

【文章编号】 1004-1540(2009)04-0320-04

一种智能型光伏发电逆变器设计

陈卫民, 汪 伟, 蔡 慧

(中国计量学院 机电工程学院, 浙江 杭州 310018)

【摘要】 研制了一种智能的光伏发电逆变器,它既可以与电网并网又可以独立运行. 当它与大电网并网时,采用电压电流双闭环的控制策略,以电流源的形式输出电能;当大电网断开出现孤岛时,它采用电压有效值外环瞬时值内环的闭环控制并进行模糊自调整 PI 参数,以电压源的形式输出电能. 最后在光伏发电实验平台上验证了该方法的有效性.

【关键词】 发电逆变器; 并网; 模糊比例积分控制

【中图分类号】 TM615 **【文献标识码】** A

Research on a smart photovoltaic power inverter

CHEN Wei-min, WANG Wei, CAI Hui

(College of Electrical and Mechanical Engineering, China Jiliang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A novel smart PV power inverter is developed. It runs not only in connected-grid but also in disconnected-grid and keeps voltage stable rapidly in the transient process. When the inverter connected with the grid, the inverter produces power as a current-source with a voltage-current close loop control strategy. Once the islanding event took place, it runs as a voltage-source, adopting a voltage virtual value outer-loop and voltage instantaneous value inner-loop control strategy and fuzzy self-adjusting for PI parameters. Finally the experimental results demonstrate the effectiveness with the PV experimental platform.

Key words: power inverter; grid-connected; fuzzy PI control

近几年,基于新能源的分布式并网发电越来越多,如光伏并网发电、风力发电等. 然而这些发电逆变器都是独立的不可控的并网发电逆变器,一旦大电网故障而孤岛出现时,这些并网逆变器都将退出运行直至电网故障消除为止. 随着基于新能源的并网发电容量逐渐增加,孤岛时大量的并网发电系统退出运行将引起电网震荡,甚至给

电网带来更大的安全问题^[1,2].

为解决上述问题,专家们提出组建微电网的供电思路^[3-5],文献[6-11]研究了适用于微电网运行的并网发电逆变器. 本文研究一种智能的发电逆变器,它既可以并网运行又可以独立运行,并网和独立运行使用不同的闭环控制策略,且加入模糊自调整 PI 控制,实现逆变器在运行状态改变过

程中保持电压的平稳。

1 发电逆变器控制策略

图 1 是光伏发电逆变器拓扑图,它包含 DC/DC 变换, H 桥, DSP 控制器等组成。开关 S1 将逆变器与电网相连接, cd 两端接有本地负载, DC/DC 变换进行最大功率跟踪以及将直流电压升高, 通过 DSP 控制将其变换为工频电输出。

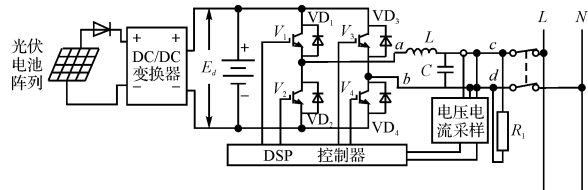


图 1 光伏发电逆变器拓扑图

Figure 1 Topology of the PV power inverter

当逆变器与大电网并网时, 逆变器输出两端电压被大电网电压所钳制, 发电逆变器以电流的形式注入电网。图 1 中逆变器 a, b 两端的基波输出电压与电网电压的关系为:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I}_{inv} \cdot j\omega L + \dot{U}_{LN} \quad (1)$$

式(1)中: \dot{U}_{ab} —逆变器输出基波电压; \dot{U}_{LN} —电网电压; \dot{I}_{inv} —变器输出电流。

由于电网电压恒定, 逆变器输出电流的幅值和相位可由光伏发电逆变器输出端的基波电压的幅值和相位来决定, 通过 DSP 控制, 改变逆变器的电压幅值和相位, 就可以控制输出并网电流。采用电压电流双闭环控制的控制策略, 其控制框图如图 2。

