



国际电气工程先进技术译丛



WILEY  
www.wiley.com

# 风力发电系统的 功率变换与控制

Power Conversion and Control  
of Wind Energy Systems

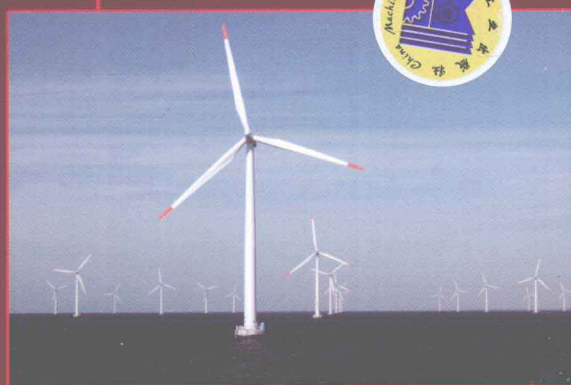
(加拿大) Bin Wu  
(中国) Yongqiang Lang  
(加拿大) Navid Zargari  
(智利) Samir Kouro

著

卫三民 周京华 王 政  
张 岚 苏位峰 宇文博  
李发海

译

校



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

国际电气工程先进技术译丛

# 风力发电系统的功率 变换与控制

(加拿大) Bin Wu

(中国) Yongqiang Lang

(加拿大) Navid Zargari

(智利) Samir Kouro

著

卫三民 周京华 王 政

张 岚 苏位峰 宇文博

李发海

译

校



机械工业出版社

本书对风力发电系统的功率变换与控制进行了详细的介绍,提出了很多解决方案,包括风力发电系统的离网和并网运行、陆上和海上应用、水平轴和垂直轴风力机、定速和变速运行、失速和变桨距控制、并网导则等,并针对基于异步发电机的定速风力发电系统、笼型异步发电机变速风力发电系统、基于双馈异步发电机的风力发电系统、同步发电机的变速风力发电系统等,进行深入剖析,给出了具体的建模方法与控制措施。

本书可供从事风力发电的研究和工程设计人员参考,也完全可作为研究生或高年级本科生的教材。

Power Conversion and Control of Wind Energy Systems, ISBN: 978-0-470-59365-3, Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari and Samir Kouro. All Rights Reserved. This translation published under license.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面允许,本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。版权所有,翻印必究。

本书版权登记号:图字 01-2011-5301 号

## 图书在版编目(CIP)数据

风力发电系统的功率变换与控制/(加)吴斌等著;卫三民等译.—北京:机械工业出版社,2012.5

(国际电气工程先进技术译丛)

书名原文:Power Conversion and Control of Wind Energy Systems

ISBN 978-7-111-38169-3

I. ①风… II. ①吴…②卫… III. ①风力发电系统-功率-变换  
②风力发电系统-功率-控制 IV. ①TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 080243 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:付承桂 责任编辑:江婧婧 版式设计:霍永明

责任校对:刘志文 封面设计:马精明 责任印制:杨曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 25 印张 · 511 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-38169-3

定价:88.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者购书热线:(010)88379203

## 译者序

风能是最重要的清洁和可再生能源之一，市场前景广阔。风力发电的相关技术在国内发展迅速，已经取得了非常明显的经济和社会效益。

此前，我们非常荣幸地组织翻译了加拿大 Ryerson 大学 Bin Wu 院士（本书译者中卫三民、王政、张岚和宇文博在加拿大工作学习时的导师）的《大功率变频器及交流传动》一书。2011年，非常高兴地得知本书英文原版书的出版，征得 Bin Wu 院士、郎永强博士等作者的同意，我们非常荣幸地有这个宝贵的机会进行本书的翻译工作。

Bin Wu 院士等作者博学的知识、严谨的治学态度、缜密的思考、精益求精的作风、一丝不苟的精神在本书中都得到了充分的体现。也非常希望通过我们的翻译工作，能对国内风电技术的发展起到促进作用。

本书的翻译初稿，其中的前言、缩略语及第1、2章，由卫三民进行翻译；周京华博士翻译了第3、7章；苏位峰博士翻译了第4章；张岚翻译了第5章、所有的附录及习题；王政博士翻译了第6、8章；宇文博博士翻译了第9章。此后，卫三民和周京华、王政、苏位峰等一起对所有的译稿进行了反复的阅读和大量的修改完善。

在此，非常感谢清华大学的李发海教授（卫三民及苏位峰博士在攻读博士学位时的导师），对本书所有翻译工作给予的指导，并在百忙之中对本书所进行的仔细审校及提出的详细修改意见。

最后，衷心感谢郎永强博士，感谢他精益求精、细致入微地进行了大量的中英文对照工作；衷心感谢李崇坚博士、李耀华博士、翁海清博士、郭晓明博士、郭伟彰高工、张和平、黄小光、冯乾等，感谢他们在局部章节的审核过程中给予的具体修改意见和建议；衷心感谢西安西电电力系统有限公司，以及云南电网北京能源新技术研究发展中心的各位领导和同仁，感谢他们在多次的翻译研讨会中提供的便利和支持。

本书的翻译限于译者的水平，可能存在一些翻译不准确或不当的地方，非常欢迎大家提出宝贵的修改意见或建议。

卫三民，周京华，王政，张岚，苏位峰，宇文博

2012年5月于北京

## 原书前言

风能是最重要的清洁和可再生能源之一，资源丰富，用之不竭。在过去的十多年间，相关技术得到了迅速发展。把自然界风的动能转变为可供人类使用的电能，是个综合多学科的技术，涉及空气动力学、机械制造、电机设计、电力电子、控制理论及并网系统等。介绍相关内容的书籍众多。本书从电气工程专业的角度，重点介绍风力发电系统中的电力变换装置及其控制策略。书中对风力发电机、系统总体方案、电力变换装置、控制实现方法，以及各种风力发电系统的动态及稳态模型及性能等，都进行了详细而深入的分析。

