

集成谐波阻尼功能的单相光伏发电系统

王逸超, 罗 安

(湖南大学 电气与信息工程学院, 湖南 长沙 410082)

摘 要: 针对单相 LC 型并网逆变器与电网阻抗间可能发生的谐振现象进行了研究。为了提高公共连接点电压质量, 抑制背景谐波电压在公共连接点的谐振放大, 将阻性有源滤波器的功能引入光伏并网逆变器。集成谐波阻尼功能的单相光伏并网系统可有效抑制背景谐波电压的谐振放大, 但交直流侧瞬时功率交换会导致直流侧电压出现高频纹波分量脉动。为此, 通过引入低通滤波环节和优化电压电流环参数设计, 达到了减少直流侧电压纹波对电流环控制影响的目的。理论分析和仿真结果验证该方案的有效性。

关键词: 阻性有源滤波器; 谐波阻尼; 高频纹波; 低通滤波

中图分类号: TM615+.2

文献标识码: A

文章编号: 2095-3631(2013)06-0001-06

Single Phase Photovoltaic System with Integrated Harmonic Voltage Damping Function

WANG Yi-chao, LUO An

(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha, Hunan 410082, China)

Abstract: It studied the resonance phenomenon between single-phase grid-connected inverter with LC filter and grid impedance. In order to improve voltage quality of common connection points and suppress harmonic resonance amplification of background harmonic voltage, function of resistive active filter was integrated into grid-connected inverter. Single phase photovoltaic system with integrated harmonic voltage damping function can suppress resonant amplification of background harmonic voltage effectively, but instantaneous power exchange between AC and DC side will cause high-frequency component ripple of DC voltage. Therefore, to reduce the effect on the current of DC voltage ripple, a strategy was proposed based on low-pass-filter and parameter optimization design of voltage and current loop. Both theoretical analysis and simulation results demonstrate that this control strategy is valid.

Key words: resistive active filter; harmonic damping; high-frequency ripple; low pass filter

0 引言

受天气变化等因素影响, 光伏发电具有间歇性与不确定性。光伏并网逆变器只能白天运行、晚上切离电网, 不仅降低设备的利用率, 而且频繁的投切会影响电网的稳定性。由于光伏发电装置和电能质量补偿装置

拓扑结构具有相似性, 因此, 将光伏发电与电能质量补偿的功能相结合将成为光伏发电装置发展趋势, 不少学者对此进行了研究。

文献[1]提出一种具有光伏并网发电功能的统一电能质量调节器(UPQC), 在集成UPQC功能的前提下, 可实现光伏并网发电和电力中断补偿, 提高了设备的利用效率和性价比; 但该装置串联部分需将变压器串联在电网中, 在普通家庭用户中推广难度较大。文献[2]和[3]结合光伏发电和有源滤波器的功能, 研究了一种既能并网发电又可滤除电网谐波电流的新型系统。上述

收稿日期: 2013-08-19

作者简介: 王逸超(1988-), 男, 博士研究生, 研究方向为分布式发电技术及电能质量控制;

罗安(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电能质量控制和微电网控制。

文献所提控制策略中,谐波指令信号的获取均采用基于谐波补偿的检测负载控制方式。该控制方式适用于对大功率非线性负荷进行电能质量的集中治理;而在家庭配电网中,谐波源以小型整流开关电源为主,具有数量多、功率小、分布广的特点,难以对非线性负荷进行集中补偿,因此在实际应用中存在局限性。

为方便在并网和离网模式之间切换,并网逆变器大都采用相比L型滤波器能获得更好开关频率滤除效果的LC型或LCL型滤波器,但滤波电容的存在也增加了其与电网阻抗谐振的风险,尤其在多台逆变器同时并联时候。对此,文献[4]分析了多台逆变器并联时的交互影响,并提出一种可有效抑制并网逆变器输出电流谐振的有源阻尼策略,但文章以改善并网逆变器输出电流质量为目标,并没有对用户关注的公共连接点电压的谐振现象进行讨论。

