



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101409450 B

(45) 授权公告日 2011. 05. 18

(21) 申请号 200710196710. 6

CN 86205336 U, 1988. 02. 10, 全文 .

(22) 申请日 2007. 11. 30

段建民, 张焰, 王承民, 孙建生, 周坚, 曹路, 蒋逸静. 提高大规模电力系统静态电压稳定性的无功补偿方法. 上海交通大学学报 39 12. 2005, 39(12), 2088-2092.

(73) 专利权人 澳门大学

地址 中国澳门氹仔徐日昇寅公馬路澳门大学科技学院

审查员 刘江

(72) 发明人 黄民聪 林智声 戴宁怡

(74) 专利代理机构 广东秉德律师事务所 44291

代理人 杨焕军

(51) Int. Cl.

H02J 3/18(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1710773 A, 2005. 12. 21, 全文 .

US 6075350 A, 2000. 06. 13, 全文 .

CN 101069334 A, 2004. 11. 07, 全文 .

JP 特开平 8-207626 A, 1996. 08. 13, 第 9-10

段, 附图 1.

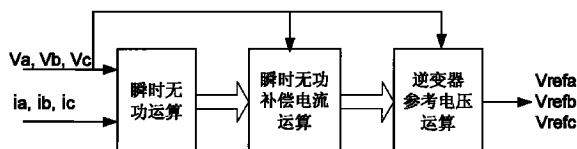
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 5 页

(54) 发明名称

通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置及控制方法

(57) 摘要

本发明涉及电力系统中的静态同步无功补偿装置及控制方法, 该补偿装置包括基于全控型电力电子器件的电压型逆变器、连接逆变器和电力系统的容性阻抗以及控制装置, 所述容性阻抗包括一个为了补偿无功而设定的电容和一个为了抑制电流波动而加的电感。由于采用了容性阻抗连接, 逆变器直流部分的电压大大降低, 减小了无功补偿的成本和开关损耗, 该控制方法包括: 首先计算三相的瞬时无功, 再由瞬时无功计算出每相需要的无功补偿电流, 根据补偿电流的基频有效值和容性阻抗计算逆变器补偿基频无功所需输出的基波电压, 动态补偿无功。由于各相无功功率独立计算从而实现了动态的不对称无功补偿, 并且在三相三线和三线四线系统中都适用。



1. 一种通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置,包括:基于全控型电力电子器件的电压型逆变器以及控制装置,还包括连接逆变器和电力系统的容性阻抗,所述容性阻抗包括一个为了补偿无功而设定的电容和一个为了抑制电流波动而加的电感;其特征在于,所述电容取值通过以下步骤确定:

通过下式确定电容的容性阻抗:

$$X_c = \frac{V_s^2}{Q_0} \quad ; \text{其中 } V_s \text{ 是电力系统相电压的有效值, } Q_0 \text{ 是根据所述通过容性阻抗连接的}$$

静态同步无功补偿装置安装地点所需的无功补偿容量确定的单相平均无功功率,  $Q_0$  可以通过下式来计算:

$$Q_0 = \frac{1}{T} \int_0^T Q dt \quad ; \text{其中, } Q \text{ 为负载的瞬时无功功率,时间 } T \text{ 根据所述通过容性阻抗连接的}$$

的静态同步无功补偿装置安装地点的负荷波动情况来选定,可以选择一天或者一周或其它的时间长度;进而所述电容的大小可以根据下式确定:

$$C = \frac{1}{\omega X_c} \quad ; \omega = 2\pi f_s, f_s \text{ 为电力系统运行的频率};$$

所述电感的取值可以根据下式估算:

$$L = k \cdot \frac{E \cdot T_s}{I_{\text{ripple}}} \quad ; \text{式中 } E \text{ 是所采用逆变器输出电压发生一个电平的变化时的电压输出差值,}$$

$T_s$  是脉宽调制的控制周期,  $I_{\text{ripple}}$  是实际系统对输出电流设定的波动范围,  $k$  是调整系数,  $k$  选取 0.4 ~ 0.6 之间的数值,并避免电感与所述电容谐振在谐波频率。

2. 一种基于权利要求 1 装置的通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿控制方法,其特征在于包括如下步骤:

(1) 按照下式计算三相的瞬时无功功率:

$$\vec{q} = q_a \hat{n}_a + q_b \hat{n}_b + q_c \hat{n}_c$$

式中  $\hat{n}_a, \hat{n}_b$  和  $\hat{n}_c$  为 a, b, c 系统的坐标基,而  $q_a = v_b i_c - v_c i_b$ ,  $q_b = v_c i_a - v_a i_c$ ,  $q_c = v_a i_b - v_b i_a$ , 分别为每相的无功功率,  $v_a, v_b, v_c$  为 a, b, c 方向的瞬时系统电压值;  $i_a, i_b$  及  $i_c$  为 a, b, c 方向的瞬时负载电流值;

(2) 再由瞬时无功功率计算出每相需要的无功补偿电流,由下式计算得到:

$$i_{Ca} = \frac{(q_b v_c - q_c v_b)}{\Delta}, i_{Cb} = \frac{(q_c v_a - q_a v_c)}{\Delta}, i_{Cc} = \frac{(q_a v_b - q_b v_a)}{\Delta}, \text{其中 } \Delta = v_a^2 + v_b^2 + v_c^2;$$