本书共包括9章。第1章从宏观上介绍了风力发电总体情况，包括风电的市场、分类和系统成本，以及电网系统并网导则等。第2章介绍了风力发电系统的典型构成及控制策略，包括具体组成部分、空气动力学原理、变桨距控制技术、失速控制技术，及最大功率点跟踪实现策略等。第3章给出了各种常用的风力发电机，包括笼型异步发电机、双馈异步发电机及同步发电机等，同时给出了各自的动态和稳态模型，为后续各章的深入分析奠定了基础。

第4章分析了风力发电系统中的各种变流器及其PWM（脉冲宽度调制）控制策略。重点介绍了大功率的电压源和电流源变流器。第5章介绍了已经投入实际运行的各主要风力发电系统的组成及特点。第6章给出了基于定速异步发电机的风力发电系统，尤其是其相关的并网方式、双速运行模式及无功功率补偿方法等。

第7章主要分析了基于变速笼型异步发电机的风力发电系统，重点介绍了系统组成，以及磁场定向控制（FOC）和直接转矩控制（DTC）等。第8章给出了基于双馈异步发电机的风力发电系统，主要讨论了亚同步运行模式和超同步运行模式。第9章讨论了基于同步发电机的风力发电系统，详细介绍和比较了零d轴电流控制方法、单位电流最大转矩控制方法和单位功率因数控制方法等。

为了帮助读者更好地理解各种风力发电系统的原理，及各种控制策略的实现方法，各章中针对性地讨论了30多个实例，且在附录中给出了100多个问题并给出了解答。因此，本书不但可作为学术研究和工程设计人员的参考，也完全可用作研究生或大学四年级本科生的教材。

最后，衷心感谢Ryerson大学LEDAR实验室的在读博士生Venkata Yaramasu，感谢他在附录及第4章前3小节写作中的辛苦工作！感谢在LEDAR实验室工作过及正在工作的博士后、博士和硕士们，尤其是Victor F. Liu博士、Moya J. Dai博士、朱宁、Ehsan Al-Nabi等，感谢他们在本书创作过程中提供的支持！感谢Wiley/IEEE出版社的各位编辑们，感谢他们在本书出版过程中的辛苦工作和提供的帮助！最后，衷心感谢我们的家人，感谢她们/他们在本书完成过程中给予的关心、理解和支持！

Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro  
于加拿大多伦多

# 符 号 表

|              |   |                      |
|--------------|---|----------------------|
| $A$          | sweep area of turbine rotor blades                                | 风力机风轮叶片扫掠面积          |
| $C_i$        | filter capacitor of current source inverter                       | 电流源逆变器滤波电容器          |
| $C_p$        | power coefficient of blade  | 叶片功率系数               |
| $C_{pmax}$   | maximum power coefficient of blade                                | 叶片最大功率系数             |
| $C_r$        | filter capacitor of current source rectifier                      | 电流源整流器滤波电容           |
| $D$          | duty cycle of boost converter                                     | 升压变流器占空比             |
| $D_1$        | coefficient in the model of induction generators                  | 异步发电机模型中的系数          |
| $E$          | dc capacitor voltage of three-level NPC converter                 | 三电平中点箝位式变流器直流电容电压    |
|              | battery voltage in dc link circuit                                | 直流母线电池电压             |
| $f$          | fundamental frequency of inverter output voltage                  | 逆变器输出电压的基波频率         |
| $f_{cr}$     | frequency of carrier wave in sinusoidal pulse width modulation    | 正弦波脉(冲)宽(度)调制中的载波频率  |
| $f_g$        | frequency of the grid   | 电网频率                 |
| $f_m$        | frequency of modulating wave in sinusoidal pulse width modulation | 正弦波脉(冲)宽(度)调制中的调制波频率 |
| $f_o$        | cut-off frequency of a first order low-pass filter                | 一阶低通滤波器的截止频率         |
| $f_s$        | stator frequency of induction or synchronous generators           | 异步或同步发电机的定子频率        |
| $f_{sp}$     | sampling frequency in space vector modulation                     | 空间矢量调制的采样频率          |
| $f_{sw}$     | switching frequency of solid state switching device               | 固态开关器件的开关频率          |
| $f_{sw,inv}$ | equivalent switching frequency of inverter                        | 逆变器的等效开关频率           |
| $i_a$        | phase-a current of AC voltage controller                          | 交流电压控制器 a 相电流        |
| $i_{ag}$     | phase-a current of the grid                                       | 电网 a 相电流             |
| $i_{ar}$     | phase-a rotor current of induction generator                      | 异步发电机 a 相转子电流        |
| $i_{as}$     | phase a stator current of induction or synchronous generator      | 异步或同步发电机 a 相定子电流     |
| $i_{awi}$    | phase-a PWM current of current source inverter                    | 电流源逆变器的 a 相 PWM 电流   |
| $i_{awr}$    | phase-a PWM current of current source rectifier                   | 电流源整流器的 a 相 PWM 电流   |
| $i_b$        | phase-b current of AC voltage controller                          | 交流电压控制器的 b 相电流       |
| $i_{bg}$     | phase-b current of the grid                                       | 电网 b 相电流             |
| $i_{br}$     | phase-b rotor current of induction generator                      | 异步发电机 b 相转子电流        |
| $i_{bs}$     | phase-c stator current of induction or synchronous generator      | 异步或同步发电机 c 相定子电流     |
| $i_{bwi}$    | phase-b current of current source inverter                        | 电流源逆变器 b 相电流         |
| $i_c$        | phase-c current of AC voltage controller                          | 交流电压控制器 c 相电流        |
| $i_{cid}$    | d-axis filter capacitor current in current source inverter        | 电流源逆变器 d 轴滤波电容电流     |