阻性有源滤波器^[5-6]通过检测直接并联点电压中的谐波成分,控制有源滤波器的输出电流与瞬时检测到的谐波电压成比例,使有源滤波器在外特性上表现为纯阻性,具有谐波阻尼功能,能有效抑制谐波在电网中的传播,减弱谐波引起的串并联谐振。这种谐波指令的获取方式只需要检测公共连接点电压,更适合于在家庭用户中推广应用。

本文首先对并网逆变器与电网阻抗间的谐振现象进行研究,在此基础上提出了一种集成谐波阻尼功能的单相光伏并网控制策略,详细分析了阻尼策略对背景谐波电压串联谐振现象的作用原理;接着从能量交换的角度对谐波阻尼策略进行了探讨,指出单相系统交直流侧瞬时功率的交换导致直流侧电压不仅出现二倍频谐波脉动而且会出现高次频率谐波成分脉动,影响电流环的指令信号,为此在电压环中引入低通滤波环节,对电压电流环的参数设计进行了分析;最后通过仿真验证了所提控制策略的有效性。

1 并网逆变器谐振模型

单相光伏系统由光伏阵列、前级升压电路、后级并网逆变器、LC滤波器组成,其结构如图1所示。图中, U_{pv} 和 I_{pv} 为光伏阵列输出电压和电流, I_{inv} 为滤波电感电流, U_{dc} 为逆变电路直流储能电容电压, U_{grid} 为电网电压, L_{grid} 代表电网等效电感, R_{grid} 代表电网等效电阻, U_{pcc} 为并网逆变器并网点电压。前级升压电路用以实现最大功率点跟踪(MPPT)控制,并将能量从光伏侧传递至并网逆变器直流侧,其中MPPT算法采用改进的爬山法^[7]设计;后级并网逆变器采用电压外环、电流内环的双环

控制,其中电压外环用以实现直流母线电压的稳压控制,电流内环主要实现并网电流跟踪控制。

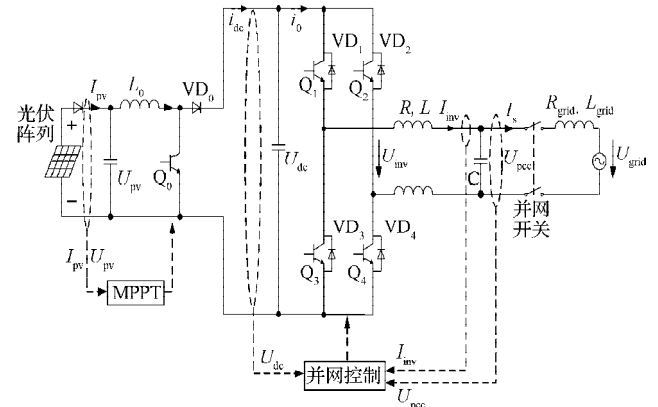


图1 单相光伏发电系统结构图

Fig. 1 Structure of single-phase photovoltaic system

未进行谐波补偿时,光伏并网逆变器仅输出基波电流信号。通过引入公共连接点电压前馈作用,可消除并网逆变器输出电流与公共连接点电压的耦合关系,使并网逆变器输出电流仅与基波指令信号相关,其等效电路模型如图2所示。图中,并网逆变器模型由受控基波电流源 I_{inv1} 和滤波电容C的并联电路等效。低压配电网传输线阻抗虽然以阻性为主,但由于变压器存在漏抗,线路阻抗与滤波电容依然可以构成谐振电路,此时,微小的谐波源都可能引起很大的谐波谐振。

