

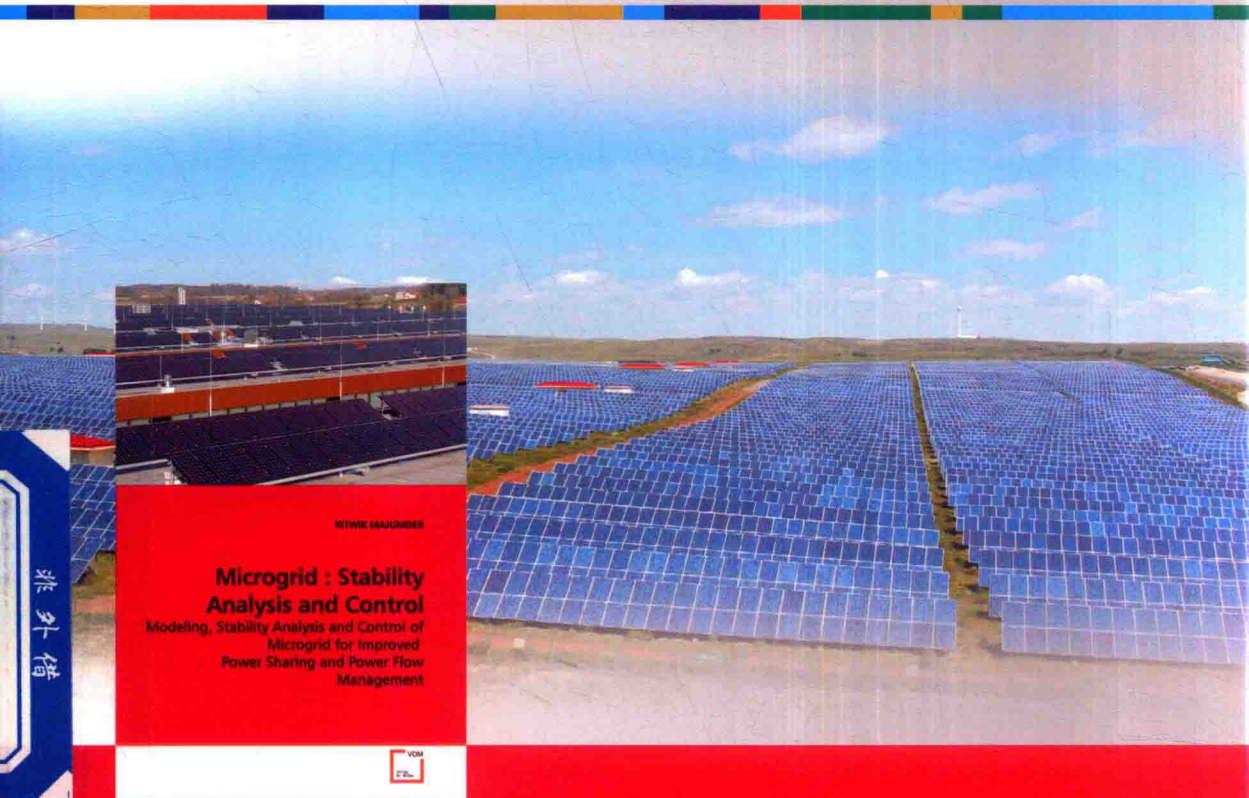
■ 国外电力名著译丛

Microgrid: Stability Analysis and Control
Modeling, Stability Analysis and Control of Microgrid for
Improved Power Sharing and Power Flow Management

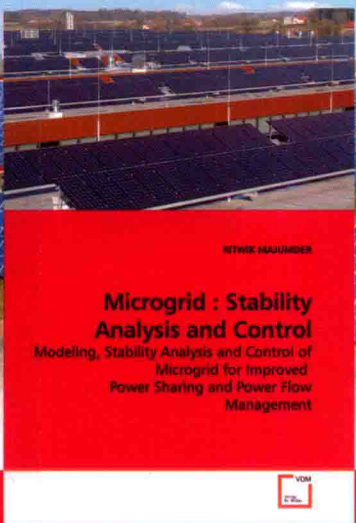
微电网稳定性 分析与控制

[澳] RITWIK MAJUMDER

南京南瑞集团公司 罗剑波 李威 黄慧 译



非
外
借



RITWIK MAJUMDER

Microgrid : Stability
Analysis and Control
Modeling, Stability Analysis and Control of
Microgrid for Improved
Power Sharing and Power Flow
Management