(3) 利用以下公式来计算容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置的电压型逆变器输出电压的有效值  $\vec{V}_{INVC}$ , 动态补偿无功:

$$\vec{V}_{INVC} = \left( V_a - \frac{I_{Ca}}{\omega C} \right) \hat{n}_a + \left( V_b - \frac{I_{Cb}}{\omega C} \right) \hat{n}_b + \left( V_c - \frac{I_{Cc}}{\omega C} \right) \hat{n}_c$$

其中  $V_j$  ( $j = a, b, c$ ) 是系统侧电压的有效值,  $I_{Cj}$  ( $j = a, b, c$ ) 是每相无功补偿电流的基频有效值,  $\omega = 2\pi f_s$ ,  $f_s$  为电力系统运行的频率,  $C$  为根据权利要求 1 中已选定的电容值。

## 通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统中的静态同步无功补偿装置及控制方法,属于电气工程中的变流技术领域。

### 背景技术

[0002] 传统的无功补偿手段有机械投入的并联电容器,以及调相机等几种。但它们都存在一些的问题,如最常见的并联电容器就有运行不便,在系统电压降低时不能有效的提供无功支持等缺点。而调相机虽然动态性能较好,运行范围也较宽,但是由于包含转动部分,其设备及运行成本都较高。

[0003] 灵活交流输电 (FACTS) 技术的出现给电力系统带来了新的控制技术和应用手段。静态无功补偿器 (Static Var Compensator, SVC) 和静态同步补偿器 (Static Synchronous Compensator, STATCOM) 是用来调节交流电网无功,即进行无功补偿的重要 FACTS 设备。与传统的电磁器件相比,他们的动态响应速度快,工作范围宽,容性或感性补偿都很容易实现。其中 SVC 基于可控硅型开关元件,主要由一系列无源元件组成。STATCOM 是由基于 GTO 或 IGBT 等开关组件的逆变器,直流电容和连接 STATCOM 与电力系统的无源元件组成。文献“静止同步补偿器与传统静止无功补偿器的比较与分析”(华东电力,2005. Vol. 33 No. 9: 16-18) 中指出,与 SVC 相比 STATCOM 响应速度快、控制稳定性好、交流侧电源谐波含量较小,但 STATCOM 的控制比 SVC 复杂,成本也较高。

[0004] 现有的 STATCOM 通过纯电感将三相电压逆变器并联到电力系统中,如“无功补偿装置的控制方法及装置”(中国发明专利,公开日:2003年9月6日,公开号 CN1414679)。图 1 是现有 STATCOM 的系统结构示意图。STATCOM 通过控制逆变器的输出电压达到改变注入系统无功功率的目的。实际系统中,大多数负载是感性负载,需要补偿器注入容性无功来补偿功率因数。如图 2 所示,当 STATCOM 向系统注入容性无功的时候,电压型逆变器的输出电压必须高于系统电压,这使得电压型逆变器直流电容部分必须保持较高的电压,相应的逆变器所选用的开关元件也必须有较高的耐压值,因而增加了成本;随着直流电容电压值的增大,开关损耗也随之增大。

[0005] 现有的无功补偿装置通过变压器或电感将三相电压逆变器并联到电力系统中,而变压器运行时有直流偏磁的问题,在专利“无功电力补偿装置”(日本特许厅,公开日:1996年8月13日,公开号:JP 特开平 8-207626A) 中,通过串联电容以减低无功补偿装置中变压器的直流偏磁,在此系统中的串联电容等效于直流滤波器的作用,但串联连接逆变器和电力系统之间的基频等效总阻抗仍为感性,不能利用该电容做无功补偿以减小逆变器的直流侧电压,从而减小逆变器的容量。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是为了减小电压型逆变器的直流电容电压,降低开关元件的成本以及开关损耗,提供一种通过容性阻抗将逆变器并联在电力系统中的静态无功补偿装置及控

制方法。

[0007] 为了实现以上目的,本发明提供一种通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置,包括:基于全控型电力电子器件的电压型逆变器以及控制装置,还包括连接逆变器和电力系统的容性阻抗,所述容性阻抗包括一个为了补偿无功而设定的电容和一个为了抑制电流波动而加的电感;其特征在于,所述电容取值通过以下步骤确定:

[0008] 通过下式确定电容的容性阻抗:

[0009]  $X_c = \frac{V_s^2}{Q_0}$ ; 其中  $V_s$  是电力系统相电压的有效值,  $Q_0$  是根据所述通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置安装地点所需的无功补偿容量确定的单相平均无功功率,  $Q_0$  可以通过下式来计算:

[0010]  $Q_0 = \frac{1}{T} \int_0^T Q dt$ ; 其中,  $Q$  为负载的瞬时无功功率, 时间  $T$  根据所述通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置安装地点的负荷波动情况来选定, 可以选择一天或者一周或其它的时间长度; 进而所述电容的大小可以根据下式确定:

[0011]  $C = \frac{1}{\omega X_c}$ ;  $\omega = 2\pi f_s$ ,  $f_s$  为电力系统运行的频率;

[0012] 所述电感的取值可以根据下式估算:

[0013]  $L = k \cdot \frac{E \cdot T_s}{I_{ripple}}$ ; 式中  $E$  是所采用逆变器输出电压发生一个电平的变化时的电压输出差值,  $T_s$  是脉宽调制的控制周期,  $I_{ripple}$  是实际系统对输出电流设定的波动范围,  $k$  是调整系数,  $k$  选取 0.4 ~ 0.6 之间的数值, 并避免电感与所述电容谐振在谐波频率。

[0014] 本发明提供一种基于权利要求 1 装置的通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿控制方法, 其特征在于包括如下步骤:

[0015] (1) 按照下式计算三相的瞬时无功功率:

[0016]  $\vec{q} = q_a \hat{n}_a + q_b \hat{n}_b + q_c \hat{n}_c$ ;  $\vec{q} = q_a \hat{n}_a + q_b \hat{n}_b + q_c \hat{n}_c$

[0017] 式中  $\hat{n}_a$ ,  $\hat{n}_b$  和  $\hat{n}_c$  为 a, b, c 系统的坐标基 (即方向矢量), 而  $q_a = v_b i_c - v_c i_b$ ,  $q_b = v_c i_a - v_a i_c$ ,  $q_c = v_a i_b - v_b i_a$ , 分别为每相的无功功率,  $v_a$ ,  $v_b$ ,  $v_c$  为 a, b, c 方向的瞬时系统电压值;  $i_a$ ,  $i_b$  及  $i_c$  为 a, b, c 方向的瞬时负载电流值;

[0018] (2) 再由瞬时无功功率计算出每相需要的无功补偿电流, 由下式计算得到:

[0019]  $i_{Ca} = \frac{(q_b v_c - q_c v_b)}{\Delta}$ ,  $i_{Cb} = \frac{(q_c v_a - q_a v_c)}{\Delta}$ ,  $i_{Cc} = \frac{(q_a v_b - q_b v_a)}{\Delta}$ , 其中  $\Delta = v_a^2 + v_b^2 + v_c^2$ ;

[0020] (3) 利用以下公式来计算容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置的电压型逆变器输出电压  $\vec{V}_{INVC}$ , 动态补偿无功:

[0021]  $\vec{V}_{INVC} = \left( V_a - \frac{I_{Ca}}{\omega C} \right) \hat{n}_a + \left( V_b - \frac{I_{Cb}}{\omega C} \right) \hat{n}_b + \left( V_c - \frac{I_{Cc}}{\omega C} \right) \hat{n}_c$

$\vec{V}_{INVC} = \left( V_a - \frac{I_{Ca}}{\omega C} \right) \hat{n}_a + \left( V_b - \frac{I_{Cb}}{\omega C} \right) \hat{n}_b + \left( V_c - \frac{I_{Cc}}{\omega C} \right) \hat{n}_c$

[0022] 其中  $V_j$  ( $j = a, b, c$ ) 是系统侧电压的有效值,  $I_{Cj}$  ( $j = a, b, c$ ) 是每相无功补偿电

流的基频有效值,  $\omega = 2\pi f_s$ ,  $f_s$  为电力系统运行的频率,  $C$  为根据权利要求 1 中已选定的电容值。

[0023] 以上的方案, 由于采用了容性阻抗连接, 逆变器直流部分的电压大大降低, 减小了无功补偿的成本和开关损耗, STATCOM 逆变器部分的容量大大减小, 现有的基于链式或多电平的逆变器可以被简单的两电平或三电平逆变器所取代, 成本随之降低。所提出的容性阻抗连接的 STATCOM 同时可以实现动态的不对称无功补偿, 提高电网的电能质量。该技术方案同时适用于三相三线和三相四线的电力系统。

### 附图说明

- [0024] 图 1 为现有 STATCOM 系统结构示意图 ;
- [0025] 图 2 为现有电感连接的 STATCOM 补偿感性无功时的向量图 ;
- [0026] 图 3 为本发明提供的容性阻抗连接的 STATCOM 系统结构示意图 ;
- [0027] 图 4 为本发明提供的容性阻抗连接的 STATCOM 补偿感性无功时的向量图 ;
- [0028] 图 5 为本发明提供的 STATCOM 系统控制原理方框图 ;
- [0029] 图 6 为仿真例一中采用两电平三相全桥逆变器的容性阻抗连接的 STATCOM 系统结构图 ;
- [0030] 图 7 为仿真例一三相三线系统中电压和负载电流波形图 ;
- [0031] 图 8 为仿真例一无功补偿后的系统电压和电流波形图 ;
- [0032] 图 9 为仿真例二中采用两电平四桥臂逆变器的容性阻抗连接的 STATCOM 系统结构图 ;
- [0033] 图 10 为仿真例二三相四线系统中电压和负载电流波形图 ;
- [0034] 图 11 为仿真例二无功补偿后的系统电压和电流波形图。

### 具体实施方式

[0035] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步详细描述。

[0036] 如图 3 所示, 通过容性阻抗连接的静态同步无功补偿装置 (STATCOM) 包括: 基于全控型电力电子器件 (GTO 或 IGBT) 的电压型逆变器、连接逆变器和电力系统的容性阻抗、以及控制装置, 其中所述控制装置用于控制逆变器中的电力电子器件, 属于习知技术, 所以图 3 中未示。当图 3 所示的 STATCOM 向系统注入容性无功的时候, 逆变器输出电压和系统电压的相位关系如图 4 所示。如果选取适当的容性阻抗值, 电压型逆变器的输出电压将大大低于系统电压, 这使得电压型逆变器直流电容部分的电压大大降低, 相应的逆变器所选用的开关元件的耐压值可以降低, 从而减小装置的成本和开关损耗。

[0037] 针对以上所提出的新型 STATCOM, 其所采用的控制方法包括: 首先, 计算三相的瞬时无功; 然后, 再由瞬时无功计算出每相需要的无功补偿电流; 之后, 根据补偿电流的基频有效值和容性阻抗计算逆变器补偿基频无功所需输出的基波电压, 动态补偿无功。该方法的实现过程如下:

[0038] (一) 容性阻抗的参数确定

[0039] 根据准备安装 STATCOM 的地点所需的无功补偿容量, 连接 STATCOM 和电力系统的容性阻抗可以通过下式来确定:

$$[0040] \quad X_c = \frac{V_s^2}{Q_0}$$

[0041] 其中  $V_s$  是电力系统相电压的有效值,  $Q_0$  是单相无功功率。当电压单位为伏特 (V) 时, 功率单位为伏安 (VA)。当电压单位为千伏 (KV) 时, 功率单位应采用兆伏安 (MVA)。考虑到负载无功是不断变化的,  $Q_0$  可以通过下式来计算:

$$[0042] \quad Q_0 = \frac{1}{T} \int_0^T Q dt$$

[0043] 其中  $Q$  为负载的瞬时无功功率, 时间  $T$  可以选择一天或者一周或其它的时间长度, 主要根据 STATCOM 安装地点的负荷波动情况来选定。 $Q_0$  实际上是一个平均无功功率, 当系统需要补偿的无功就是  $Q_0$  时, 逆变器输出的无功将是最小。当负载需要补偿的无功  $Q$  在平均值上下波动的时候, 就通过控制电压型逆变器的输出电压来调节补偿装置输出的无功功率。根据需要补偿的无功波动的范围就可以确定逆变器输出电压的范围。

$$[0044] \quad V_{INV} = \left(1 - \frac{Q}{Q_0}\right) V_s$$

[0045] 从而根据不同电压型逆变器的直流电压与输出电压的关系, 可以确定相应的电压型逆变器直流部分的电压。

[0046] 根据容性阻抗值, 就可以根据下式, 计算出相应的电容大小。

$$[0047] \quad C = \frac{1}{\omega X_c}, \quad \omega = 2\pi f_s, \quad f_s \text{ 为电力系统运行的频率};$$

[0048] 电容与逆变器之间需要串接一个小电感, 以避免逆变器输出电压对于电容的直接冲击, 同时可以平滑逆变器输出电流的波形。电感的取值可以根据下式估算:

$$[0049] \quad L = k \cdot \frac{E \cdot T_s}{I_{ripple}}$$

[0050] 其中  $E$  是所采用逆变器输出电压发生一个电平的变化时的电压输出差值,  $T_s$  是脉宽调制的控制周期,  $I_{ripple}$  是实际系统对输出电流设定的波动范围,  $k$  是调整系数, 考虑到脉宽调制下的输出电压不会在整个控制周期都处于同一个电平的状态, 实际需要的电感值要比上式计算所得偏小,  $k$  可以选取 0.4 ~ 0.6 之间的数值。考虑到 STATCOM 只补偿系统无功, 在选取电感值时, 要避免电感与连接电容谐振在谐波频率, 如 150Hz, 250Hz 等, 否则 STATCOM 输出会发生谐振, 影响补偿效果和系统稳定。

[0051] 加入连接电感后, STATCOM 与系统连接的阻抗可以由下式计算得到。因为电感的阻抗往往大大小于根据无功补偿容量估算出的电容的阻抗, STATCOM 与系统之间的连接阻抗将始终保持容性。

$$[0052] \quad Z_{coupling} = j\omega L - j \frac{1}{\omega C}$$

[0053] (二) 逆变器输出电压检测方法

[0054] 根据瞬时无功的定义, 三相系统的无功功率为一个三维矢量, 可以按照下式计算:

$$[0055] \quad \vec{q} = q_a \hat{n}_a + q_b \hat{n}_b + q_c \hat{n}_c \vec{q} = q_a \hat{n}_a + q_b \hat{n}_b + q_c \hat{n}_c$$

[0056] 式中  $\hat{n}_a$ ,  $\hat{n}_b$  和  $\hat{n}_c$  为 a, b, c 系统的坐标基 (即方向矢量), 而  $q_a = v_b i_c - v_c i_b$ ,  $q_b =$

$v_c i_a - v_a i_c$ ,  $q_c = v_a i_b - v_b i_a$ , 分别为每相的无功功率,  $v_a$ 、 $v_b$ 、 $v_c$  为 a, b, c 方向的瞬时系统电压值;  $i_a$ ,  $i_b$  及  $i_c$  为 a, b, c 方向的瞬时负载电流值;

[0057] 根据瞬时无功理论, 补偿无功所需要的每相补偿电流可以由下式计算得到:

$$[0058] \quad i_{Ca} = \frac{(q_b v_c - q_c v_b)}{\Delta}, i_{Cb} = \frac{(q_c v_a - q_a v_c)}{\Delta}, i_{Cc} = \frac{(q_a v_b - q_b v_a)}{\Delta}$$

$$[0059] \quad \text{其中 } \Delta = v_a^2 + v_b^2 + v_c^2$$

[0060] 传统的 STATCOM 补偿无功时的等效电路如图 2 所示, 根据系统侧电压, 连接 STATCOM 的无源部分仅有电感时, 电压型逆变器输出电压的有效值以下式计算:

$$[0061] \quad \vec{V}_{INV}^{\omega} = (V_a + I_{Ca} \omega L) \hat{n}_a + (V_b + I_{Cb} \omega L) \hat{n}_b + (V_c + I_{Cc} \omega L) \hat{n}_c$$

$$\vec{V}_{INV} = (V_a + I_{Ca} \omega L) \hat{n}_a + (V_b + I_{Cb} \omega L) \hat{n}_b + (V_c + I_{Cc} \omega L) \hat{n}_c$$

