



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 104022514 B

(45) 授权公告日 2016. 02. 24

(21) 申请号 201410240161. 8

(22) 申请日 2014. 05. 30

(73) 专利权人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁路 28 号

专利权人 西北电网有限公司

(72) 发明人 刘俊 段超 张振宇 王吉利

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务
所 61215

代理人 何会侠

(51) Int. Cl.

H02J 3/16(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 203607855 U, 2014. 05. 21,

CN 101710820 A, 2010. 05. 19,

CN 1738188 A, 2006. 02. 22,

US 2008310069 A1, 2008. 12. 18,

审查员 陈新红

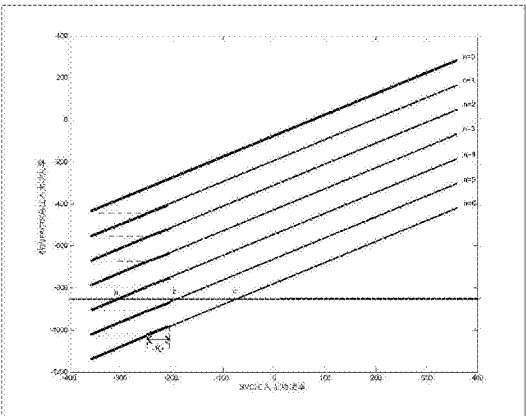
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优
协调控制方法

(57) 摘要

分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,在装有分级可调高压电抗器和静止无功补偿器的超高压输电线路变电站内,在多运行方式下,按照电压的稳态运行要求,投入合适的可控电抗器档数,利用分级可调高压电抗器与静止无功补偿器实现无功的连续调节。在不同的无功功率需求下,站内的无功补偿设备应运行在图中粗黑线对应的状态下,即图中粗黑线为站内无功补偿设备协调运行线。此最优协调控制方法能够减少柔性交流输电设备分散控制所带来的额外功率损耗,避免多台补偿设备工作在图中 b、c 等可行组合方式上而投有多余档位的电抗的情况;同时在暂态过程中空出的可控高压电抗器能够留有更多的档位来抑制过电压;而且方便实现无功功率的连续可调,使得当超高压输电线路重载和轻载时,变电站母线电压均能被控制到合适的电压水平。



1. 分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,其特征在于:在装有分级可调高压电抗器和静止无功补偿器的超高压输电变电站内,当超高压线路重载时,利用站内控制中心获取各无功补偿设备的运行状态信息,预先投入静止无功补偿器中的固定电容器 FC 补偿,按照电压的稳态运行要求,通过控制分级可调高压电抗器与静止无功补偿器的可控电抗器 TCR 的晶闸管触发,利用连续调节型静止无功补偿器与分级调节型分级可调高压电抗器配合实现连续感性无功功率可控:即根据电压参考值,减少分级可调高压电抗器所投入电抗容量至当前最低,并协调静止无功补偿器实现无功功率的连续控制;当超高压线路轻载时,控制静止无功补偿器的固定电容器 FC 无功容量全部退出,如果静止无功补偿器的感性无功容量仍未能满足电压要求,则分级可调高压电抗器按照电压的稳态运行要求,投入相应的电抗容量,利用分级可调高压电抗器与静止无功补偿器的可控电抗器 TCR 实现无功功率的连续调节。

2. 根据权利要求 1 所述的分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,其特征在于:减小超高压输电变电站内分级可调高压电抗器、静止无功补偿器各设备未协调控制所带来的额外功率损耗,即尽量避免设备之间同时投有电容和电抗时的无功功率交换。

3. 根据权利要求 1 所述的分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,其特征在于:尽量空出分级可调高压电抗器的电抗容量以抑制暂态过电压。

4. 根据权利要求 1 所述的分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,其特征在于:静止无功补偿器的连续可调部分预留 5% 的自保持容量。

5. 根据权利要求 1 所述的分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,其特征在于:多台分级可调高压电抗器之间按照均衡负担原则来协调,即避免某一台分级可调高压电抗器频繁动作而降低其操作使用寿命。