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

■ 国外电力名著译丛

Microgrid: Stability Analysis and Control
Modeling, Stability Analysis and Control of Microgrid for
Improved Power Sharing and Power Flow Management

微电网稳定性 分析与控制

——提高功率分配和潮流调控水平的微电网建模、稳定分析和控制

[澳] RITWIK MAJUMDER

南京南瑞集团公司 罗剑波 李威 黄慧 译



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

微电网是未来电网实现高效、环保、优质供电的重要手段,研究微电网的稳定性和可控性是一个重要的课题。本书着眼于微电网中分布式电源的功率分配问题,提出了相角下垂和改进的频率下垂控制器及其相应的控制策略,并提出了通过背靠背变流器控制微电网潮流的方法,以增强微电网的稳定性。

本书具有较高的理论价值和实用价值,可为微电网、电力系统稳定控制等研究领域的科研工作者和工程技术人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

微电网稳定性分析与控制/(澳)李维克·玛祖达尔(RITWIK MAJUMDER)著;南京南瑞集团公司等译.—北京:中国电力出版社,2017.8

书名原文:Microgrid: Stability Analysis and Control

ISBN 978-7-5123-8771-3

I. ①微… II. ①李… ②罗… III. ①电网-电力工程-稳定分析 IV. ①TM727

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第020993号

北京市版权局著作权合同登记

图字:01-2014-6084号

Title: Microgrid: Stability Analysis and Control by Ritwik Majumder

ISBN: 978-3-639-24769-5

Copyright © 2010 by the author and VDM Verlag Dr. Müller Aktiengesellschaft & Co. KG and licensors

Publication of this translation in consultation with OmniScriptum GmbH & Co. KG. 此翻译书的出版已与 OmniScriptum GmbH & Co. KG 磋商约定。

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2017年8月第一版 2017年8月北京第一次印刷

710毫米×1000毫米 16开本 9.75印张 179千字

印数0001—2000册 定价48.00元

版权专有 侵权必究

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

近年来，随着电力需求的不断增长、能源和环境问题的日益突出，以及用户对电能质量越来越高的要求，开发利用清洁可再生能源已成为世界各国的普遍共识，有效利用及灵活控制分布式电源的微电网已成为许多国家未来电力发展的重要战略。微电网是未来电网实现高效、环保、优质供电的重要手段，为新能源及可再生能源并网发电的规模化应用提供了新的途径，是对大电网的有益补充。微电网是可通过对中、小型传统发电方式的优化配置，结合本地分布式电源，进行热电联产，为临近负荷提高热能、电能的辅助型独立电网。微电网的形成代表着电力行业服务意识、环保意识、创新意识的提高与改变，微电网的发展也顺应了我国大力发展新能源、智能电网的要求。因此，研究微电网的稳定性和可控性显得更加重要。

本书原著着眼于分布式电源的功率分配问题，创新性地应用控制技术来增强微电网的稳定性，具有较高的理论价值和实用价值。本书提出了相角下垂和改进的频率下垂控制器及其相应的控制策略，旨在获得更好的动态响应以及电网运行时并网和孤岛模式间的平稳过渡；通过利用背靠背变流器，帮助隔离和控制大电网及微电网的潮流、电压和频率；并基于农村地区分布式发电的负荷分配问题，提出了新的下垂控制方法，从而解决了高反馈增益的矛盾，获得更加优质的功率分配和系统稳定性。

