

使用 SVC 以抑制机网次同步振荡

武云生¹, 卓 华²

(1. 陕西电力科学研究院, 陕西 西安 710054; 2. 北京国华电力有限责任公司, 北京 100025)

摘要: 利用经 500 kV/35 kV 启备变压器接入电厂 500 kV 母线的静止无功补偿器 (SVC), 通过发电机轴系转速偏差反馈进行 SVC 电纳调制, 并配合适当的 SVC 主参数与控制设计, 有效地抑制了大型火电厂经 500 kV 串补线路外送而产生的机网次同步振荡 (SSO)。介绍了该型 SVC 的新型接线方式、电纳调制控制策略和设计特点, 以及现场试验结果。

关键词: 静止无功补偿器; 次同步振荡; 电纳调制控制

中图分类号: TM761+.1; TM712

文献标识码: A

文章编号: 1671-8410(2011)04-0038-06

Application of SVC on Damping Subsynchronous Oscillations in Power Systems

WU Yun-sheng¹, ZHUO Hua²

(1. Shaanxi Electric Power Research Institute, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. Beijing Guohua Electric Power Co., Ltd., Beijing 100025, China)

Abstract: Applying static var compensators (SVC) connecting with 500 kV bus of power plant through 500 kV/35 kV starting up stand by transformer, completing SVC susceptance modulation var speed deviation feedback of generator's shaft system, and adopting SVC main parameters and control design, the Subsynchronous Oscillation (SSO) is damped effectively caused by large-scale thermal plant through 500 kV series compensating line. It introduces a novel wire-connecting method, susceptance modulation control strategy, design characteristics and field trial result.

Key words: static var compensator; subsynchronous oscillations; susceptance modulation control

0 引言

汽轮发电机组经串补线路向远端输电易诱发机网次同步振荡 (SSO), 危及机组大轴安全。自 20 世纪 70 年代以来, 国外对振荡机理及抑制措施做了大量研究, 曾有两套专用于抑制机网次同步振荡的相控电抗器, 并作了短期运行; 而国内至今尚无用于抑制次同步振荡的静止无功补偿器 (SVC) 投入使用。SVC 抑制机电耦合次同步谐振的效果和对电网的影响, 主要与其接入电

网方式 (包括接入点位置) 有效控制容量、控制策略和主参数设计等有密切关系。国外曾采用的典型接线方式, 是将相控电抗器 (TCR) 通过专用的变压器连接到发电机机端 20 kV 母线上, 且未配置电力滤波器 (FC), 通过专用变压器多绕组特殊连接方式来抵消主要高次谐波电流, 也称为动态稳定器。

分析研究表明, SVC (TCR+FC) 采用经 500 kV/35 kV 普通降压变压器接入电厂 500 kV 母线的新型接线方式, 仅使用机组轴系作为相控电抗器的调制控制信号, 在合适的电力滤波器参数配合下, 具有很好的抑制机网次同步谐振能力。按此方法设计的 SVC 已在锦界电厂投运, 现场试验结果表明, 其抑制次同步谐振能力符合预期, 且对电网无不良影响。

收稿日期: 2011-05-30

作者简介: 武云生 (1964-), 男, 高级工程师, 致力于电力系统电能质量的监测与治理, 电网高次谐波消谐装置的研发, 以及无功补偿及控制技术等研究工作。

1 接线与控制信号选择

SVC 抑制次同步谐振的能力,与其接入点位置及使用的输入控制信号有关。

仅使用汽轮发电机大轴转速增量作为输入信号的单输入控制方式,相控电抗器(TCR)通过多绕组变压器连接到发电机母线的接线方式(称为动态稳定器),20世纪80年代初在美国SAN JUAN 发电厂得到了实际使用。其接线原理如图1所示。经现场试验与运行证明,该装置具有一定的抑制汽轮发电机组机电耦合次同步谐振能力^[1]。

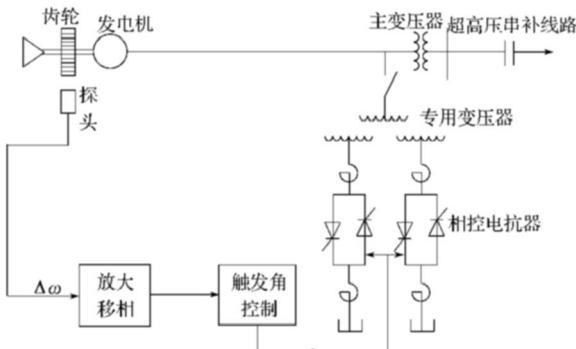


图1 国外已使用的 SVC 接线方式 (单输入方式)
Fig.1 SVC configuration used in foreign countries (single input)

国外进一步的研究表明^[2],使用SVC抑制次同步谐振,还可使用多输入信号控制方式,即除了使用发电机转速偏差信号配合相应调节器外,还可同时使用SVC母线电压信号并配合相应电压调节器。其单相接线原理如图2所示。由于增加了电压回馈控制,具有更好的抑制次同步谐振能力,但控制复杂,影响因素多,尚无实际应用。

