{IPC}} (U_{pq1} - U_{pq2}) \quad (6)$$

联络线潮流为:

$$S_r = P_r + jQ_r$$

$$U_m I_r^* = \left[U_r + \frac{X}{X_{IPC}} (U_{pq1} - U_{pq2}) \right] \left(\frac{U_{pq1} - U_{pq2}}{jX_{IPC}} \right)^* \quad (7)$$

由式(5)~(7)可知,通过控制 VSC 的补偿电压 U_{pq1} 和 U_{pq2} 可调节联络线的传输功率。当系统发生短路故障时,若能提高两互联电网之间联络线的传输功率,对阻尼系统的功率振荡能起到一定作用。

2.3 基于 VSC 的 DCIPC 限制短路电流机理

在电力系统发生短路故障期间,增大电源点与短路点之间的等值阻抗,可以起到限制短路电流的作用。DCIPC 的 TCR 支路等效电感参数和 TCSC 支路的等效电容参数均可以通过调节晶闸管触发角进行控制。

以图 2 联络线末端 N 点发生三相短路为例,有:

$$I_r = I_L + I_C = \frac{U_S + U_{pq1} - U_m}{jX_L} - \frac{U_S + U_{pq2} - U_m}{jX_C} = \left(\frac{U'_S + U_{pq1}}{jX_L} - \frac{U''_S + U_{pq2}}{jX_C} \right) + \left(-\frac{U_m}{jX_L} + \frac{U_m}{jX_C} \right) \quad (8)$$

由式(8)可知,当联络线末端发生三相短路故障时,短路电流的大小与移相电压、电感和电容的等效电抗有关。在 IPC 移相角度一定的条件下,增大电感、电容等效的电抗,可以减小短路电流值。但如果是调谐型的 IPC,应注意当联络线发生断线故障时,IPC 电感和电容上可能会出现过电压,由文献[14]可知,当联络线发生断线故障时,应将电感、电容支路的移相电压的相角分别控制为 $k\pi$ 和 $-k\pi$ ($k=1,2$),这样电感和电容上不会出现过电压。

3 DCIPC 阻尼系统功率振荡的控制

由以上分析可见,通过控制 DCIPC 的移相环节能够灵活地调节联络线传输的有功功率,本节以图 2 中 N 点发生三相短路为例对 DCIPC 进行控制,以此进行阻尼系统功率振荡的研究。

当 N 点发生三相短路故障,将引起发电机的功率不平衡,功率差额量越大,发电机的转速变化越大,因此以发电机角速度作为反馈控制信号产生 VSC 的输出电压,可以适应减小故障期间功率差额的要求,提高送端发电机输出的电磁功率,进而阻尼功率振荡。控制 VSC 注入电压的表达式为:

$$U_{pq} = -K\Delta\omega \quad (9)$$

其中, $\Delta\omega$ 为发电机角速度变化率; K 为控制器的增益,其大小由 VSC 本身的补偿能力决定。

基于 VSC 的 DCIPC 的电感和电容支路分别通过 VSC 的注入电压实现移相功能,而电感和电容支路的移相功能应满足式(3)的约束,因此电感和电容支路的移相控制环节应同时协调控制,控制系统简化图如图 4 所示。

图中,VSC 控制环节采用既控制输出电压又控制直流侧电容电压的内环控制方式实现注入电压的调节,控制系统简化图如图 5 所示,图中 ABS 表示取模值。当系统发生短路故障时,发电机转子角速度

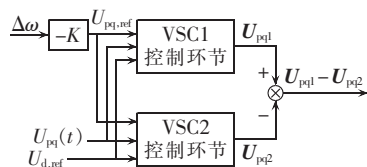


图 4 DCIPC 系统简化图

Fig.4 Simplified diagram of DCIPC system

发生变化,式(9)表达的是 VSC 装置输出的参考电压与发电机转子角速度的映射关系,而将 VSC 装置输出的实际电压与参考电压进行比较,其误差经过比例积分环节得到控制角。

为了避免直流侧电压产生大的波动,应使 VSC 装置输出的电压与相应支路电流相差 90° ,因此需要利用锁相环测量线路电流的相角从而得到 VSC 装置输出电压的基准相角 σ 。将控制角与基准角相加得到 VSC 装置输出电压的相角,利用该相角可以生成 VSC 装置的驱动脉冲,控制 VSC 装置使其输出电压跟踪参考电压。为了控制直流侧电容电压,以电流相位为基准将 VSC 装置的输出电压分解为电压的无功分量与有功分量(即与电流同相的电压分量为有功分量,与电流相差 90° 的电压分量为无功分量),通过 VSC 装置输出电压的无功分量来控制其输出电压的大小,而通过 VSC 装置输出电压的有功分量来控制其直流侧电容的电压。由于 VSC 装置损耗小,因此 VSC 装置输出电压中的有功分量很小,其输出电压主要由电压的无功分量决定。