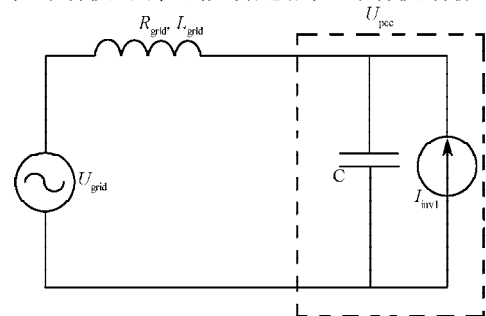


图2 单相并网逆变器等效电路模型

Fig. 2 Equivalent circuit model of single-phase grid-connected inverter

对普通用户而言,公共连接点电压的质量最受关注。谐波电压含量是公共连接电压质量的一个重要指标。仅考虑背景谐波电压影响且只有单台并网逆变器并网运行时,公共连接点电压谐波成分 U_{pccH} 可表示为:

$$U_{pccH} = \frac{U_{gridH}}{1 - \omega^2 L_{grid} C + j\omega R_{grid} C} \quad (1)$$

式中: U_{gridH} ——背景谐波电压。

当有多台并网逆变器同时并联运行时,其等效电路如图3所示,电路参数如表1所示。由图3可知,多台并网逆变器同时运行时,公共连接点谐波电压表达式与式(1)相同,但公共连接点并联电容的取值受并网逆变器数量 n 的影响。

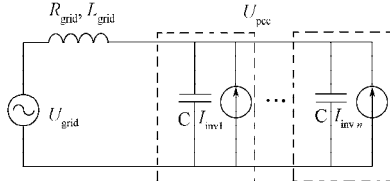


图3 多并网逆变器等效电路模型

Fig. 3 Equivalent circuit model of multiple grid-connected inverters

表1 电路参数表

Tab. 1 Circuit parameters

参数	数值
电网等效电感 L_{grid}/mH	0.8
电网等效电阻 R_{grid}/Ω	0.25
滤波电容 μF	3.3
滤波电感 mH	4.5
滤波电感等效电阻 Ω	0.02

图4示出不同并网逆变器数量时公共连接点背景谐波电压谐振的放大曲线。由图可见，并网逆变器数量变化时，公共连接点背景谐波电压的谐振特性曲线也发生变化，且随着并网逆变器数量的增多，谐振点逐渐向电网背景谐波电压含量较大的低次谐波频率处转移，这给公共连接点用户的用电安全带来了严重隐患。

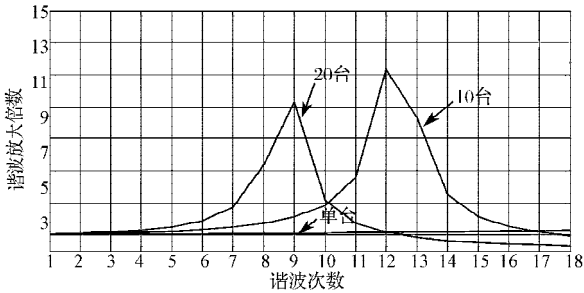


图4 公共连接点谐波电压谐振放大曲线

Fig. 4 Harmonic resonance amplifying curve of PCC voltage

2 谐波阻尼策略

为了抑制电网电压谐振，提高公共连接点电压的电能质量，将阻性有源滤波器的功能引入光伏并网逆变器。并网逆变器指令电流信号可表示为：

$$i_{ref} = i_{ref1} - G \times U_{pcc} \quad (2)$$

式中： i_{ref1} ——基波指令电流； G ——电导增益。

忽略电流跟踪误差影响，集成谐波阻尼策略后的单相光伏在谐波域的等效电路如图5所示，图中电流源 $G \times U_{pcc}$ 从伏安外特性分析角度出发被等效为一个并联的谐波电导纳 G 。

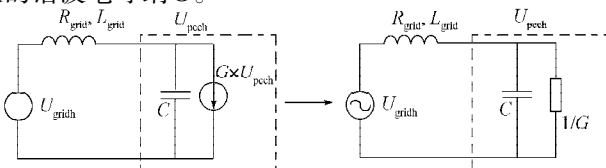


图5 集成谐波阻尼策略后的逆变器等效电路模型

Fig. 5 Equivalent circuit model of grid-connected inverter using integrated harmonic damping strategy

由图5可得公共连接点谐波电压表达式：

$$U_{pcc} = \frac{U_{gridh}}{1 + R_{grid}G - \omega^2 L_{grid}C + j(\omega L_{grid}G + \omega C R_{grid})} \quad (3)$$

