

TCIPC 并联 MOV 后对其暂态过程的影响

李 娟,刘玉娇,王昕冉,刘海龙,崔红兰

(东北电力大学 电气工程学院,吉林 吉林 132012)

摘要: 可控相间功率控制器(TCIPC)并联金属氧化物限压器(MOV)可以对其接入电网潮流控制中可能出现的过电压进行保护,但 MOV 的并入对 TCIPC 运行模式变化的暂态过程具有一定的影响。针对此问题,基于 TCIPC 的基本结构,对 TCIPC 过电压出现的机理进行探讨,建立 TCIPC 并联 MOV 后的动态模型。以功率为参考,选定 TCIPC 入口母线电压以及线路电流作为控制器的协调分量,设计 PI 校正阻抗控制器。并以两等值电网经 TCIPC 交流弱联系为例,仿真分析说明 TCIPC 并联 MOV 后会使系统的潮流调控能力下降,恢复稳定的暂态过渡过程时间延长。

关键词: 互联电网; 灵活交流输电系统; 可控相间功率控制器; 金属氧化物变阻器; 暂态分析; 过电压
中图分类号: TM 712 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.08.017

0 引言

电网互联为现代电网带来诸多好处的同时,也带来了一系列挑战性问题,如传输容量问题、潮流控制问题、系统稳定性问题等。柔性交流输电(FACTS)技术的发展为此提供了解决办法^[1-3]。可控相间功率控制器 TCIPC (Thyristor-Controlled Interphase Power Controller)作为新型串联型 FACTS 控制器,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^[4-6],可以减轻互联系统间短路电流的影响,直接调节有功功率和产生或吸收无功功率^[7-8]。TCIPC 在具有上述优良特性的同时,也存在一些不足,诸如潮流控制中出现的过电压问题。文献[9]基于相间功率控制器(IPC)的基本结构,分析了 IPC 可能出现过电压的运行工况。

文献[10]探讨了 IPC 过电压出现的原因,并将金属氧化物变阻器 MOV (Metal Oxidized Varistor)引入 TCIPC 进行过电压保护的仿真分析,但没有研究 TCIPC 加入 MOV 后对其暂态过程的影响。MOV 属于高度非线性元件^[11],因此在应用中会引起 TCIPC 中电压、电流的失真。本文以 IPC240 为例,并以文献[12]中的等值两电网为背景,基于 TCIPC 的基本结构和数学模型,推导考虑加入 MOV 后 TCIPC 的动态模型,并设计采用闭环 PI 阻抗控制^[13-14]方式,仿真分析 TCIPC 加入 MOV 后对其暂态过程的影响。

1 TCIPC 过电压问题的探讨

IPC 由电感和电容支路分别与移相器串联构成,为了能动态调节电感等效参数,可以将电感支路与 2 个反并联的晶闸管串联构成 TCIPC,结构如图 1 所示。

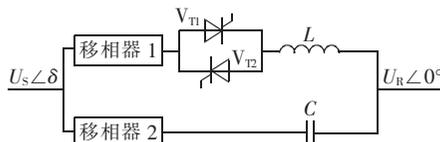


图 1 TCIPC 的结构图

Fig.1 Structure of TCIPC

该 TCIPC 可以通过控制晶闸管触发延迟角等效地改变电感支路的电抗参数,从而调节控制潮流。电感支路的等效电纳值可表示为^[15-16]:

$$\frac{1}{X_L(\alpha)} = B_F(\alpha) = \frac{1}{X_L} \left[1 - \frac{2\pi}{\alpha} - \frac{1}{\pi} \sin(2\alpha) \right] \quad (1)$$

其中, X_L 为电感的电抗值; α 为晶闸管的触发延迟角, $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ 。

此时流入联络线的有功功率和无功功率分别为^[9]:

$$P = \frac{U_R U_S}{X_L(\alpha)} \sin(\delta - \phi_1) + \frac{U_R U_S}{X_C} \sin(\delta - \phi_2) \quad (2)$$

$$Q = \frac{U_R U_S}{X_L(\alpha)} \sin(\delta - \phi_1) - \frac{U_R^2}{X_L(\alpha)} + \frac{U_R U_S}{X_C} \sin(\delta - \phi_2) - \frac{U_R^2}{X_C} \quad (3)$$

