

A DROOP Control Method for Distributed Power Supply

Senchuan Huang¹, Jiahui He²

¹State Grid Chengdu Jintang Power Supply Company, Chengdu Sichuan

²School of Electrical and Information Engineering, Southwest Petroleum University, Chengdu Sichuan

Email: 757272760@qq.com

Received: May 18th, 2017; accepted: Jun. 6th, 2017; published: Jun. 9th, 2017

Abstract

Distributed power control is a prerequisite for microgrid control and reliable operation. In this paper, a DROOP control method of distributed power supply is designed. According to the basic principle of Droop typical micro power control method, the simulation model is established by Matlab/Simulink simulation environment. The correctness and validity of each model are verified by simulation. It can be seen from the simulation results that the inner loop of the current can achieve the different tracking regulation. The dynamic response of the outer ring is better, both of which can make the system better stability; $Z(S)$ is in the low frequency band, frequency, which can be very good to achieve Droop control in the sagging characteristics, while there will be a certain ability to suppress the harmonic, and finally through the analysis, it proved the control parameters of the rationality of the value and effectiveness.

Keywords

Distributed Power, DROOP Control, Matlab/Simulink Simulation

一种分布式电源的DROOP控制方法

黄森川¹, 何嘉辉²

¹国网四川省电力公司金堂县供电分公司, 四川 成都

²西南石油大学电气信息学院, 四川 成都

Email: 757272760@qq.com

收稿日期: 2017年5月18日; 录用日期: 2017年6月6日; 发布日期: 2017年6月9日

摘要

分布式电源控制是实现微电网控制及可靠运行的前提。本文设计了一种分布式电源的DROOP控制方法,

根据Droop典型微电源控制方法的基本原理, 利用Matlab/Simulink仿真环境建立了仿真模型, 通过仿真, 验证了各模型的正确性和有效性。由仿真结果可知, 电流内环能够实现无差跟踪调节; 电压外环的动态响应能力更好, 两者共同作用可使系统稳定性更好; 在低频段时 $Z(S)$ 呈现感性, 而在高频段时呈现阻性, 从而可以很好地实现Droop控制中的下垂特性, 同时又会有一定抑制谐波的能力, 最后通过分析, 证明了本文控制参数取值的合理性以及有效性。

关键词

分布式电源, DROOP控制, Matlab/Simulink仿真

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

微电网是一个由各种分布式电源及各类负荷组成的微型电力系统, 它将分布式电源纳入了各级配电网, 是解决未来能源问题及利用可再生能源、绿色能源的重要途径[1]。当前对于不同类型的分布式电源(DG)和控制要求, 主要控制方法有: 恒功率控制(PQ control)、恒压恒频控制(V/f control)和下垂控制(Droop control)[2]。Droop控制, 即调差率控制, 其控制策略是在解决逆变器并联技术中提出(即在孤网模式下, 类似于数个逆变器之间相互并联运行)[3]。它是一种对逆变器进行控制的方式, 它与传统电力系统一次调频的方式相似, 也就是采用对有功-频率($P-f$)以及无功-电压($Q-U$)之间的下垂特性曲线进行解耦, 从而对系统电压 U 和频率 f 进行控制调节。实际上, Droop控制的本质是: 通过对逆变单元自身输出功率 P 、 Q 值的计算, 按照该单元的容量将 f 以及输出电压幅值 U_2 , 通过输出的 P 、 Q 进行解耦控制。由下垂控制得到输出的参考 f 、 U_2 值, 然后在根据所得的参考值再反向调节器输出 f 、 U_2 , 最终达到输出 P 、 Q 平衡[4][5][6]。

本文设计了一种分布式电源的DROOP控制方法, 根据Droop典型微电源控制方法的基本原理, 利用Matlab/Simulink仿真环境建立了仿真模型, 通过仿真, 验证了各模型的正确性和有效性。由仿真结果可知, 电流内环能够实现无差跟踪调节; 电压外环的动态响应能力更好, 两者共同作用可使系统稳定性更好; 在低频段时 $Z(S)$ 呈现感性, 而在高频段时呈现阻性, 从而可以很好的实现Droop控制中的下垂特性, 同时又会有一定抑制谐波的能力, 最后通过分析, 证明了本文控制

$$\begin{cases} P = \frac{U_1}{R^2 + X^2} [R(U_1 - U_2 \cos \delta) + XU_2 \sin \delta] \\ Q = \frac{U_1}{R^2 + X^2} [-RU_2 \cos \delta + X(U_1 - U_2) \cos \delta] \end{cases} \quad (1)$$