比较式(1)和式(3)可知，在相同电路参数条件下，谐波电导纳的存在增大了分母的增益、减弱了背景谐波电压对公共连接点电压的影响。若每并网逆变器均采用谐波阻尼策略，则并网逆变器的数量不仅影响公共连接点并联电容取值还将影响总谐波电导纳的取值。由式(3)可以得到公共连接点背景谐波电压的谐振放大曲线(图6)，其中单台逆变器谐波电导纳 G 取值为0.2。图中，公共连接点电压各次谐波分量都得到了有效衰减，背景谐波电压的谐振放大现象得到有效的抑制。

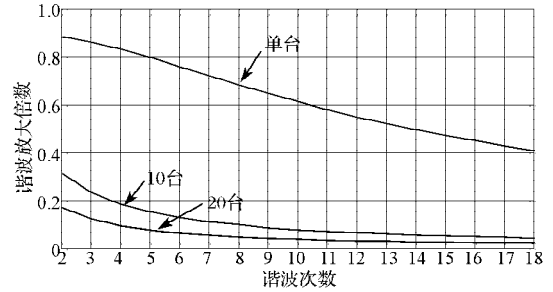


图6 集成谐波阻尼策略后的公共连接点谐波电压谐振放大曲线

Fig. 6 Harmonic resonance curve of PCC voltage when integrated harmonic damping strategy

采用集成谐波阻尼策略后，光伏逆变器在向电网输送基波有功电流的同时在外特性上还可等效为一个导纳为 G 的谐波电阻。这种策略是通过控制并网逆变器的输出电流实现的，是一种虚拟意义上的谐波电阻，因此电网谐波电压和并网逆变器输出谐波电流间产生的谐波有功能量并不会被消耗掉，而是由电网传递至逆变器。假设公共连接点电压表示为：

$$U_{pcc} = \sqrt{2}U_1 \cos(\omega t) + \sum_{n>1} \sqrt{2}U_n \cos(n\omega t + \varphi_n) \quad (4)$$

忽略控制误差影响，并网逆变器输出电流可表示为：

$$I_{inv} = \sqrt{2}I_1 \cos(\omega t) - \sum_{n>1} \sqrt{2}GU_n \cos(n\omega t + \varphi_n) \quad (5)$$

式中： U_n ——第 n 次谐波电压分量的有效值； φ_n ——谐波电压初相角。

并网逆变器交流侧的瞬时输出功率则可表示为：

$$p_{grid} = U_1 I_1 - \sum_{n>1} GU_n^2 + U_1 I_1 \cos(2\omega t) - \sum_{n>1} GU_n^2 \cos(2n\omega t + 2\varphi_n) - \sum_{n>1} 2GU_1 U_n \cos(\omega t) \cos(n\omega t + \varphi_n) + \sum_{n>1} 2U_n I_1 \cos(\omega t) \cos(n\omega t + \varphi_n) \quad (6)$$

式中: $\sum_{n>1} GU_n^2$ ——电网输向逆变器的稳态谐波有功功率。

根据瞬时功率平衡原理,有:

$$U_{dc} i_{dc} = p_{grid} + C \frac{dU_{dc}}{dt} U_{dc} \quad (7)$$

式中: i_{dc} ——光伏阵列输入直流电流; $U_{dc} i_{dc}$ ——光伏阵列输入有功功率。

并网逆变器稳态输入有功功率由两部分组成,一部分有功能量由光伏阵列产生,经前级升压电路传递至后级并网逆变器直流侧;另一部分谐波有功能量以谐波有功电流形式从电网交流侧传递至后级并网逆变器直流侧。后级并网逆变器通过直流侧电压的闭环控制将能量以基波有功电流形式反馈回电网,实现能量传递。因此,稳态有功功率的平衡满足以下关系:

$$U_{dc} i_{dc} = U_1 I_1 - \sum_{n>1} GU_n^2 \quad (8)$$

联立式(6)~式(8),得到直流侧电压纹波分量:

$$U_{dc} = \frac{U_1 I_1}{2\omega C U_{dc}} \sin(2\omega t) - \sum_{n>1} \frac{GU_n^2}{2n\omega C U_{dc}} \sin(2n\omega t + 2\varphi_n) + \sum_{n>1} \frac{U_n I_1 - GU_n U_{dc}}{(n+1)\omega C U_{dc}} \sin[(n+1)\omega t + \varphi_n] + \sum_{n>1} \frac{U_n I_1 - GU_n U_{dc}}{(n-1)\omega C U_{dc}} \sin[(n-1)\omega t + \varphi_n] \quad (9)$$

式(9)表明,采用集成谐波阻尼策略后,直流侧母线电压不仅存在二倍频谐波分量脉动,而且会存在与电网谐波电压分量相关的谐波成分脉动。由于电压环输出作为基波电流指令的幅值,若不对电压环纹波分量进行抑制,不仅影响谐波阻尼策略的控制效果,而且可能产生与谐波阻尼策略无关的谐波电流成分,污染电网质量。

3 电压电流双环参数设计

为了减少直流侧电压波动对电流环控制的影响,实现电压环和电流环控制解耦,需要在电压控制器中加入滤波器对纹波分量进行抑制。为了便于工程实现,本文采用一阶低通滤波器。图7示出其电压外环控制框图。

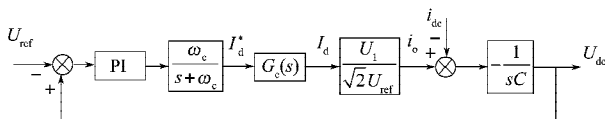


图7 电压外环控制框图

Fig. 7 Block diagram of the voltage outer loop

图7中, ω_c 为一阶低通滤波器截止频率; $G_c(s)$ 为电流跟踪闭环传递函数; I_d 为逆变器输出基波电流幅值; i_{dc} 为直流母线电压输向交流侧电流。考虑谐波功率一般较小,且逆变器交流侧的瞬时输出功率等于逆变器直

流侧的输出功率,故 i_o 可近似为:

$$i_o \approx \frac{U_1 I_d}{\sqrt{2} U_{ref}} \quad (10)$$

根据图1所示直流侧电流关系,则逆变器直流储能电容电压为:

$$U_{dc} = -\frac{i_o - i_{dc}}{sC} \quad (11)$$

首先对电流环参数设计进行分析,采用PI控制策略实现电流跟踪时,电流环开环传递函数可表示为:

$$G_{for}(s) = \frac{k_{pi}s + k_{il}}{s} \times \frac{k_{PWM}}{sL + r} \quad (12)$$

式中: k_{pi} ——PI控制器比例系数; k_{il} ——PI控制器积分系数; k_{PWM} ——并网逆变器作用环节,可等效为比例环节; L ——滤波电感; r ——滤波电感等效电阻。

当选取 $k_{pi}/k_{il} = L/r$ 时,式(12)实现零极点对消,可化简为:

$$G_{for}(s) = \frac{k_{il} k_{PWM}}{sr} \quad (13)$$

选取 ω_b 为电流环带宽,得到电流环比例系数和积分系数为:

$$\left. \begin{aligned} k_{pi} &= \frac{\omega_b L}{k_{PWM}} \\ k_{il} &= \frac{\omega_b r}{k_{PWM}} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

由此,电流跟踪闭环传递函数也可表示为一个一阶滤波环节,即:

$$G_c(s) = \frac{\omega_b}{s + \omega_b} \quad (15)$$

加入低通滤波环节后,造成电压环传递函数阶数的增加,一旦电压环控制参数选取不当,容易引起系统的不稳定。为此,根据图7所示电压外环控制框图得到电压环特征方程:

$$a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0 = 0 \quad (16)$$

式中: $a_0 = U_1 \omega_b \omega_c k_{i2}$; $a_1 = U_1 \omega_b \omega_c k_{p2}$; $a_2 = \sqrt{2} U_{ref} \omega_b \omega_c C$; $a_3 = \sqrt{2} U_{ref} (\omega_b + \omega_c) C$; $a_4 = \sqrt{2} U_{ref} C$; k_{p2} ——电压环PI控制器比例系数; k_{i2} ——电压环PI控制器积分系数。

