



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103094918 B

(45) 授权公告日 2015. 10. 28

(21) 申请号 201210509111. 6

CN 10261116 A , 2012. 07. 25, 全文 .

(22) 申请日 2012. 11. 30

JP 特开平 8-207626 A , 1996. 08. 13, 全文 .

(73) 专利权人 澳门大学

地址 中国澳门氹仔徐日昇寅公马路澳门大学

审查员 孔舒红

(72) 发明人 黄民聪 戴宁怡 张雯晨

(74) 专利代理机构 广东秉德律师事务所 44291

代理人 闫有幸

(51) Int. Cl.

H02J 3/38(2006. 01)

H02J 3/01(2006. 01)

H02J 3/18(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101409450 A , 2009. 04. 15, 说明书第 2 页第 2 段至第 5 页第 3 段, 图 3-9.

CN 101714763 A , 2010. 05. 28, 说明书第 [0035] 至 [0041] 段, 图 3.

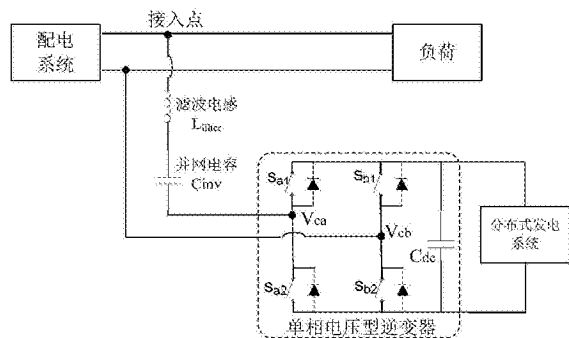
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种改善电能质量的单相并网装置

(57) 摘要

本发明公开一种改善电能质量的单相并网装置, 包括基于全控型电力电子器件的单相电压型逆变器, 单相电压型逆变器的直流侧与分布式发电系统相连; 还包括一端与逆变器输出相连另一端通过滤波电感接入电力系统的并网电容  $C_{inv}$ 、以及抑制逆变器输出电流中高频分量的滤波电感  $L_{filter}$ , 并网电容  $C_{inv}$  的电抗大于滤波电感  $L_{filter}$  的电抗。本发明能够减小并网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, 实现通过并网逆变器向系统注入分布式电源产生的有功功率, 并可同时改善电能质量。



1. 一种改善电能质量的单相并网装置,包括基于全控型电力电子器件的单相电压型逆变器,单相电压型逆变器的直流侧与分布式发电系统相连;其特征在于:还包括一端与逆变器输出相连另一端通过滤波电感接入电力系统的并网电容  $C_{inv}$ 、以及抑制逆变器输出电流中高频分量的滤波电感  $L_{filter}$ ,并网电容  $C_{inv}$  的电抗大于滤波电感  $L_{filter}$  的电抗;所述滤波电感与并网电容谐振在配电系统的某一次谐波频率。

2. 根据权利要求 1 所述的改善电能质量的单相并网装置,其特征在于:所述并网电容  $C_{inv}$  与滤波电感  $L_{filter}$  的大小通过以下方法获得:首先,通过下式确定并网电容  $C_{inv}$  与滤波电感  $L_{filter}$  构成的串联支路的阻抗  $X_{cf}$ :

$$X_{cf} = \frac{V_s^2}{Q_0}$$

其中,  $V_s$  是逆变器接入点的系统电压,  $Q_0$  是设计无功功率;之后,根据以下公式组计算出并网电容  $C_{inv}$  与滤波电感  $L_{filter}$  的大小:

$$X_{cf} = \frac{1}{\omega C_{inv}} - \omega L_{filter}$$

$$\frac{1}{N\omega C_{inv}} - N\omega L_{filter} = 0$$

其中,  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  是配电系统的工作频率,  $N$  为选定的滤波电感与并网电容谐振在系统的谐波次数。