本书共八章，各章之间紧密联系、形成体系，分别系统地论述了微电网和分布式电源的基础知识；比较了自治微电网中相角下垂和频率下垂的区别；通过提出控制策略，改善系统性能及提高电能质量，实现孤岛和并网模式下的负荷分配；重点研究了在微电网和大电网中通过背靠背变流器控制潮流的方法；以大量仿真结果为佐证，论证分析了基于多变流器的自

治微电网的稳定性；最后研究了农村分布式发电中负荷分配的下垂控制方法。

本书的翻译工作由国电南瑞科技股份有限公司副总经理罗剑波组织完成，参加翻译工作的有：李威、黄慧、王燕君、孙仲卿、吴晨曦、吴兴扬、谭真等，全书由罗剑波、李威、黄慧校核并统稿。

希望本书的译本能够为电力系统稳定控制研究领域的科研工作者和工程技术人员提供参考，由于本书涉及面较广，内容较新，限于译者水平，不妥或错误之处在所难免，恳请广大读者指正。

译者

2016年8月

原书前言

创新型控制技术在合理分配负荷方面的应用，增强了微电网的稳定性，其中最常用的是用于分散负荷分配的下垂特性的应用。本书关注的重点是分布式电源的功率分配问题。本书提出了微电网中使用相角下垂控制器来合理分配带变流器的分布式电源之间的功率；并提出了改进的频率下垂控制器来保证并网模式和孤岛运行模式切换时的平滑过渡，同时获得更好的动态响应。微电网中存在不平衡和非线性负载，对此可以利用分布式电源作为电网的补偿器，来提高电网的电能质量。书中同样利用一个背靠背变流器来进行微电网和大电网之间的频率和电压隔离。为了进行精准的负荷分配，高下垂增益会导致系统具有潜在的不稳定性。为了改善这种情况，本书中设计了一个补偿下垂控制器。最后，针对农村地区具有较高 R/X 比例线路的自治微电网，本书提供了两种解决负荷分配问题的方法。

关键词：微电网；分布式电源；孤岛；再同步；电压源型变流器；变流器结构与控制；电压控制；状态反馈控制；功率分配；下垂控制；频率下垂；相角下垂；电能质量；背靠背变流器；稳定性；农村电网的分布式发电；改进的下垂控制；基于 Web 的通信技术

原书致谢

首先我要感谢我的导师 Arindam Ghosh 教授、Gerard Ledwich 教授和 Firuz Zare 教授。感谢你们在我的博士研究期间给予我莫大的支持。非常荣幸自己能在你们的督导下进行我的研究。

生活高于科学。感谢 Kie 带给我简单而充实、诚实而勇敢的生活！感谢我的父母无条件的支持和爱！同时也感谢我的妻子 Gargi 的不断支持。

Ritwik Majumder

译者序	
原书前言	
原书致谢	
第 1 章 绪论	1
1.1 微电网和分布式发电	1
1.2 分布式发电中的功率分配	2
1.3 电能质量与可靠性	3
1.4 系统稳定性	4
1.5 农村电网的功率分配	5
1.6 本书的目标和贡献	6
1.6.1 本书目标	6
1.6.2 本书贡献	6
1.7 本书结构	7
第 2 章 变流器接口源的功率分配	9
2.1 用于频率下垂负荷分配的并联型变流器控制	9
2.1.1 频率控制	9
2.1.2 模块化控制结构	10
2.1.3 变流器电压相角计算	10
2.1.4 基准值的产生	10
2.2 相角下垂控制	11
2.3 相角下垂和频率下垂控制器	14
2.4 仿真研究	16
2.4.1 频率下垂控制器	16
2.4.2 相角下垂控制器	16
2.4.3 频率下垂和相角下垂的对比	17
2.4.4 多分布式电源系统中的相角下垂	19
2.5 小结	21
第 3 章 微电网负荷频率控制	22
3.1 并网和孤岛模式的无缝切换	22