图 5 中将参考电压分为有功分量 $U_{pqP,ref}$ 和无功分量 $U_{pqQ,ref}$,实线表示无功分量决定输出电压的大小,虚线表示有功分量对输出电压的影响较小,但直接作用于直流侧电容电压 u_d 。这种输出电压的无功分量控制其输出电压,有功分量控制其直流侧电容电压的方法,实现 VSC 装置输出电压的控制与直流侧电容电压的控制之间的静态解耦,从而提高控制的响应速度并缩短过渡过程的时间。

4 DCIPC 限制短路电流的控制

本文采用控制 TCR 支路和 TCSC 支路晶闸管导通角的方式来限制短路电流。

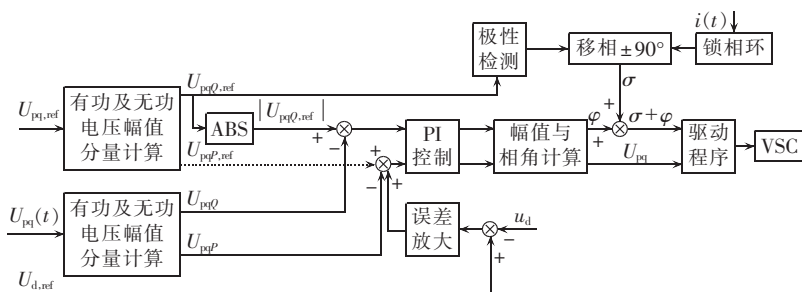


图 5 VSC 系统简化图

Fig.5 Simplified diagram of VSC system

根据短路电流的限制程度来确定 TCR 支路阻抗参考值 X_{Lref} ,当短路发生后根据 TCR 两端电压和线路电流计算当前的阻抗 X_L ,再根据感抗值与触发角之间满足式(10)的关系预测出晶闸管触发延迟角 α_0 。

$$B_L(\alpha) = \frac{1}{X_L(\alpha)} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{1}{\pi} \sin 2\alpha \right) \quad (10)$$

其中, $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ 。

求取阻抗参考值 X_{Lref} 与实际值 X_L 之差 ΔX , ΔX 经过 PI 控制生成触发延迟角的修正量 $\Delta\alpha$,将 $\Delta\alpha$ 与预测值 α_0 求和并经过限幅后得到实际的控制角 α ,控制原理图如图 6 所示。

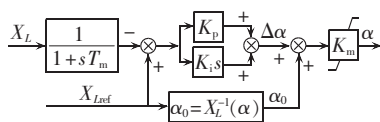


图 6 控制系统简化图

Fig.6 Simplified diagram of control system

将电流作为晶闸管触发控制的同步信号,主要是因为线电流几乎是正弦信号,这样可以避免电压作为同步信号会含有大量的谐波和虚假的噪声信号。最后根据控制器输出的晶闸管触发延迟角 α 产生所需的晶闸管触发脉冲,驱动主电路工作。

由于本文所使用 TCSC 的单相结构是由电容器与 TCR 并联组成,因此 TCSC 控制方法与 TCR 基本相似。由上文分析可知,等效电容参数与电感参数越接近,限制短路电流的控制效果越理想,如此确定 TCSC 阻抗参考值 X_{Cref} ,再根据图 6 所示的控制原理确定 TCSC 支路的晶闸管触发延迟角,以此驱动主电路工作。

5 仿真分析

本文以图 7 所示互联电力系统线路 2 上的 B_2 点发生三相短路故障为例进行仿真分析,验证 DCIPC 阻尼系统功率振荡及限制短路电流的效果。

该电力系统由 S 侧容量为 2100 MV·A 的发电

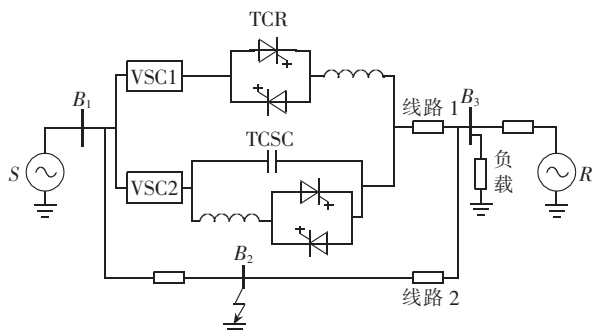


图 7 仿真系统简化图

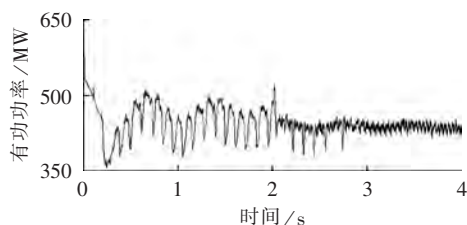
Fig.7 Simplified diagram of simulation system