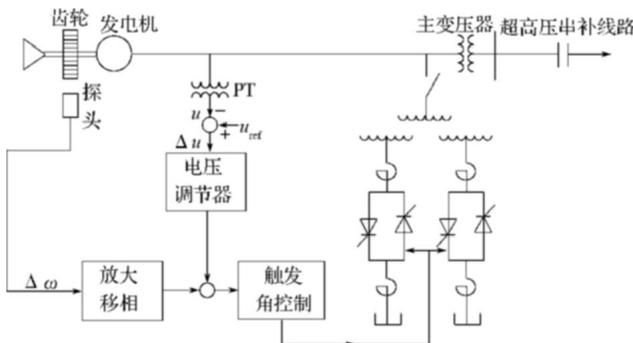


图2 双输入 ($\Delta\omega$, u) SVC 接线方式
Fig.2 SVC configuration with dual input ($\Delta\omega$ and u)

上述两种接线与控制方式中,第一种虽然较为实用和成熟,但需使用较复杂的多绕组变压器,且由于装置直接连接在发电机机端母线上,增加了母线故障几率。因此,本文提出了一种使用单输入信号的新接线方式,其特点是将SVC连接在普通降压变压器的35 kV侧,降压变压器500 kV侧连接在电厂500 kV母线上,SVC主

设备由TCR和滤波器组成(图3)。新接线方式中可以使用电厂的两台500 kV/35 kV启备变压器兼作连接SVC的降压变压器,而无需新增降压变压器。SVC(及其连接变压器)不直接与发电机母线连接,不会增加发电机母线故障几率。但是,由于发电机母线与电厂500 kV母线之间通过存在较大漏抗的主升压变压器连接,故从500 kV母线到发电机内电势的电气距离(即二者之间的阻抗)一般情况下比发电机机端母线到发电机内电势的电气距离要大得多。因此,SVC调制生成的起抑制作用的次同步频率电流流入发电机的部分如果减少(流往电网的部分如果增多),将会使其抑制发电机次同步谐振能力下降,该问题需进行分析判断。文献[3-4]中应用瞬时对称分量变换分析方法,对图1和图3的两种接线方式下SVC抑制次同步谐振能力作了比较分析。理论分析结果表明,新接线方式同样有较好的抑制次同步谐振的能力。

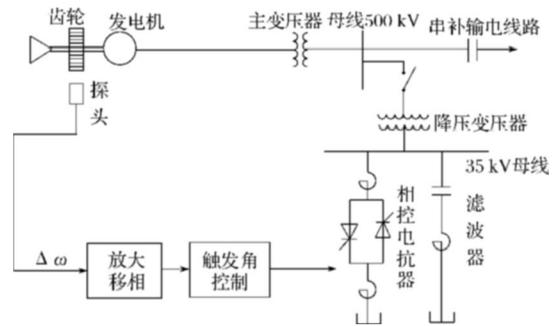


图3 锦界电厂使用的 SVC 单输入 ($\Delta\omega$) 接线方式
Fig.3 SVC configuration used in Jinjie Power Plant (single input)

SVC与发电机之间电气距离明显增大后,SVC抑制次同步谐振的效力并不受到明显影响的原因可从分析计算公式及其物理概念上解释:在发生机电系统次同步谐振时,系统对于SVC注入的电气次同步谐振频率的电流处于谐振状态,不能按一般(非谐振状态)电路分析,在这种谐振电路中,电气距离的影响发生了巨大变化。

2 电纳调制控制策略

使用SVC来抑制发电机轴系机电耦合次同步谐振,其实质是根据实时测量的谐振信号来调制控制相控电抗器触发角,使流过相控电抗器的电流具有我们期望的波形,使波形中含有的对应于发电机大轴某一模态频率的电流分量较大并具有合适的相角。此次同步电流分量从SVC接入点流入到发电机定子绕组中,产生次同步阻尼转矩,起到抑制机电耦合次同步谐振的作用。显然,除了接入点、SVC容量等影响因素外,关键在于如何调制控制才能产生期望的TCR电流波形(频率、幅值与相角)。为此采用了TCR电纳调制控制技术,其控