3. 根据权利要求 2 所述的改善电能质量的单相并网装置,其特征在于,所述  $Q_0$  取一个平均功率,通过下式来计算:

$$Q_0 = \frac{1}{T} \int_0^T Q dt$$

其中,  $T$  为一定长度的时间。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的改善电能质量的单相并网装置,其特征在于,逆变器的直流电压  $V_{dc}$  按照以下公式来选择:

$$V_{dc} \geq \sqrt{2}V_{invc}$$

$V_{invc}$  为逆变器的输出电压,由下式计算:

$$V_{invc} = \sqrt{(X_{cf}I_{cf})^2 + \sum_{h=2}^{\infty} X_{LCh}^2 I_h^2}$$

$X_{LCh}$  为当谐波电流流过时并网电容  $C_{inv}$  与滤波电感  $L_{filter}$  构成的串联支路的阻抗,由下式计算:

$$X_{LCh} = \frac{1}{h\omega C_{inv}} - h\omega L_{filter} \quad (8)$$

其中,  $h$  代表谐波的次数;  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  是配电系统的工作频率;  $I_{cf}$  为当逆变器向系统注入有功功率,并提供无功电流补偿感性负荷时其输出的电流;  $I_h$  为单相并网装置向系统

提供的谐波补偿电流。

## 一种改善电能质量的单相并网装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统中的分布式发电和电能质量治理,属于电气工程中的变流技术领域。

### 背景技术

[0002] 传统的化石能源正在日益减少,以风能、太阳能为代表的新能源得到了快速的发展与应用。新能源的发电设备,既包括大容量的集中式发电系统,也包括小容量的分布式发电装置。小容量的风力发电机、太阳能光伏阵列还常常和电池等储能装置配合使用,成为一个分布式发电系统。要将分布式发电系统的电能接入低压配电网供用户使用,需要经过一系列的交直流变换。其中变换的最后一个环节往往由将直流转化为交流的并网逆变器完成。该并网逆变器并联接入低压电网,并控制电网和分布式发电系统间的能量交换。

[0003] 并网逆变器不但可以向系统注入分布式电源发出的有功功率,还可以同时兼备无功补偿、谐波治理的功能。传统的并网装置往往通过电抗器连接逆变器输出端和电网,为了能够实现上述功能,逆变器的输出电压必须满足一定的要求。如当逆变器接入 220V 电网时,逆变器输出电压需要达到高于电网电压的水平,相应的逆变器直流侧电压就要高于电网电压的峰值。

[0004] 因为分布式电源的输出电压往往比较低,部分装置通过在并网逆变器交流侧接入升压变压器来提高输出电压,从而接入电网,如“一种具有复合功能的并网逆变器及并网逆变控制方法”(中国发明专利,公开日:2012年2月15日,申请公布号:CN 102355151 A)。如果要避免使用升压变压器,就需要将分布式电源的输出电压通过额外的环节提高,才能使逆变器可以接入配电网,一般采用 DC/DC 变换器升压的办法来实现,如“太阳能光伏并网逆变器”(中国发明专利,授权公告日 2011 年 9 月 28 日,授权公告号 CN 101304224 B)和“兼备无功补偿、谐波治理功能的光伏、风电统一并网装置”(中国发明专利,公开日:2007 年 8 月 15 日,公开号 CN101017982A)。然而,当 DC/DC 变换器的变比较高时,结构会较复杂,在升高电压的变换过程中,效率也有所下降。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是为了减小并网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,提供一种通过并网电容和滤波电感将逆变器接入配电系统,实现通过并网逆变器向系统注入分布式电源产生的有功功率,并可同时改善电能质量的单相并网装置。

[0006] 为了实现以上目的,本发明提供一种改善电能质量的单相并网装置,包括基于全控型电力电子器件的单相电压型逆变器,单相电压型逆变器的直流侧与分布式发电系统相连;还包括一端与逆变器输出相连另一端通过滤波电感接入电力系统的并网电容  $C_{inv}$ 、以及抑制逆变器输出电流中高频分量的滤波电感  $L_{filter}$ ,并网电容  $C_{inv}$  的电抗大于滤波电感  $L_{filter}$  的电抗。