由式(2)、(3)可见,TCIPC 通过控制晶闸管触发角能等效地改变电感支路的感抗以控制联络线传输的功率。根据文献[8]可知,当 IPC 两侧端口电压的相位差角 $\delta < 0^\circ$ 时,又由于传输有功功率的要求,要减小电抗参数,这样将大幅度增加 IPC 向系统提供的感性无功功率,若再提高联络线传输功率,IPC 端口电压就会明显增大。而 IPC 电感、电容支路电压与端口电压及支路移相角的关系式分别为:

$$U_{XL} = U_S e^{j\theta_1} - U_R \quad (4)$$

$$U_{XC} = U_S e^{j\theta_2} - U_R \quad (5)$$

再根据图 2 中相量之间的关系可知,IPC 端口电压越大,IPC 的电容、电感上也越容易出现过电压。

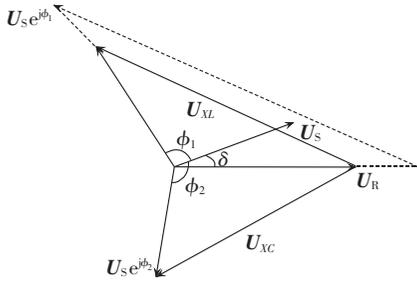


图 2 电压关系相量图

Fig.2 Phasor diagram of voltage relations

此外,当 TCIPC 末端开路时,由图 1 可见 TCIPC 的电感、电容支路组成一个封闭回路,内部形成环流,可能会导致形成过电压,特别是当电感、电容等效基频电抗相等时,就可能会引起谐振过电压。

2 TCIPC 并联 MOV 后的动态模型

据上述分析可知 TCIPC 在运行中可能会出现过电压,因此要在 TCIPC 的支路间并联 MOV。带 MOV 的 TCIPC 的等效电路如图 3 所示,将 MOV 并联在 TCIPC 的电容两侧。TCIPC 是一个变拓扑结构,其电路可分为晶闸管阻断(电路只有 MOV 和电容 C)和晶闸管导通(MOV、电感 L 和电容 C 并联)2 种拓扑,根据瞬时过渡阶段和稳态阶段的回路中各元件电压与电流的数学表达式,再采用傅里叶分析确定其触发角。

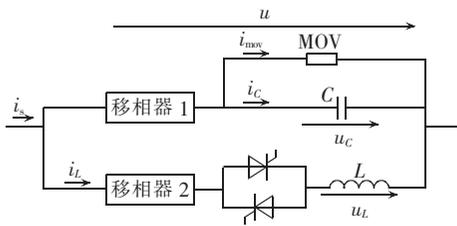


图 3 TCIPC 并联 MOV 的电路图

Fig.3 Circuit of TCIPC with parallel MOV

2.1 晶闸管关断状态

当晶闸管处于关断状态时,TCIPC 并联 MOV 时的电路图可以等效地描述为式(6)—(8):

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} \tag{6}$$

$$i_{mov} = pu^q \tag{7}$$

$$i_s = i_c + i_{mov} \tag{8}$$

其中, i_c 和 i_{mov} 分别为流过电容支路和 MOV 的瞬时电流; i_s 在系统中代表输电线路的瞬时电流; u 为 TCIPC 两端的电压; u_c 为电容支路中电容两端的电压; p 和 q 为表征 MOV 电压与电流关系的常数。

2.2 晶闸管导通状态

当晶闸管受到触发后导通,此时的电路图可以等效地描述为式(9)—(12):

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} \tag{9}$$

$$u_L = L \frac{di_L}{dt} \tag{10}$$

$$i_{mov} = pu^q \tag{11}$$

$$i_s = i_c + i_{mov} + i_L \tag{12}$$

其中, i_L 为流过电感支路的瞬时电流; u_L 为电感支路中电感两端的电压。

对于特定的 TCIPC, 移相角是给定的, 即 $\phi = \phi_1 = -\phi_2$, 不计移相器的电压损耗, 电感两端的电压瞬时值 u_L 、电容两端电压瞬时值 u_c 和 TCIPC 两端电压瞬时值 u 只相差移相角度 ϕ , 则根据式(4)、(5)可推导得出 u_L 和 u_c 与 u 的关系分别为(假定 TCIPC 两端的电压是正弦波):