- $i_{ciq}$   $q$ -axis filter capacitor current of current source inverter 电流源逆变器  $q$  轴滤波电容电流
- $i_{cg}$  phase- $c$  current of the grid 电网  $c$  相电流
- $i_{cr}$  phase- $c$  rotor current of induction generator 异步发电机  $c$  相转子电流
- $\vec{i}_{cr}$  filter capacitor current vector of current source rectifier 电流源整流器滤波电容电流矢量
- $i_{crd}$   $d$ -axis filter capacitor current in current source rectifier 电流源整流器  $d$  轴滤波电容电流
- $i_{crq}$   $q$ -axis filter capacitor current in current source rectifier 电流源整流器  $q$  轴滤波电容电流
- $i_{cs}$  phase- $c$  stator current of induction or synchronous generator 异步或同步发电机  $c$  相定子电流
- $i_{cw}$  phase- $c$  PWM current of current source inverter 电流源逆变器  $c$  相 PWM 电流
- $i_{dc}$  dc link current 直流环节电流
- $i_{dc}^*$  dc link reference current 直流环节给定电流
- $i_{dci}^*$  dc link reference current of current source inverter 电流源逆变器直流环节给定电流
- $i_{dcr}^*$  dc link reference current of current source rectifier 电流源整流器直流环节给定电流
- $i_{dg}$   $d$ -axis current of the grid 电网  $d$  轴电流
- $i_{dg}^*$   $d$ -axis reference current for the grid 电网  $d$  轴给定电流
- $i_{dr}$   $d$ -axis rotor current of induction generator 异步发电机  $d$  轴转子电流
- $i_{dr}^*$   $d$ -axis rotor reference current of DFIG 双馈异步发电机  $d$  轴转子给定电流
- $i_{ds}$   $d$ -axis stator current of induction or synchronous generator 异步或同步发电机  $d$  轴定子电流
- $i_{ds}^*$   $d$ -axis stator reference current of induction or synchronous generator 异步或同步发电机  $d$  轴定子给定电流
- $i_{dwi}^*$   $d$ -axis PWM reference current of current source inverter 电流源逆变器  $d$  轴 PWM 给定电流
- $i_{dwr}$   $d$ -axis PWM current of current source rectifier 电流源整流器  $d$  轴 PWM 电流
- $i_{dwr}^*$   $d$ -axis PWM reference current of current source rectifier 电流源整流器  $d$  轴 PWM 给定电流
- $i_g$  current of the grid 电网电流
- $i_{g1}$  gate signal for thyristor  $T_1$  in AC voltage controller 交流电压控制器晶闸管  $T_1$  门极信号
- $i_{g2}$  gate signal for thyristor  $T_2$  in AC voltage controller 交流电压控制器晶闸管  $T_2$  门极信号
- $i_{g3}$  gate signal for thyristor  $T_3$  in AC voltage controller 交流电压控制器晶闸管  $T_3$  门极信号
- $i_{g4}$  gate signal for thyristor  $T_4$  in AC voltage controller 交流电压控制器晶闸管  $T_4$  门极信号
- $i_{g5}$  gate signal for thyristor  $T_5$  in AC voltage controller 交流电压控制器晶闸管  $T_5$  门极信号
- $i_{g6}$  gate signal for thyristor  $T_6$  in AC voltage controller 交流电压控制器晶闸管  $T_6$  门极信号
- $i_i$  input current of boost converter 升压变流器输入电流
- $i_{L1}$  current through inductor  $L_1$  in boost converter 升压变流器通过电感  $L_1$  的电流
- $i_{L2}$  current through inductor  $L_2$  in boost converter 升压变流器通过电感  $L_2$  的电流
- $i_o$  output current of boost converter 升压变流器输出电流
- $i_{qg}$   $q$ -axis current of the grid 电网  $q$  轴电流
- $i_{qg}^*$   $q$ -axis reference current for the grid 电网  $q$  轴给定电流
- $i_{qr}$   $q$ -axis rotor current of induction generator 异步发电机  $q$  轴转子电流
- $i_{qr}^*$   $q$ -axis rotor reference current of DFIG 双馈异步发电机  $q$  轴转子给定电流

