(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2012 年 9 月 7 日 (07.09.2012)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2012/116559 A1

(51) 国际专利分类号:
H02J 3/38 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2011/083128

(22) 国际申请日: 2011 年 11 月 29 日 (29.11.2011)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201110047934.7 2011 年 3 月 1 日 (01.03.2011) CN

(71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): **国网电力科学研究院 (STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市南瑞路 8 号, Jiangsu 210003 (CN)。

(72) 发明人; 及

(75) 发明人/申请人 (仅对美国): **程军照 (CHENG, Junzhao)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市南瑞路 8 号, Jiangsu 210003 (CN)。 **邬雄 (WU, Xiong)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市南瑞路 8 号, Jiangsu 210003 (CN)。 **李澍森 (LI, Shusen)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市南瑞路 8 号, Jiangsu 210003 (CN)。 **陈江波 (CHEN, Jiangbo)** [CN/CN]; 中国江苏省南京市南瑞路 8 号, Jiangsu 210003 (CN)。

(74) 代理人: **武汉开元知识产权代理有限公司 (WUHAN KAIYUAN INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LTD.)**; 中国湖北省武汉市江岸区香港路 145 号远洋大厦 14 层, Hubei 430015 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,

[见续页]

(54) **Title**: VIRTUAL IMPEDANCE BASED METHOD FOR PARALLEL OPERATION OF INVERTERS

(54) **发明名称** : 基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法

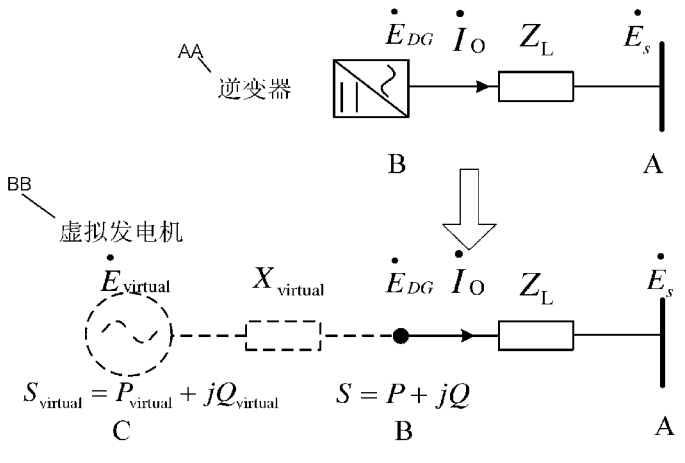


图 4 / Fig.4

AA INVERTER
BB VIRTUAL GENERATOR

(57) **Abstract**: A virtual impedance based method for parallel operation inverters comprises: introducing an AND virtual generator for each inverter, the virtual generator being connected to a point (B) where the inverter is through virtual impedance, and the magnitude of the virtual impedance being capable of being set as required; enabling control of the inverter to be equivalent to control, through the virtual generator, of the state of the point where the inverter is; applying droop control to the virtual generator, adjusting the frequency and voltage amplitude of the virtual generator respectively through active and reactive operations of the inverter, thereby obtaining a voltage instruction value of the virtual generator; on this basis, further obtaining an output voltage instruction value of the inverter, controlling the voltage output by the inverter to track the instruction value, thereby implementing the control on the voltage of the virtual generator, and finally implementing decoupling adjustment on the active and reactive operations. Compared with the conventional control method, the control policy of wireless parallel operation of the inverters is implemented through the virtual impedance, no obvious hardware investment is additionally required, and the line equivalent impedance can be changed as required, thereby improving the using effect of the droop feature, and being applicable to a resistive environment.

[见续页]

WO 2012/116559 A1

RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(57) 摘要:

一种基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法，包括：针对每台逆变器引入一与虚拟发电机，虚拟发电机通过虚拟阻抗接入逆变器所在点（B），虚拟阻抗的大小可以根据需要设置；将逆变器的控制等效成通过虚拟发电机对逆变器所在点状态的控制；对虚拟发电机使用下垂控制，利用逆变器的有功和无功分别调节虚拟发电机的频率以及电压幅值，进而求得虚拟发电机的电压指令值；在此基础上进一步求得逆变器的输出电压指令值，控制逆变器输出的压跟踪该指令值，从而实现对虚拟发电机的电压控制，最终实现对有功和无功的解耦调节。相对于传统的控制方法，通过利用虚拟阻抗实现逆变器无线并联运行的控制策略，而不需要明显增加硬件投入，可以根据需要改变线路等效阻抗，提高下垂特性的使用效果，可应用于阻性环境。

基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法

技术领域

本发明涉及逆变器并联运行的一种控制方法，具体涉及一种利用虚拟阻抗实现逆变器无线并联运行的控制方法。

背景技术

随着能源危机的加深和环境问题的突出，以可再生能源利用为主的分布式电源（Distributed generation, DG）迅猛发展，微网是由多个 DG 组成的有机整体，具有广阔的前景。由于 DG 大多是逆变器型的，需要用到逆变器并联运行技术；此外，不间断电源 UPS 中也涉及逆变器并联运行。而基于下垂特性的逆变器并联运行技术无需通信联系，鲁棒性好，具有广阔应用前景。

下垂特性控制原理间接如下：对于如图 1 所示的系统，线路阻抗为 $Z=R+j*X$，从 A 点注入的功率为 $S=P+j*Q$，则：

$$P=\frac{E_1\left[R\left(E_1-E_2\cos\delta\right)+E_2X\sin\delta\right]}{R^2+X^2} \tag{1}$$

$$Q=\frac{E_1\left[X\left(E_1-E_2\cos\delta\right)-E_2R\sin\delta\right]}{R^2+X^2} \tag{2}$$

通常情况下，功角差 δ 很小，$\cos\delta\approx1$，如果 $X>>R$，分析时可略去电阻，则（1）、（2）式可简化为：

$$P=\frac{E_1E_2}{X}\sin\delta \tag{3}$$

$$Q=\frac{E_1\left(E_1-E_2\right)}{X} \tag{4}$$

由式（3）、（4）可知，如果线路为感性，P 主要取决于功角差，Q 主要取决于电压差。因此可以通过功角和电压的调节，分别实现对 P 和 Q 的控制，在实际应用中通常用 f 代替功角。

这种控制理念也被运用到逆变器的并联运行控制之中，以图 2 所示的 P-f 下垂曲线为例：系统最初运行在点 1，其频率为 f_1，逆变器 1 和逆变器 2 承担的有功功率分别为 P_{11}，P_{12}；当负荷增加后，逆变器 1 和逆变器 2 分别按照各自的下垂率对其有功进行调整，直