[0007] 上述装置中,所述滤波电感与并网电容谐振在配电系统的某一次谐波频率。上述

装置中,所述并网电容  $C_{inv}$  与滤波电感  $L_{filter}$  的大小通过以下方法获得:首先,通过下式确定并网电容  $C_{inv}$  与滤波电感  $L_{filter}$  构成的串联支路的阻抗  $X_{cf}$ :

$$[0008] \quad X_{cf} = \frac{V_S^2}{Q_0}$$

[0009] 其中,  $V_S$  是逆变器接入点的系统电压,  $Q_0$  是设计无功功率;之后,根据以下公式组计算出并网电容  $C_{inv}$  与滤波电感  $L_{filter}$  的大小:

$$[0010] \quad X_{cf} = \frac{1}{\omega C_{inv}} - \omega L_{filter}$$

$$[0011] \quad \frac{1}{N\omega C_{inv}} - N\omega L_{filter} = 0$$

[0012] 其中,  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  是配电系统的工作频率,  $N$  为选定的滤波电感与并网电容谐振在系统的谐波次数。

[0013] 本发明提供的技术方案,由于采用了并网电容,在并网逆变器向系统注入有功功率并提供无功补偿和谐波补偿时,逆变器的直流侧电压可以运行在大大低于系统电压峰值的水平。直流侧电压的减小降低了所选择全控型电力电子器件的耐压要求,减低装置成本的同时也减少了逆变器运行中的开关损耗。所提出的改善电能质量的单相并网装置,不但可以向系统注入分布式电源如风力发电机、太阳能光伏阵列产生的电能,同时还能改善系统的功率因数、减少系统谐波。考虑到分布式发电系统往往输出功率波动较大,并网逆变器较难长时间在额定容量下运行,并网逆变器提供电能质量治理功能,可以提高设备利用率,带来额外效益,缩短整个并网装置的回本周期。

## 附图说明

[0014] 图 1 为本发明提供的改善电能质量的单相并网装置结构示意图;

[0015] 图 2 为本发明提供的改善电能质量的单相并网装置的等效电路;

[0016] 图 3 为本发明提供的改善电能质量的单相并网装置运行时的向量图;

[0017] 图 4 为本发明提供的改善电能质量的单相并网装置运行在设计无功功率时的向量图;

[0018] 图 5 为采用并网电感的单向并网装置的等效电路;

[0019] 图 6 为采用并网电感的单向并网装置运行时的向量图;

[0020] 图 7 为本发明提供的改善电能质量的单相并网装置在补偿谐波时的等效电路;

[0021] 图 8 为本发明提供的改善电能质量的单相并网装置在仿真例中的控制原理方框图;

[0022] 图 9 为仿真例中本发明提供的改善电能质量的单相并网装置向系统提供有功和无功以及谐波补偿的电压及电流波形图;

[0023] 图 10 为仿真例中本发明提供的改善电能质量的单相并网装置向系统提供有功和无功以及谐波补偿时直流电压、有功输出和无功输出波形图。

## 具体实施方式

[0024] 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。

[0025] 如图 1 所示,本实施例提供的一种改善电能质量的单相并网装置,其包括基于全控型电力电子器件(IGBT 或 MOSFET)的单相电压型逆变器(图中虚线框内部分)、一端与逆变器输出相连另一端通过滤波电感接入电力系统的并网电容  $C_{inv}$ 、抑制逆变器输出电流中高频分量的滤波电感  $L_{filter}$  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 1 中未示。单相电压型逆变器的直流侧与分布式发电系统相连,所述并网电容根据配电系统需要的无功补偿容量设定。

[0026] 本实施例提供的单相并网装置在配电系统基本工作频率(例如 50Hz)的等效电路如图 2 所示,如公式(1)所示,图 2 中电容 C 等效于并网电容  $C_{inv}$  和滤波电感  $L_{filter}$  串联支路,该串联支路的阻抗为:

$$[0027] \quad X_{cf} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{\omega C_{inv}} - \omega L_{filter} \quad (1)$$

[0028] 其中,  $\omega = 2\pi f$ ,  $f$  是配电系统的工作频率。本实施例中并网电容  $C_{inv}$  用于提供无功补偿,电感  $L_{filter}$  用于滤波,并网电容  $C_{inv}$  的电抗将大于电感  $L_{filter}$  的电抗,因而整个支路等效为一个纯电容支路。