制框图如图4所示。

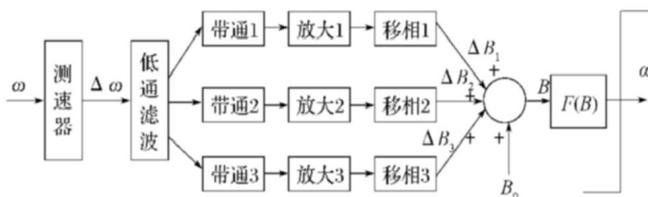


图4 SVC 控制系统框图

Fig.4 Block diagram of SVC control system

从控制框图可见，测速器测量轴系转速，处理后（去除转子刚性转速）输出，其中包括3个扭振模态及干扰；通过低通及3个相应模态频率带通滤波器后得到3个扭振模态分量的波形；再分别经放大移相后将3个模态分量相加，最后与偏移分量 B_0 相加后得 $B(t)$ ($B(t)$ 为 B_0 与3个模态分量之和)波形作为调制波，将TCR电纳按照 $B(t)$ 波形调制，计算出触发角以触发TCR，从而使其电纳与期望波形 $B(t)$ 相同。但因使用普通晶闸管作为可控开关，受其有限可控性的影响不能完全达到期望值，调制所得TCR电纳为 $B_T(t)$ ，与 $B(t)$ 并不相同，但含有3个扭振频率分量。 $B_T(t)$ 中含有杂散分量 $B_r(t)$ 因此形式上有：

$$B_T(t) = B_0 + B_1(t) + B_2(t) + B_3(t) + B_r(t) \quad (1)$$

$$i_T(t) = (B_0 + B_1(t) + B_2(t) + B_3(t) + B_r(t))u(t) \quad (2)$$

式中： $i_T(t)$ ——TCR电流； $u(t)$ ——TCR母线电压。

若图4中数字滤波器设计合理 $B_1(t)$ 、 $B_2(t)$ 、 $B_3(t)$ 应反映轴系中3个模态分量 B_1 、 B_2 、 B_3 ，即分别具有

n_1 、 n_2 、 n_3 的频率，则有：

$$\left. \begin{aligned} B_1(t) &= B_{1m} \cos(\omega_{n1} + \phi_1) \\ B_2(t) &= B_{2m} \cos(\omega_{n2} + \phi_2) \\ B_3(t) &= B_{3m} \cos(\omega_{n3} + \phi_3) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

n_1 、 n_2 、 n_3 分别为相应模态分量固有机扭振频率， B_{1m} 、 B_{2m} 、 B_{3m} 、 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 主要与输入信号、控制放大环节、移相环节及由 $=F(B)$ 反映的调制过程有关。而 $u(t)=u_m \cos t$ ，为工频。

从而SVC注入电网的电流为：

$$i_T(t) = B_T(t)u(t) = (B_0(t) + B_1(t) + B_2(t) + B_3(t))u(t) + B_r(t)u(t) \quad (4)$$

考虑到：

$$B_{im} u_m \cos(\omega_m t + \phi_i) \cos \omega t = \frac{1}{2} B_{im} u_m [\cos((\omega - \omega_m) - \phi_i) + \cos((\omega + \omega_m) + \phi_i)] \quad (5)$$

则有：

$$i_T(t) = B_0 u_m \cos \omega t + \frac{u_m}{2} \sum_{i=1}^3 B_{im} [\cos((\omega - \omega_m) - \phi_i) + \cos((\omega + \omega_m) + \phi_i)] + B_r(t) u_m \cos \omega t \quad (6)$$

可见 $i_T(t)$ 中有与轴系各机械扭振模态频率 n_i 对应的具有互补频率 ($-\omega_{ni}$) 的次同步频率电流分量及频率为 ($+\omega_{ni}$) 的超同步频率电流分量，其流入相应发电机定子绕组后，将对该 n_i 模态的次同步振荡产生正阻尼转矩，起到阻尼作用。阻尼作用的大小取决于 B_{im} 的大小及合理的角度 ϕ_i 。而 B_{im} 与 ϕ_i 主要受SVC容量、调制算法 $F(B)$ 及控制放大环节、移相环节参数等影响。因此，在SVC容量确定后，需选择合理的调制算法和控制参数，使用EMTDC数字仿真和动模试验来优化控制参数，并还需在投运现场进行相应的测试校核。

若将式(6)最后一项 $B_r(t)u_m \cos t$ 中 $B_r(t)$ 近似地分解为傅氏级数，那么此项即为各次谐波电流与间谐波电流，故需配电力滤波器予以滤除。

由于母线电压 $u(t)$ 中含有次同步和超同步频率电压分量以及谐波电压成分，实际生成的 $i_T(t)$ 比式(1)更复杂，但当SVC设计合理且抑制次同步谐振有效时，母线电压非正弦基波成分不大，对 $i_T(t)$ 影响不大，式(6)仍然可用。

3 相控电抗器静态工作点的选择与滤波器参数的配合

正确选择TCR静态工作点，并相应合理地确定滤波器参数，对正常发挥SVC抑制次同步谐振能力、有效滤除谐波和降低降压变压器负荷与损耗等均有重要作用。在选择TCR静态工作点和确定滤波器参数时，需尽可能满足下列条件：