至达到一个新的稳定运行点 2，其频率为f_2，逆变器 1 和逆变器 2 承担的功率分别为P_{21}和P_{22}，各逆变器按照其下垂率的反比分担新增负荷。

有功下垂控制就是：

$$f_j(t) = f^* - m_{jP}\left(P_j(t) - P_j^*\right)$$
$$m_{jP} = \frac{f^* - f_{\min}}{P_{\max j} - P_j^*} \tag{5}$$

其中 f^* 为额定频率，$f_{\min}$ 为最小频率；$P_{j\max}$、P_j^*、m_{jp} 分别为第 j 个逆变器的最大输出有功功率，额定有功功率和有功下垂率。

同理，无功下垂控制为：

$$E_j(t) = E^* - m_{jQ}\left(Q_j(t) - Q^*\right)$$
$$m_{jQ} = \frac{E^* - E_{\min}}{Q_{j\max} - Q_j^*} \tag{6}$$

其中E^*为额定电压，$E_{\min}$为最小电压；$Q_{j\max}$、Q_j^*、m_{jQ}分别为第j个逆变器的最大输出无功功率，额定无功功率，无功下垂率。

对 $2\pi f_j(t)$积分就可得到功角，功角和电压幅值$E_j(t)$共同形成逆变器输出电压的指令值，然后控制逆变器的输出电压跟踪该指令值，进而实现逆变器的并联运行。

由前面的分析可知，*P-f* ,*Q-V* 下垂控制的前提是线路 $X >> R$，很多场合下，这个条件并不满足。如，低压电网的线路一般是阻性的，有功和无功之间存在强耦合，相互影响，给 *P-f*, *Q-V* 下垂控制的应用带来了阻碍。特别是对无功 *Q* 的影响，由式（2）得无功的精确表达式：

$$Q = \frac{E_1 X\left(E_1 - E_2\cos\delta\right)}{R^2 + X^2} - \frac{E_1 E_2 R\sin\delta}{R^2 + X^2} \tag{7}$$

由于$E_1X(E_1-E_2\cos\delta)$相对较小，在某些情况下，$E_1E_2R\sin\delta$和前者相比具有可比性，而该项又和有功密切相关，有功越大，$E_1E_2R\sin\delta$也越大；特别是在R相对较大的情况下，如果逆变器的有功输出差异很大，甚至可能出现一部分逆变器输出无功，而另一部分逆变器吸收无功的情况。

在逆变器和线路之间加入隔离变压器可以使线路呈感性，但是大大增加了成本。于玮等人发表的《基于虚拟阻抗的不间断电源并联系统均流控制》（中国电机工程学报, 2009, 29(24): 32-39）的文章中公开了利用虚拟电阻抑制变流器型逆变器并联运行时的环流，但

没有详细研究逆变器的功率（特别是无功功率）协调问题；王成山等人发表的《微网中DG 逆变器的多环反馈控制策略》（电工技术学报, 2009, 24(2): 100-107）的文章中公开的控制变流器的输出阻抗为感性，除了输出阻抗受制于电压电流环的控制参数之外，该方法的根本缺陷是：逆变器的功率输出特性取决于其输出阻抗和线路阻抗之和，而后者的影响更为显著。

有鉴于此，有必要提供一种基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法，以满足工业应用需要。

发明内容

本发明所要解决的技术问题是：针对阻性线路环境，提出一种基于虚拟阻抗的逆变器并联运行技术；通过引入虚拟发电机和虚拟阻抗，达到灵活调整线路阻抗的目的，实现逆变器无通信的并联运行控制，使传统的下垂控制能更好的适应非感性的线路环境。

本发明所采用的技术方案是：一种基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法，其特征在于：针对每台逆变器，引入一虚拟发电机，虚拟发电机通过虚拟阻抗接入逆变器所在点，虚拟阻抗的大小和特性可以根据需要自由选择；将逆变器状态的控制等效为通过虚拟发电机对逆变器所在点的状态的控制；对虚拟发电机使用下垂控制，利用逆变器接入点的有功和无功分别调节虚拟发电机的频率以及电压幅值，进而求得虚拟发电机的电压指令值；在此基础上进一步求得逆变器的输出电压指令值，控制逆变器输出电压跟踪该指令值，从而实现对虚拟发电机的电压的控制，最终实现对有功和无功的解耦调节。

本发明的有益效果是：本发明利用虚拟阻抗实现逆变器无线并联运行的控制策略，相对于传统的控制方法，本发明不需要明显增加硬件投入，可以根据需要随意改变线路的等效阻抗；提高了下垂特性的使用效果，使之可以应用于阻性环境。

附图说明

图 1 是功率传输示意图。

图 2 是有功下垂控制示意图。

图 3 是逆变器控制原理图。

图 4 是引入虚拟发电机和虚拟阻抗后的等效系统。

图 5 是用于仿真的微网系统。

图 6 是传统控制方法逆变器的有功输出。

图 7 是传统控制方法逆变器的无功输出。

图 8 是传统控制方法逆变器 1 的输出电压。

图 9 是本发明控制方法逆变器的有功输出。

图 10 是本发明控制方法逆变器的无功输出。

图 11 是本发明控制方法逆变器 1 的输出电压。

具体实施方式

以下通过具体实施方式，结合附图对本发明作进一步说明。

本发明提供一种基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法，其特征在于：针对每台逆变器，引入一虚拟发电机，虚拟发电机通过虚拟阻抗接入逆变器所在点；对虚拟发电机使用下垂控制，利用逆变器接入点的有功和无功分别调节虚拟发电机的频率以及电压幅值，进而求得虚拟发电机的电压指令值；在此基础上进一步求得逆变器的输出电压指令值，控制逆变器输出电压跟踪该指令值，从而实现对虚拟发电机的电压的控制，最终实现对有功和无功的解耦调节。

以下对本发明的原理进行详细说明：

图 3 是逆变器控制原理图，由基于虚拟阻抗的下垂功率控制器和电压跟踪器组成。前者根据本地信息利用基于虚拟阻抗的下垂特性求出逆变器输出电压的指令值，实现对有功和无功的调节；后者控制逆变器的输出电压，使其跟踪指令值。电压跟踪器可以使用所有现有的成熟方法，本发明示例采用常用的电压电流环控制器；基于虚拟阻抗的下垂功率控制是本发明的核心。