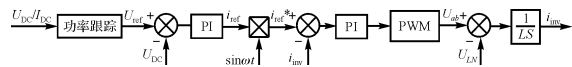


图 2 光伏发电并网控制框图

Figure 2 Control diagram of the PV power inverter

图 2 的控制框图中, 经最大跟踪得到直流参考电压与光伏电池实际输出电压比较后, 偏差经 PI 调节得到参考输出电流大小, 再与正弦波相乘得到参考电流正弦瞬时值, 其与实际输出的电流相比较, 经 PI 调节、PWM 变换后与电网电压相减, 通过滤波电感输出电流。

当逆变器与大电网断开时, 若发电逆变器输出功率与本地负载需求功率匹配, 则继续供电; 如果输出功率小于负载功率要求, 则甩载后再进行供电。

独立发电时逆变器输出与负载端电压的关系为:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{I}_{inv} \cdot j\omega L + \dot{U}_R \quad (2)$$

\dot{U}_R 为负载端电压, 它受负载大小的影响而变化。为使独立运行电压稳定, 发电逆变器必须将 \dot{U}_R 稳定在设定的范围之内, 作为稳压源的形式输出电能。系统采用电压有效值外环电流瞬时值内环的控制方法, 如图 3, 有效值外环采用 PI 调节器控制, 保证电压无静差输出, 瞬时值内环采用简单有效的比例调节器, 保证负载突变时的瞬态响应。

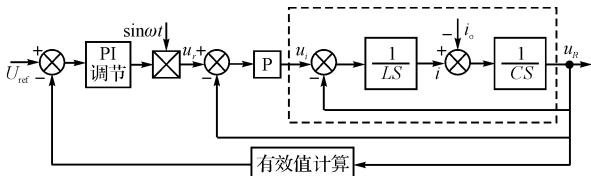


图 3 独立运行控制框图

Figure 3 Independent running control diagram

然而由于大电网故障时, 独立运行时逆变器输出电压受本地负载的功率需求影响, 输出电压变化范围较宽, 上述的 PI 控制参数固定, 不能满足系统快速稳定系统电压的要求。本文采用模糊自整定 PI 控制, 运行时, 通过模糊控制, 保证逆变器输出电压的平稳过渡以及加强抗扰动能力, 其控制结构图如图 4。模糊 PI 控制器选用二维模糊控制器, 输入为电压误差 e 及误差的变化率 Δe , 应用模糊理论建立参数 K_p 、 K_i 同偏差绝对值和偏差变化率绝对值的二元函数关系, 自动对 PI 控制器的参数进行调整, 满足控制系统快速响应和抗干扰性能^[12-15]。

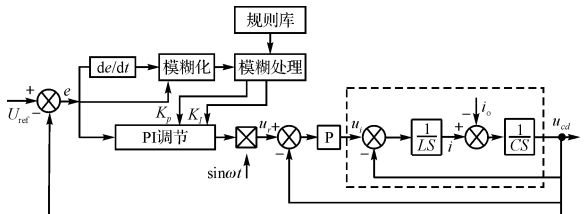


图 4 独立运行 PI 模糊控制框图

Figure 4 Independent running fuzzy PI control diagram

2 模糊PI控制器设计

常规PI控制是一种线性控制,其离散数学表达式为:

$$u(k) = K_P e(k) + K_I \sum_{i=1}^k e(i) \quad (3)$$

常规的PI控制器 K_P 、 K_I 数值固定,模糊PI控制器通过动态分析系统所处状态,自动调节参数 K_P 、 K_I ,它比常规PI控制有更快的动态响应特性和更小的超调。

设 $|E|$ 、 $|EC|$ 分别表示输入电压偏差 $|e|$ 和偏差变化率 $|\Delta e|$ 的模糊语言变量, K_P 、 K_I 分别表示输出PI控制自调整 K_P 、 K_I 的模糊语言变量。它们的语言值的模糊子集分为{零,小,中,大},用符号表示为{Z,S,M,B}。

又将输入 $|e|$ 、 $|\Delta e|$ 的论域区间量化为4级,表示为 $|E| = \{0,1,2,3,4\}$, $|EC| = \{0,1,2,3,4\}$,输出 K_P 、 K_I 论域区间量化为3级,表示为 $K_P = \{0,1,2,3\}$, $K_I = \{0,1,2,3\}$ 。