(1) 在无次同步谐振时，静态工作点对应的TCR等值工频容量应尽可能与滤波器工频补偿容量平衡，以减少降压变压器承受的负荷，并减小降压变压器的损耗。

(2) 滤波器能够有效滤除工作于静态工作点时TCR产生的主要高次谐波电流，不影响电网正常运行。

(3) 在发生次同步谐振时，SVC在抑制次同步谐振时不会因产生直流电流分量偏磁而使饱和的降压变压器与滤波器发生铁磁饱和谐振过电压(过电流)，进而危及降压变压器安全。流入电网的动态和暂态谐波电流较小，其对电网的影响在合理范围内。

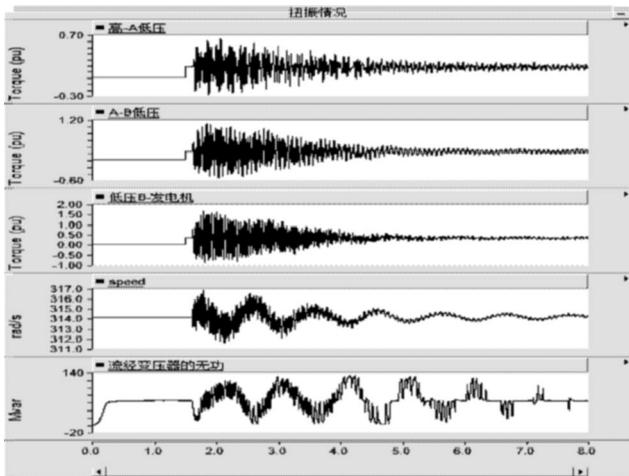
(4) 充分发挥SVC抑制次同步谐振的能力，不会因静态工作点选择不佳而影响SVC抑制次同步谐振的效果。

经分析计算确定了锦界电厂SVC每套有效可控容量为80 MVA，因此，若选取对应静态工作点的TCR容量为感性40 Mvar，并配以工频补偿容量为40 Mvar的滤波器，则二者达到平衡。基本上不增加降压变压器负荷与损耗，可满足第(1)条要求。

按照TCR三相三角形接线,每套SVC有效可控容量80 MVA,对应静态工作点的TCR容量为40 Mvar,配以总工频补偿容量40 MVA的3次和5次两个单调谐滤波支路,3次支路工频补偿容量19 Mvar,5次支路工频补偿容量21.6 Mvar。以上构成一个SVC主参数设计方案。考虑电厂及电网参数对此进行了谐波计算,计算结果表明,在稳态运行时滤波器能有效滤除TCR产生的主要高次谐波电流,满足国标相应要求。因此,这可满足上述第(2)条的要求。

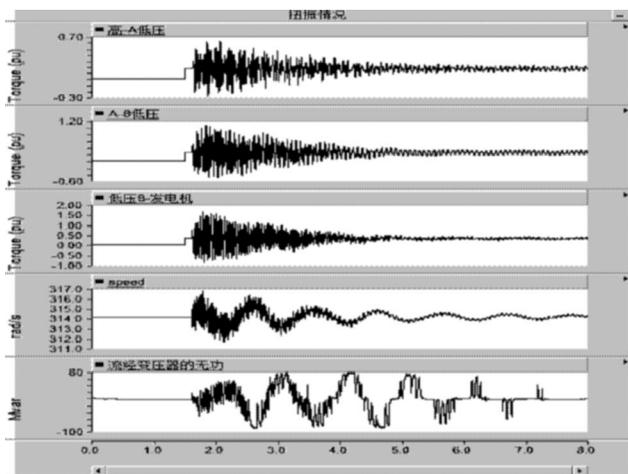
分析计算还表明,在考虑非对称因素影响和存在其他3次谐波源时,特别是从防止3次谐波谐振角度,使用3、5次滤波支路优于使用5、7次滤波支路。

在锦界串补线路三相故障激发的严重次同步谐振工况下,对有无滤波器两种方案的EMTDC仿真计算结果分别见图5和图6。



(1.6 s时故障工况下,转矩、转速、变压器内无功功率曲线)

图5 无滤波器时的EMTDC仿真结果
Fig.5 EMTDC simulation results without FC



(1.6 s故障工况下,转矩、转速、变压器内无功功率曲线)

图6 每套SVC配40 MVA滤波器时的EMTDC仿真结果
Fig.6 EMTDC simulation results for each SVC fitted by 40 MVA filter

比较图5和图6的波形可见:有无滤波器时抑制次同步谐振的效果基本相同,看不出明显变化;而通过降压变压器的无功功率则差别很大,无滤波器情况下流过降压变压器的无功比有滤波器情况下大的多。可见,有滤波器时对电网的影响很小,有利于满足第(3)条要求。

经仿真计算表明,选择的静态工作点可使SVC工作于能最充分发挥潜力的状态,满足了第(4)条要求。

4 SVC接线

电厂共4台发电机组,分别通过升压主变压器连接到电厂500 kV母线,电厂有2台500 kV/35 kV启备变压器(图7中降压变压器),每台启备变压器35 kV侧连接2套SVC。由于4台相同SVC均是通过同样参数的启备变压器接入到同一500 kV母线,属完全对称接线方式,故每2台电机转速信号取平均值后可送往2套SVC控制器,以实现互为备用。SVC主电路的接线如图7所示。