根据劳斯稳定判据,求得系统稳定的充分必要条件:

$$\left. \begin{aligned} 0 < k_{p2} &< \frac{\sqrt{2} U_{ref} (\omega_b + \omega_c) C}{U_1} \\ 0 < k_{i2} &< \frac{\sqrt{2} U_{ref} (\omega_b + \omega_c) \omega_b \omega_c k_{p2} C - U_1 \omega_b \omega_c k_{p2}^2}{\sqrt{2} U_{ref} (\omega_b + \omega_c)^2 C} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

式(17)表明, k_{i2} 的取值受 k_{p2} 的制约。根据上文推理,考虑到母线电压谐波主要集中在17次以下,可选取

控制参数如表2所示。

表2 控制参数

Tab. 2 Control parameters

参数	数值
电流环带宽 $\omega_b / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	$2\pi \times 850$
低通滤波器截止频率 $\omega_c / (\text{rad} \cdot \text{s}^{-1})$	$2\pi \times 15$
直流侧电压参考值 $U_{\text{ref}} / \text{V}$	400
直流侧电容值 $/\mu\text{F}$	3 000

将表2中参数代入式(17)可得:

$$\left. \begin{aligned} 0 < k_{p2} < 42 \\ 0 < k_{i2} < 2.2k_{p2}(42 - k_{p2}) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

取 $k_{p2}=1.2$, $k_{i2}=20$, 得到的开环传递函数系统伯德图如图8所示, 图中相角裕度和幅值裕度分别为 31.7° 和 29.1 dB , 表明系统具有良好的相对稳定性能。

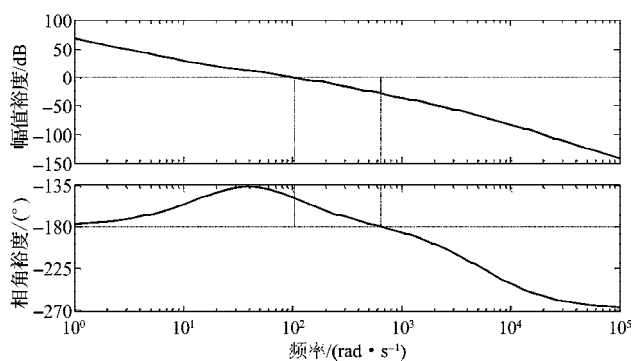


图8 电压外环开环伯德图

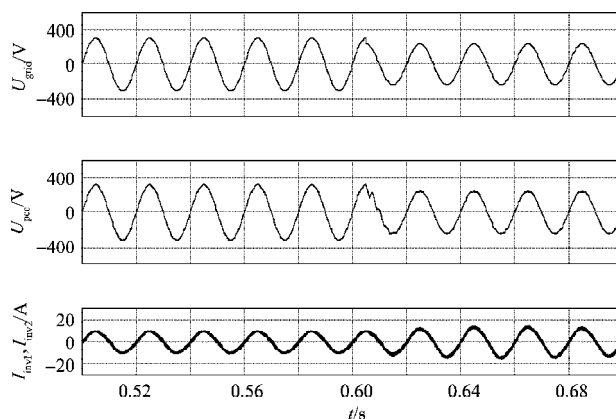
Fig. 8 Bode diagram of the voltage outer open-loop

4 仿真

为验证本文所述控制方法的有效性, 在PSIM仿真平台上搭建了并网逆变器仿真模型。设定逆变器的载波频率为 12.8 kHz , 标准光照强度为 800 W/m^2 , 环境温度为 25°C , 直流侧电压外环加入低通滤波环节, 其余参数选取如表1和表2所示。为简化仿真模型, 由2台并网逆变器组成并联系统, 同时采用并联电容器的方式来模拟多台并网逆变器同时并联时的谐振现象, 并联电容器取值 $200 \mu\text{F}$, 并联电容与电网阻抗的谐振点调谐在7次谐波频率附近。