为简化计算, 针对高压输电线路来说, 输电线路中的 $X \gg R$, 则当 δ 比较小时, 可令 $\sin \delta = \delta$, $\cos \delta = 1$, 代入式(1)化简得:

$$\begin{cases} P = \frac{U_1 U_2}{X} \delta \\ Q = \frac{U_1^2 - U_1 U_2}{X} \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可知, P 与 δ 有关, Q 与电压差值有关, 即输出 P 、 Q 与输出电压 U_2 的幅值与相位有关(同时

类似于线性耦合关系)。

如图 1 为 f - P (频率下垂)、 U - Q (电压下垂)的特性曲线。频率下垂 f - P 特性曲线的斜率(下垂系数)用 K_{fp} 表示, 其额定频率基点为(f_0, P_0); 电压下垂 U - Q 特性曲线的斜率(下垂系数)用 K_{UQ} 表示, 其额定电压基点为(U_0, Q_0)。

2. Droop 控制系统内部各控制参数的设计

2.1. 功率环部分控制参数设计

如图 2 所示, 为功率环的控制结构框图, 首先功率计算模块采集到的电感电流 i_L 、负荷侧电压 U_n , 经过 dq 变换模块, 进入瞬时功率功率计算模块($\tilde{P} = u_{nd}i_{Ld} + u_{nq}i_{Lq}, \tilde{Q} = u_{nq}i_{Ld} + u_{nd}i_{Lq}$)得到瞬时功率 \tilde{P} 、 \tilde{Q} , 再求其均值得到平均功率 P 、 Q (其中 $0 \leq P \leq P_{max}$, $Q_{min} \leq Q \leq Q_{max}$), 所得到的 P 、 Q 在与输入的参考量 P_n (即 DG 在额定频率下的的输出有功功率)、 V_0 (即额定输出电压幅值)以及 f_0 (即额定系统频率)共同作用于下垂控制环节, 能够获得输出电压幅值、系统频率 f 的指令值。再通过电压合成模块可以得到 u_{ref} (其中参考电压 u_{ref} 为三相对称电压: $u_{aref} = V_{ref} \angle \delta_{ref}$; $u_{bref} = V_{ref} \angle (\delta_{ref} - \frac{2\pi}{3})$; $u_{cref} = V_{ref} \angle (\delta_{ref} + \frac{2\pi}{3})$), 最终通过 dq 变换可得到参考电压的 d 、 q 分量 u_{dref} 、 u_{qref} 。

若微电网处在孤网运行模式下, 则 DG 输出的有功功率 $P \leq P_{max}$, 且电压变化 $\Delta U \leq \pm 5\%U$ 、频率变化 $\Delta f \leq \pm 5\%f$, 最后仿真中选取的 DG2/DG3 功率控制环的控制系数如表 1 中所示。