分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于电力系统运行与控制领域,具体涉及一种分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法。

背景技术

[0002] 近年来,超高压、特高压电网在我国很多地区相继投入运行,对电网的安全稳定运行及电能质量提出了更高的要求。提高电网的安全运行水平和电能质量,除电网结构本身要合理外,还必须要有先进的调节控制手段。

[0003] 由于超、特高压输电线路电压等级高,所以线路电容产生的无功功率很大,不对称短路故障和甩负荷引起的工频过电压很高,因此为了降低特高压电气设备的绝缘水平,必须降低工频过电压。由于并联电抗器的电感能够补偿线路的对地电容,减小流经线路的容性电流,削弱电容效应,所以采用并联高压电抗器是限制特高压输电线路工频过电压的最主要手段。为了限制过电压,需要在长距离特高压线路上装设高补偿度的高压电抗器,传统不可控电抗器为限制操作过电压,长期并入电网,具有以下弊端:(1) 增大等效波阻抗,减少自然功率值和线路传输能力;(2) 在重载输电时,电抗器依然从系统吃进大量无功,从而使受端系统需要增加额外容性补偿;(3) 因电抗器有持续的有功损耗而增大输电成本,在传输大功率时会造成很大的附加功耗、降低线路电压。而可控电抗器可以根据系统潮流平滑地调节电抗值,解决系统因潮流大范围变化所造成的无功补偿和电压调节问题。

[0004] 电网在提高输电能力的同时,容性无功功率的增加以及不同地区水、火电比重的不同和由于风电场和光伏电站等新能源的大量接入导致系统潮流变化加剧等原因,使得电力系统需要更为经济有效的动态无功补偿手段。在无功补偿方面,电网中现有的无功补偿装置主要有开关投切固定电容器组(FC)、晶闸管投切电容器(TSC)、晶闸管控制电抗器(TCR)、静止无功补偿器(SVC)和静止同步补偿器(STATCOM)等并联无功补偿设备。

[0005] 在电力系统的历史发展过程中,输电电压等级逐步升高,在超高压、特高压输电出现以前,传统无功补偿的需求是容性补偿。通过并联容性补偿装置向系统注入无功功率以提升系统电压水平。在超高压、特高压输电诞生以后,问题即发生了深刻变化。由于超高压、特高压输电线路的对地等效电容很大,输电线固有的无功补偿效应在线路轻载情况下导致与传统电力系统相反的问题,即系统稳态电压过高。为抑制这种威胁系统设备安全的工频稳态过电压,在超高压、特高压输电线路两端加装并联电抗器是一个自然的选择。但是,对于系统潮流发生大范围变化的系统以及考虑到保持系统良好的暂态特性的需求,固定并联电抗器由于“固定”并不能满足系统调压要求。因此,系统必须根据系统的具体应用场景在合适的线路或母线安装一定容量的可调并联无功补偿。工程问题的基本考量是技术性能与经济指标的妥协。从技术性能上看连续的、响应速度快的、能够大范围进行容性和感性补偿的装置是最理想的,如西北电网与新疆联网二通道就采用了固定高压电抗器、分级可调高压电抗器(SCSR)和静止无功补偿器(SVC)组合的方法来实现使二通道局部电网无功补偿可以连续、快速、大范围调节的需求。

[0006] 但感性分级可调高压电抗器 SCSR 与感性 / 容性连续可调的静止无功补偿器 SVC 在不同运行方式下的协调控制方法仍是电网运行中亟待解决的难题。

发明内容

[0007] 为了解决上述现有技术存在的问题,本发明的目的在于提供一种分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,能够在多运行方式下,实现快速电压控制的连续可调,使得当超高压输电线路重载和轻载时,变电站母线电压均能被控制到合适的电压水平,减少柔性交流输电设备分散控制所带来的额外功率损耗,并能有效抑制超高压轻载时的工频过电压。