3.1.1	控制策略	23
3.1.2	仿真研究	23
3.2	带有惯性和非惯性分布式电源的微电网	31
3.2.1	系统结构	31
3.2.2	微电源模型	33
3.2.3	仿真研究	34
3.3	小结	37
第4章	微电网电能质量提高的可行性	38
4.1	系统结构	38
4.2	参考发电量和补偿控制	39
4.2.1	并网模式下补偿器的参考发电量	39
4.2.2	补偿器控制	42
4.2.3	孤岛模式下的补偿器参考发电量	42
4.2.4	分布式电源为常用负载协调供电	43
4.3	仿真研究	45
4.3.1	大电网承担本地负载	45
4.3.2	分布式电源承担常用负载	46
4.3.3	分配常用感应电动机负载	48
4.3.4	孤岛期间 DG-1 供给全部常用负载	48
4.4	讨论研究	49
4.5	小结	50
第5章	在并网微电网中通过背靠背变流器实现潮流控制	54
5.1	系统的结构和运行	54
5.2	变流器的结构和控制	56
5.3	背靠背变流器基准值	56
5.3.1	VSC-1 的基准值	56
5.3.2	模式 1 下 VSC-2 的基准值	57
5.3.3	模式 2 下 VSC-2 的基准值	57
5.4	分布式电源的基准值	57
5.4.1	模式 1	58
5.4.2	模式 2	58
5.5	孤岛和重新并网时继电器和断路器的协调	59
5.6	仿真分析	61
5.6.1	算例 1: 大电网中分布式电源的负荷分配	62

5.6.2	算例 2: 大电网中功率供给的改变	62
5.6.3	算例 3: 从微电网到大电网的功率供给	64
5.6.4	算例 4: 带电动机负载的负荷分配	65
5.6.5	算例 5: 大电网的电压和频率变化	67
5.6.6	算例 6: 孤岛和重新并网	69
5.6.7	算例 7: 大电网的可变功率供应	69
5.6.8	算例 8: 分布式电源的直流电压波动和损耗	71
5.7	含多个分布式电源的微电网	72
5.8	小结	73
第 6 章	基于多变流器的自治微电网的稳定性分析	75
6.1	变流器的结构和控制	75
6.2	下垂控制和分布式电源基准值	75
6.2.1	下垂控制	76
6.2.2	分布式电源基准值	76
6.3	自治微电网的状态空间模型	76
6.3.1	变流器模型	77
6.3.2	下垂控制器	80
6.3.3	变流器-下垂控制器组合模型	81
6.3.4	转化为共同参考坐标系	82
6.3.5	网络和负载建模	83
6.3.6	全微电网模型	84
6.4	系统结构和自治微电网示例模型	85
6.5	微电网特征值分析	86
6.6	仿真研究	90
6.6.1	算例 1: 图 6.2 的全系统 (3 个分布式电源和 3 个负荷)	90
6.6.2	算例 2: 系统简化的影响	91
6.7	补偿下垂控制对稳定性的改善	93
6.7.1	测试系统	95
6.7.2	补偿下垂控制器的仿真研究	96
6.8	小结	101
第 7 章	农村分布式发电中变流器接口微电源的下垂控制	102
7.1	含相角下垂和下垂控制策略的功率分配	102
7.1.1	无通信的控制器 1	103
7.1.2	含最少量通信技术的控制器 2	105

7.1.3	多分布式电源系统	106
7.1.4	基于网络的通信技术	107
7.2	变流器的结构和控制	108
7.2.1	变流器的控制	108
7.2.2	分布式电源基准值	109
7.3	仿真研究	109
7.3.1	算例 1: 将 Load_3 和 Load_4 接入微电网	110
7.3.2	算例 2: DG-1 和 DG-3 供应负载 1 和 2	112
7.3.3	算例 3: 感应电动机负载	113
7.3.4	算例 4: 含先进通信系统的负荷分配	115
7.3.5	算例 5: 带传统下垂控制器的负荷分配	116
7.3.6	算例 6: 频率依赖的负载	117
7.4	小结	118
第 8 章	结论	120
8.1	总体结论	120
8.2	未来工作的展望	120
附录 A		122
A.1	变流器结构	122
A.2	变流器控制	123
A.3	输出反馈电压控制器	124
A.4	状态反馈控制器	125
附录 B		126
图例清单		129
表格清单		133
原理符号列表		134
参考文献		136