电压电流环的控制目标是确保逆变器输出电压更好的跟踪指令值。采用电压外环电流内环的控制方式，电压外环给出电流内环的指令值，电流内环控制滤波电容的电流跟踪该指令值。电压电流环可以灵活的采用各种控制方法，在本发明的仿真示例中：电流环采用比例控制，比例系数为K_{CP};电压环采用PI控制，比例和积分系数分别为K_{VP}和K_{VI}，电压跟踪器的传递函数总可以写成公式（8）所示的形式。

$$V_O(s)=G(s)V_{O\text{-}ref}-Z(s)I_O \quad (8)$$

图 4 是引入虚拟阻抗后的等效系统，逆变器和母线间的线路呈阻性，将原有系统进行等效，引入一个虚拟发电机，它通过虚拟电抗$X_{virtual}=\omega L_{virtual}$连接到逆变器的接入点B。

如果$|X_{\text{virtual}}|' >> |Z_L|$，虚拟发电机和母线间的阻抗将呈感性，如果对虚拟发电机进行下垂控制，可以实现P_{virtual}和Q_{virtual}的解耦控制。由于B点注入的P,Q就是逆变器输出的有功和无功，显然$P_{\text{virtual}}=P$，因此调节虚拟发电机的功角δ_{virtual}可以实现对P的调剂。

需要进一步阐明两个问题：（1）是否可以通过虚拟发电机电压幅值的下垂控制来实现 B 点无功 Q（即逆变器注入系统的无功）的控制；（2）虚拟发电机是一个并不存在的点，如何对其电压进行控制。

对于第一个问题，结合图 4，假设X_{virtual}取得足够大，则：

$$
\begin{aligned}
Q&=Q_{\text{virtual}}-I^2X_{\text{virtual}}\\
&=\frac{E_{\text{virtual}}\left[(X_{\text{virtual}}+X)(E_{\text{virtual}}-E_s\cos\delta_{\text{virtual}})-E_sR\sin\delta_{\text{virtual}}\right]}{R^2+(X_{\text{virtual}}+X)^2}-\frac{\left[E_{\text{virtual}}^2+E_s^2-2E_{\text{virtual}}E_s\cos\delta_{\text{virtual}}\right]X_{\text{virtual}}}{R^2+(X_{\text{virtual}}+X)^2}\\
&=\frac{E_{\text{virtual}}^2(X_{\text{virtual}}+X)-E_{\text{virtual}}E_s(X_{\text{virtual}}+X)\cos\delta_{\text{virtual}}-E_{\text{virtual}}E_sR\sin\delta_{\text{virtual}}}{R^2+(X_{\text{virtual}}+X)^2}+\frac{-E_{\text{virtual}}^2X_{\text{virtual}}-E_s^2X_{\text{virtual}}+2E_{\text{virtual}}E_sX_{\text{virtual}}\cos\delta_{\text{virtual}}}{R^2+(X_{\text{virtual}}+X)^2}\\
&=\frac{E_{\text{virtual}}^2X-E_{\text{virtual}}E_sX\cos\delta_{\text{virtual}}-E_{\text{virtual}}E_sR\sin\delta_{\text{virtual}}-E_s^2X_{\text{virtual}}+E_{\text{virtual}}E_sX_{\text{virtual}}\cos\delta_{\text{virtual}}}{R^2+(X_{\text{virtual}}+X)^2}\\
&=\frac{E_{\text{virtual}}X(E_{\text{virtual}}-E_s\cos\delta_{\text{virtual}})+E_sX_{\text{virtual}}(E_{\text{virtual}}\cos\delta_{\text{virtual}}-E_s)-E_{\text{virtual}}E_sR\sin\delta_{\text{virtual}}}{R^2+(X_{\text{virtual}}+X)^2}
\end{aligned}
$$

$$
Q\approx\frac{(E_{\text{virtual}}X+E_sX_{\text{virtual}})(E_{\text{virtual}}-E_s)}{R^2+(X_{\text{virtual}}+X)^2} \tag{9}
$$

由式（9）可知，可以通过虚拟发电机电压的控制实现逆变器注入系统的无功功率的控制。

第二个问题的解决方案就是利用下垂特性求得虚拟发电机的电压指令值后，再反推接入点 B 点的参考电压，然后控制变流器的输出电压跟踪该参考电压，从而间接地实现对虚拟发电机端电压的控制，即：

$$
f_{\text{virtual}}(t)=f^*-m_P\left(P(t)-P^*\right) \tag{10}
$$

$$
E_{\text{virtual}}(t)=E_{\text{virtual}}^*-m_Q\left(Q(t)-Q^*\right) \tag{11}
$$

$2\pi f_{\text{virtual}}$（t）积分得δ_{virtual}，再和E_{virtual}（t）合成虚拟发电机的瞬时值e_{virtual}，则DG电压瞬时指令值为：

$$
e_{\text{DG-ref}}=e_{\text{virtual}}-L_{\text{virtual}}\frac{di_o}{dt} \tag{12}
$$

根据式（8）

$$E_{\mathrm{DG}} = V_{\mathrm{O}} = G(s)V_{\mathrm{O\text{-}ref}} - Z(s)I_{\mathrm{O}}$$
$$= G(s)\left(E_{\mathrm{virtual}} - sL_{\mathrm{virtual}}I_{\mathrm{O}}\right) - Z(s)I_{\mathrm{O}}$$
$$= G(s)E_{\mathrm{virtual}} - \left(G(s)sL_{\mathrm{virtual}} + Z(s)\right)I_{\mathrm{O}} \quad (13)$$

在感兴趣的频段内，可认为 $G(s)=1$，则

$$E_{\mathrm{DG}} = E_{\mathrm{virtual}} - \left(sL_{\mathrm{virtual}} + Z(s)\right)I_{\mathrm{O}} \quad (14)$$

相当于在虚拟发电机C点和B点之间加入了$sL_{\mathrm{virtual}}+Z(s)$的虚拟阻抗，只要$L_{\mathrm{virtual}}$取得相对较大，就可确保等效系统图 4 线路AC的感性，实现逆变器P，Q的解耦。

式（12）需对电流进行微分，可能放大高频噪声，实际使用过程中需要对电流进行滤波，本发明仿真示例采用一阶低通滤波$\frac{\omega_c}{s+\omega_c}$。