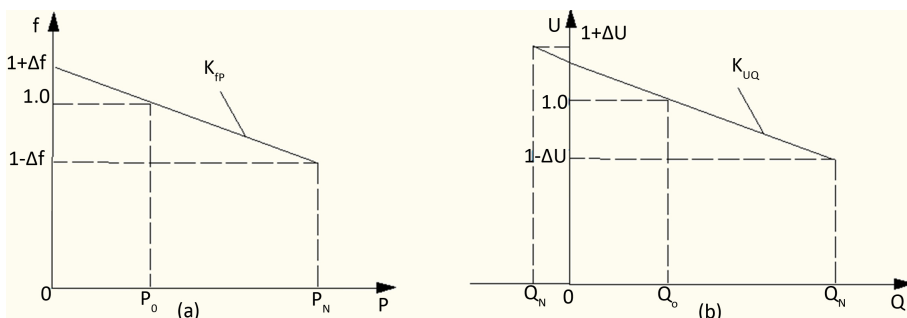


Figure 1. Multiple MSs for load sharing of droop characteristics

图 1. 多个 MS 进行负荷分享的下垂特性曲线

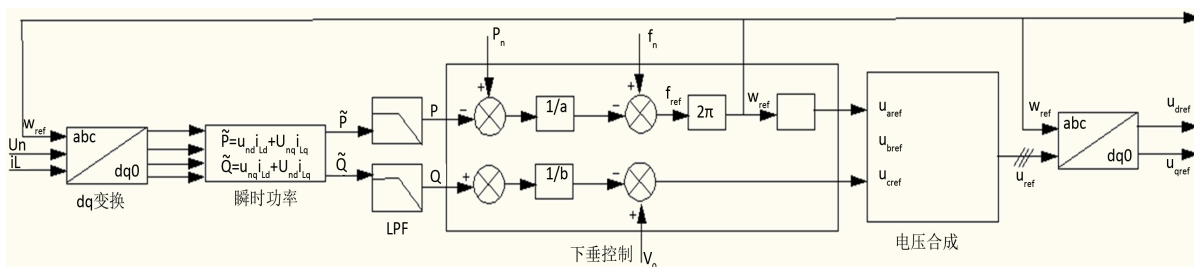


Figure 2. Droop control power ring block diagram

图 2. Droop 控制功率环结构框图

Table 1. DG2/DG3 power loop control factor

表 1. DG2/DG3 功率环控制系数

P_n/kW	$1/a$	V_0/V	f_0/Hz	$1/b$
16	$3e-5$	324.1	50	$5e-4$

2.2. 电压电流双环控制参数设计