$$u_L = u \cos \phi + \sqrt{u_m^2 - u^2} \sin \phi \tag{13}$$

$$u_c = u \cos \phi - \sqrt{u_m^2 - u^2} \sin \phi \tag{14}$$

其中, u_m 为 TCIPC 两端电压的幅值。

3 限压器的选择

MOV 具有高度非线性伏安特性,其阻抗是变化的,且可以限制补偿器的电压以及浪涌电流。限压器设计和制造所需的参数很多,下面列出决定其正常运行的所必需的参数。

a. 额定电压 U_{be} 。

额定电压一般比装限压器的线路中最大相对地的工频电压高出 10%, 选取线路中单相接地短路故障时非故障相的对地电压升高值为最大工频过电压。母线侧的最大相对地的工频电压为相电压的 1.3 倍, 出线侧的最大相对地的工频电压大约为相电压的 1.5 倍。

b. 最大持续运行电压 U_{mco} 。

最大持续运行电压是限压器上能长时间运行的电压的最大值。在国标 GB11032—2000 中, 根据我国电力工业的实际情况, 最大持续运行电压为 $U_{mco} = 0.8U_{be}$ 。

c. 工频参考电压 U_{ref} 。

工频参考电压就是指限压器端点的工频电压有效值, 此时的电流必须为限压器电流的阻性分量峰值。其表达式为:

$$kU_{ref} = \sqrt{2} U_{be}$$

为了取得较好的过电压控制效果, k 值一般取 0.9~0.98。

d. 限压器的保护水平 δ_{pl} 。

保护水平是指对被保护设备的过电压规定了一个最高限制的电压, 过电压不能超过规定的电压。通常保护水平都是由操作冲击过电压(系统最高运行相电压的峰值)为基准值的标幺值来表示。其计

算公式为:

$$\delta_{PL} = 1.2U_{ref} / U_{moxv}$$

一般情况下,保护水平取值为 2.0~2.5 p.u.。

本文按实际工程需要,线路额定电压为 220 kV,取 k 为 0.92,经计算可得限压器各参数如下: $U_{be} = 363$ kV, $U_{moxv} = 290.4$ kV, $U_{ref} = 496$ kV, $\delta_{PL} = 2.05$ 。

4 仿真控制设计

本文的控制方式采用闭环 PI 校正控制,参考功率值为一个阶跃信号,此参考值以基准感抗为标准,并选定 TCIPC 入口母线电压以及线路电流作为控制器的协调分量,TCIPC 控制触发模块如图 4 所示。触发模块中,以线路电流作为同步信号,避免电压作为同步信号时产生的大量谐波。

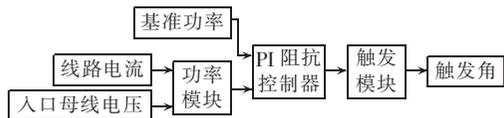


图 4 TCIPC 的控制器及触发模块

Fig.4 Controller and firing unit of TCIPC

控制模块中,根据基准感抗可推导出一个触发角,再根据参考值与实际感抗值(通过线路电压、电流的关系可得)之差,通过一个 PI 控制器,生成触发角的修正量,它与预测值之和经过限幅后构成实际的晶闸管触发角 α ,其 PI 阻抗控制器模块如图 5 所示。图中, $X_{L(\alpha)}$ 为测量阻抗; X_{Lref} 为基准阻抗; $\Delta\alpha$ 为修正触发角; α_0 为基准触发角; K_p 和 K_i 为 PI 阻抗控制器的比例、积分系数; K_m 为 α 的限幅值; T_m 和 T_i 分别为延迟时间常数和积分时间常数。

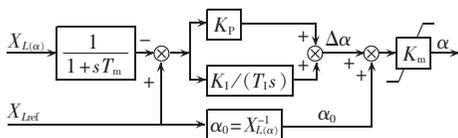


图 5 TCIPC 的 PI 校正阻抗控制器

Fig.5 PI correction impedance controller of TCIPC

根据触发角可确定晶闸管的状态,若晶闸管处于关断状态,应用式(6)~(8)计算 TCIPC 的变量,否则应用式(9)~(12)。假设控制器的采样时间为 T ,将 T 划为 n 等分,通过式(6)~(12)计算后,再由式(13)、(14)计算得到 TCIPC 两端的瞬时电压,然后应用快速傅里叶变换就可以得出 TCIPC 两端的电压值。