|                 |   |
|-----------------|---|
| $i_{qs}$        | $q$ -axis stator current of induction or synchronous generator 异步或同步发电机 $q$ 轴定子电流                           |
| $i_{qs}^*$      | $q$ -axis stator reference current of induction or synchronous generator 异步或同步发电机 $q$ 轴定子给定电流               |
| $i_{qwi}^*$     | $q$ -axis PWM reference current of CSI 电流源逆变器 $q$ 轴 PWM 给定电流  |
| $i_{qwr}$       | $q$ -axis PWM current of current source rectifier 电流源整流器 $q$ 轴 PWM 电流                                       |
| $i_{qwr}^*$     | $q$ -axis PWM reference current of current source rectifier 电流源整流器 $q$ 轴 PWM 给定电流                           |
| $i_r$           | rotor current of induction generator or doubly fed induction generator 异步发电机或双馈异步发电机转子电流                    |
| $\vec{i}_r$     | rotor current vector of induction generator 异步发电机转子电流矢量   |
| $i_{ref}$       | magnitude (length) of reference current vector $\vec{i}_{ref}$ 给定电流矢量 $\vec{i}_{ref}$ 的幅值 (长度)              |
| $\vec{i}_{ref}$ | reference current vector of current source converter 电流源变流器给定电流矢量   |
| $i_{ref,max}$   | maximum magnitude of reference current vector $\vec{i}_{ref}$ 给定电流矢量 $\vec{i}_{ref}$ 的最大幅值                  |
| $i_s$           | stator current of induction or synchronous generator 异步或同步发电机定子电流   |
| $\vec{i}_s$     | stator current vector of induction or synchronous generator 异步或同步发电机定子电流矢量                                  |
| $i_{wi}^*$      | PWM reference current of current source inverter 电流源逆变器 PWM 给定电流  |
| $i_{wr}$        | PWM current of current source rectifier 电流源整流器 PWM 电流   |
| $\vec{i}_{wr}$  | PWM current vector in current source rectifier 电流源整流器 PWM 电流矢量  |
| $i_{wr}^*$      | PWM reference current in current source rectifier 电流源整流器 PWM 给定电流   |
| $i_\alpha$      | $\alpha$ -axis current $\alpha$ 轴电流   |
| $i_\beta$       | $\beta$ -axis current $\beta$ 轴电流   |
| $I_{sg}$        | rms value of grid phase- $a$ current 电网 $a$ 相电流有效值  |
| $I_{awn}$       | rms value of the $n$ th order harmonic current in current source inverter 电流源逆变器 $n$ 次谐波电流有效值               |
| $I_{awl,max}$   | maximum rms fundamental-frequency current in current source inverter 电流源逆变器基波电流最大有效值                        |
| $\vec{I}_{cr}$  | filter capacitor current in current source rectifier (complex) 电流源整流器滤波电容电流 (复数)                            |
| $I_{dc}$        | average value of dc link current 直流环节电流平均值  |
| $I_{ds}$        | rms value of $d$ -axis stator current of induction or synchronous generator 异步或同步发电机 $d$ 轴定子电流有效值           |
| $I_f$           | field current of synchronous generator 同步发电机的励磁电流   |
| $I_g$           | rms value of grid phase current 电网相电流有效值  |
| $I_i$           | average value of boost converter input current 升压变流器输入电流平均值   |
| $\vec{I}_k$     | current space vector in current source converter ( $k=0, 1, \dots, 6$ ) 电流源变流器电流空间矢量 ( $k=0, 1, \dots, 6$ ) |



|                |  |   |
|----------------|--|---|
| $I_{L1}$       | average value of inductor $L_1$ current in boost converter                       | 升压变流器电感 $L_1$ 的电流平均值                                      |
| $I_{L2}$       | average value of inductor $L_2$ current in boost converter                       | 升压变流器电感 $L_2$ 的电流平均值                                      |
| $I_{LB}$       | inductor boundary current between the CCM and DCM                                | 连续导通模式和断续导通模式的电感临界电流                                      |
| $I_{LB,max}$   | maximum inductor boundary current  | 最大电感临界电流  |
| $\bar{I}_m$    | magnetizing current of induction generators (complex)                            | 异步发电机励磁电流 (复数)  |
| $I_o$          | average value of output current of boost converter                               | 升压变流器输出电流平均值  |
| $I_{oB}$       | boundary output current of boost converter                                       | 升压变流器临界输出电流   |
| $I_{oB,max}$   | maximum boundary output current  | 最大临界输出电流  |
| $I_{qs}$       | rms value of $q$ -axis stator current of induction or synchronous generator      | 异步或同步发电机 $q$ 轴定子电流有效值                                     |
| $I_r$          | rms value of rotor current of induction generator                                | 异步发电机转子电流有效值  |
| $\bar{I}_r$    | rotor current of induction generator (complex)                                   | 异步发电机转子电流 (复数)  |
| $I_s$          | rms value of stator current of induction or synchronous generator                | 异步或同步发电机定子电流有效值   |
| $\bar{I}_s$    | stator current of induction generator (complex)                                  | 异步发电机定子电流 (复数)  |
| $\bar{I}_{wr}$ | PWM current of current source rectifier (complex)                                | 电流源整流器 PWM 电流 (复数)  |
| $J$            | moment of inertia  | 转动惯量  |
| $k$            | number of harmonics to be eliminated by SHE scheme                               | 采用特定谐波消除控制所消除的谐波次数  |
| $K_T$          | armature constant $\left( K_T = \frac{2PL_m}{3L_r} \right)$                      | 电枢常数 $\left( K_T = \frac{2PL_m}{3L_r} \right)$            |
| $K_1$          | coefficient of boost converter $\left( K_1 = \frac{2L_1}{K_1 T_s D} I_o \right)$ | 升压变流器系数 $\left( K_1 = \frac{2L_1}{K_1 T_s D} I_o \right)$ |
| $K_m$          | coefficient $K_m = T_{m,R} / \omega_{m,R}$                                       | 系数 $K_m = T_{m,R} / \omega_{m,R}$                         |
| $L$            | inductance of each interleave boost converter                                    | 多重化升压变流器各通道电感   |
| $L_d$          | $d$ -axis self inductance of synchronous generator                               | 同步发电机 $d$ 轴自感   |
| $L_{dc}$       | dc link inductance   | 直流环节电感  |
| $L_{eq}$       | equivalent inductance of rotor-side converter in DFIG                            | 双馈异步发电机转子侧变流器等效电感   |
| $L_g$          | grid side line inductance  | 网侧电感  |
| $L_{lr}$       | rotor leakage inductance of induction or synchronous generator                   | 异步或同步发电机转子漏感  |
| $L_{ls}$       | stator leakage inductance of induction or synchronous generator                  | 异步或同步发电机定子漏感  |
| $L_L$          | inductance of three-phase $RL$ load  | 三相阻感负载的电感   |
| $L_m$          | magnetizing inductance of induction generator                                    | 异步发电机励磁电感   |
| $L_q$          | $q$ -axis self inductance of synchronous generator                               | 同步发电机 $q$ 轴自感   |
| $L_r$          | rotor self-inductance of induction generator                                     | 异步发电机转子自感   |
| $L_s$          | stator self-inductance of induction or synchronous generator                     | 异步或同步发电机定子自感  |