图 3 中所示为 DG2/DG3 中电压电流双环控制部分在 dq 坐标轴下的原理框图。

此处取 $\xi = 0.8$, $\omega_r = 4000$, 知 $L_f = 2.8e-3H$, $C_f = 25e-6F$, $k_{pwm} = 375$, 仿真中 DG2/DG3 的电压/电流环控制所取参数如表 2 所示。

下图 4 为仿真中得到的电流内环电流比例增益传递函数 $G_i(S)$, 电压外环电压比例增益传递函数 $G_u(S)$ 的单位阶跃响应曲线。

图 5 为仿真所得电流内环电流比例增益传递函数 $G_i(S)$, 电压外环电压比例增益传递函数 $G_u(S)$ 的频域响应曲线。

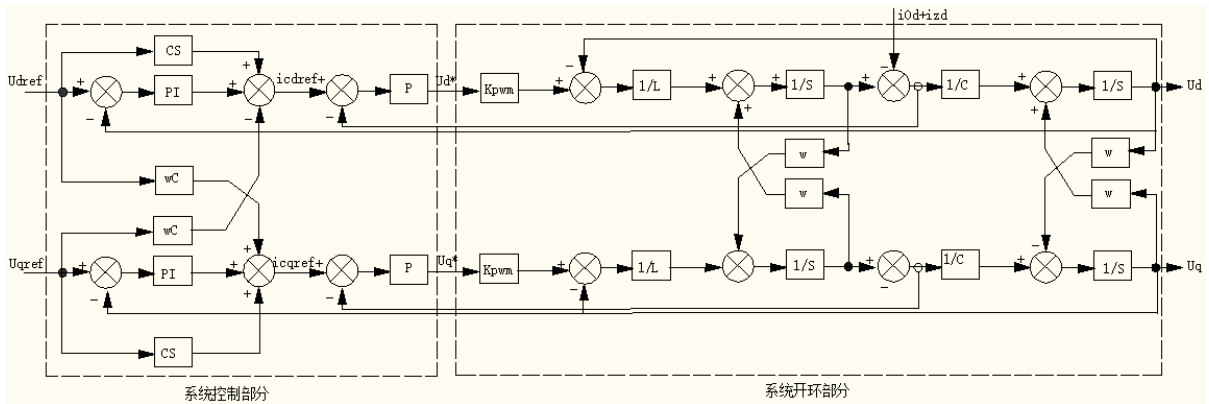
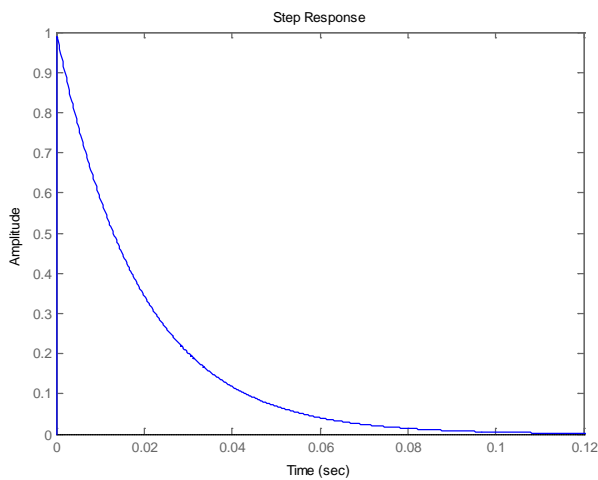
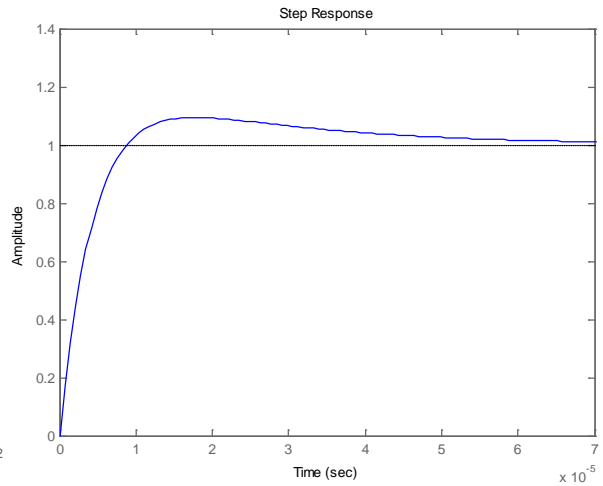