5 仿真分析

以等值两电网经 IPC240 带联络线进行交流弱联系为例,利用 Simulink 搭建仿真模型。由于 TCIPC 在正常运行及短路、断线故障等条件下可能会产生

过电压,根据搭建的模型在 MOV 动作与不动作情况下进行仿真分析。文中未注明单位的仿真结果是以系统额定电压 220 kV、视在功率 100 MV·A 为基准的标么值。仿真参数: $L=0.19$ H, $C=21.5$ μ F。

根据图 6,并以 A 相为例。通过上述分析知道,正常运行时,通过控制 TCIPC 的触发角,可以改变 TCIPC 的参数,进而控制联络线的潮流,再由文献[15]给出的 IPC 入口电压、电容和电感两端的电压与电容、电感参数的关系以及文献[10]分析可知,参数调节使无功功率增大以及发生断路故障时,极有可能会使 TCIPC 的入口以及电容电感上出现过电压。

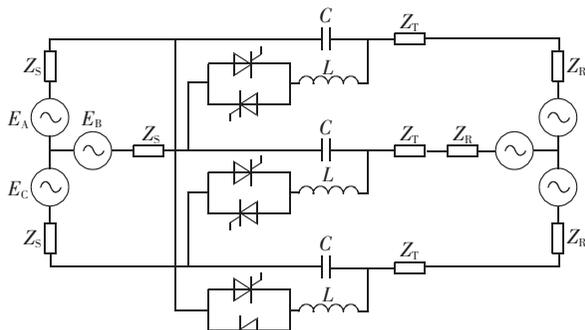
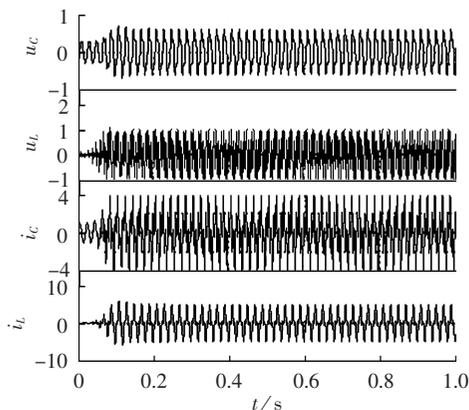


图 6 电网简化图

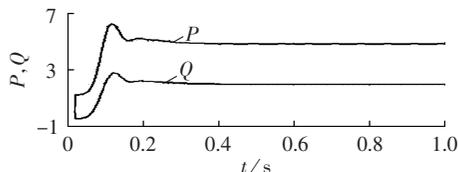
Fig.6 Simplified diagram of power grid

根据电网运行条件要求,选择 MOV 参考电压为 500 kV。正常运行的仿真波形如图 7 所示。

从图 7(a)~(c)的结果分析可知,在正常运行时通过控制器协调控制合理的电感、电容参数,TCIPC 基本不会出现过电压,MOV 中不流过电流,MOV 没有动作。图 7(d)、(e)中,当 MOV 动作后,MOV 吸收的能量增加,而此时改变触发角,联络线