第1章 绪论

全球气候变化推动着发电模式和消费模式的转变，许多国家设定了到 2020 年减少 20% 温室气体排放的目标。

预计在不久的将来，输电和配电水平将发生大规模变化。输电系统将接受从各种类型电站传输的电能，包括大型风电场、地热电厂以及太阳能光伏电站等。从配电角度来讲，许多小型可再生发电设备（如光伏、燃料电池、小水电等）将连接到电网中。这些被称作分布式电源（DGs）或者分布式能源（DERs）。他们接入配电系统会通过配电线路干扰潮流辐射性。

通过电力电子变流器接入电网的分布式电源对安全和保护提出了新的要求。IEEE P1547 标准^[1]为电力系统中分布式电源的接入提供了技术要求。当前 IEEE 推荐的工业实行方式是当电网发生故障时从电网中隔离分布式能源（DERs，例如光伏和风能）。当分布式能源总量不大时此方法是可行的，将它们从系统中移除并不会给系统带来太大影响。然而，接下来的几十年里，随着分布式能源并网渗透水平的大幅提升，插电式混合动力汽车（PHEVs）的增加，以及微电网在农村社区和商业建筑中的广泛应用，配电系统的潮流模式将会发生改变。

1.1 微电网和分布式发电

微电网是负荷和微电源的集群，并可作为单独的可控系统给当地提供电能。对大电网来说，微电网可被看作单一可控负荷，它可以在短时间内响应并满足输电系统的需求。对消费者来说，微电网可以满足他们的特殊需求，如提高当地供电可靠性，减少损耗，支撑电压，通过使用废热提高效率，电压损失校正或提供不间断电力供给功能等^[2]。文献 [3] 重点给出了可以从并网运行切换到孤岛运行，且不会引起临界负荷问题的分布式能源系统。文献 [4-8] 对不同微电网的控制策略和电力管理技术进行了讨论。其中提出了优质电力的概念，优质电力的概念是通过电力电子设备、多电网馈线和不间断电源向重要用户提供电力。这种电能与普通输送给大电网的电能相比，必须具备更高的可靠性和电能质量。这些技术要求电力电子器件和电网负荷相配合。在许多情况下，一个直流电压源必须变换为特定频率、幅值和相位角的交流电压源，此时，就需要借助电压源型变流器，使用合适的脉宽调制去快速调节电压幅值。文献 [9-11] 研究了微电网的可靠性、运行经济性和规划性。一些需要解决的基本问题如下：



(1) 控制：分布式发电的一个主要问题是关于大量微电源控制方面的技术难题。

(2) 运行和投资：相对微电源，DG 的规模经济更大。对于微电源来说，其并网保护的成本会增加整个系统花费的 50%^[6]。因为保护成本的固定，相较于 3~5 倍额定功率的微电源，分布式电源每千瓦的连接成本更小。微电网的概念考虑将具有相同成本优势的大型分布式发电单元通过许多微电源与具有单一电压源型变流器的直流总线连接。

(3) 电能质量/电能管理/可靠性：分布式电源由于其分散式供应方式，能增加系统的可靠性并提高电能质量。如果分布式电源能在暂态条件下自治运行，则可以提高可靠性^[6]。