虚拟发电机的电压额定值需要计入虚拟阻抗的影响，由于

$$E_{\mathrm{virtual}} = \sqrt{\left(E_{DG} + \frac{QX_{\mathrm{virtual}}}{E_{DG}}\right)^2 + \left(\frac{PX_{\mathrm{virtual}}}{E_{DG}}\right)^2} \approx E_{\mathrm{DG}} + \frac{QX_{\mathrm{virtual}}}{E_{\mathrm{DG}}} \quad (15)$$

式（15）中Q、E_{virtual}分别是逆变器无功功率，虚拟发电机的端电压。当逆变器输出最大无功$Q_{\max}$，则E_{DG}达到最低值E_{DGmin}；当逆变器输出最小无功$Q_{\min}$，则E_{DG}达到最大值E_{DGmax}，E_{virtual}的额定值需要同时考虑这两种情况下的电压变化要求，本发明取为：

$$E^*_{\mathrm{virtual}} = \frac{1}{2}\left[\left(E_{\mathrm{DGmin}} + E_{\mathrm{DGmax}}\right) + \left(\frac{Q_{\max}}{E_{\mathrm{DGmin}}} + \frac{Q_{\min}}{E_{\mathrm{DGmax}}}\right)X_{\mathrm{virtual}}\right] \quad (16)$$

本发明的技术效果可以参照以下的仿真示例来说明：

仿真系统如图 5 所示，该系统由两个逆变器组成，电压为 380V，线路 1 和线路 2 的长度皆为 200m，线路参数为 R=0.641Ω/km，X=0.101Ω/km，负荷由电阻和电抗串联而成，参数如表 1 所示，所有电抗参数为工频值。

表 1 微网负荷参数

负荷参数	Z_{LD1}		Z_{LD2}		Z_{LD3}		Z_{LD4}	
	R_{LD1}	X_{LD1}	R_{LD2}	X_{LD2}	R_{LD3}	X_{LD3}	R_{LD4}	X_{LD4}
	500	3.14	200	3.14	30	12.56	30	12.56

控制参数如表 2 所示，逆变器 1、2 的额定有功、额定无功分别为 $P_1^* = P_2^* = 0$，

$Q_1^* = Q_2^* = 0$，负荷Z_{LD4}是在t=0.4s时投入的。对传统控制方法和本文所提方法进行了仿真，开关频率fc为 6000Hz。其中，P_1、P_2、Q_1、Q_2、V_{DG1}、V_{DG2}、f_1、f_2分别代表逆变器 1 和逆变器 2 的有功、无功、输出电压及频率。

表 2 控制器参数

Vdc/V	fc	L/mH	C/μF	R	K_{VP}	K_{VI}	K_{CP}	ω_c
800	6000	0.6	1500	0.01	10	100	5	4710
逆变器 1				逆变器 2				
m_{1P}		m_{1Q}		m_{2P}		m_{2Q}		
4×10^{-5}		3×10^{-5}		8×10^{-5}		3×10^{-5}		

（1）传统控制方法的仿真结果

由图 6—图 8 可知，仿真启动经过一段时间后微网达到稳定，此时P_1：P_2=2:1；0.4s 时Z_{LD4}投入，经过一段时间后，微网再次达到稳定，逆变器 1、2 按比例共同承担新增负荷，此时仍然有P_1：P_2=2:1。这一点是显而易见的，因为整个微网的频率是统一的，即：$f_1 = f_2$根据式（5），结合$P_1^* = P_2^* = 0$，则$m_{1P}P_1=f^*-f_1=f^*-f_2= m_{2P}P_2$，即逆变器 1、2 按照$P$-$f$下垂系数的反比承担负荷。

由 7 可知，在整个仿真过程中出现了严重后果：逆变器 2 发出无功，逆变器 1 吸收无功，二者的差值就是负荷的无功，而且逆变器 1 和逆变器 2 的有功差别增加后，这种情况更加突出。

图 8 分别是逆变器 1 输出的电压波形，在负荷变动的过程中，电压变化较小。

（2）本发明控制方法的仿真结果

图 9—图 11 是采用虚拟电抗下垂控制的仿真波形，微网同样保持了稳定。

图 9 同样表明，逆变器 1、2 按P-f下垂斜率的反比承担负荷。

图 10 表明Q_1和Q_2都为正值，避免了一个发出无功，一个吸收无功的情况。

图 11 分别是逆变器 1 的电压波形，在负荷变动的过程中，电压变化较小。

（3）二者的比较

比较传统方法和本发明的仿真结果可知：当线路为阻性时，传统下垂控制方法效果较差，会出现部分逆变器发出无功，部分发电机吸收无功的严重后果；采用本发明的控制方法后，实现了逆变器有功和无功的解耦，上述问题不再出现。

权 利 要 求 书

1、一种基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法，其特征在于：

针对每台逆变器，引入一虚拟发电机，虚拟发电机通过虚拟阻抗接入逆变器所在点，虚拟阻抗可以根据需要设置；将逆变器的控制等效成通过虚拟发电机对逆变器所在点状态的控制；

对虚拟发电机使用下垂控制，利用逆变器的有功和无功分别调节虚拟发电机的频率以及电压幅值，进而求得虚拟发电机的电压指令值；

在此基础上进一步求得逆变器的输出电压指令值，控制逆变器输出电压跟踪该指令值，从而实现对虚拟发电机的电压的控制，最终实现对有功和无功的解耦调节。

2、如权利要求 1 所述的基于虚拟阻抗的逆变器并联运行方法，其特征在于：所述下垂控制包括功率控制器和电压跟踪器，所述功率控制器利用基于虚拟阻抗的下垂特性求出逆变器输出电压的指令值，实现对有功和无功的调节；所述电压跟踪器控制逆变器的输出电压，使其跟踪指令值。