(a) 电感、电容的电压和电流波形



(b) MOV 不动作时联络线的功率波形

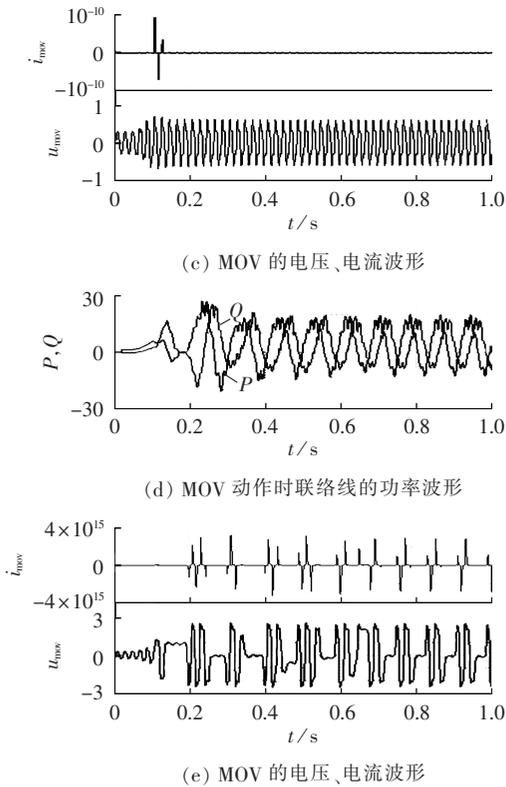


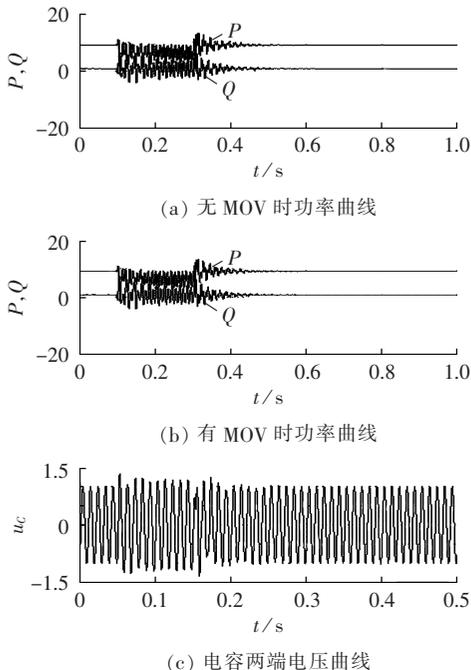
图 7 正常运行的仿真图

Fig.7 Simulative waveforms under normal operating condition

传输功率偏离正常的功率曲线,通过参数控制功率的能力下降,甚至无法增加传输功率。

当发生故障的时候,如以 TCIPC 联络线的受端侧发生单相(A相)短路接地为例进行仿真分析。在 0.1 s 时发生故障,在 0.3 s 时切除故障,仿真波形如图 8 所示。

从图 8(a)、(c)、(d)可知,当受端发生短路故障时,联络线的功率发生振荡,切除故障后约 0.15 s



(d) 电感两端电压曲线

图 8 发生短路故障的仿真图

Fig.8 Simulative waveforms under short-circuit fault condition

功率才会趋于稳定;而电容和电感两侧的电压和电流有小幅度的涨落,切除故障后 0.1 s 趋于稳定。若考虑 MOV 时,如图 8(b)所示,只是在发生故障的瞬时和切除故障的瞬时,流过 MOV 一个幅值很大的冲击电流,功率振荡幅值变大,切除故障后 0.2 s 趋于稳定,并且故障期间流过 MOV 的电流基本为 0。因此,发生短路故障时,MOV 对 TCIPC 的运行影响很小。

以 TCIPC 联络线的受端侧发生单相(A相)断线为例进行断线情况的仿真分析。在 0.3 s 时发生故障,在 0.5 s 时切除故障,仿真波形如图 9 所示。

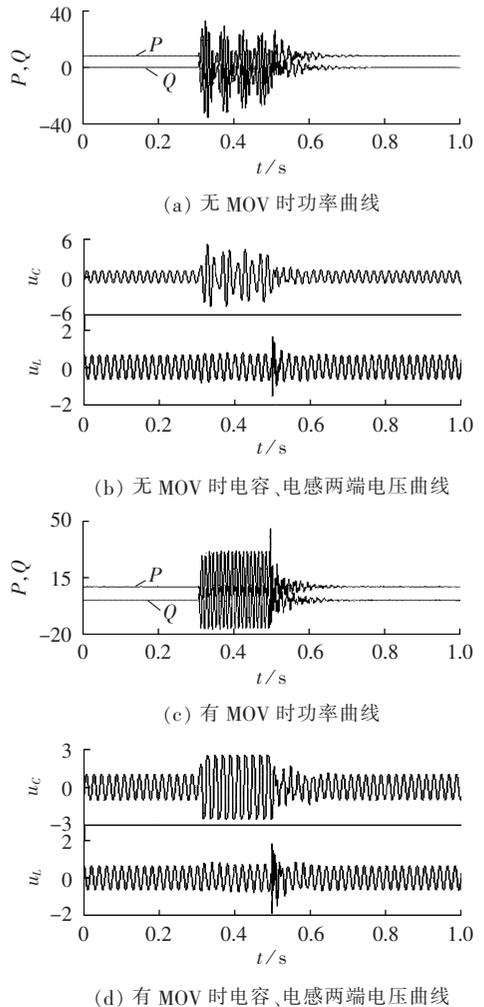


图 9 断线故障的仿真图

Fig.9 Simulative waveforms under line-break fault condition

从仿真图 9(a)、(b)中可知,当受端发生断线故障时,联络线的功率发生振荡,振荡幅度较大,切除故障后约 0.15 s 功率才会趋于稳定;而故障期间电容和电感两侧的电压和电流有明显的增大,甚至电压值已超出电容和电感所允许的电压值,因此为保护器件,需考虑过电压保护,应在器件两侧并联 MOV,切除故障后 0.1 s 趋于稳定。当考虑 MOV 时,发生故障后由于流过 MOV 的电流很大,但电压不会超过设定的额定值,因此 MOV 动作。由图 9(c)可见,发生故障后,功率出现有规律的振荡,同样是在切除故障后 0.2 s 趋于稳定,与没有 MOV 的情况(见图 9(a))相比较,影响了系统的稳定性。但 MOV 使电容、电感两侧的电压限定在一个范围内,不会出现过电压损坏器件。因此,MOV 的存在使潮流调控能力下降,也降低了系统稳定性。