[0008] 为达到以上目的,本发明采用如下技术方案:

[0009] 一种分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,在装有分级可调高压电抗器 (SCSR) 和静止无功补偿器 (SVC) 的超高压输电线路变电站内,当超高压线路重载时,利用站内控制中心获取各无功补偿设备的运行状态信息,预先投入 SVC 中全部的固定电容器 FC 补偿,按照电压的稳态运行要求,通过控制 SCSR 与 SVC 中感性支路 TCR 的晶闸管触发,减少 SCSR 所投入电抗容量至当前最低,协调 SVC 实现无功功率的连续控制。其中, SVC 连续可调部分的电抗值应略大于 SCSR 单级的电抗值,利用 SCSR 单级的电抗值与 SVC 连续可调部分的电抗值之差,即 SVC 的连续可调部分预留 5% 的自保持容量,以保证 SCSR 与 SVC 的协调控制,且不至于频繁切换分级可控高压电抗器 SCSR 的档位;当超高压线路轻载时,控制 SVC 的容性支路 (固定电容器组 FC) 全部退出,如 SVC 的感性容量仍不能满足电压要求,则 SCSR 按照电压的稳态运行要求,投入相应的电抗容量,利用 SCSR 与 SVC 组合实现无功功率的连续调节。

[0010] 本发明利用 SCSR 单级的电抗值与 SVC 连续可调部分的电抗值之差,快速协调多个无功补偿设备的控制方法,能够避免电力系统既投入容性无功又投入感性无功从而增加运行损耗的分散控制方式,同时使得多个设备可以连续控制无功功率的补偿容量,为电力系统调压提供了一种十分有效的方法。由于对变电站母线电压快速有效的调节,减小了超高压线路的稳态运行损耗,提高了电力系统的安全性同时降低了电力系统的运行成本,从而可产生巨大的经济效益。

附图说明

[0011] 图 1 为分级变压器式可控电抗器的电路原理图。

[0012] 图 2 为分级变压器式可控电抗器的电抗值控制规律图。

[0013] 图 3 为西北六省区电网 750kV 网架结构示意图。

[0014] 图 4 为分级可控电抗器与 SVC 协调运行的无功功率控制图。

具体实施方式

[0015] 以下结合附图及具体实施例题,对本发明作进一步的详细描述。

[0016] 分级变压器式可控电抗器 SCSR 的电路原理图如图 1 所示。在图 1 中,可控电抗器工作绕组接线端子 A, X 直接与特高压电网母线连接。 XK_1 、 XK_2 、 $\cdots$ 、 XK_{N-1} 、 XK_N 为限流电抗器,与可控电抗器控制绕组接线端子 a, x 并联连接。 K_1 、 K_2 、 $\cdots$ 、 K_{N-1} 、 K_N 和 TK_1 、 TK_2 、 $\cdots$ 、 TK_{N-1} 、

TK_N分别为串联在控制绕组电路中的隔离开关和反向并联晶闸管。隔离开关可以防止由于控制操作失误而导致的电气故障,同时还可以用来进行电路之间的切换操作,以改变系统的运行方式。D₁、D₂、…、D_{N-1}、D_N为断路器,分别与相对应的反向并联晶闸管和隔离开关串联组合并联接在电路中。

[0017] 随着负载由空载向额定功率变化,有规律地控制反并联晶闸管导通或截止,从而改变工作绕组电流,达到分段调节工作绕组电流的目的。晶闸管导通后,并联于两端的断路器合闸,承担回路长期短路电流,晶闸管退出运行。由于晶闸管总是工作于投切状态,故这种可控电抗器是不连续的分级调整的。