|             |   |                         |
|-------------|---|-------------------------|
| $m_a$       | amplitude modulation index of SPWM or SVM                       | 正弦波脉冲宽度调制或空间矢量调制的幅值调制因数 |
| $m_{a,max}$ | maximum modulation index of SPWM or SVM                         | 正弦波脉冲宽度调制或空间矢量调制的最大调制因数 |
| $m_f$       | frequency modulation index in sinusoidal pulse width modulation | 正弦脉(冲)宽(度)调制的频率调制因数     |
| $m_i$       | modulation index of current source inverter                     | 电流源逆变器调制因数              |
| $m_{imax}$  | maximum modulation index of current source inverter             | 电流源逆变器最大调制因数            |
| $m_{max}$   | maximum modulation index  | 最大调制因数                  |
| $m_r$       | modulation index of current source rectifier                    | 电流源整流器调制因数              |
| $m_{r,max}$ | maximum modulation index of current source rectifier            | 电流源整流器最大调制因数            |
| $n_m$       | generator speed in rpm  | 发电机转速                   |
| $n_M$       | turbine speed in rpm  | 风力机转速                   |
| $n_r$       | rotor speed of induction and synchronous generator in rpm       | 异步或同步发电机转子转速 (r/min)    |
| $N$         | number of channels of interleaved boost converter               | 多重化升压变流器的通道数            |
| $N_p$       | number of pulses per half cycle of current source converter     | 电流源变流器每半周期的脉冲数          |
| $p$         | derivative operator ( $p = d/dt$ )                              | 微分算子                    |
| $P$         | number of pole pairs  | 极对数                     |
|             | system active power   | 系统有功功率                  |
| $P_{ac}$    | ac side active power of converter                               | 变流器交流侧有功功率              |
| $P_{ag}$    | air-gap power of induction generator                            | 异步发电机气隙功率               |
| $P_{cu,s}$  | stator copper loss of induction generator                       | 异步发电机的定子铜损耗             |
| $P_{cu,r}$  | rotor copper loss of induction generators                       | 异步发电机的转子铜损耗             |
| $PF$        | power factor  | 功率因数                    |
| $PF_s$      | stator power factor   | 定子功率因数                  |
| $PF_L$      | load power factor   | 负载功率因数                  |
| $P_{dc}$    | dc power of converter   | 变流器的直流功率                |
| $P_g$       | active power delivered to the grid                              | 输送到电网的有功功率              |
| $P_m$       | mechanical power of generator                                   | 发电机机械功率                 |
| $P_M$       | mechanical power captured by turbine                            | 风力机捕获的机械功率              |
| $P_L$       | load active power   | 负载有功功率                  |
| $P_r$       | rotor power of DFIG   | 双馈异步发电机的转子功率            |
| $P_{rot}$   | rotational power losses of generator                            | 发电机机械损耗                 |
| $P_s$       | stator active power of generator                                | 发电机定子有功功率               |
| $P_w$       | wind power  | 风能                      |
| $Q$         | reactive power  | 无功功率                    |
| $Q_g$       | grid-side reactive power  | 网侧无功功率                  |