6 结论

本文在 TCIPC 基本结构模型的基础上,将 MOV 并联于 TCIPC 两端点间,建立了含 MOV 的 TCIPC 动态模型,设计了 PI 校正阻抗控制器,并以两等值电网经并联 MOV 的 TCIPC 弱联系为例分析了并联 MOV 对 TCIPC 运行暂态过程的影响。

仿真表明,在正常运行条件下调节 TCIPC 参数出现过电压,MOV 动作后,会使潮流调控能力下降;发生故障后 MOV 动作会使切除故障后,系统趋于稳定的时间延长,不利于系统的稳定运行。因此,为改善这种不利影响,将在控制策略上进一步研究。

参考文献:

- [1] 何大愚. 柔性交流输电技术及其控制器研制的新发展[J]. 电力系统自动化,1997,21(2):1-6.
HE Dayu. FACTS technology and new progress in the development of its controllers[J]. Automation of Electric Power Systems,1997,21(2):1-6.
- [2] 何大愚. 柔性交流输电系统技术的发展要求其定义更新[J]. 电力自动化设备,2004,24(10):79-82.
HE Dayu. Development of flexible AC transmission and distribution system technology requires definition renewing[J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(10):79-82.
- [3] 王树文,纪延超,马文川. 灵活交流输电技术[J]. 电力系统及其自动化学报,2007,19(3):113-117.
WANG Shuwen,JI Yanchao,MA Wenchuan. Survey of flexible AC transmission system technology[J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2007,19(3):113-117.
- [4] BROCHU J,PELLETIER P. The interphase power controller:a new concept for managing power flow within AC networks[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1994,9(2):833-841.
- [5] 刘修宽,蒋维勇,周苏荃,等. 相间功率控制器抑制低频振荡的研究[J]. 电力自动化设备,2006,26(1):1-4.
LIU Xiukuan,JIANG Weiyong,ZHOU Suquan,et al. Restraining low frequency oscillation of power system with IPC[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(1):1-4.
- [6] 李娟,宋彬彬,赵延青,等. 基于 SSSC 的改进型相间功率控制器[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(15):68-75.
LI Juan,SONG Binbin,ZHAO Yanqing,et al. Improved interphase power controller based on SSSC[J]. Power System Protection and Control,2013,41(15):68-75.
- [7] 李娟,刘修宽,曲祖义,等. 负荷频率变化时 IPC 及其两侧电网的动态行为[J]. 中国电机工程学报,2003,23(7):71-75.
LI Juan,LIU Xiukuan,QU Zuyi,et al. Dynamic behavior of IPC and power system on both sides considering the variation of load frequency[J]. Proceedings of the CSEE,2003,23(7):71-75.
- [8] BEAUREGARD F,BROCHU J,MORIN G,et al. Interphase power controller with voltage injection[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1994,9(4):1956-1962.
- [9] 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.
- [10] 李娟,郑明,张乐斌,等. 相间功率控制器过电压及其保护的仿真分析[J]. 高电压技术,2011,37(1):50-56.
LI Juan,ZHENG Ming,ZHANG Lebin,et al. Analysis on the simulation of interphase power controller over-voltage and its protection[J]. High Voltage Engineering,2011,37(1):50-56.
- [11] KHEDERZADEH M. Impact of MOV operation on power quality in transmission lines compensated by TCSC[C]//IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition. Chicago,USA:IEEE,2008:1-8.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 李可军,赵建国,高洪霞. 可控串联补偿阻抗控制策略研究[J]. 电力自动化设备,2009,29(5):25-31.
LI Kejun,ZHAO Jianguo,GAO Hongxia. Study of impedance control strategy of TCSC[J]. Electric Power Automation Equipment,2009,29(5):25-31.
- [15] 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):69-74.
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):69-74.
- [16] 李娟,闫乃欣,郎绪婷,等. 提高系统稳定性的调谐型 TCIPC 非线性控制器设计[J]. 电力自动化设备,2013,33(5):60-64.
LI Juan,YAN Naixin,LANG Xuting,et al. Nonlinear controller of TCIPC for improving power system stability[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(5):60-64.