机组、R 侧容量为 1400 MV·A 的发电机组和 1 个 2200 MV·A 的动态负载组成;输电线路 1 上设置 DCIPC 控制器,DCIPC 电感支路感抗和电容支路容抗初始值为 0.09 p.u.,DCIPC 移相环节的 VSC 的 PI 控制器参数 $K_p=0.03$ 、 $K_i=1.5$ 。

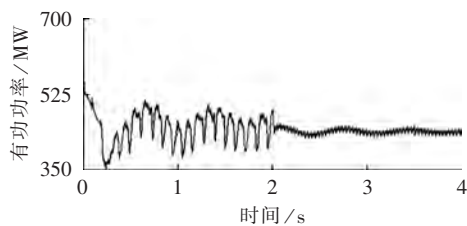
5.1 系统正常运行时仿真分析

由上文可知,电感、电容支路的移相电压应协调控制且满足式(3)的关系。仿真分析针对其中电感支路移相电压进行设置,电容支路移相电压由式(3)计算得到,因此下文所述的电压均为电感支路电压。

在 0~2 s 时参考电压 $U_{q,ref}$ 设置为 0,在 2~4 s 时参考电压分别设为 -0.07 p.u. 和 0.07 p.u. (即注入电压分别为感性和容性),有功功率变化曲线如图 8 所示。



(a) 注入电压为感性



(b) 注入电压为容性

图 8 系统正常运行时有功功率变化曲线

Fig.8 Active power curve in normal operation

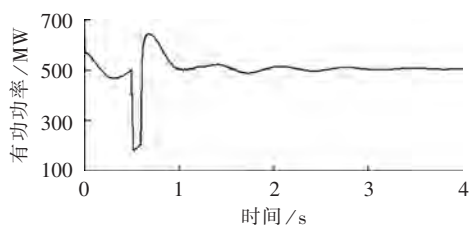
5.2 阻尼系统振荡仿真分析

以注入电压为感性为例,在 0.5 s 时于输电线路 2 的 B_2 母线处发生三相短路故障,0.6 s 时切除故障,故障时间为 0.1 s。仿真结果中有功功率变化曲线如图 9 所示。

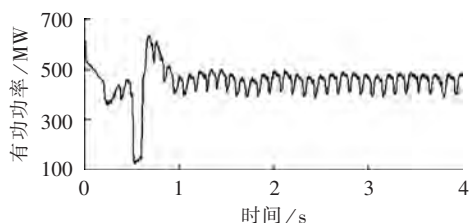
经联络线互联电力系统,装设 DCIPC 前后对比得到如下结论。

a. 振荡曲线幅值变化:未装设时,有功功率曲线振荡幅值为 650 MW。装设 DCIPC 但未调节时,有功功率曲线振荡幅值与未装设时基本接近,但由于有电感的加入切除故障后毛刺较多;装设 DCIPC 调节后有功功率曲线振荡幅值功率最高达 590 MW,切除故障后平缓过渡,而且适当调节注入电压和支路感抗会改善有功功率曲线毛刺较多的问题。

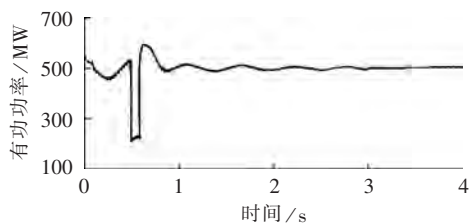
b. 振荡时间变化:未装设时,有功功率曲线在 3.5 s 后基本恢复平稳;装设 DCIPC 未调节时,有功功率曲线由于有电感的加入在 3.5 s 后呈稳定规律变化,但振荡幅度较大;为了使功率振荡幅度减小,