|             |  |   |
|-------------|--|---|
| $Q_g^*$     | grid-side reactive power reference   | 网侧给定无功功率  |
| $Q_{g,max}$ | maximum grid-side reactive power   | 最大网侧无功功率  |
| $Q_{GSC}^*$ | reactive power reference of grid-side converter in DFIG  | 双馈异步发电机网侧变流器的给定无功功率                             |
| $Q_L$       | load reactive power  | 负载无功功率  |
| $Q_s$       | stator reactive power of DFIG  | 双馈异步发电机的定子无功功率                                  |
| $Q_s^*$     | stator reactive power reference  | 给定定子无功功率  |
| $r_{gb}$    | gearbox conversion ratio (gear ratio)  | 齿轮箱传动比  |
| $r_T$       | radius of turbine rotor (blade length)   | 风力机风轮半径 (叶片长度)                                  |
| $R$         | load resistance of boost converter   | 升压变流器的负载电阻                                      |
|             | resistance of simplified generator-side converter  | 简化的发电机侧变流器电阻                                    |
| $R_{eq}$    | equivalent resistance of rotor-side converter in DFIG  | 双馈异步发电机转子侧变流器的等效电阻                              |
| $R_r$       | rotor winding resistance of induction generator  | 异步发电机的转子绕组电阻                                    |
| $R_s$       | stator winding resistance of induction and synchronous generator                                   | 异步或同步发电机定子绕组电阻                                  |
| $R_L$       | resistance of three-phase RL load  | 三相阻感负载中的电阻                                      |
| $s$         | slip of induction generator  | 异步发电机的转差  |
| $s_{Tmax}$  | slip at the maximum torque   | 最大转矩时的转差率                                       |
| $s$         | Laplace operator   | 拉普拉斯算子  |
|             | apparent power of system   | 系统视在功率  |
| $S_g$       | grid-side apparent power   | 网侧视在功率  |
| $t_{on}$    | turn-on time of boost converter  | 升压变流器导通时间                                       |
| $t_{off}$   | turn-off time of boost converter   | 升压变流器关断时间                                       |
| $T_0$       | dwel time for voltage vector $\vec{V}_0$ and current vector $\vec{I}_0$ in space vector modulation | 空间矢量调制中电压矢量 $\vec{V}_0$ 和电流矢量 $\vec{I}_0$ 的作用时间 |
| $T_a$       | dwel time for voltage vector $\vec{V}_1$ in space vector modulation                                | 空间矢量调制中电压矢量 $\vec{V}_1$ 的作用时间                   |
| $T_b$       | dwel time for voltage vector $\vec{V}_2$ in space vector modulation                                | 空间矢量调制中电压矢量 $\vec{V}_2$ 的作用时间                   |
| $T_1$       | dwel time for current vector $\vec{I}_1$ in space vector modulation                                | 空间矢量调制中电流矢量 $\vec{I}_1$ 的作用时间                   |
| $T_2$       | dwel time for current vector $\vec{I}_2$ in space vector modulation                                | 空间矢量调制中电流矢量 $\vec{I}_2$ 的作用时间                   |
| $T_e$       | electromagnetic torque of induction and synchronous generators                                     | 异步或同步发电机的电磁转矩                                   |

|            |   |
|------------|---|
| $T_e^*$    | electromagnetic torque reference 给定电磁转矩   |
| $T_L$      | load torque 负载转矩  |
| $T_m$      | mechanical torque from generator shaft 发电机输入机械转矩  |
| $T_M$      | mechanical torque generated by turbine 风力机产生的机械转矩   |
| $T_{max}$  | maximum torque 最大转矩   |
| $T_s$      | switching period of solid switching device 固态开关器件的开关周期<br>sampling period of space vector modulation 空间矢量调制的采样周期                      |
| $v_a$      | phase- <i>a</i> voltage <i>a</i> 相电压  |
| $v_a^*$    | phase- <i>a</i> reference voltage <i>a</i> 相给定电压  |
| $v_{ab}$   | inverter line-to-line voltage between phase- <i>a</i> and phase- <i>b</i> <i>a</i> 相与 <i>b</i> 相间的逆变器线电压                              |
| $v_{AB}$   | line-to-line supply voltage of three-phase AC voltage controller 三相交流电压控制器的电源线电压  |
| $v_{ab1}$  | fundamental frequency component of inverter line-to-line voltage $v_{ab}$ 逆变器线电压 $v_{ab}$ 的基波分量                                       |
| $v_{aba}$  | line-to-line stator voltage or rectifier PWM voltage 定子线电压或整流器 PWM 电压   |
| $v_{ab1}$  | fundamental component of line-to-line voltage $v_{aba}$ 线电压 $v_{aba}$ 的基波分量   |
| $v_{ag}$   | phase- <i>a</i> grid voltage <i>a</i> 相电网电压   |
| $v_{ai}^*$ | phase- <i>a</i> reference voltage of PWM inverter PWM 逆变器 <i>a</i> 相给定电压  |
| $v_{an}$   | phase- <i>a</i> load voltage of three-phase AC voltage controller 三相交流电压控制器的 <i>a</i> 相负载电压   |
| $v_{aN}$   | phase- <i>a</i> load voltage of two-level voltage source converter 两电平电压源变流器 <i>a</i> 相负载电压   |
| $v_{AN}$   | phase- <i>A</i> supply voltage of three-phase AC voltage controller 三相交流电压控制器的 <i>A</i> 相电源电压   |
| $v_{ar}$   | phase- <i>a</i> rotor voltage of DFIG 双馈异步发电机的 <i>a</i> 相转子电压   |
| $v_{ar}^*$ | phase- <i>a</i> reference rotor voltage <i>a</i> 相给定转子电压  |
| $v_{ar1}$  | fundamental frequency component of phase- <i>a</i> rotor voltage of DFIG 双馈异步发电机 <i>a</i> 相转子电压的基波分量                                  |
| $v_{as}$   | phase- <i>a</i> stator voltage of induction and synchronous generator 异步或同步发电机的 <i>a</i> 相定子电压  |
| $v_{as}^*$ | phase- <i>a</i> reference voltage for PWM rectifier PWM 整流器 <i>a</i> 相给定电压  |
| $v_{as1}$  | fundamental frequency component of the phase- <i>a</i> stator voltage <i>a</i> 相定子电压的基波分量   |
| $v_{az}$   | phase- <i>a</i> terminal voltage of three-level NPC inverter 三电平中点箝位式逆变器的 <i>a</i> 相端电压   |
| $v_b$      | phase- <i>b</i> voltage <i>b</i> 相电压  |
| $v_b^*$    | phase- <i>b</i> reference voltage <i>b</i> 相给定电压  |
| $v_{bc}$   | line-to-line voltage between phase <i>b</i> and phase <i>c</i> <i>b</i> 相和 <i>c</i> 相间的线电压  |
| $v_{BC}$   | line-to-line supply voltage between phase <i>B</i> and phase <i>C</i> of AC voltage controller 交流电压控制器的 <i>B</i> 相与 <i>C</i> 相间的电源线电压 |
| $v_{bg}$   | phase- <i>b</i> grid voltage 电网 <i>b</i> 相电压  |