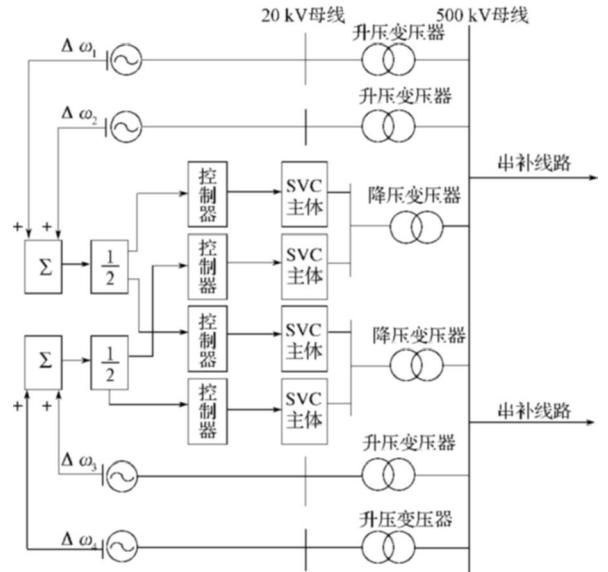


图7 电厂SVC接线方式

Fig.7 SVC configuration in power plant

5 现场试验结果及典型波形分析

2009年4月对SVC进行了现场系统调试。现场试验包括各种工况的串补线路投切试验、发电机投切以及串补线路人工瞬时单相接地故障试验,结果均表明SVC具有符合要求的抑制次同步谐振的能力。人工瞬时单相接地故障试验时SVC对次同步谐振抑制效果录波如图8所示。

串补线路人工瞬时接地试验时,实测了TCR角内电流 i_{ab1} 、TCR角外电流 i_{a1} 、流入500 kV/35 kV降压变压器35 kV侧电流 i_T 的波形。TCR与滤波器FC和降压变压器T

的接线关系及上述测量点如图9所示。现场实测的角内电流波形及其傅立叶频谱如图10所示,角外电流及其

频谱如图11所示,流往降压变压器35kV侧电流的波形及其频谱如图12所示。

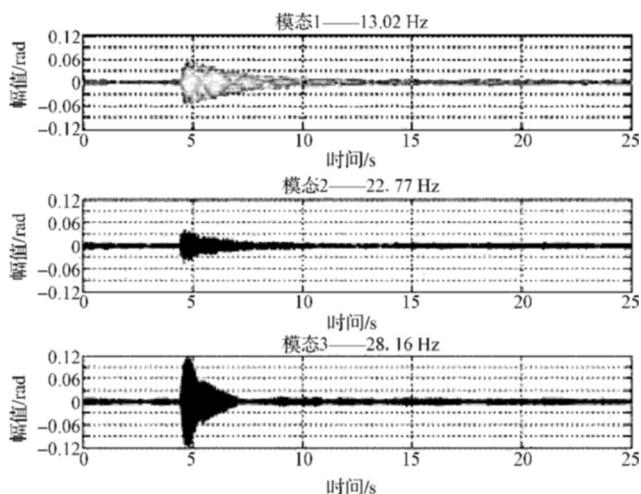
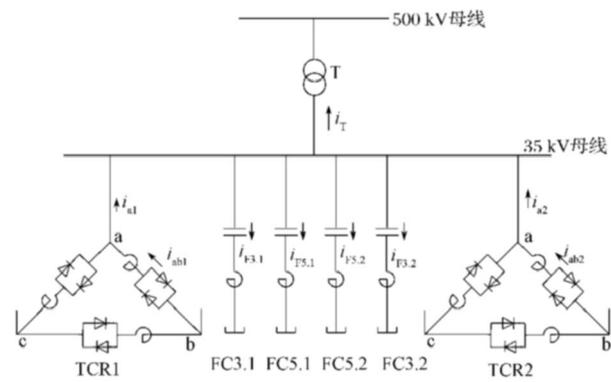


图8 忻石II线人工瞬时单相短路试验时锦界电厂1#机现场录波模态波形(SVC已投入)

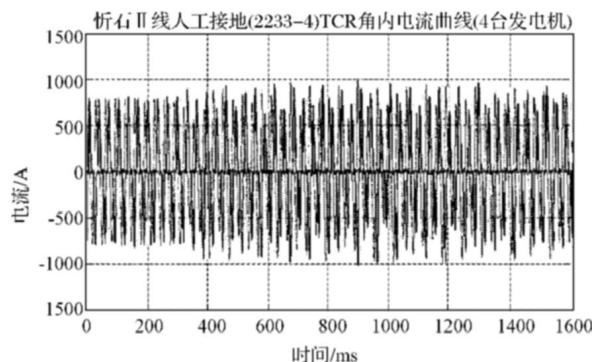
Fig.8 The measuring modal oscillation waveform in Jinjie unit 1# with artificial instantaneous single-phase short-circuit test at Xinshi line (with SVC)