根据离线调试控制经验和专家经验,确立模糊语言变量的隶属函数,隶属函数采用三角形的形式,其隶属关系如图5。

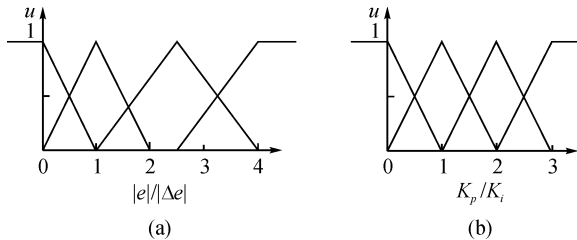


图5 模糊语言变量的隶属关系图

Figure 5 Affiliation diagram of fuzzy linguistic variables

系统运行时,将输入 $|e|$ 和 $|\Delta e|$ 进行量化,根据隶属函数进行输入的模糊化处理,输出模糊决策依赖于实践和经验建立的模糊规则,如表1所示。其控制思路为:1)当偏差较大时,加快系统的响应速度,取较大的 K_P ;同时为避免系统响应出现较大的超调,产生积分饱和,取小的 K_I 。2)当 $|e|$ 和 $|\Delta e|$ 处于中等大小时,为使系统响应具有较小的超调, K_P 应取得小些, K_I 适当取值;3)当 $|e|$ 和 $|\Delta e|$ 较小或接近于设定值时,增加 K_P 和 K_I 的取值。最后根据模糊决策结果,输出调整后

的 K_P 、 K_I 值。

表1 模糊控制规则表
Table 1 Fuzzy control rule

K_P/K_I	$ EC $				
	Z	S	M	B	
$ E $	Z	Z/B	B/B	B/B	M/B
	S	B/B	B/B	B/B	M/M
	M	M/Z	M/Z	M/S	S/S
	B	B/Z	B/Z	B/Z	M/Z

3 实验验证

为了验证上述控制策略的可行性,在光伏发电逆变实验平台上进行试验。光伏发电实验平台如图1所示,逆变器输出通过隔离变压器与电网相接,本地负载 $R=36\ \Omega$,波形采用安捷伦存储示波器采集。图6(a)为开关S1闭合发电系统与电网并网的波形图,曲线1为发电逆变器并网电压,曲线2为逆变器并网电流;图6(b)为独立运行时,负载突然变化(从 $36\ \Omega$ 突变为 $60\ \Omega$)电压电流波形,从图可看出,负载突然变化,电流快速变化但电压始终保持恒定,抗干扰性好;图6(c)为从并网状态转为独立运行的波形图,从图可知,当大电网切断后,逆变器检测到孤岛后,运行状态变化,经在线模糊PI控制,一个工频周期后系统电压就稳定在设定值,没有明显的超调和震荡;图6(d)为取不同的并网电流并网,运行状态变化前后的输出波形图,从图知,逆变器在检测到孤岛后,同样在一个周期内保持系统电压稳定。

4 结语

本研究的发电逆变器既可并网运行又可以独立运行,并且在控制策略切换过渡阶段可实现快速稳定电压,能满足发电逆变器的控制要求。当然,本研究的发电逆变器控制是建立在发电输出功率与负载需求功率相匹配的前提,逆变器内部设置了最大电流限制,如果功率不匹配则需要有甩载装置。