[0029] 本实施例提供的单相并网装置可以向配电网中提供连续稳定的无功功率补偿,串联支路的容性阻抗可以通过下式确定:

$$[0030] \quad X_{cf} = \frac{V_s^2}{Q_0} \quad (2)$$

[0031] 其中,  $V_s$  是并网逆变器接入点的系统电压,  $Q_0$  是设计无功功率。当电压单位为伏特(V)时,功率单位为伏安(VA)。考虑到负载无功是不断变化的,  $Q_0$  可以通过下式来计算:

$$[0032] \quad Q_0 = \frac{1}{T} \int_0^T Q dt \quad (3)$$

[0033]  $Q_0$  实际上是一个平均功率,其中的时间  $T$  可以选择一天或者一周或其它的时间长度,主要根据安装地点的负荷波动情况来选定。根据容性阻抗值,就可以根据下式,计算出相应的电容大小。

$$[0034] \quad C = \frac{1}{\omega X_{cf}} \quad (4)$$

[0035] 按照图 2 中逆变器输出电流的正方向,当逆变器向系统注入有功功率,并提供无功电流补偿感性负荷时,其输出电流可以表达为:

$$[0036] \quad I_{cf} = I_{cfp} - jI_{cfq} \quad (5)$$

[0037] 其中,  $I_{cfp}$  代表有功电流,  $I_{cfq}$  代表无功电流。逆变器输出电压  $V_{inv}$  可以由公式(6)计算得到,

$$[0038] \quad V_{inv} = V_s + V_{cf} \quad (6)$$

[0039] 其中  $V_s$  是并网逆变器接入点的系统电压,  $V_{cf}$  是等效电路中电容上的电压降。矢量图如图 3 所示,从图 3 中可以看出因为等效电路中电容上的电压是电流顺时针旋转 90 度得到,为满足所需输出电流,逆变器的输出电压低于系统电压,所需要的逆变器直流侧电容的电压也相应大大降低。当系统需要补偿的无功就是设计无功功率  $Q_0$  时,逆变器输出电压和系统电压垂直,逆变器只需要为注入有功电流提供电压,向量图如图 4 所示。

[0040] 在传统采用并网电感的单相并网装置中,图 1 中的并网电容和滤波电感将被并网

电感所取代,其等效电路如图 5 所示。当该采用并网电感的单相并网装置向系统注入有功功率,并提供无功电流补偿感性负荷时,向量图如图 6 所示,其中  $V_{L_f}$  是等效电路中电感上的电压降,逆变器输出电压  $V_{invLf}$  可以由公式(7) 计算得到,

$$[0041] \quad V_{invLf} = V_s + V_{L_f} \quad (7)$$

[0042] 从图 5 中可以清楚看出,逆变器输出电压必需高于系统电压才能输出所要求的电流。相应逆变器直流侧的电压也会比本实施例提供的采用并网电容的单相并网装置高出许多。

[0043] 当本实施例提供的单相并网装置补偿负荷产生的谐波电流时,图 2 中针对基波频率的等效电路不再适用,新的等效电路如图 7 所示。当谐波电流流过时,电容电感串联支路的阻抗由公式(8) 计算。

$$[0044] \quad X_{LCh} = \frac{1}{h\omega C_{inv}} - h\omega L_{filter} \quad (8)$$

[0045] 其中 h 代表谐波的次数,为了能同时向系统注入有功功率、补偿无功功率和谐波,逆变器的输出电压可以由公式(9) 计算。

[0046]

$$V_{inv} = \sqrt{(X_{Cf} I_{cf})^2 + \sum_{h=2}^{\infty} X_{LCh}^2 I_h^2} \quad (9)$$

[0047] 其中,  $I_h$  为单相并网装置向系统提供的谐波补偿电流。

[0048] 本实施例中,并网电容与配电系统之间串接的滤波电感  $L_{filter}$ ,用来抑制逆变器输出电流的高次谐波,滤波电感可以与并网电容谐振在系统的某一次谐波频率,例如 3 次、5 次或 7 次。假定所选定谐波次数为 N,在该次谐波频率下,电容电感串联支路的等效阻抗为零,如公式(10) 中所示,可以进一步减小逆变器的输出电压。