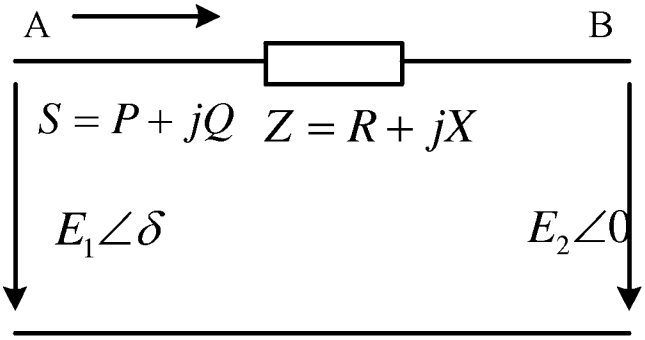

A
B
$S = P + jQ$
$Z = R + jX$
$E_1 \angle \delta$
$E_2 \angle 0$

图 1

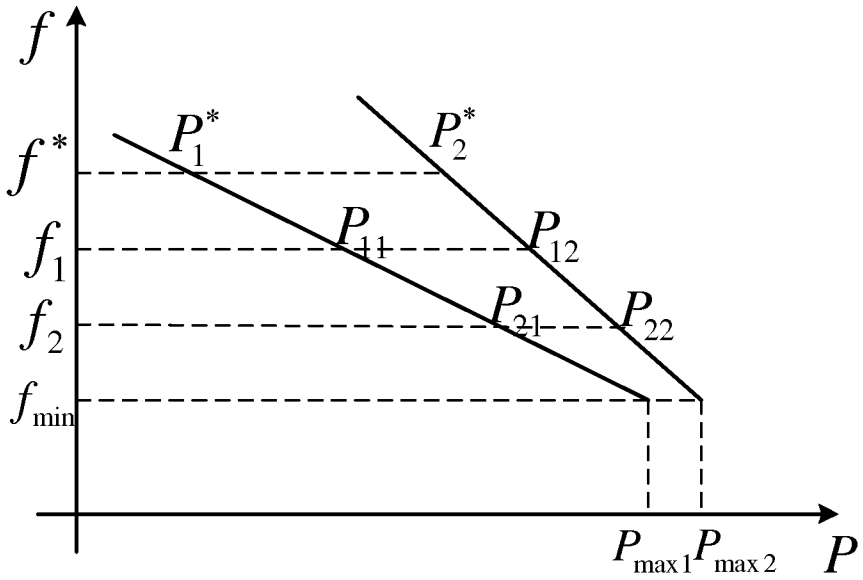

f
f^*
f_1
f_2
$f_{\min}$
P_1^*
P_2^*
P_{11}
P_{12}
P_{21}
P_{22}
$P_{\max 1}$
$P_{\max 2}$
P

图 2

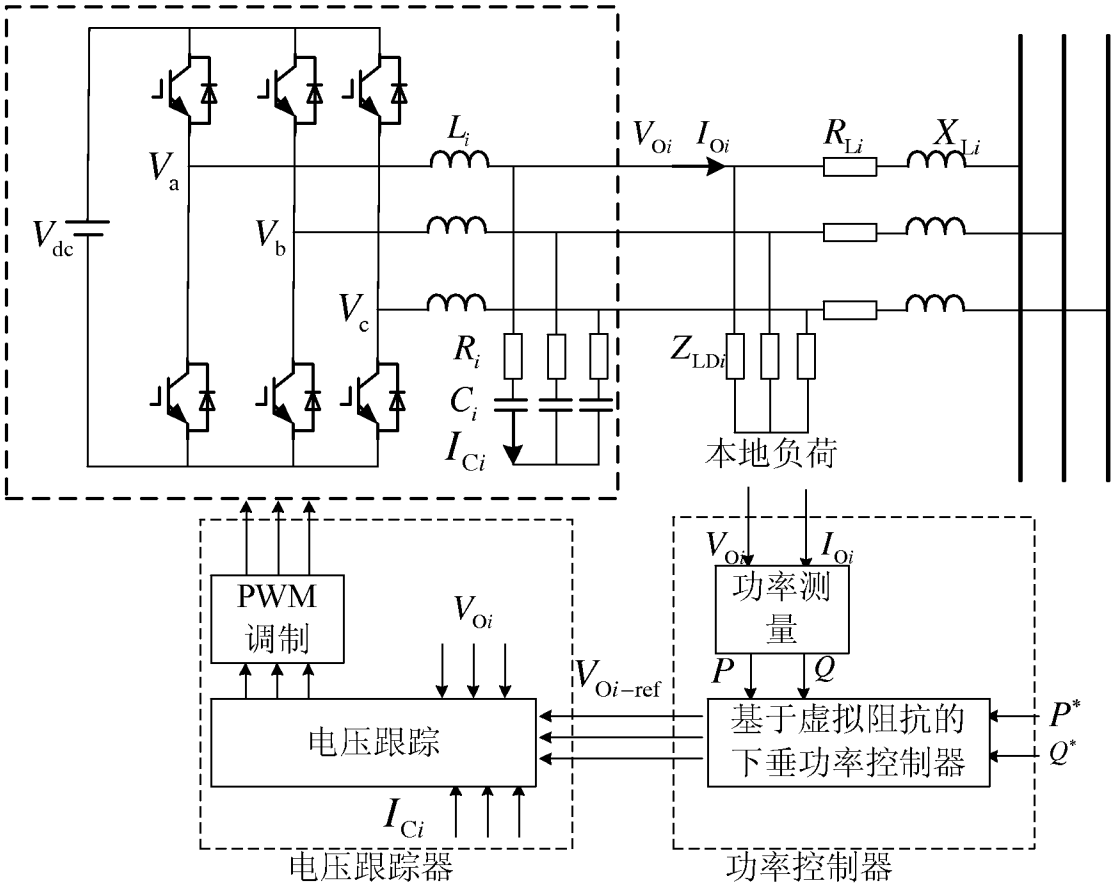

V_{dc}
V_a
V_b
V_c
L_i
V_{Oi} I_{Oi}
R_{Li}
X_{Li}
R_i
C_i
I_{Ci}
Z_{LDi}
本地负荷
PWM 调制
V_{Oi}
电压跟踪
I_{Ci}
电压跟踪器
V_{Oi-ref}
V_{Oi} I_{Oi}
功率测量
P Q
基于虚拟阻抗的下垂功率控制器
P^*
Q^*
功率控制器