1.2 分布式发电中的功率分配

控制并联型变流器可以为系统提供所需的有功功率（和无功功率）。可用本地信号作为反馈来控制变流器，因为在实际系统中，变流器之间的距离使得其无法实现通信。两个独立量的下垂控制是有功功率和无功功率分配的一个常用方法——即频率和基波电压幅值^[12-22]。在这种情况下，有功功率控制系统频率，而无功功率控制电压幅值。文献 [12] 提到了在一个多分布式电源的微电网系统中带有电力电子接口的分布式电源的有功功率和无功功率管理策略，其中，主要强调电力电子接口分布式发电单元（EI-DG）。文献 [13] 提出了并网模式下，在孤岛和解耦的有功功率和无功功率潮流控制下的带有消除谐波的鲁棒电压调节。文献 [15] 研究了测试系统中分布式发电技术和动态渗透水平的影响。文献 [17] 研究了会导致微电网孤岛的预想故障集。文献 [23] 中，通过引入功率导数积分概念，克服了含传统下垂控制的负荷分配的缓慢和振荡特性，以此获得系统的控制特性和暂态特性的提升，实现稳态恒定频率和良好的电流平衡；文章还研究了当一个额外的更快的回路添加到输出阻抗中时的感性和阻性输出，在阻性输出中有功功率被机端电压所控制，无功功率被功角控制。文献 [24] 中，Karimi 等人开发了一种动态模型和一个独立自主操作的分布式电源控制系统，其中包括含电力电子接口的分布式电源和本地负载。分布式电源是一个由三相电压源变流器和 RL 滤波器组成的直流电压源；本地负载依据并联的 RLC 网络建模。文中为包含 RLC 网络的分布式电源系统开发了一阶动态模型，并基于分布式电源动态模型设计了控制器，用来维护系统稳定和控制独立分布式电源的电压和频率。

理想情况下，微电网中所有分布式电源对任何负载变化的响应时间应能够保持基本一致，以避免超前或滞后的电源发生过载。但惯性和非惯性分布式电源的出现，使每个电源对负载功率变化的响应时间是不同的。带有变流器的分布式电

源能够控制其瞬时输出电压,使得电力需求的变化可以被快速捕捉。然而在惯性分布式电源中,输出功率的变化速率受到机组惯性的限制。为了确保分布式电源能以相同速率捕捉负载变化,应限制这些分布式电源的变化速率。

电力电子接口会带来新的控制问题和可能性。所以建立一个适当的电力电子接口是很有必要的,它应允许大型集群的微型发电机在孤岛模式和并网时均运行,并以最小设备成本提供高品质电力。电力电子接口的基本要求有:

(1) 提供稳定电力并能够进行本地电压调节。

(2) 利用备用实现分布式电源的快速负载追踪。

(3) 用“频率下垂”的方法来保证在没有通信的孤岛运行中微电源的负荷分配。

Keyhani 等人^[25]提出了一种低带宽数据通信系统,包含有每个分布式电源的就地可测量反馈信号。这结合了两种控制方法:下垂控制法和平均功率控制法。其中平均功率控制法带有缓慢的更新速率以用来克服敏感电压和电流测量误差;此外,还提出了用于分配负载电流谐波含量的谐波下垂方法。但是由于他们之间的物理距离,分布式电源之间的通信并不一定可行。文献[26-27]提出,适应性控制或鲁棒控制在分布式发电中已有应用。文献[28-29]提出了对于分布式发电的策略分析和最优电压控制技术。

1.3 电能质量与可靠性

微电网可能包含非线性不平衡负载,此外,电压源型变流器连接的分布式电源自身也是谐波源。因此,确保补偿器的配置以为微电网提供电力是非常重要的,同时也能给非线性及不平衡负载提供补偿。

电能质量一直是一个备受关注的问题。例如文献[30-32]提出了各种滤波技术,文献[33]基于谐波限制确定分布式发电的容许渗透水平,文献[34-36]还提出了许多规划和减少能量损失的优化方法。文献[37]针对分布式发电系统提出了一种单相高频交流(HFAC)微电网的方案。为了分布式电源更好的性能和更有效的电源管理系统,需要控制大电网和微电网之间的潮流。在潮流双向控制中,不仅可以指定电源供给的确切电量,也可以在微电网有较小电力缺额时向大电网反馈电量。

在微电网中,可靠性也是一个重要的问题。频繁的负载变化、分布式电源的位置和有功出力的改变都给电力管理和系统可靠性带来挑战。从可靠性角度来说,微电网和大电网间的频率隔离很有必要。