(a) 系统未装设 DCIPC 时的有功功率



(b) 系统装设 DCIPC 未调节时的有功功率



(c) 系统装设 DCIPC 调节后的有功功率

图 9 DCIPC 阻尼系统功率振荡仿真波形图

Fig.9 Simulative curves of power oscillation damping by DCIPC

尽快恢复平稳,将 DCIPC 移相角度进行调节,有功功率变化曲线如图 9(c)所示,有功功率曲线在 3 s 后基本恢复平稳,时间缩短。

因此,仿真结果表明,利用 DCIPC 可以有效阻尼系统功率振荡,使系统在受到扰动后可以快速平稳地恢复正常运行状态,增强系统稳定性。

5.3 限制短路电流仿真分析

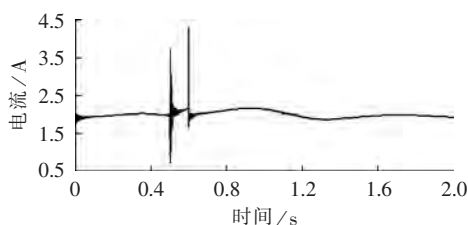
在输电线路 2 的 B_2 母线发生三相短路故障,在 0.5 s 时发生故障,0.6 s 时切除故障,故障时间为 0.1 s。短路前后电流变化如图 10 所示。

经联络线互联电力系统,装设 DCIPC 前后短路电流和冲击电流的变化如下。

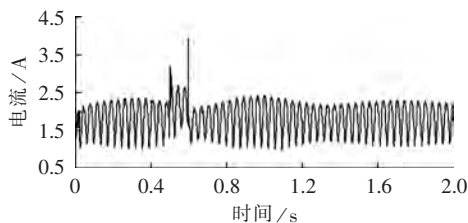
a. 冲击电流变化:短路故障时冲击电流对系统的危害较大。未装设 DCIPC 时,短路瞬间冲击电流为正常电流值的 1.7~1.9 倍,并且切除故障瞬间,冲击电流高达 2.15 倍;装有 DCIPC 未调节时,短路和切除故障瞬间,冲击电流均有一定幅度的减小;装有 DCIPC 调节后,短路瞬间冲击电流基本与正常电流相等,切除故障瞬间冲击电流降至 1.8 倍。

b. 短路电流变化:未装设 DCIPC 时,短路电流为正常电流的 1.2 倍;装设 DCIPC 调节后短路电流基本与正常电流大小相等。

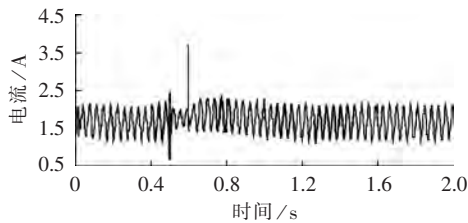
由上述分析可知,DCIPC 可以有效地限制短路



(a) 系统未装设 DCIPC 时的电流



(b) 系统装设 DCIPC 未调节时的电流



(c) 系统装设 DCIPC 调节后的电流

图 10 DCIPC 限制短路电流仿真波形图

Fig.10 Simulative curves of short circuit current limiting by DCIPC

电流和瞬间冲击电流以确保电力系统设备安全运行。

6 结论

本文将 VSC 应用到常规的 IPC 中,以 VSC 来代替常规 IPC 中的移相器构成 DCIPC。理论分析和仿真分析结果表明,该方案是合理可行的,并具有以下优点:

- 与常规 IPC 中的移相器相比,DCIPC 可以连续、快速、灵活地改变电感、电容支路移相角,且损耗较小;
- 可以通过控制移相电压的注入阻尼系统功率振荡,提高系统稳定性;
- 当系统发生短路故障时,利用晶闸管触发角对电感、电容支路协调控制可以起到限制短路电流的作用。

参考文献:

- 余贻鑫,李鹏. 大区电网弱互联对互联系统阻尼和动态稳定性的影响[J]. 中国电机工程学报,2005,25(11):6-11.
YU Yixin,LI Peng. The impact of weak interconnection of bulk power grids to damping and dynamic stability of power systems [J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(11):6-11.
- POURBEIK P,GIBBARD M J. Damping and synchronizing torques induced on generators by FACTS stabilizers in multi-machine power systems[J]. IEEE Trans on PWRs,1996,11(4):1926-1930.