|             |   |                               |
|-------------|---|-------------------------------|
| $v_{bi}^*$  | phase- <i>b</i> reference voltage of PWM inverter                     | PWM 逆变器 <i>b</i> 相给定电压        |
| $v_{bn}$    | phase- <i>b</i> load voltage of three-phase AC voltage controller     | 三相交流电压控制器的 <i>b</i> 相负载电压     |
| $v_{bN}$    | phase- <i>b</i> load voltage of two-level voltage source converter    | 两电平电压源逆变器的 <i>b</i> 相负载电压     |
| $v_{BN}$    | phase- <i>B</i> supply voltage of three-phase AC voltage controller   | 三相交流电压控制器的 <i>B</i> 相电源电压     |
| $v_{br}$    | phase- <i>b</i> rotor voltage of DFIG                                 | 双馈异步发电机的 <i>b</i> 相转子电压       |
| $v_{br}^*$  | phase- <i>b</i> rotor reference voltage                               | <i>b</i> 相转子给定电压              |
| $v_{bs}$    | phase- <i>b</i> stator voltage of induction and synchronous generator | 异步和同步发电机 <i>b</i> 相定子电压       |
| $v_{bs}^*$  | phase- <i>b</i> reference voltage for PWM rectifier                   | PWM 整流器 <i>b</i> 相给定电压        |
| $v_{bZ}$    | phase- <i>b</i> terminal voltage of three-level NPC inverter          | 三电平中点箝位式逆变器 <i>b</i> 相端电压     |
| $v_c$       | phase- <i>c</i> voltage   | <i>c</i> 相电压                  |
| $v_c^*$     | phase- <i>c</i> reference voltage                                     | <i>c</i> 相给定电压                |
| $v_{ca}$    | line-to-line voltage between phase <i>c</i> and phase <i>a</i>        | <i>c</i> 相和 <i>a</i> 相间的线电压   |
| $v_{CA}$    | line-to-line supply voltage between phase <i>C</i> and phase <i>A</i> | <i>C</i> 相和 <i>A</i> 相间的电源线电压 |
| $v_{ci}$    | capacitor voltage in current source inverter                          | 电流源逆变器电容电压                    |
| $v_{ci}^*$  | phase- <i>c</i> reference voltage of PWM inverter                     | PWM 逆变器 <i>c</i> 相给定电压        |
| $v_{cg}$    | phase- <i>c</i> voltage of the grid                                   | 电网 <i>c</i> 相电压               |
| $v_{cn}$    | phase- <i>c</i> load voltage three-phase AC voltage controller        | 三相交流电压控制器 <i>c</i> 相负载电压      |
| $v_{cN}$    | phase- <i>c</i> load voltage of two-level voltage source converter    | 两电平电压源逆变器 <i>c</i> 相负载电压      |
| $v_{cr}^*$  | phase- <i>c</i> rotor reference voltage                               | <i>c</i> 相转子给定电压              |
| $v_{cs}$    | phase- <i>c</i> stator voltage of induction and synchronous generator | 异步和同步发电机 <i>c</i> 相定子电压       |
| $v_{cs}^*$  | phase- <i>c</i> reference voltage for PWM rectifier                   | PWM 整流器 <i>c</i> 相给定电压        |
| $v_{cr}$    | triangular carrier wave in sinusoidal pulse width modulation          | 正弦波脉(冲)宽(度)调制中的三角载波           |
|             | Phase- <i>c</i> rotor voltage of DFIG                                 | 双馈异步发电机的 <i>c</i> 相转子电压       |
| $v_{cZ}$    | phase- <i>c</i> terminal voltage of three-level NPC inverter          | 三电平中点箝位式逆变器 <i>c</i> 相端电压     |
| $v_{dc}$    | dc link voltage   | 直流环节电压                        |
| $v_{dc}^*$  | reference dc link voltage   | 直流环节给定电压                      |
| $v_{de1}$   | dc voltage of boost converter   | 升压变流器直流电压                     |
| $v_{de2}$   | dc voltage of boost converter   | 升压变流器直流电压                     |
| $v_{dei}^*$ | inverter-side dc voltage reference                                    | 逆变器侧给定直流电压                    |
| $v_{deI}$   | dc output voltage of current source rectifier                         | 电流源整流器的直流输出电压                 |
| $v_{dg}$    | <i>d</i> -axis voltage of the grid                                    | 电网 <i>d</i> 轴电压               |
| $v_{di}$    | <i>d</i> -axis voltage of grid tied inverter                          | 并网逆变器 <i>d</i> 轴电压            |