大多数情况下,若大量分布式电源和负载接入到一个大跨度的微电网中,那么大电网和微电网的隔离将确保系统安全运行。在供电侧任何电压和频率波动都



会对微电网侧的负载电压和功率振荡有直接的影响。对于任何敏感负载的安全运行来说,都不希望发生系统电压和频率的突然变化。大电网和微电网之间的隔离不仅确保了微电网负载的安全运行,也可以防止微电网负荷波动以及分布式电源输出电压波动对供电侧的直接影响。

故障发生时,供电侧和微电网侧的设备保护也是受到广泛关注的问题^[38-42]。对此提出了很多方案,例如文献[38]探索了分布式电源高渗透率对保护装置协调控制的影响,并提出了一个自适应保护方案。文献[39]提出了一种基于孤岛效应检测和频率脱扣需求的分布式发电保护方法,通过协调频率变化率(ROCOF)和欠/过频率继电保护来实现。该方法是基于应用区域的概念,定义了有功功率不平衡空间对应触发时间的区域,该区域可对基于频率的继电器进行调整,以同时满足反孤岛和频率脱扣的要求。

1.4 系统稳定性

已有研究人员探讨了负荷分配下的系统稳定性^[13,15,43]。文献[13]探讨了具有电力电子接口高渗透率的分布式发电系统的电力系统暂态稳定性,但其研究是基于无穷大总线,而忽视了电力系统网络孤网运行等重要问题。文献[44]提出了一种在独立交流系统中控制并联型变流器的方案,还提出了控制器的模块化结构,该结构可适应各种交流系统的控制要求;该方案中有一个P-I校准器,用于为发电机功角和磁通设定参数,通过采用先进控制技术可以大幅提升系统的动态性能。文献[45]阐述了控制方案如何引起弱阻尼振荡模式,类似于传统电力系统的小信号稳定性,并为了识别控制器的反馈信号,进行了灵敏度分析。文献[46]研究了电力需求变化时的低频稳定性问题,阐述了低频振荡位移会影响系统的相对稳定性。文献[47-48]描述了并联型变流器的分散控制策略。

文献[49]中利用结构奇异值方法分析了一个独立的DG中电压和电流控制方案的鲁棒稳定性,这相当于一个离散滑模电流控制器。在文献[50]中,讨论了在独立的交流供电模式下含多分布式电源系统中,为实现负荷分配控制,应用联合下垂和平均功率方法的小信号稳定分析;该文献中创建了小信号模型,其准确性通过模拟原始的非线性模型得到了验证。

文献[20,51]中提出了自治运行的基于变流器的微电网模型和分析,其中变流器的控制基于电压和频率下垂。系统的每个子模块在状态空间建模,然后在同一个参考框架下将所有模块组合在一起。这个模型捕捉控制闭环变流器的细节,但不动作,PI控制器用于控制电压和电流。

1.5 农村电网的功率分配

农村电气化应不受技术水平、电力来源和发电形式的约束而确保其电力供给,但这由于资源的短缺而无法实现。分布式发电是其解决方案之一,但其中微电源的位置非常重要。在发展中国家,农村电气化的成败取决于相关问题的解决程度,能够促进农村电气化的电力电子变流器方案,在目前的电气化成本中只占一小部分,对于弱电网来说,这不可避免地会导致电压调节的薄弱。

典型低压或中压农村电网的高电阻特性对功率分配的控制有效性是一个很大的挑战。电网中有功功率和无功功率的强耦合会导致不准确的负荷频率控制。下垂增益值较大时,必须确保适当的负荷分配,尤其是弱电网条件下。然而高下垂增益对整个系统的稳定性有负面影响。此外,如果线路是高电阻的,高增益下无法保证合适的负荷分配。在这种情况下,下垂控制主要假设有功功率和无功功率是解耦的,但传统的下垂控制^[43]在分布式电源之间不能提供合适的功率分配。

文献[52]通过频率下垂控制对于高 R/X 线路实现了有功功率和无功功率的解耦。结果表明,修正下垂方程可以解除线路阻抗的影响,但文中没有阐述如何选择基于功率分配的下垂增益级别。