[0018] 随着负载由空载向额定功率变化,有规律地控制 TK₁、TK₂、…、TK_{N-1}、TK_N导通或截止,从而改变工作绕组电流,达到分段调节工作绕组电流的目的,其控制规律如图 2 所示。在图 2 中,“1”表示 TK_i (i = 1、2、…、N) 导通或 XK_i (i = 1、2、…、N) 接入电路,“0”表示 TK_i (i = 1、2、…、N) 断开或 XK_i (i = 1、2、…、N) 断开。“X”表示导通或截止均可,例如,在此电路中,如果 TK₁、TK₂断开,TK₃导通,不管 TK₄、TK₅、…、TK_{N-1}、TK_N导通与否,此时的限流电抗器只有 XK₁、XK₂接入控制绕组中。晶闸管导通后,并联其两端的断路器合闸,承担回路长期短路电流,晶闸管推出运行。由于晶闸管总是工作于投切状态,故这种可控电抗器是不连续的分级调整的。

[0019] 分级式可控并联电抗器实质上是副边绕组短路电抗分级变化的单绕组变压器。假设副边绕组个物理量都已规算至原边工作绕组。TK_p投入运行时,XK₁、XK₂、…、XK_{p-1}串入副边,忽略励磁电流和线圈电阻,则分级投切型变压器式可控电抗器的电抗值为

$$[0020] \quad X_p = X_k + \sum_{i=1}^{p-1} XK_i$$

[0021] 其中,X_k为原副边漏抗。于是通过控制晶闸管的投切,即控制 p 值,就可控制电抗值。

[0022] 例如图 3 所示,沙洲变的并联补偿装置为③号设备 SVC 和④、⑥号设备分级可控并联电抗器组成。分级可控并联电抗器④和⑥各有 4 级可调,当两条线路并联运行时,④和⑥总体上成为一台 7 级可调的并联电抗器。于是,沙洲站补偿装置的总注入无功功率 (MVar) 可表示为:

$$[0023] \quad Q_s = Q_{SVC} - 39 \times 2 - 117 \times N \quad (-360 \leq Q_{SVC} \leq 360, 0 \leq N \leq 6)$$

[0024] 其中:Q_s为沙洲变并联无功补偿装置注入节点的总无功功率;Q_{SVC}为沙洲变 SVC 注入节点的无功功率;N 为分级可控电抗器投入的档数;常数项为固定并联补偿。

[0025] 在同时装有 SCSR 和 SVC 的超高压输电沙洲变电站内,利用本发明所提出的分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,从图 4 可以看到,对于沙洲站某一确定的无功需求,可以用多个不同的无功设备运行组合予以满足,即:

[0026] 当超高压线路重载时,利用站内控制中心获取各无功补偿设备的运行状态信息,预先投入 SVC 中的固定电容器 FC 补偿,按照电压的稳态运行要求,通过控制 SCSR 与 SVC 的可控电抗器 TCR 的晶闸管触发,利用连续调节型 SVC 与分级调节型 SCSR 配合实现连续感性无功功率可控;即根据电压参考值,减少 SCSR 所投入电抗容量至当前最低,并协调 SVC 实现无功功率的连续控制;

[0027] 当超高压线路轻载时,控制 SVC 的 FC 无功容量全部退出,如 SVC 的感性无功容量

仍未能满足电压要求,则 SCSR 按照电压的稳态运行要求,投入相应的电抗容量,利用 SCSR 与 SVC 的 TCR 实现无功功率的连续调节。

[0028] 具体以前述实例进行分析,当前运行方式下,需要沙洲站无功设备注入系统的无功功率为 -850MVar ,即图 4 中水平虚线所示,则沙洲变的无功补偿装置有 a、b、c 三种组合方式可满足该需求。但是协调 SCSR 与 SVC 的控制方法时应做到:

[0029] 首先,尽量空出分级可控高压电抗器的容量,即选择 $n = 4$ 档的 a 点作为最优控制点, b、c 点无功补偿容量与 a 点相同,但是 SCSR 的档位分别为 5 档和 6 档。这一原则出于三点考虑,一是运行的高压电抗器伴随着有功功率的损耗;二是,尽量减小站内各种并联补偿设备之间的无功功率交换。即保持各个设备不会同时既投入电容又投入电感;三是,预留的高压电抗器无功补偿容量,便于在暂态过程能够迅速吸收大量无功来抑制过电压;