[0049]

$$X_{LCN} = \frac{1}{N\omega C_{inv}} - N\omega L_{filter} = 0 \quad (10)$$

[0050] 根据公式(1), (2) 和(10) 就可以得到并网电容和滤波电感的值。最终,逆变器的直流电压可以按照公式(11) 来选择。

[0051]

$$V_{dc} \geq \sqrt{2} V_{inv} \quad (11)$$

[0052] 本实施例提供的单相并网装置的控制原理方框示意图如图 8 所示,其中所采用的控制方法包括:首先,根据系统电压和负荷电流计算单相的瞬时功率,并从分布式发电系统取得其有功功率输出的信号;然后,再由分布式发电系统产生的有功功率、需要补偿的无功功率、谐波功率以及调节逆变器直流电压的功率信号计算逆变器输出电流的参考信号;之后,利用滞环脉宽调制方法控制逆变器输出电流跟踪参考信号,从而实现并网逆变器向系统注入有功,并同时补偿无功和谐波。

[0053] 下面是本发明的一个仿真例:

[0054] 该仿真例中,所提出的改善电能质量的单相并网装置被并联在一个相电压为 220V 的单相系统中,其并网电容为 53uF,滤波电感为 4mH,直流侧电容电压为 165V,滞环 PWM 频率为 10kHz。

[0055] 仿真结果如图 9 和图 10 所示,图 9 包含三个波形,其中第一个是接入点电压波形,第二个是是系统侧电流,第三个是负荷电流,两者之差就是并网逆变器注入的电流;图 10 中第一个波形是逆变器直流电压波形;第二个是并网逆变器向系统注入的有功波形;最后一个是并网逆变器向系统注入的无功功率。本发明的并网装置并联接入电网,使得原先与负荷电流一致的系统侧电流波形发生改变,以仿真运行到 0.8 秒的时刻为例,并网装置接入后系统内各参数变化如下表所示:

[0056]