注: i_{ab1} ——TCR1角内电流; i_{ab2} ——TCR2角内电流; i_{a1} ——TCR1角外电流; i_{a2} ——TCR2角外电流; i_T ——500 kV/35 kV降压变压器35 kV侧电流; $i_{F3.1}$ 、 $i_{F3.2}$ 、 $i_{F5.1}$ 、 $i_{F5.2}$ ——流入各滤波支路电流

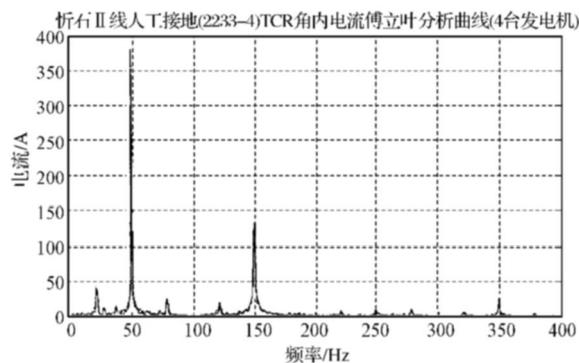
图9 SVC接线及测量点示意图

Fig.9 SVC configuration and measuring points



(a) TCR1角内电流 i_{ab1} 波形

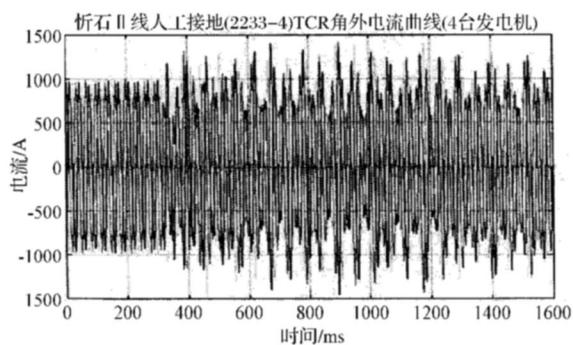
(a) waveform of the current i_{ab1} in TCR1



(b) TCR1角内电流 i_{ab1} 频谱图

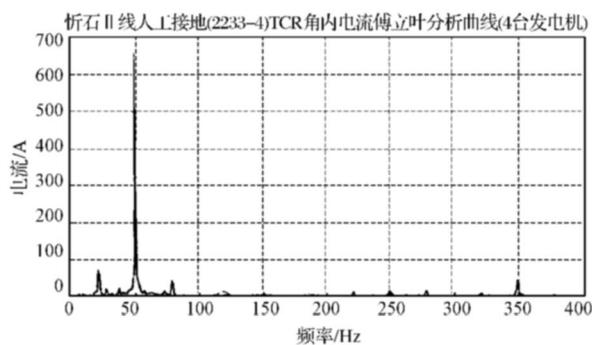
(b) Frequency spectrum of the current i_{ab1} in TCR1

图10 TCR1角内电流 i_{ab1} 波形和频谱图
Fig.10 Waveform and frequency spectrum of the current i_{ab1} in TCR1



(a) TCR1角外电流 i_{a1} 波形

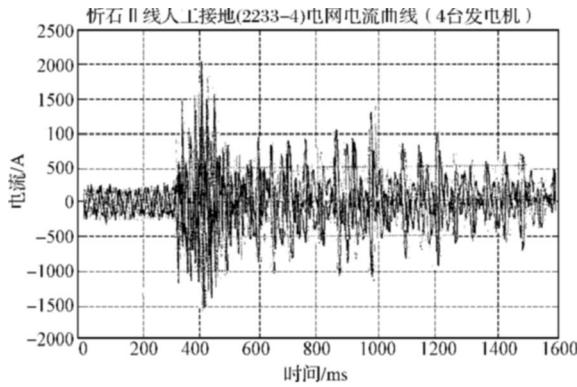
(a) waveform of the current i_{a1} out of TCR1



(b) TCR1角外电流 i_{a1} 频谱图

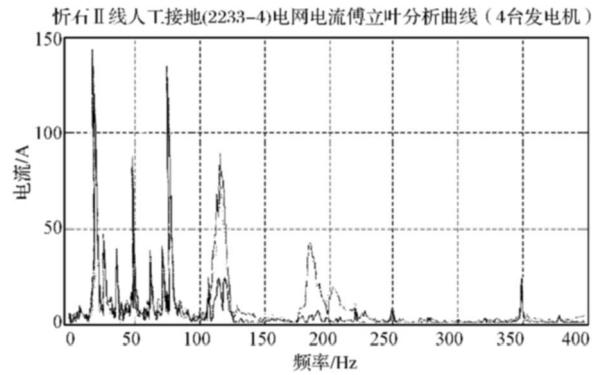
(b) Frequency spectrum of the current i_{a1} out of TCR1