正如前面所讨论的,基于分布式电源的电压源型变流器(VSC),输出相位角可以瞬间改变,所以下垂相角是一个更好的分配负荷的方法^[53]。频率调节约束了频率下垂增益的允许范围,反过来,这可能导致微电网在频率负荷发生变化时产生振荡。文献[54]中,假定线路主要是阻性的,且传统下垂是电压控制有功功率和相角控制无功功率。但在农村电网中高 R/X 比率很常见,随着有功功率和无功功率的强耦合,它们不再是频率或电压单独控制,所以下垂方程需要修正。有功功率下垂系数可以根据负荷分配比率确定。

电力系统中通常很难增加外延的配电网,特别是对于分布稀疏的农村用户,分布式发电是解决这一困境的最好方案之一。文献[55-57]讨论了在不同负荷条件下如何规划一个典型中压等级的农村配电系统。文献[56]提出了一种由下而上的策略,通过评估自治或非自治微电网,向当地居民供电。

许多国家在农村电气化政策和未来规划成果上均遇到了困难^[58-69]。在非洲,乌干达,尼泊尔和印度,电气化都有自己的具体要求^[63,65,66,68]。文献[61]描述了常规的农村电气化要求。文献[69]则阐述了农村配电系统的孤岛运行。

澳大利亚南部 Anangu 光伏电站 220kW 非并网可再生能源覆盖了 10 000km² 的数个社区的将近 500 人,澳大利亚中部的 Hermannsburg 小型电站,有 720kW 的电力覆盖三个社区数百个家庭,这些都是在低电压等级电网中变流器接口的微电源和负荷之间距离较远的例子。



1.6 本书的目标和贡献

本节讨论本书的目标和具体的贡献。

1.6.1 本书目标

在文献的基础上，研究的目标设定为以下几点：

- (1) 在微电网中用变流器接口的电源来提高功率分配的技术。
- (2) 促进微电网的负荷频率控制以及并网和孤岛之间的平稳过渡。
- (3) 提高含不平衡和非线性负荷的微电网的电能质量。
- (4) 改善电力管理系统和微电网的可靠性。
- (5) 进行稳定性分析和通过改进控制器来提高稳定性。
- (6) 在农村含高 R/X 线路电网中获得更好的功率分配方案。

1.6.2 本书贡献

基于上述目标，本书的具体贡献如下：

(1) 提出了一个相角下垂控制器，应用于微电网中带变流器接口的分布式电源的功率分配。输出电压的相角可以在一个 VSC 中瞬时改变，控制角度以控制有功功率，有利于系统快速达到稳定状态。因此基于变流器的分布式电源中，负荷分配可以通过减小变流器输出电压的幅值和相角而不是改变系统频率来实现。相比于频率下垂控制导致的频率变化，相角控制导致的频率变化要小得多。

(2) 提出了改进的频率下垂控制器，以获得更好的动态响应以及电网运行时并网和孤岛模式间的平稳过渡。还提出带有改进控制回路的模块化控制器结构，以实现在分布式发电系统中并联型变流器之间更好的负荷分配。电压相角回路的积分控制有助于影响闭环动态特性而不影响稳态频率调节。此外，并网和孤岛模式之间的平稳过渡是非常重要的，因为其能够确保更好的系统性能。

(3) 提出了包含不平衡及非线性负载的微电网电能质量提升方法。提出的控制器能够补偿本地不平衡和非线性负载。本地负荷可以以任何比率进行分配。在并网模式下，负载通常由大电网承担；而在孤岛模式下，根据分布式发电的比例，来分配它们承担负载的比例。

(4) 本书提出为了获得更好的可靠性，微电网和大电网之间的隔离技术应该依靠一种背靠背变流器。这样，大电网和微电网完全隔离时，大电网侧的电压或频率的波动不影响微电网中的负荷。本书还提到了并网过程中断路器和电力电子开关的合理转换，运用双向潮流还可以控制大电网和微电网之间的潮流