[0062] 其中  $V_j$  ( $j = a, b, c$ ) 是系统侧电压的有效值,  $I_{Cj}$  ( $j = a, b, c$ ) 是每相无功补偿电流的基频有效值,  $L$  为串联连接逆变器和电力系统之间的电感值, 而  $\omega = 2\pi f_s$ ,  $f_s$  为电力系统的运行频率,  $\pi$  为一常数值 ( $\pi = 3.14159$ ),  $\vec{V}_{INV}^{\omega}$  为电压型逆变器输出电压矢量。

[0063] 通过容性阻抗 STATCOM 补偿无功时的等效电路如图 4 所示, 当连接部分的无源阻抗为容性时, 逆变器的输出电压为:

$$[0064] \quad \vec{V}_{INVC}^{\omega} = \left( V_a - \frac{I_{Ca}}{\omega C} \right) \hat{n}_a + \left( V_b - \frac{I_{Cb}}{\omega C} \right) \hat{n}_b + \left( V_c - \frac{I_{Cc}}{\omega C} \right) \hat{n}_c$$

$$\vec{V}_{INVC} = \left( V_a - \frac{I_{Ca}}{\omega C} \right) \hat{n}_a + \left( V_b - \frac{I_{Cb}}{\omega C} \right) \hat{n}_b + \left( V_c - \frac{I_{Cc}}{\omega C} \right) \hat{n}_c$$

[0065] 其中  $V_j$  ( $j = a, b, c$ ) 是系统侧电压的有效值,  $I_{Cj}$  ( $j = a, b, c$ ) 是每相无功补偿电流的基频有效值,  $\omega = 2\pi f_s$ ,  $f_s$  为电力系统运行的频率。

[0066] 本发明采用连接部分的无源阻抗为容性的计算公式。当要补偿的负载无功为感性时, 传统由电感连接的 STATCOM 输出电压必需高于系统电压; 而本发明所提出的由容性阻抗连接的 STATCOM 输出电压低于系统电压, 如果选取适当的容性阻抗值, 可以大大减小 STATCOM 中有源部分, 即电压型逆变器的容量。控制原理方框示意图如图 5 所示。

[0067] 下面是本发明的两个仿真例:

[0068] 仿真例一: 三相三线系统无功补偿

[0069] 该仿真例中, STATCOM 被并联在一个线电压为 380V 的三相三线系统中, 用来补偿无功功率, 该补偿系统的详细示意图如图 6 所示。STATCOM 选用了两电平三相全桥电压源逆变器, 该逆变器通过由串联电感和电容组成的容性阻抗并联到主电路, 实现对于无功功率的补偿。连接电容为 180uF, 连接电感为 5mH。逆变器直流电压为 50V, 利用 5kHz 的空间矢量脉宽调制方法控制逆变器输出跟踪参考电压。系统电压和负载电流波形如图 7 所示, 仿真得到的无功补偿结果如图 8 所示。补偿前后的功率因数和电流有效值如下表所示:

[0070]

		A	B	C
负载侧	功率因数	0.572	0.572	0.572
	电流有效值	14.32 A	14.2 A	14.13 A
补偿后系统侧	功率因数	0.993	0.993	0.993
	电流有效值	9.21 A	9.20 A	9.33 A

[0071] 仿真例二：三相四线系统无功补偿

[0072] 该仿真例中，STATCOM 被并联在一个线电压为 380V 的三相四线系统中，用来补偿无功功率，该补偿系统的详细示意图如图 9 所示。STATCOM 选用了两电平四桥臂电压源逆变器，该逆变器通过由串联电感和电容组成的容性阻抗并联到主电路，实现对于无功功率的补偿。连接电容为 160 $\mu$ F，连接电感为 3mH。逆变器直流电压为 40V，利用 5kHz 的直接 PWM 方法控制逆变器输出跟踪参考电压。系统电压和负载电流波形如图 10 所示，仿真得到的无功补偿结果如图 11 所示。补偿前后的功率因数和电流有效值如下表所示：

[0073]

		A	B	C
负载侧	功率因数	0.760	0.494	0.502
	电流有效值	15.02 A	13.30 A	11.01 A
补偿后系统侧	功率因数	0.997	0.995	0.970
	电流有效值	12.13 A	7.68 A	6.64 A