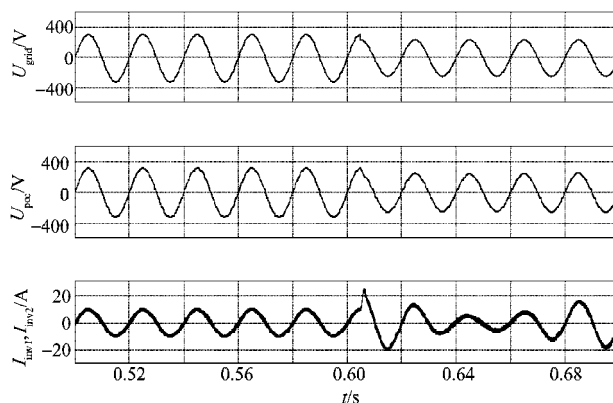
图9示出模拟电网电压跌落时的仿真波形, 其中 $I_{\text{inv}1}$ 为逆变器1输出电流, $I_{\text{inv}2}$ 为逆变器2输出电流。图9(a)为逆变器只输出基波电流时的仿真波形; 图9(b)为逆变器集成谐波阻尼策略后的仿真波形, 其中谐波阻尼电导 G 取 0.2 。电网电压幅值在 0.605 s 跌落 70 V , 跌落过程会产生瞬态谐波电压成分, 导致公共连接点电压畸变振荡。图形对比可知, 没有集成谐波阻尼策略时, 电网电压跌落会导致公共连接点电压出现半个周波的畸变振荡; 而集成谐波阻尼策略后, 过渡波形得到改善,

有效证明了谐波阻尼策略对电网过渡过程谐振现象的阻尼作用。



(a) 未集成谐波阻尼策略时的仿真结果

(a) Simulation results when not using integrated harmonic damping strategy



(b) 集成谐波阻尼策略后的仿真结果

(b) Simulation results when using integrated harmonic damping strategy

图9 谐波阻尼策略对电压跌落阻尼作用

Fig. 9 Damping effect of harmonic damping strategy as voltage sagging

为了验证谐波阻尼策略对背景谐波电压串联谐振现象的阻尼作用, 在电网电压中叠加含量为 4.8% 的5次谐波电压和含量为 3.2% 的7次谐波电压, 并网逆变器在 0.6 s 时刻前只输出基波电流, 在 0.6 s 时刻后集成谐波阻尼策略, 谐波阻尼电导 G 取 0.2 (图10)。由图10可见, 未集成谐波阻尼策略前, 并联电容与电网阻抗发生串联谐振现象, 此时公共连接点电压中5次和7次谐波电压均被放大(5次谐波电压畸变率达 7.8% , 7次谐波电压畸变率达 13.2%), 公共连接点电压总畸变率达 15.4% , 严重威胁到公众用户的用电安全; 而采用阻尼策略后, 谐振现象得到有效抑制, 其中5次谐波电压畸变率下降至 4.8% , 7次谐波电压畸变率下降至 3.5% , 总谐波畸变率下降至 5.9% , 有效证明了谐波阻尼策略对串联谐振现象的阻尼作用。

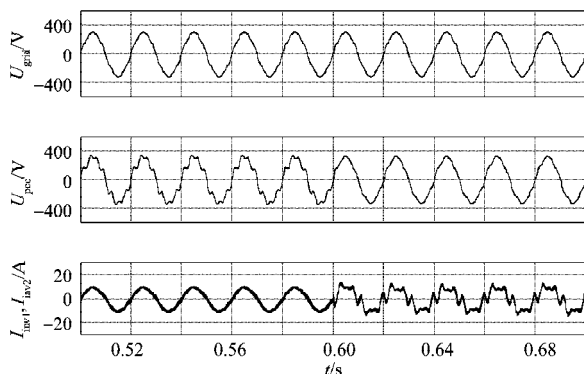


图10 谐波阻尼策略对背景谐波电压
阻尼作用仿真结果

Fig. 10 Simulation results of the damping effect of harmonic damping strategy on background harmonic voltage