图11 TCR1角外电流 i_{a1} 波形和频谱图
Fig.11 Waveform and frequency spectrum of the current i_{a1} out of TCR1



(a) 流入变压器低压侧电流 i_T 波形

(a) Waveform of the current i_T flowing in to the low-voltage side of transformer



(b) 流入变压器低压侧电流 i_T 频谱(二相)

(b) Frequency spectrogram of the current i_T flowing in to the low-voltage side of transformer

图 12 流入变压器低压侧电流 i_T 波形和频谱(二相)

Fig.12 Waveform and frequency spectrogram of the current i_T flowing in to the low voltage side of transformer

从频谱图 11(b) 可见, 从 TCR1 流向 35 kV 母线的电流 i_{a1} 主要为工频电流, 其次为 (50-28.16) Hz 次同步频率电流, 也有 (50-22.78) Hz、(50-13.02) Hz 以及 (50+28.16) Hz 等次同步及超同步电流, 还有各整数次谐波电流和间谐波电流, 其中基波电流远大于其他分量电流。

变压器低压侧电流 i_T 等于 2 套 TCR 角外电流之和 (即 $i_{a1} + i_{a2}$) 再减去流入各滤波支路电流 (即减去 $i_{F3.1}$, $i_{F3.2}$, $i_{F5.1}$ 和 $i_{F5.2}$)。从 i_T 的频谱图 12(b) 可见, 由于各滤波器支路的工频补偿作用, i_T 中的工频基波电流大大减小, 远小于 i_{a1} 和 i_{a2} 中基波电流之和; 由于各滤波支路对高次谐波的滤除作用, i_{a1} 和 i_{a2} 中等于和高于 3 次的谐波电流得到适当的滤除, 甚至 i_{a1} 和 i_{a2} 中原来相对较大的 7 次谐波在 i_T 中也已降低到允许程度。从图 11(b) 和图 12(b) 还可看到, TCR 产生的各模态电气频率的次同步及超同步谐振电流在流向降压变压器低压侧时, 受滤波器影响其值略有轻微放大, 最低阶滤波支路为 3 次调谐, 这与理论分析结果是相符合的。

从上述注入降压变压器低压侧电流频谱可见, SVC 注入电网的电流主要为对应于当前运行方式下电网次同步频率电流和超同步频率电流。结合现场试验结果, 这表明控制策略与方式正确有效。从频谱图还可看到, 注入降压变压器的次同步电流与超同步电流大小相同, 这与理论分析是吻合的。

串补线路瞬时人工接地试验时, 现场实测的注入变压器 35 kV 侧各次谐波电流值见表 1。从表 1 可见, 在瞬时接地故障前和故障消除后, 各次谐波电流均能满足国标要求, 即使故障瞬间的动态谐波电流也不大。还可看到, 在发生次同步谐振期间, 即使使用了 3 次滤波器, 仍有少量 3 次谐波电流未能滤尽而注入电网; 如无 3 次滤波器则流入电网的 3 次谐波电流可能很大, 可见装设 3 次滤波器是必要的。

现场试验结果表明, 控制策略与控制方案是正确有效的, 配合以适当参数的滤波器后, 能产生并向电网注入频率与相位适当的各模态电气频率电流, 有效地抑制次

表 1 忻石 I 线人工瞬时接地试验期间(4 台发电机, 接地前、接地瞬间及接地消除)3 个阶段注入降压变压器 35 kV 侧各次谐波电流

Tab.1 Every harmonic currents injected into the 35 kV-side of step-down transformer in three stages(four generators, before grounding at the grounding moment after eliminating the grounding) during I line of Xinshi artificial instantaneous grounding trial (A)

	基波	H 2	H 3	H 4	H 5	H 6	H 7	H 8	H 9	H 10	H 11	
接地前	A 相	110.9	10.9	12.1	11.0	6.1	2.5	28.1	0.9	3.3	1.3	12.1
	B 相	91.5	6.6	13.0	4.8	8.3	0.8	25.4	0.5	1.2	0.9	11.7
	C 相	130.2	13.0	5.7	11.8	7.5	3.4	29.6	1.6	2.2	0.9	13.5
接地瞬间	A 相	218.5	291.1	90.5	206.2	42.1	22.4	61.9	144.8	42.7	17.9	11.7
	B 相	288.5	406.9	169.7	188.3	42.9	3.2	69.3	142.2	55.7	22.9	10.8
	C 相	170.9	115.2	96.7	33.9	15.1	20.6	16.9	4.0	17.1	7.7	6.4
接地消除	A 相	64.6	15.1	26.0	11.8	18.6	12.1	29.5	5.7	5.8	4.6	18.2
	B 相	84.9	9.8	21.0	18.7	6.5	8.2	33.3	5.2	5.2	4.6	16.5
	C 相	73.1	18.4	21.4	10.9	11.4	3.8	24.1	2.0	1.5	2.6	10.7