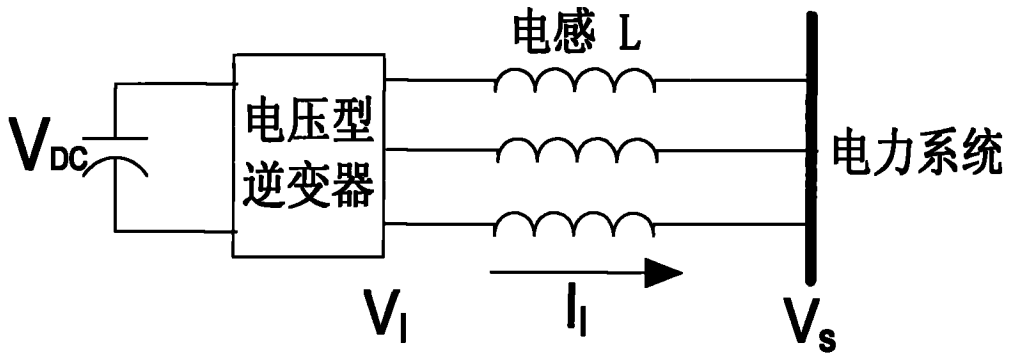


图 1

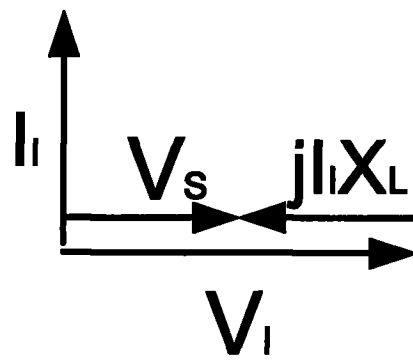


图 2

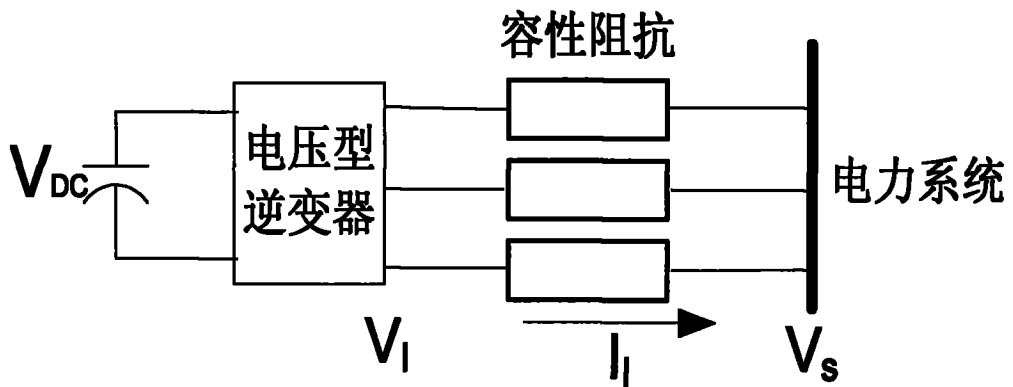


图 3

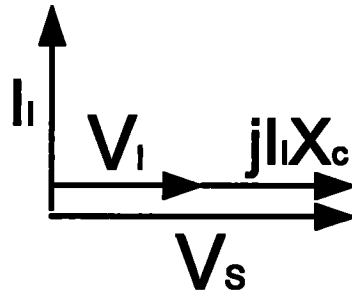