[0030] 然后,需要特别注意的是,如若当前的运行方式刚好处于 SCSR 的换挡临界点, SVC 的连续可调部分预留一定的自保持容量,如图 4 中箭头标出的 ΔQ 部分所示。此原则可以避免在特定运行方式下 SVC 的感性无功与 SCSR 调整一级的感性无功接近,如遇风电、光伏的小幅波动,或者负荷的扰动,会导致分级可控高压电抗器在两档位之间频繁切换;

[0031] 最后,多台 SCSR 之间可以按照均衡负担原则来协调控制。这一原则主要是考虑避免单台可控高压电抗器的机械开关动作次数过多而过早达到其操作使用寿命,有利于延长设备使用期限和降低检修、更换费用等。

[0032] 综上所述,本发明分级可调高压电抗器与静止无功补偿器最优协调控制方法,可将多个无功补偿设备运行在图 4 中 a 的组合方式下。据此可知,在不同的无功功率需求下,沙洲站的无功补偿设备应运行在由图 4 中粗黑线对应的状态下,即图 4 中粗黑线为沙洲站内无功补偿设备最优协调运行线。

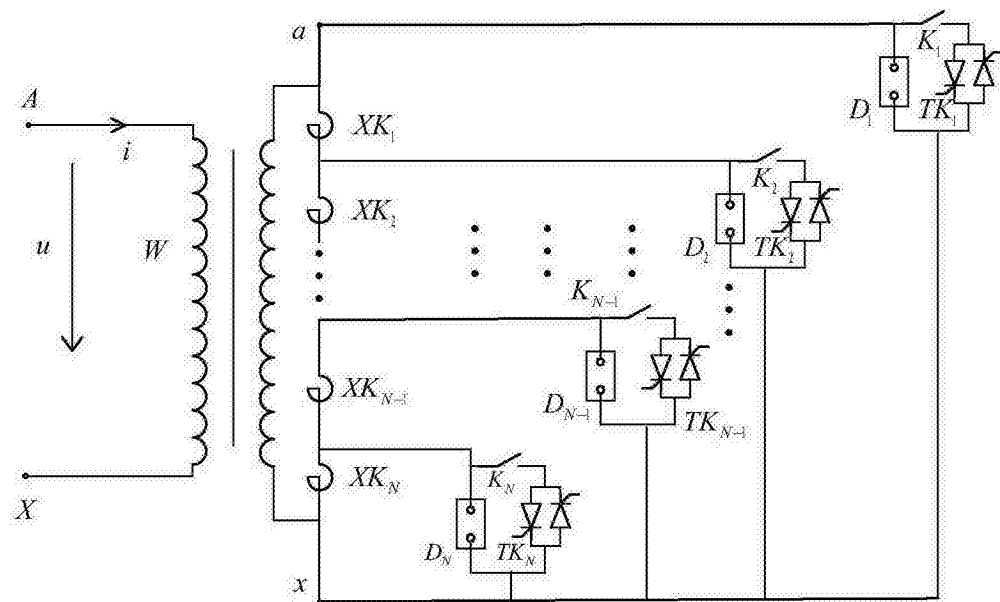


图 1

TK_1	TK_2	TK_3	$\dots$	$\dots$	TK_{N-1}	TK_N	XK_1	XK_2	XK_3	$\dots$	$\dots$	XK_{N-1}	XK_N
1	X	X	$\dots$	$\dots$	X	X	0	0	0			0	0
0	1	X	$\dots$	$\dots$	X	X	1	0	0			0	0
0	0	1	X	$\dots$	X	X	1	1	0			0	0
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
0	0	0	$\dots$	$\dots$	0	0	1	1	1	$\dots$	1	0	0
0	0	0	$\dots$	$\dots$	0	1	1	1	1	$\dots$	1	1	0
0	0	0	$\dots$	$\dots$	0	0	1	1	1	$\dots$	1	1	1