作者简介:



李娟

李娟(1972-),女,山东荣城人,教授,博士,主要研究方向为电力系统运行控制及 FACTS(E-mail:hitljzgy@163.com);

刘玉娇(1988-),女,吉林通化人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统运行控制及 FACTS(E-mail:liuyujiao365@163.com)。

直流电容储能反馈和负载功率前馈的 Boost 变换器控制策略

姜卫东,吴志清,胡 杨,佘阳阳

(合肥工业大学 电气与自动化工程学院,安徽 合肥 230009)

摘要: 从 Boost 变换器的状态空间平均方程数学模型出发,推导出其功率传递关系。在此基础上提出了一种以电流作为内环、直流侧电容储能作为外环的反馈控制策略,电流内环采用滞环电流控制,电容储能外环采用 PI 调节器控制,并设计了相应的控制器。为了进一步提高系统的快速性,减小负载扰动对系统的影响,引入负载功率的前馈,并给出了前馈功率的估计算法。实验比较了传统的电压电流双闭环和所提控制策略的动、稳态特性,结果表明,所提出的控制策略能满足系统稳态时的控制要求,并且较传统的电压电流双闭环控制策略具有更好的动态特性。

关键词: Boost; 变换器; 储能; 反馈控制; 电流控制; 双闭环; 负载功率前馈; 前馈控制

中图分类号: TM 46

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.08.018

0 引言

Boost 变换器广泛应用于电动汽车、航空航天电源系统、LED 照明、不间断电源系统等领域。近年来特别是在移动电站、电力系统功率因数校正以及新能源并网等场合,Boost 变换器的重要性越来越得到体现。随之而来的是对其系统动、静态性能的要求也逐渐提高。在状态空间平均法下,Boost 变换器的数学模型是一组时变非线性方程^[1-3],传统的控制策略是利用泰勒展开式进行局部线性化,这种近似方法忽略了高阶非线性项,因此是不精确的。

为了得到更好的控制性能,研究人员做了大量的工作:文献[4-5]基于 Boost 电路的非线性数学模型,

提出了相应的优化控制,提高了控制的准确性;文献[6-8]利用非线性系统的微分几何理论,在 Boost 变换器仿射非线性模型基础上,推导出对应的非线性坐标变换矩阵和状态反馈表达式,得到 Boost 变换器状态反馈精确线性化模型;文献[9]通过对电路的分析,得出了其小信号状态空间模型,并利用模糊 PI 控制算法修改控制参数以提高系统的速度;文献[10]基于输入/输出反馈线性化提出一种新的非线性控制方案,采用以非线性控制的电感电流作为内环、具有 PI 控制的电容电压作为外环的串级结构。这些方法较多依赖电路参数的精确性,且控制算法实现较为复杂。

通过对数学模型(即状态空间平均模型)做相应的变形,可以得到 Boost 变换器的能量的交换关系。在此基础上,本文提出了一种电流内环、直流侧电容储能作为外环的反馈控制策略,并引入了负载功率

收稿日期:2013-07-19;修回日期:2014-06-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51007018)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51007018)

Influence of TCIPC with parallel MOV on transient process

LI Juan, LIU Yujiao, WANG Xinran, LIU Hailong, CUI Honglan

(School of Electrical Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: The over-voltage caused by TCIPC (Thyristor-Controlled Interphase Power Controller) in grid power control can be suppressed by connecting MOV (Metal Oxidized Varistor) in parallel to it, but the parallel MOV will influence the transient process of its operating mode change. The mechanism of TCIPC over-voltage is explored based on its basic structure and the dynamic model of TCIPC with parallel MOV is established. The PI correction impedance controller is designed, which, with the power as the reference, takes the entrance bus voltage of TCIPC and the line current as the coordination components. The simulative analysis for two equivalent power systems with weak AC interconnection via TCIPC shows that, the power flow regulating capability of system is reduced and the transient process of stability restoration is prolonged.

Key words: interconnected power systems; flexible AC transmission systems; thyristor-controlled interphase power controller; metal oxidized varistor; transient analysis; over-voltage