图 4

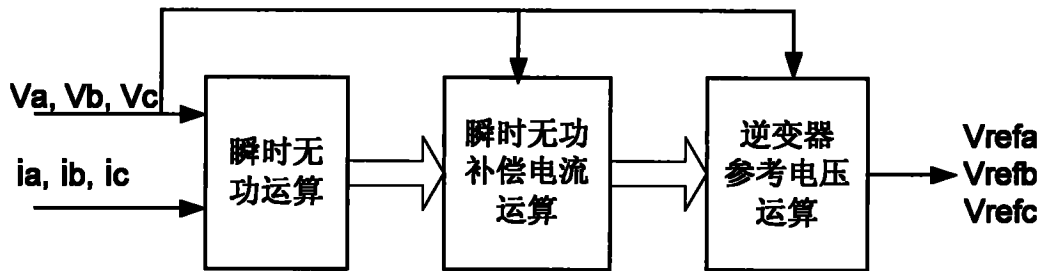


图 5

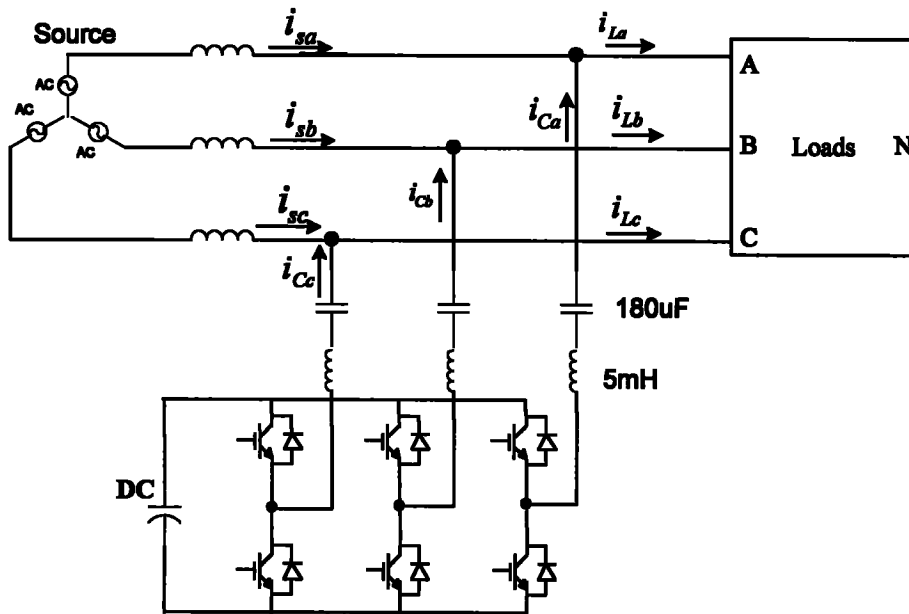


图 6

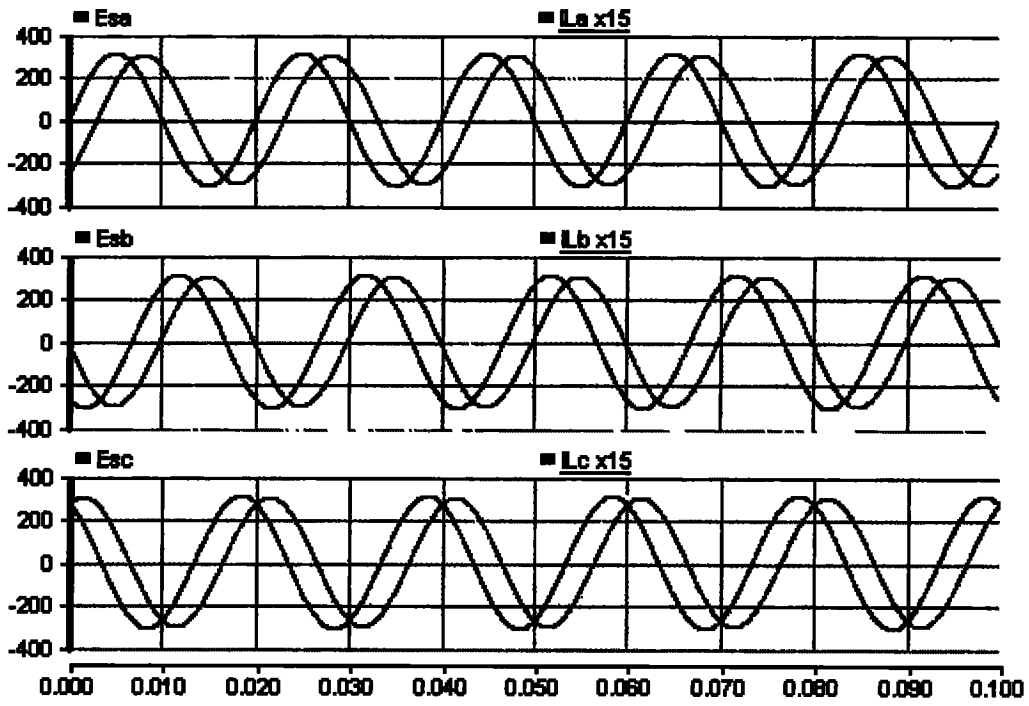


图 7