图 2



图 3

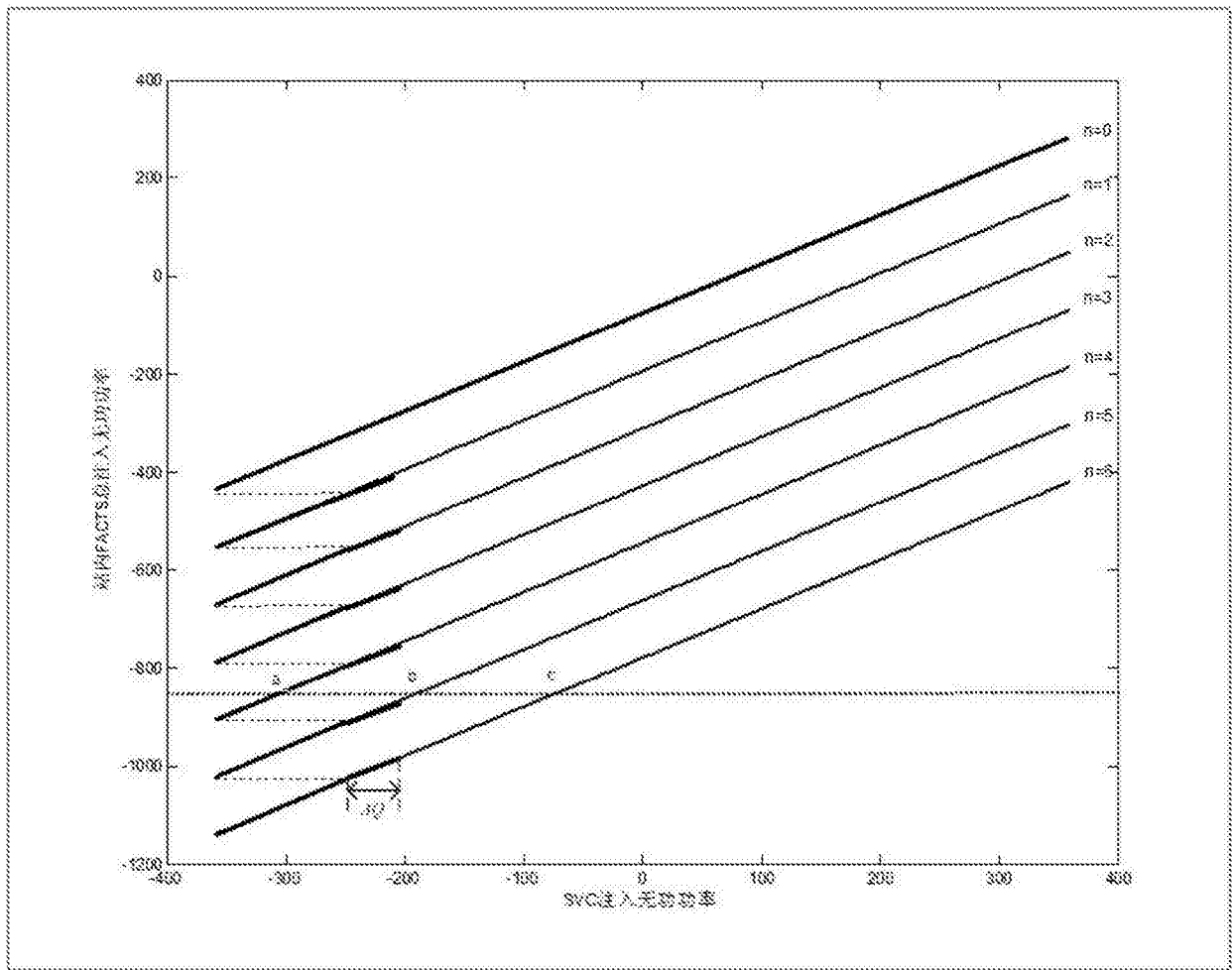


图 4