Figure 3. DG2/DG3 voltage and current double loop control
图 3. DG2/DG3 电压电流双环控制框图



(a) $G_i(S)$ 的单位阶跃响应曲线



(b) $G_u(S)$ 的单位阶跃响应曲线

Figure 4. Unit step response curve
图 4. 单位阶跃响应曲线

Table 2. DG2/DG3 voltage current loop control parameters
表 2. DG2/DG3 电压电流环控制参数

$K_1 = K_2$	$K_{pv1} = K_{pv2}$	$K_{iv1} = K_{iv2}$
2	1	0.5

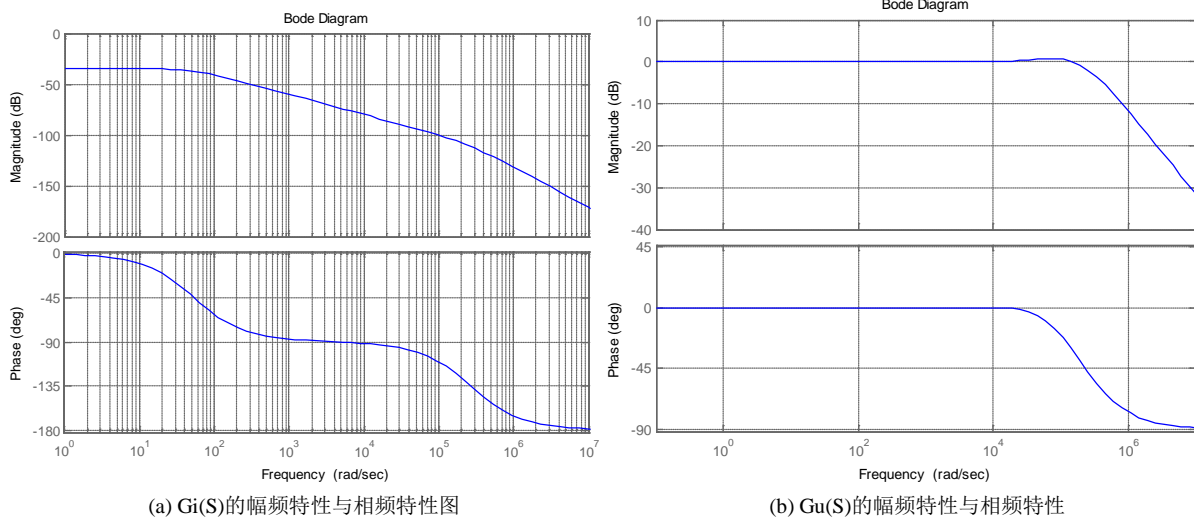


Figure 5. Frequency response curve
图 5. 频域响应曲线

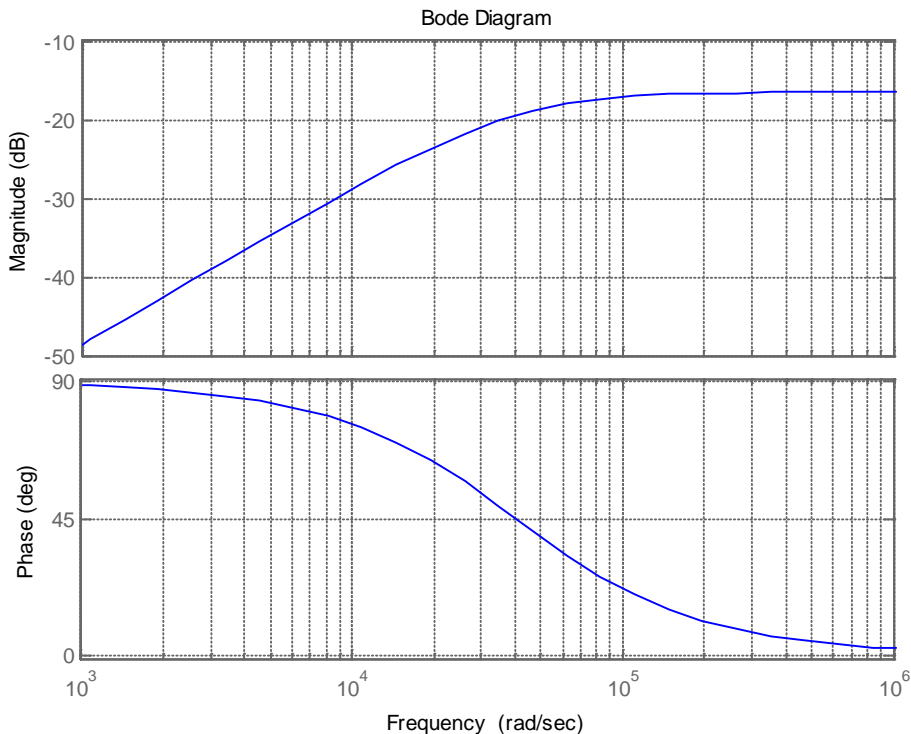


Figure 6. $Z(S)$ frequency response curve
图 6. $Z(S)$ 频域特性

图 6 为仿真中逆变器等效阻抗传递函数 $Z(S)$ 的频域响应曲线。

3. 结论

由仿真结果可知, 电流内环能够实现无差跟踪调节; 电压外环的动态响应能力更好, 两者共同作用可使系统稳定性更好; 在低频段时 $Z(S)$ 呈现感性, 而在高频段时呈现阻性, 从而可以很好的实现 Droop 控制中的下垂特性, 同时又会有一定抑制谐波的能力, 最后通过分析, 证明了本文控制参数取值的合理性以及有效性。

参考文献 (References)

- [1] 曹旭. 基于微电网的分布式电源功率控制研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海电力学院, 2012.
- [2] 陈奇方, 朱小兰, 张文青, 等. 基于 Matlab/Simulink 的分布式电源控制方法[J]. 电网与清洁能源, 2015, 31(4): 36-41.
- [3] 吴翔宇, 沈沉, 赵敏, 等. 基于公共母线电压的微电网孤岛运行下垂控制策略[C]//中国电工技术学会学术年会. 新能源发电技术论坛论文集. 2013.
- [4] 杨文杰, 曾德容. 光伏发电接入微网运行控制仿真研究[J]. 电气开关, 2011, 49(1): 48-51.
- [5] 黎金英, 艾欣, 邓玉辉. 微电网孤岛运行的分层控制策略研究[J]. 电力学报, 2014(5): 378-383.
- [6] 王明锦. 基于广域信息的微电网运行控制策略研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jee@hanspub.org