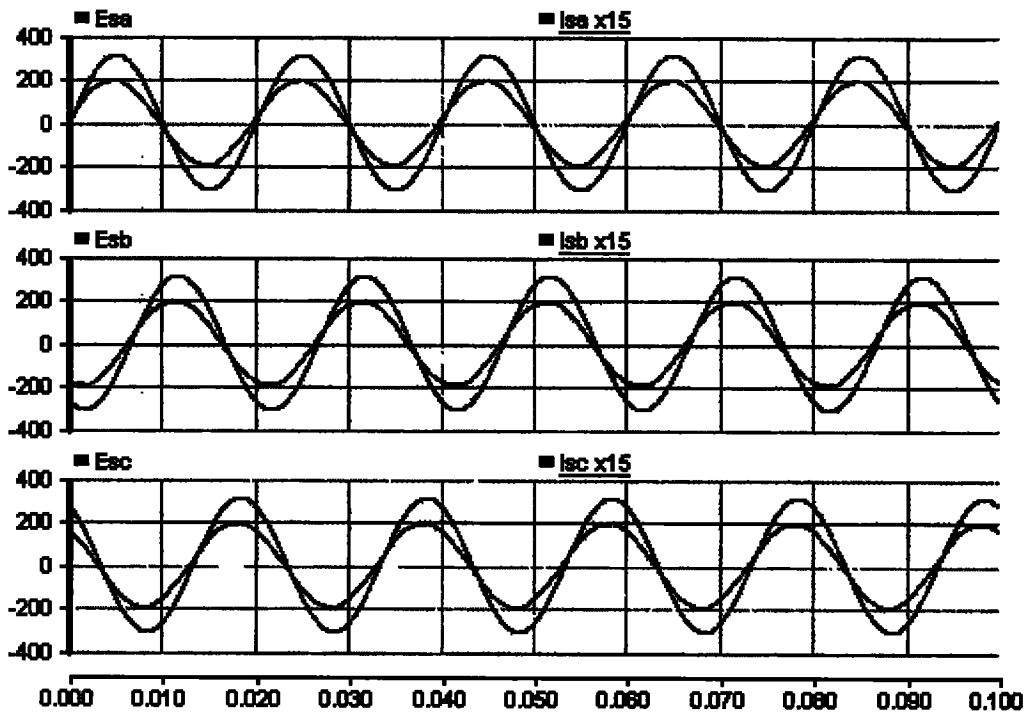


图 8

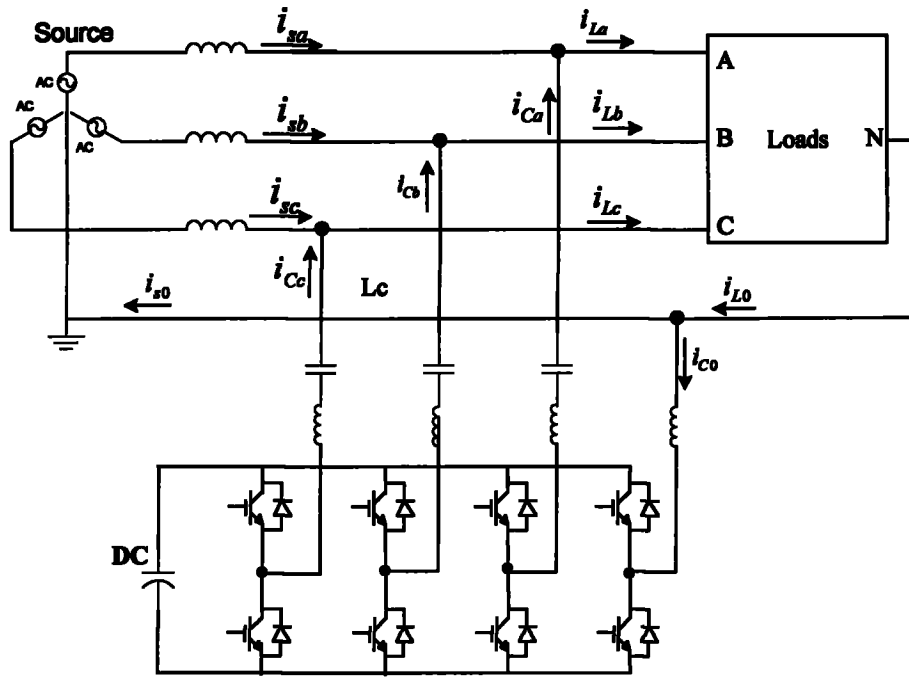


图 9

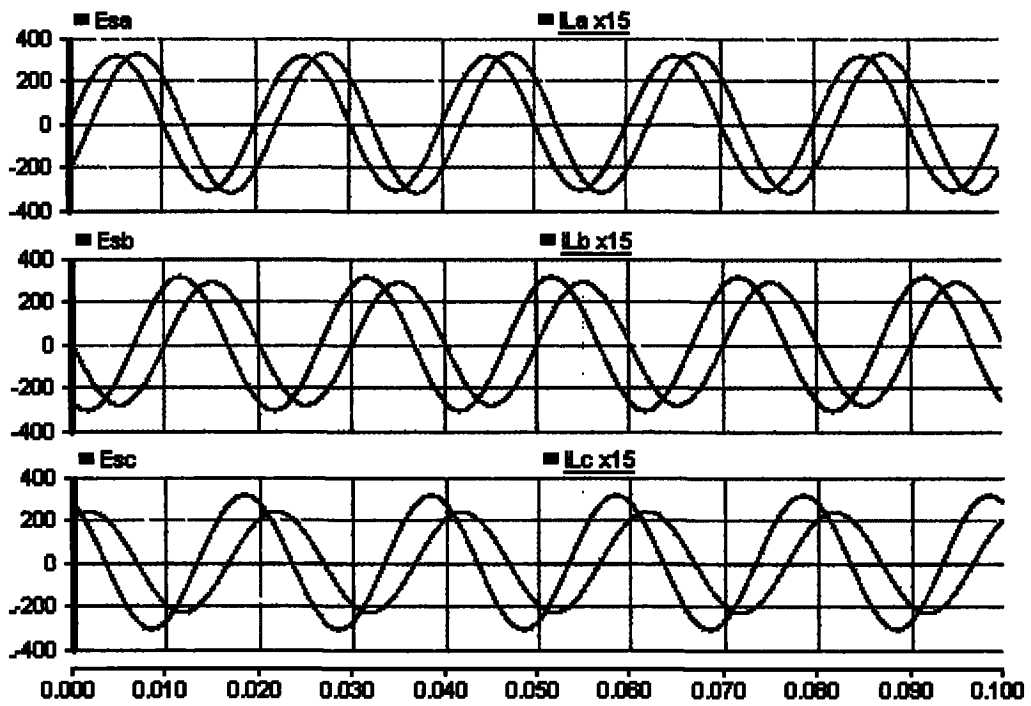


图 10

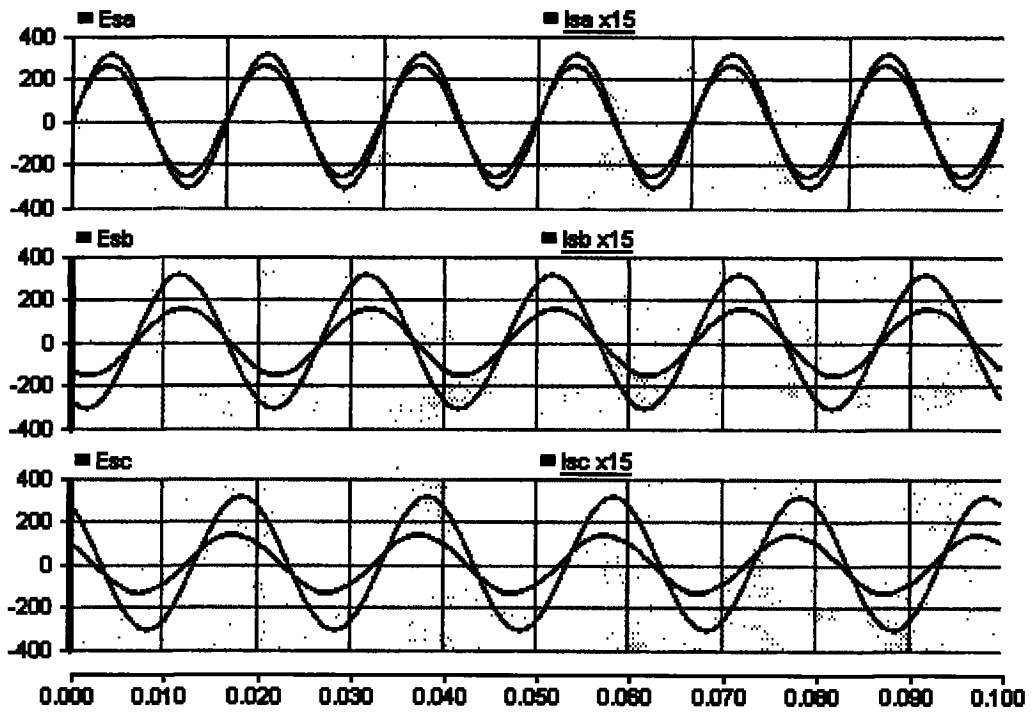


图 11