	有功功率 (W)	无功功率 (Var)	功率因数	电流谐波 (THD%)
系统侧	710	0	0.994	6.61%
负荷	800	793	0.707	16%



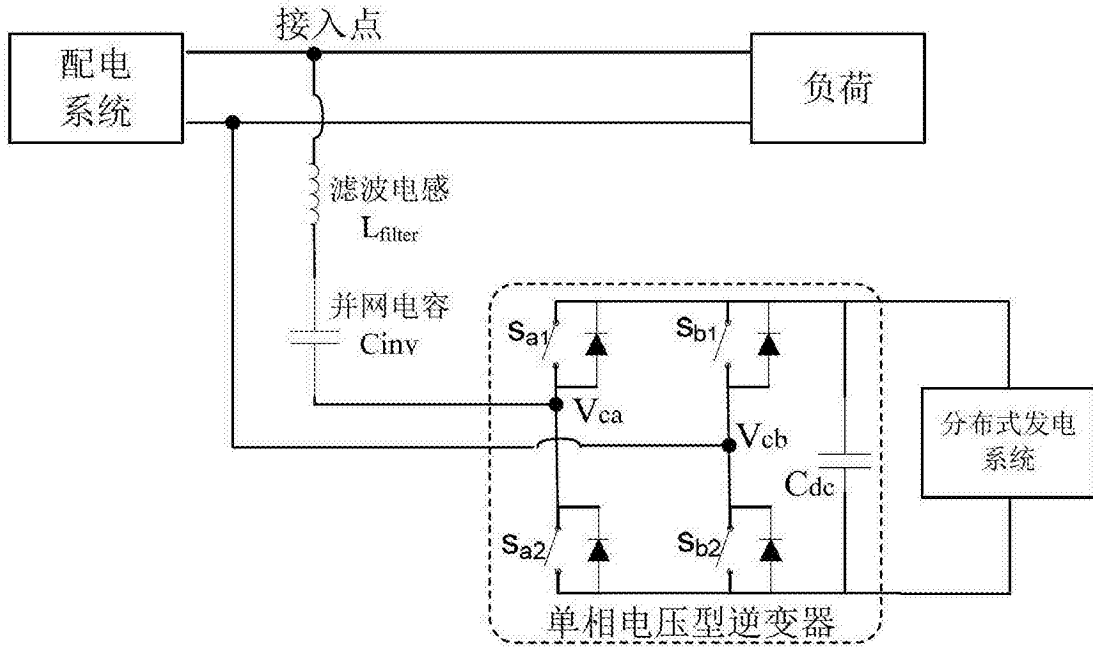


图 1

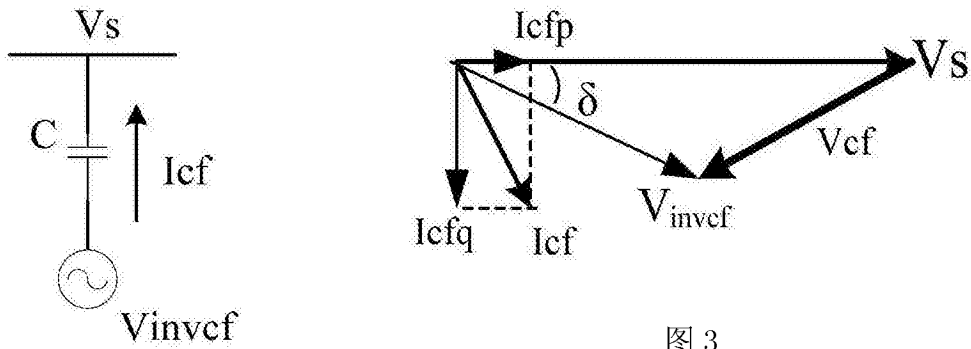