图 3

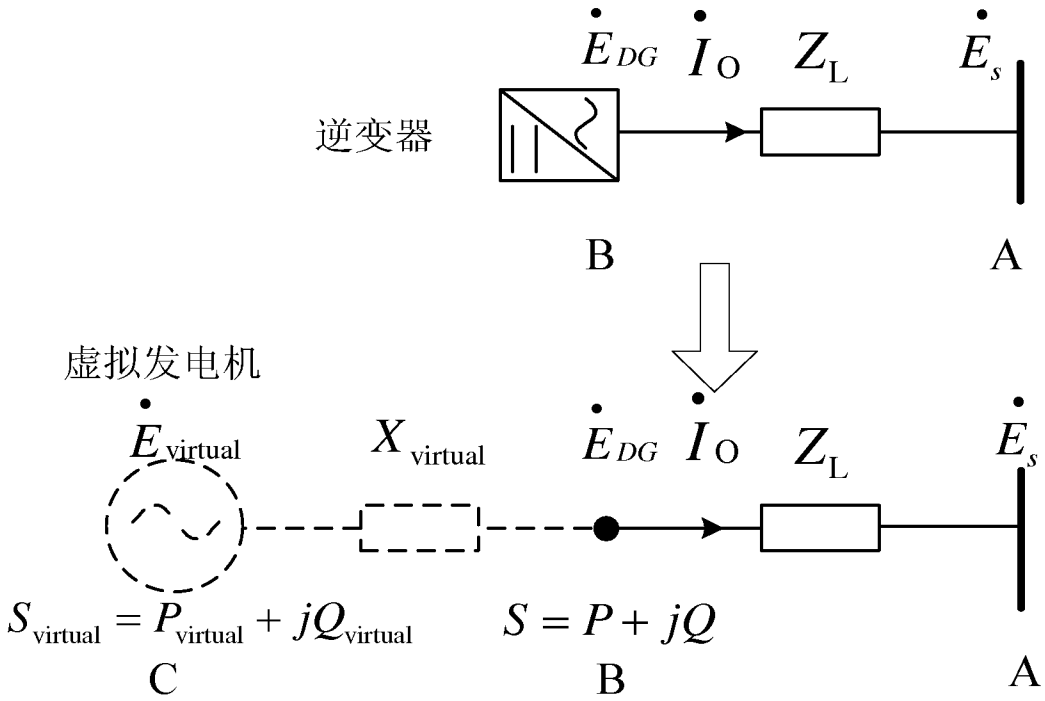

$\dot{E}_{DG}$ $\dot{I}_O$ Z_L $\dot{E}_s$
逆变器
B
A
虚拟发电机
$\dot{E}_{virtual}$
$X_{virtual}$
$\dot{E}_{DG}$ $\dot{I}_O$ Z_L $\dot{E}_s$
$S_{virtual} = P_{virtual} + jQ_{virtual}$
$S = P + jQ$
C
B
A

图 4

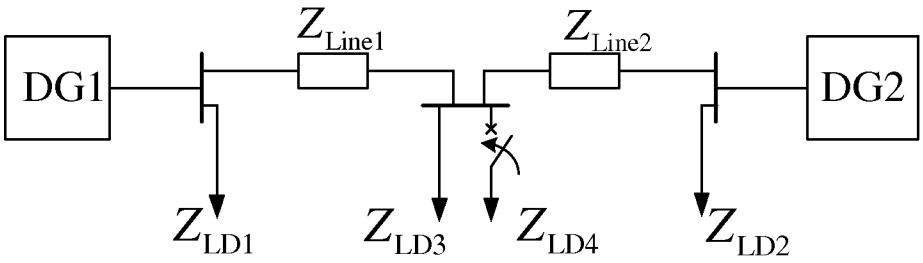

DG1
DG2
Z_{Line1}
Z_{Line2}
Z_{LD1}
Z_{LD3}
Z_{LD4}
Z_{LD2}

图 5

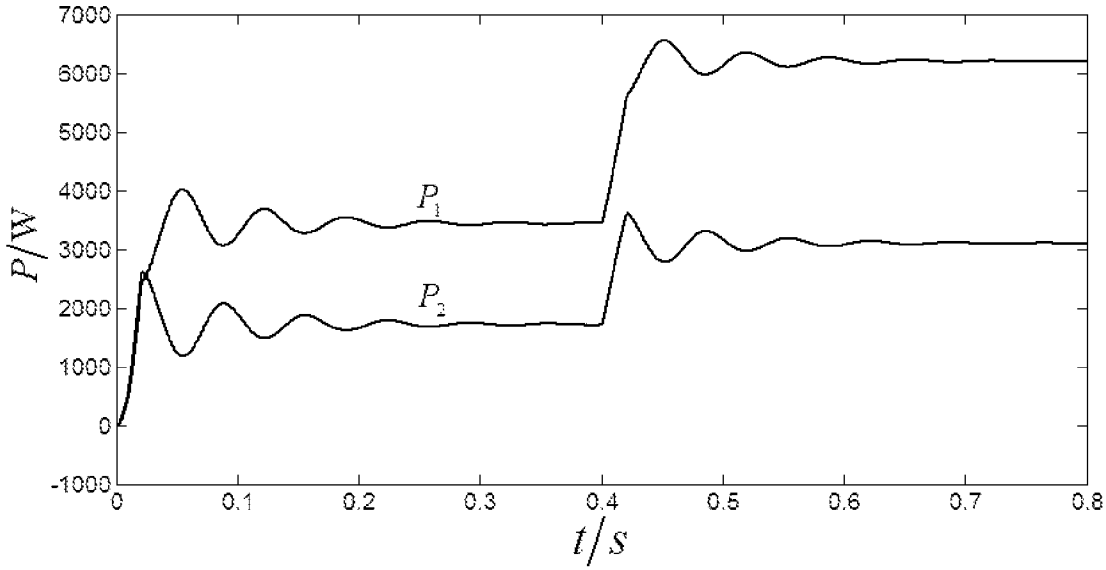

7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
-1000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
P/W
t/s
P_1
P_2

图 6

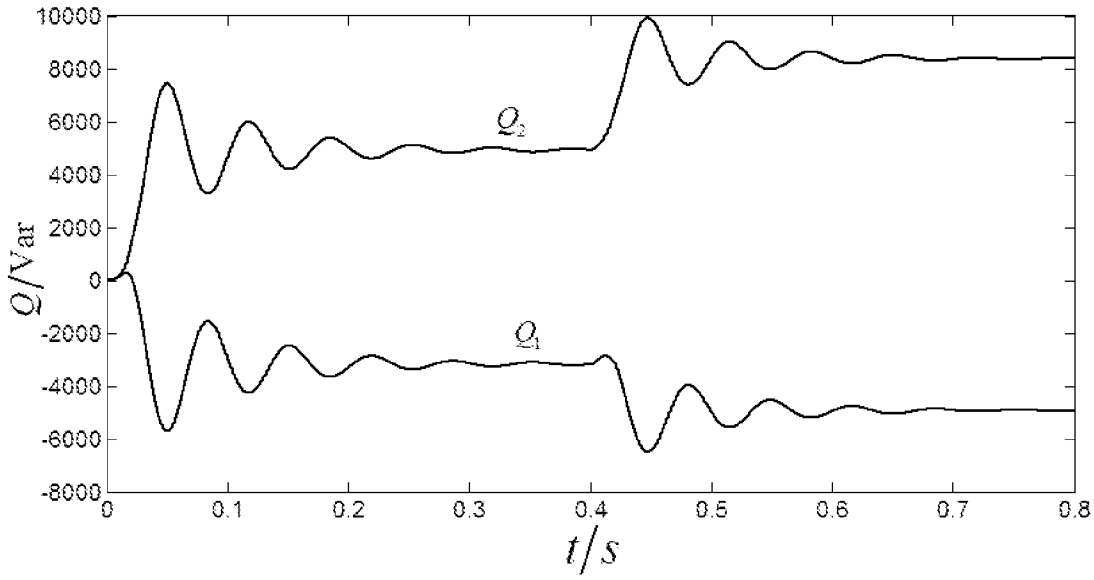

10000
8000
6000
4000
2000
0
-2000
-4000
-6000
-8000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
Q/Var
t/s
Q_2
Q_1