图11示出在电压环中加入低通滤波器和没有加入低通滤波器的对比仿真研究结果。仿真条件为：在电网电压中叠加含量4.8%的5次谐波电压和含量3.2%的7次谐波电压，并网逆变器在0.6 s时刻前只输出基波电流，在0.6 s时刻后集成谐波阻尼策略，谐波阻尼电导 G 取0.2。逆变器1电压控制回路中加入了低通滤波器，直流侧电压误差信号经PI控制器和低通滤波环节作用后的输出信号为 U_{dcPI1} ；逆变器2的直流侧电压误差信号直接由PI控制器作用后输出信号 U_{dcPI2} 作为基波指令信号幅值。

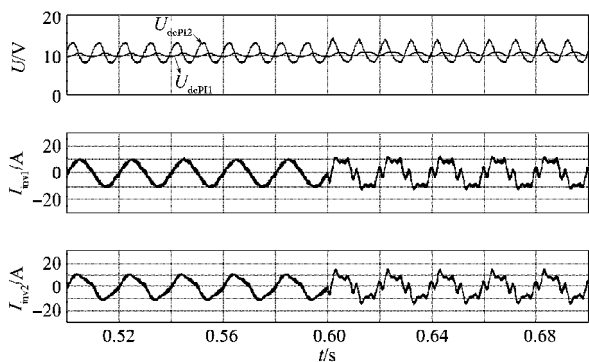


图11 电压环采用不同策略的对比仿真

Fig. 11 Comparison simulations when voltage outer loop using different strategies

由图11可知，没有集成谐波阻尼策略时，逆变器2电压外环输出信号中存在2次纹波分量，由于电压外环

输出信号作为基波指令信号幅值，导致输出电流产生3次谐波成分；集成谐波阻尼策略后，逆变器2电压外环输出信号中不仅存在2次纹波分量还存在高次谐波成分脉动，导致输出电流偏离指令电流信号，影响控制精度，而逆变器1通过低通滤波器的作用减少了电压外环纹波分量对电流内环的影响，有效地去除输出电流中多余谐波电流成分，提高谐波阻尼的控制效果。

5 结语

本文提出了一种集成谐波阻尼功能的光伏并网逆变器复用策略，对电网背景谐波电压具有较好的阻尼作用，更适合于在普通家庭用户推广应用。但单相系统集成谐波阻尼策略后会导致直流侧电压产生高次纹波分量脉动，影响输出电流质量，通过在电压环引入低通滤波环节并优化电压电流环的参数设计来减少电压外环对电流内环的影响，提高了公共连接点的用电安全性。

参考文献：

- [1] 张国荣, 张铁良, 丁明, 等. 具有光伏并网发电功能的统一电能质量调节器仿真[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(14): 82-86.
- [2] 施大发, 王晓, 陈燕东, 等. 一种光伏并网与电能质量复合控制系统的设计[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(4): 40-44.
- [3] 吴春华, 黄建明, 陈卫民, 等. 单相光伏并网与有源滤波的统一控制[J]. 电工技术学报, 2011, 26(10): 103-109.
- [4] He Jinwei, Li Yunwei, Bosnjak D, et al. Investigation and active damping of multiple resonances in a parallel-inverter-based microgrid[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2013, 28(1): 234-246.
- [5] Akagi H. Control strategy and site selection of a shunt active filter for damping of harmonic propagation in power distribution systems[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1997, 12(1): 354-363.
- [6] Akagi H, Fujita H, Wada K. A shunt active filter based on voltage detection for harmonic termination of a radial power distribution line[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1999, 35(3): 638-645.
- [7] 周德佳, 赵争鸣, 袁立强, 等. 具有改进最大功率跟踪算法的光伏并网控制系统及其实现[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(31): 94-100.

.....

欢迎 垂询 订阅 赐稿 刊登广告！