图 3

图 2

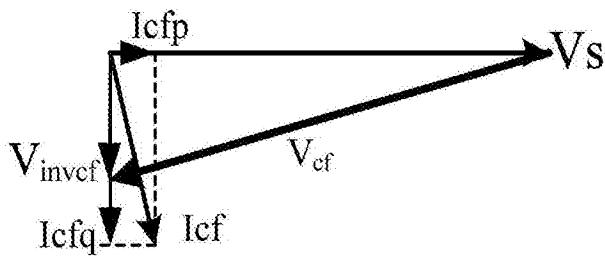


图 4

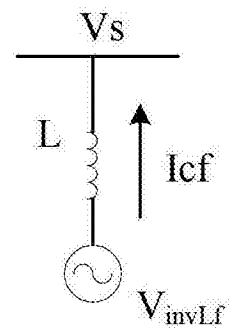


图 5

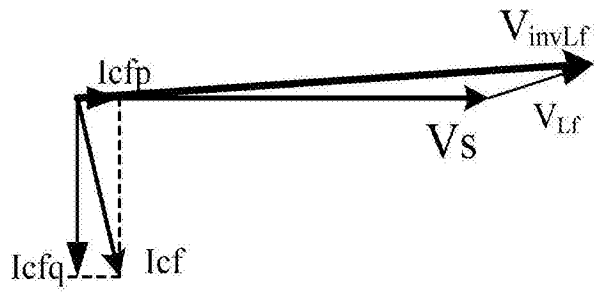


图 6