- [3] JACQUES B,PIERRE P. The interphase power controller;a new concept for managing power flow within AC networks[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1994,9(2):833-841.
- [4] 李娟,赵露,柳焯. 可控相间功率控制器(TCIPC)运行特性分析[J]. 继电器,2006,34(12):42-45.
LI Juan,ZHAO Lu,LIU Zhuo. Operation characteristic of thyristor controlled interphase power controller[J]. Relay,2006,34(12):42-45.
- [5] 李娟,赵露,张冰冰,等. 基于参数协调的可控相间功率控制器调节特性研究[J]. 电力自动化设备,2007,27(2):16-19.
LI Juan,ZHAO Lu,ZHANG Bingbing,et al. Adjustment characteristics of thyristor controlled interphase power controller based on parameter coordination[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(2):16-19.
- [6] KALININ L,ZAITCEV D,TIRSU M. Steady state operation of Interphase Power Controller(IPC) using power electronic converter[C]//IEEE Bucharest PowerTech. Bucharest,Romania:Institute of Electrical and Electronics Engineers,2009:1-6.
- [7] 刘修宽,蒋维勇,周苏荃,等. IPC增强互联系统稳定性控制策略研究[J]. 电力自动化设备,2005,25(8):27-31.
LIU Xiukuan,JIANG Weiyong,ZHOU Suquan,et al. Enhancing stability of interconnected power system with IPC[J]. Electric Power Automation Equipment,2005,25(8):27-31.
- [8] FARMAD M,FARHANGI S,AFSHARNIA S,et al. Modelling and simulation of voltage source converter-based interphase power controller as fault-current limiter and power flow controller[J]. IET Generation Transmission and Distribution,2011,5(1):1132-1140.
- [9] SAMADI A,FARHANGI S. Analysis,control and modeling of cascaded multilevel converter-based IPC[C]//IECON 2008. 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics. Orlando, Florida,USA:Institute of Electrical and Electronics Engineers,2008:3213-3218.
- [10] 李娟,闫乃欣,周建颖,等. TCIPC提高暂态稳定性的PI控制器设计[J]. 电工电能新技术,2012,33(5):68-72.
LI Juan,YAN Naixin,ZHOU Jianying,et al. Designing PI controller in thyristor controlled interphase power controller for improving transient stability of power system[J]. Advanced Technology of Electrical Engineering and Energy,2012,33(5):68-72.
- [11] 李娟,郑明. 相间功率控制器改善暂态稳定性的研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(22):11-15.
LI Juan,ZHENG Ming. Analysis of enhancing transient stability of power system with IPC[J]. Power System Protection and Control,2011,39(22):11-15.
- [12] 李娟,康娜娜,于学均. 改进型IPC抑制过电压的研究[J]. 电力自动化设备,2008,28(10):49-52.
LI Juan,KANG Nana,YU Xuejun. Improve IPC to restrain over-voltage[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(10):49-52.
- [13] 易善军,于继来,郭志忠. 动态可控相间功率控制器的多性能协调控制策略[J]. 中国电机工程学报,2005,25(8):56-61.
YI Shanjun,YU Jilai,GUO Zhizhong. Performances coordination strategies of dynamic controlled inter-phase power controller (DCIPC)[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(8):56-61.
- [14] 李娟,康娜娜,张友智. 相间功率控制器潮流控制中过电压问题的研究[J]. 高电压技术,2008,34(6):1100-1104.
LI Juan,KANG Nana,ZHANG Youzhi. Overvoltage in the power flow control on the interphase power controller[J]. High Voltage Engineering,2008,34(6):1100-1104.

作者简介:



李娟

李娟(1972—),女,山东荣成人,教授,博士,主要研究方向为电力系统运行控制及 FACTS;

严宇昕(1989—),女,湖北鄂州人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统运行控制及 FACTS(E-mail:yanyuxin001@126.com)。

Power oscillation damping and short circuit current limiting by VSC-based DCIPC

LI Juan,YAN Yuxin,NIE Peng

(Electrical Engineering College,Northeast Dianli University,Jilin 132012,China)

Abstract: A DCIPC(Dynamic Controlled Interphase Power Controller) with continuously adjustable phase-shifting section is constructed by integrating IPC(Interphase Power Controller) with VSC(Voltage Source Converter) according to their basic principle and characteristics. In order to quickly and continuously change the phase-shifting angle of each branch of the IPC,the injecting voltages of inductor and capacitor branches are modified by adjusting the VSC via the reference voltage. The function of angle shifting control in regulating the transferring power of tie line with DCIPC is analyzed and the angular velocity variation of generator is taken as the feedback control signal to set the phase-shifting voltage generated by the VSC for the power oscillation damping. Its inductor branch is a TCR(Thyristor Controlled Reactor) and its capacitor branch is a TCSC(Thyristor Controlled Series Capacitor) with slightly adjustable capacitance. The function of TCR branch inductive reactance and TCSC branch capacitive reactance in limiting the short circuit current is analyzed and the firing angle of thyristor is taken as the control signal to set the equivalent parameters of DCIPC for the short circuit current limiting. A two-machine system connected by the tie line with DCIPC is taken as an example to verify the effectiveness of the proposed method.

Key words: voltage source converter; phase shifting transformer; dynamic controlled interphase power controller; power oscillation; short circuit currents; control; interphase power controller