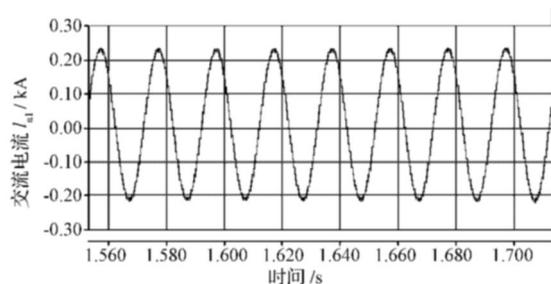


图 12 补偿时整流器回馈电流

Fig. 12 Feedback current waveforms of rectifier after compensation

5 结语

本文针对 10 kV 配电系统 DVR 结构,在分析了单相电压型 PWM 整流器功率因数控制的原理及特点的基础上,提出了一种更适用的直流电压单闭环控制策略,并利用 PSCAD 软件对所提出的整流控制策略结合 DVR 检测算法、补偿策略以及底层调制方式进行了仿真。仿真结果不仅证明了 DVR 补偿的有效性,同时还验证了所

提出的直流电压单闭环控制方式的可行性。

参考文献:

- [1] Campbell A, McHattie R. A dynamic voltage restorer case study[J]. Power Engineering Journal, 1999, 13(3): 153-158.
- [2] Taylor GA. Power quality hardware solutions for distribution systems: Custom Power[C]// IEE North Eastern Centre Power Section Symposium on the Reliability Security and Power Quality of Distribution Systems Durham. 1995, 5(4): 111-119.
- [3] Woodley NH. Experience with an inverter-based dynamic voltage restorer[J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1999, 14(3): 1181-1186.
- [4] 刘志刚. 电力电子学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 189-199.
- [5] 王英, 张纯江, 陈辉明. 三相 PWM 整流器新型相位幅值控制数学模型及其控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(11): 84-89.
- [6] IEEE Std 1159-1995-IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality[S]. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1995: 11-23.
- [7] 许湘莲. 基于级联多电平逆变器的 STATCOM 及其控制策略研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.

(上接第 43 页)

同步谐振,并能补偿 TCR 工频电流分量,使流经降压变压器的工频电流负荷大大降低,还能有效滤除谐波分量。

6 结语

本研究采用基于电纳调制的控制策略,非机端的新接入方式,开发了用于抑制机网次同步振荡的 SVC,并经现场调试后投入运行,为国内外抑制机网次同步谐振等提出了有效的解决思路和解决方案。根据本研究工作及投运后的运行情况可得出如下结论:

(1) 将 SVC 通过电厂启备变压器连接在发电机升压变压器高压侧 500 kV 母线上,这种抑制次同步谐振的新型 SVC 接线方式,具有将 SVC 连接在发电机机端母线上的传统接线方式所不具备的一些特点,为 SVC 抑制机网次同步谐振的方案设计,提供了一种接线选择。

(2) 采用电纳调制控制技术,按发电机组轴系次同步扭振波形,对 TCR 电纳进行调制,可以调制出各扭振模态频率对应的次同步频率电流,并在合理的控制参数下具有符合要求的相角,流入到发电机产生正阻转矩,能够有效地抑制次同步谐振。

(3) 由于接入点为电厂 500 kV 高压母线,而非发电机的机端母线,可以实现 SVC 对机网次同步谐振抑制的

多机共用,从而达到互为备份、提高可靠性的目的。

(4) 合理地设计相控电抗器初始工作点,配合适当参数的电力滤波器,可以有效滤除可控电抗器产生的高次谐波,使谐波水平达到国标相应要求,并能有效抑制暂态和动态谐波的不利影响,还可以减轻启备变压器的负荷,确保启备变压器安全运行。

(5) 按此方式设计的专用于抑制机网耦合次同步谐振的 SVC 装置,已于 2009 年在锦界电厂投运。包括串补线路单相接地故障的现场试验表明,其抑制机网次同步谐振的能力达到预期要求,对电网与电厂的扰动影响在允许范围内。

参考文献:

- [1] Ramey D G. Dynamic Stabilizer Verification Test at the San Juan Station[J]. IEEE Trans. on Power Apparatus and System, 1981, 100(12): 5011-5019.
- [2] Hammad A E. Application of a Thyristor Controlled Var Compensator for Damping Subsynchronous Oscillations in Power Systems[J]. IEEE Trans. on Power Apparatus and System, 1984, 103(1): 198-212.
- [2] Putman T H, Ramey D G. Theory of the Modulated Reactance Solution for subsynchronous Resonance[J]. IEEE Trans. on Power Apparatus and system, 1982, 101(6): 1527-1539.
- [4] Lyon W V. Transient Analysis of Alternating Current Machinery [M]. New York: MIT Press, 1954.