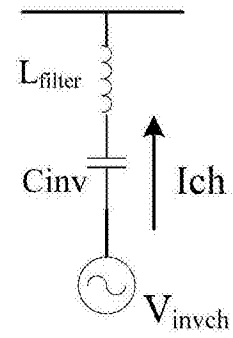


图 7

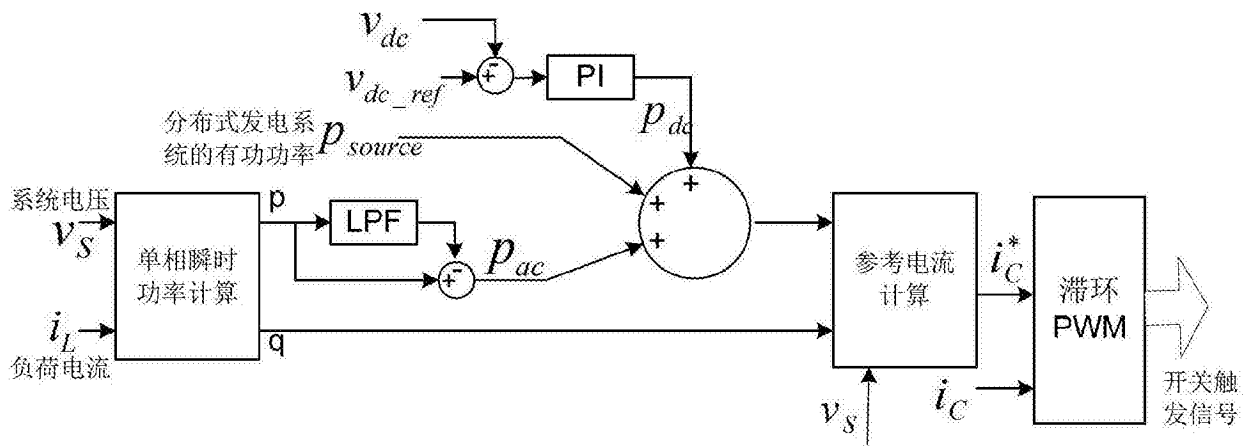


图 8

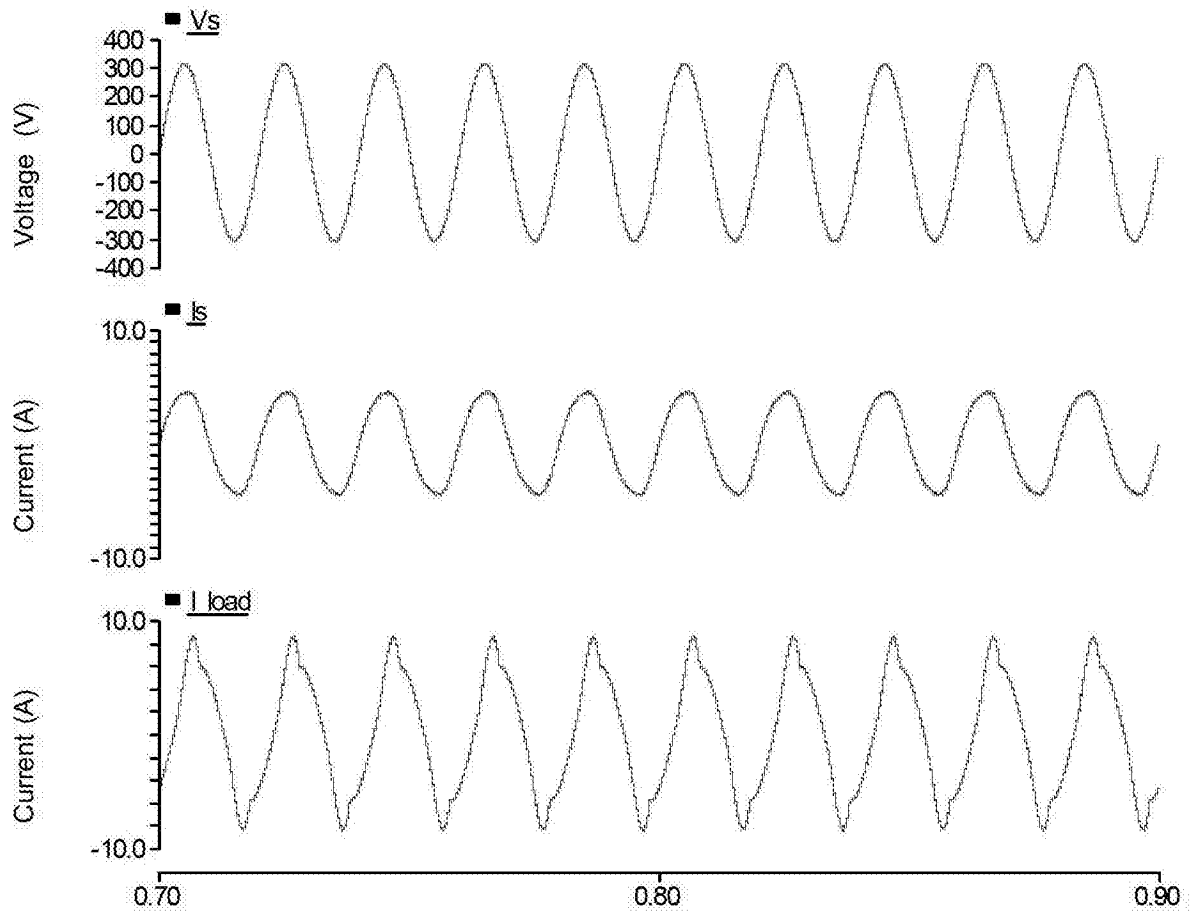


图 9

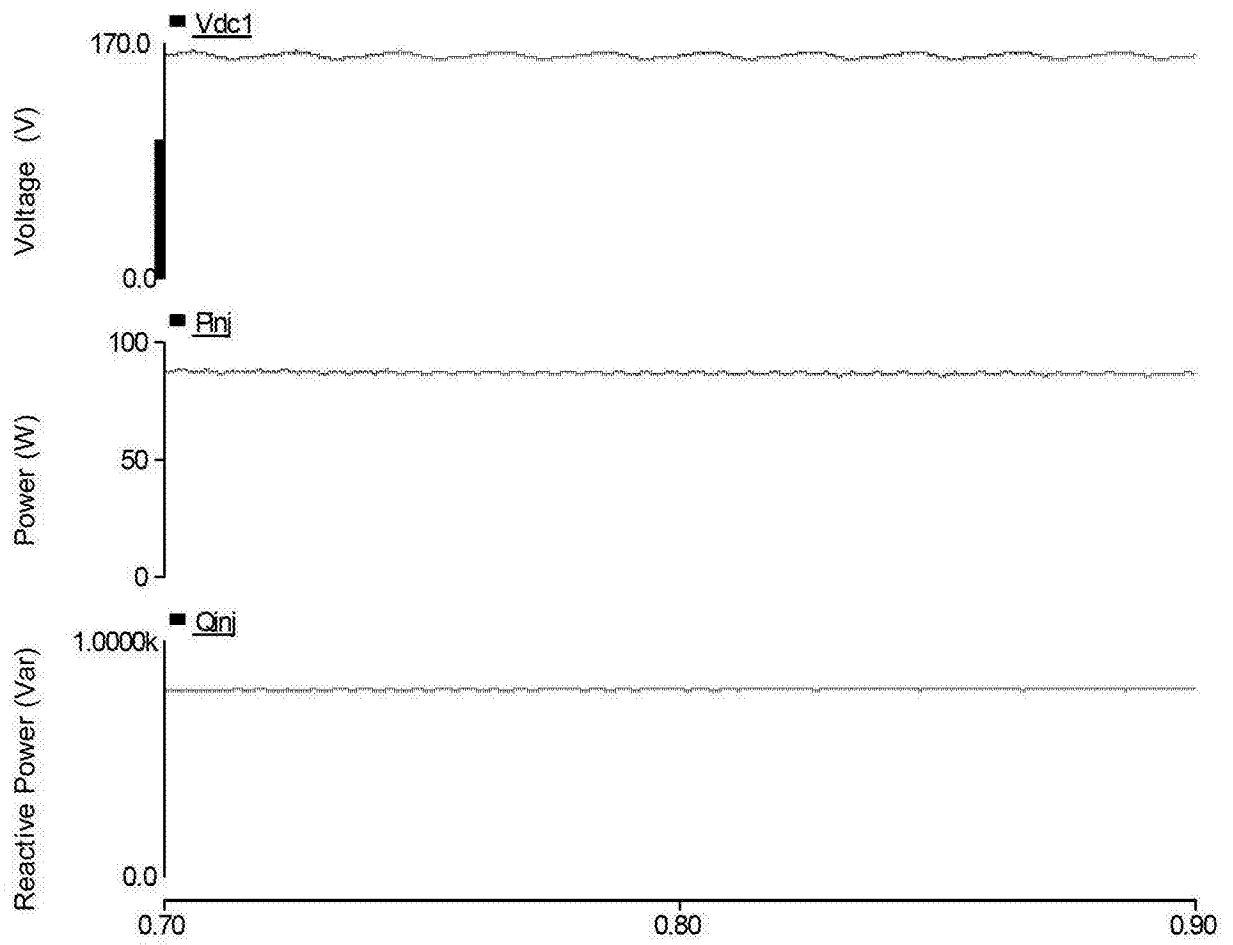


图 10