图 7

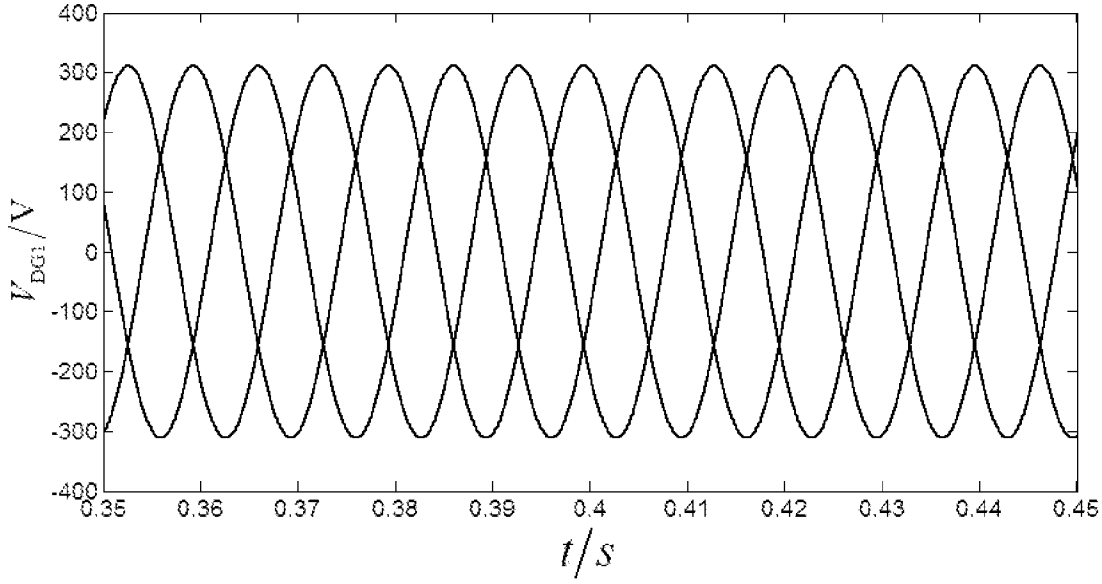

400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
0.35
0.36
0.37
0.38
0.39
0.4
0.41
0.42
0.43
0.44
0.45
V_{DG1}/V
t/s

图 8

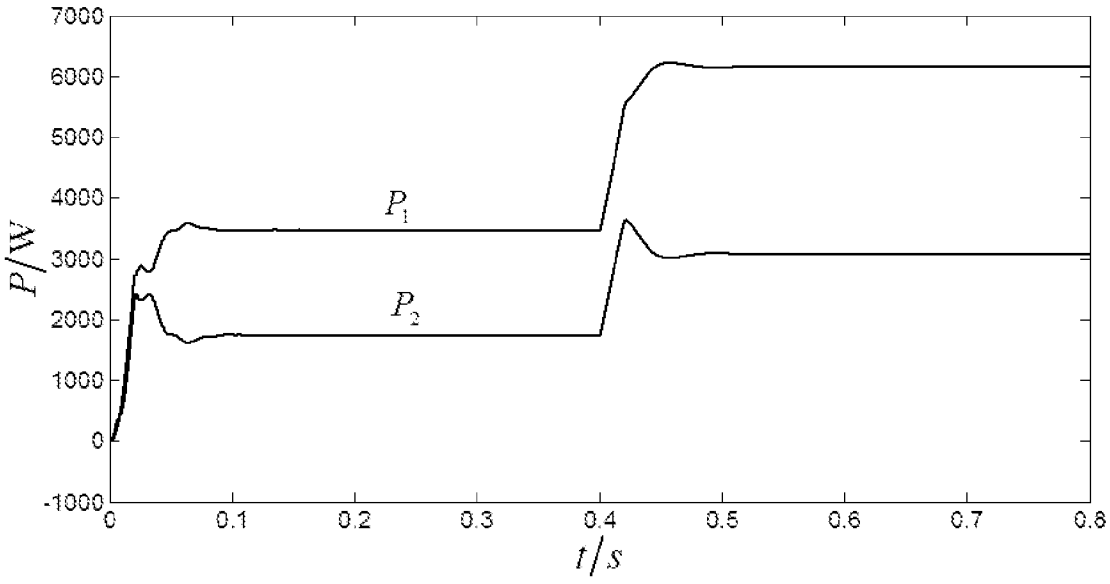

7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
-1000
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
P/W
P_1
P_2
t/s