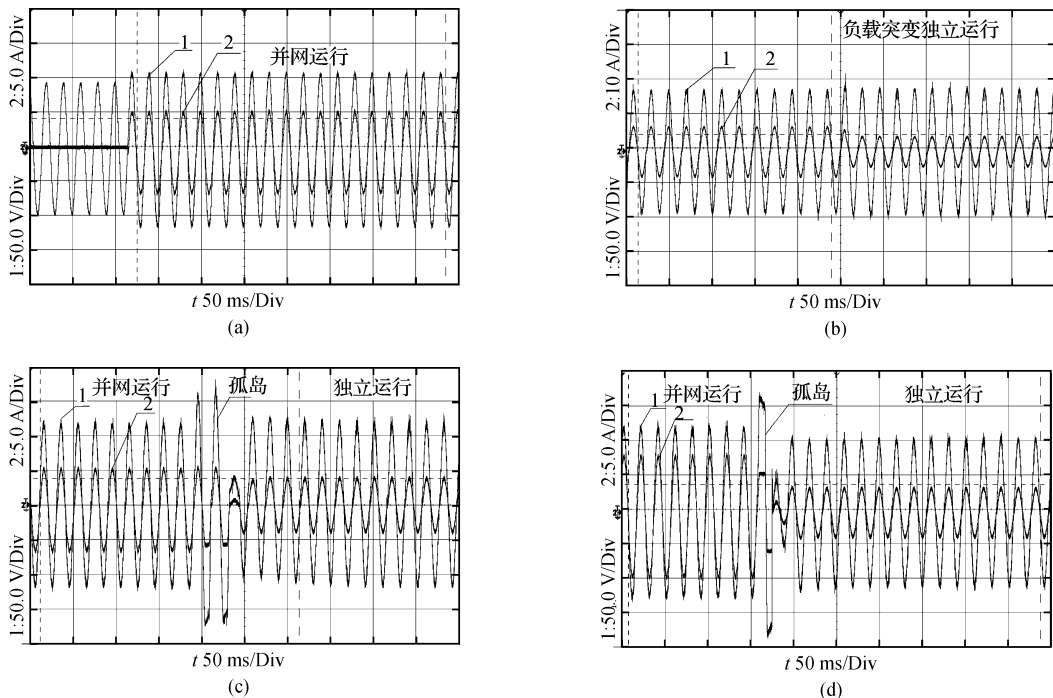


图6 发电逆变器实验波形

Figure 6 Experimental waveforms about the inverter

【参 考 文 献】

- [1] KITAMURA A, OKAMOTO M, YAMAMOTO F. Islanding phenomenon elimination study at Rokko test center [C]//1st IEEE World Photovoltaic Energy Conversion Conference. USA: IEEE, 1994:759-762.
- [2] SMITH G A, ONIONS P A, INFIELD D G. Predicting islanding operation of grid connected PV inverters[J]. IEE Proceedings on Electric Power Applications, 2000,147(1): 1-6.
- [3] KATIRAEI F, IRAVANI R, HATZIARGYRIOU N, et al. Microgrids Management[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2008,6(3):54-65.
- [4] 赵宏伟,吴涛涛.基于分布式电源的微网技术[J].电力系统及其自动化学报,2008,20(1):121-128.
- [5] 郑漳华,艾 芊.微电网的研究现状及在我国的应用前景[J].电网技术,2008,32(16):27-32.
- [6] BARSALI S, CERAOLO M, PELACCHI P. Control techniques of dispersed generators to improve the continuity of electricity supply[C]// Power Engineering Society Winter Meeting. USA: IEEE,2002:789-794.
- [7] LOPES J A P, MOREIRA C L, MADUREIRA A G. Defining control strategies for microGrids islanded operation[J]. IEEE Transactions on Power Systems, 2006,21(2):916-924.
- [8] 丁 明,杨向真,苏建徽.基于虚拟同步发电机思想的微电网逆变器电源控制策略[J].电力系统自动化,2009,33(8): 89-93.
- [9] 王成山,肖朝霞,王守相.微网中分布式电源逆变器的多环反馈控制策略[J].电工技术学报,2009,24(2):100-107.
- [10] 周杭霞,战国科,陈 虹,等.DSP的不间断电源并联运行系统的研制[J].中国计量学院学报,2008,19(2):150-153.
- [11] 龚 旭,谢 岳.基于观测器的单相逆变器控制技术[J].中国计量学院学报,2009,20(1):41-45.
- [12] 韩启纲,吴锡祺.计算机模糊控制技术与仪表装置[M].北京:中国计量出版社,1999:120-152.
- [13] 刘金锟.先进PID控制 MATLAB 仿真[M].北京:电子工业出版社,2004:180-247.
- [14] 张乃尧,阎平凡.神经网络与模糊控制[M].北京:清华大学出版社,2000:184-216.
- [15] 杨其华.一种实用的自组织模糊控制器设计方法[J].中国计量学院学报,1998(2):49-53.