图 9

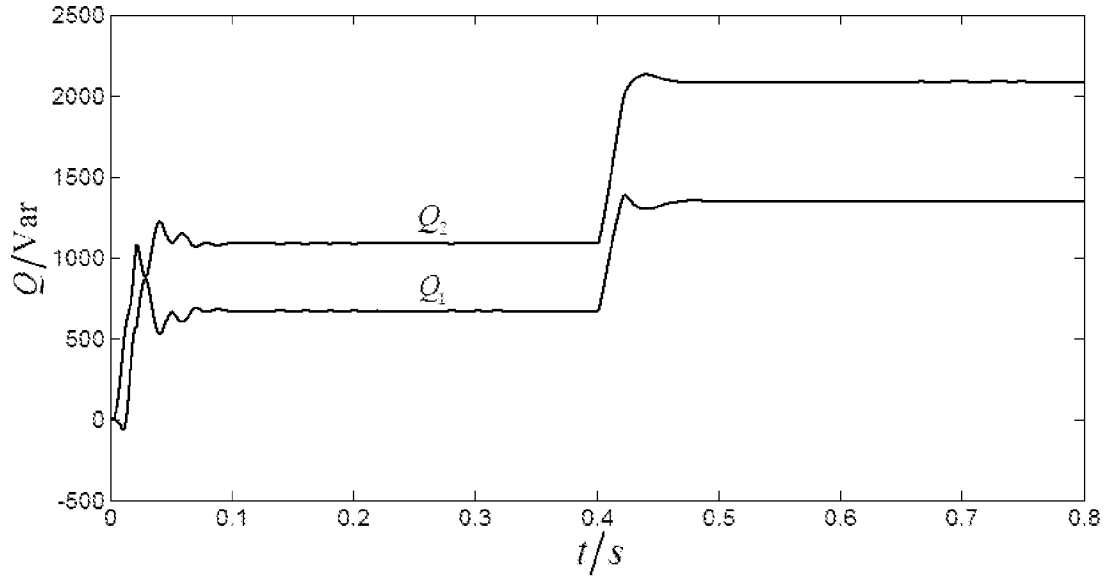

2500
2000
1500
1000
500
0
-500
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
Q/Var
t/s
Q2
Q1

图 10

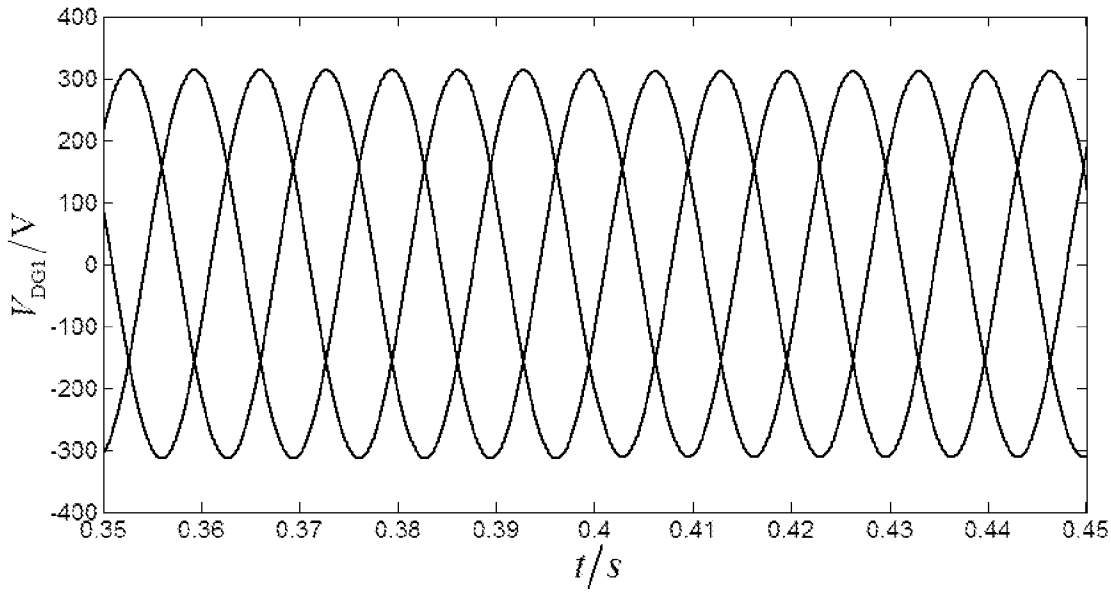

400
300
200
100
0
-100
-200
-300
-400
0.35
0.36
0.37
0.38
0.39
0.4
0.41
0.42
0.43
0.44
0.45
V_DG1/V
t/s

图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2011/083128

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/38(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H02J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, WPI, EPODOC, CNKI, IEEE: invert+, parallel, virtual, generat+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	CN 102157956 A(STATE GRID ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) 17 Aug. 2011(17.08.2011),claim 1, description, paragraphs [0046]-[0082], and figures 3-5	1-2
A	LI, Minyuan et al. A Synthesis Wireless Control Strategy for Parallel Operation of 400Hz Inverters. Journal of Xi an University of Technology (2010). 30 Jun. 2010(30.06.2010), vol. 26, no. 2, pages 142-147. ISSN: 1006-4710	1-2
A	ZHAO, Junfeng et al. A Research On Simulation Of Parallel Operation Of Single-Phase Inverters. Journal of Shaanxi University of Science & Technology (Natural Science Edition). 25 Dec. 2010(25.12.2010) vol. 28, no. 6, pages 90-94. ISSN: 1000-5811	1-2
A	Josep M. Guerrero el al. Wireless-Control Strategy For Parallel Operation Of Distributed-Generation Inverters. IEEE Transactions On Industrial Electronics. Oct. 2006 vol. 53, no. 5, pages 1461-1470	1-2

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
01 Feb. 2012(01.02.2012)	15 Mar. 2012(15.03.2012)
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer CHAI, Dee Telephone No. (86-10) **62411782**

Form PCT/ISA /210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2011/083128

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 102157956 A	17.08.2011	NONE	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2011/083128

A. 主题的分类

H02J 3/38(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: H02J

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNPAT,WPI,EPODOC,CNKI，IEEE：逆变器，并联，虚拟，invert+，parallel，virtual，generat+

C. 相关文件

类　型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
P,X	CN 102157956 A(国网电力科学研究院)17.8 月 2011（17.08.2011）权利要求 1，说明书[0046]-[0082]段，说明书附图 3-5	1-2
A	李敏远等,一种 400Hz 逆变电源的无线并联综合控制方法,西安理工大学学报（2010）,30.6 月 2010（30.06.2010）,第 26 卷第 2 期，第 142-147 页 ISSN:1006-4710	1-2
A	赵军峰等，单相逆变电源并联控制系统仿真研究，陕西科技大学学报(自然科学版)，25.12 月 2010（25.12.2010），第 28 卷第 6 期，第 90-94 页，	1-2
A	Josep M. Guerrero 等，Wireless-Control Strategy for Parallel Operation of Distributed-Generation Inverters, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, October 2006, Vol.53,No.5, 第 1461-1470 页	1-2

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。　　☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：
"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件
"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利
"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）
"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件
"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件
"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件
"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性
"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性
"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
01.2 月 2012（01.02.2012）	**15.3 月 2012 (15.03.2012)**

ISA/CN 的名称和邮寄地址：	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号：　(86-10)62019451	柴德娥 电话号码：(86-10) **62411782**

国际检索报告

关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2011/083128

检索报告中引用的专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 102157956 A	17.08.2011	无	