|                 |  |                                 |
|-----------------|--|---------------------------------|
| $v_{di}^*$      | $d$ -axis reference voltage of PWM inverter                    | PWM 逆变器 $d$ 轴给定电压               |
| $v_{dr}$        | $d$ -axis rotor voltage  | $d$ 轴转子电压                       |
| $v_{dr}^*$      | $d$ -axis rotor reference voltage                              | $d$ 轴给定转子电压                     |
| $v_{ds}$        | $d$ -axis stator voltage                                       | $d$ 轴定子电压                       |
| $v_{ds}^*$      | $d$ -axis reference voltage for PWM rectifier                  | PWM 整流器 $d$ 轴给定电压               |
| $v_g$           | grid phase voltage   | 网侧相电压                           |
| $\vec{v}_g$     | grid voltage vector  | 网侧电压矢量                          |
| $v_{g1}$        | gating signal of switch $S_1$                                  | 开关 $S_1$ 的控制极 (门极、栅极或基极) 信号     |
| $v_{g2}$        | gating signal of switch $S_2$                                  | 开关 $S_2$ 的控制极 (门极、栅极或基极) 信号     |
| $v_i$           | input voltage of boost converter                               | 升压变流器输入电压                       |
|                 | output voltage of grid-tied inverter                           | 并网逆变器输出电压                       |
| $v_{L1}$        | inductor voltage   | 电感电压                            |
| $v_{ma}$        | phase- $a$ modulating wave in SPWM scheme                      | 正弦波脉 (冲) 宽 (度) 调制策略中的 $a$ 相调制波  |
| $v_{mb}$        | phase- $b$ modulating wave in SPWM scheme                      | 正弦波脉 (冲) 宽 (度) 调制策略中的 $b$ 相调制波  |
| $v_{mc}$        | phase- $c$ modulating wave in SPWM scheme                      | 正弦脉冲宽度调制策略中的 $c$ 相调制波           |
| $v_{qg}$        | $q$ -axis voltage of the grid                                  | 电网 $q$ 轴电压                      |
| $v_{qi}$        | $q$ -axis voltage of grid-tied inverter                        | 并网逆变器 $q$ 轴电压                   |
| $v_{qi}^*$      | $q$ -axis reference voltage of PWM inverter                    | PWM 逆变器 $q$ 轴给定电压               |
| $v_{qr}$        | $q$ -axis rotor voltage  | $q$ 轴转子电压                       |
| $v_{qr}^*$      | $q$ -axis rotor reference voltage                              | $q$ 轴转子给定电压                     |
| $v_{qs}$        | $q$ -axis stator voltage                                       | $q$ 轴定子电压                       |
| $v_{qs}^*$      | $q$ -axis reference voltage for PWM rectifier                  | PWM 整流器 $q$ 轴给定电压               |
| $v_r$           | rotor voltage of DFIG  | 双馈异步发电机转子电压                     |
| $\vec{v}_r$     | rotor current vector   | 转子电流矢量                          |
| $v_{ref}$       | magnitude (length) of reference voltage vector $\vec{v}_{ref}$ | 给定电压矢量 $\vec{v}_{ref}$ 的幅值 (长度) |
| $\vec{v}_{ref}$ | reference voltage vector                                       | 给定电压矢量                          |
| $v_{ref,max}$   | maximum magnitude of reference voltage vector                  | 给定电压矢量的最大幅值                     |
| $v_s$           | supply voltage of single phase AC voltage controller           | 单相交流电压控制器的电源电压                  |
|                 | stator voltage of induction and synchronous generator          | 异步和同步发电机定子电压                    |
| $\vec{v}_s$     | stator voltage vector  | 定子电压矢量                          |
| $v_{s1}$        | voltage across switch $S_1$ in boost converter                 | 升压变流器中开关 $S_1$ 上的电压             |
| $v_w$           | wind velocity/speed  | 风速                              |
| $v_\alpha$      | $\alpha$ -axis voltage   | $\alpha$ 轴电压                    |
| $v_\beta$       | $\beta$ -axis voltage  | $\beta$ 轴电压                     |

- $\hat{V}_a$  peak value of inverter phase-*a* voltage 逆变器 a 相电压的峰值
- $V_{abn}$  the *n* th order rms harmonic voltage of inverter line-to-line voltage  $v_{ab}$  逆变器线电压  $v_{ab}$  的 *n* 次谐波电压有效值
- $V_{abl,max}$  maximum fundamental rms voltage of inverter line-to-line voltage  $v_{ab}$  逆变器线电压  $v_{ab}$  的最大基波电压有效值
- $V_{ab,max}$  maximum rms voltage of inverter line-to-line voltage  $v_{ab}$  逆变器线电压  $v_{ab}$  的最大电压有效值
- $V_{ag}$  rms value of grid phase-*a* voltage 电网 a 相电压有效值
- $V_{an}$  rms value of load phase-*a* voltage 负载 a 相电压有效值
- $V_{aN}$  rms inverter terminal voltage (phase-*a*) 逆变器端电压有效值 (a 相)
- $V_{bN}$  rms inverter terminal voltage (phase-*b*) 逆变器端电压有效值 (b 相)
- $V_{cN}$  rms inverter terminal voltage (phase-*c*) 逆变器端电压有效值 (c 相)
- $\hat{V}_{cr}$  peak value of carrier wave in sinusoidal pulse width modulation 正弦波脉(冲)宽(度)调制中的载波峰值
- $V_{dc}$  average value of dc link voltage 直流环节电压平均值
- $V_{dc}^*$  dc link reference current 给定直流环节电流
- $V_{d\alpha}$  *d*-axis rms stator voltage of induction and synchronous generator 异步和同步发电机 *d* 轴定子电压有效值
- $V_g$  rms grid phase voltage 电网相电压有效值
- $V_i$  average value of input dc voltage in boost converter 升压变流器输入直流电压平均值
- $V_{i1}$  rms fundamental-frequency component of converter phase voltage  $v_i$  变流器相电压  $v_i$  的基波分量有效值
- $\hat{V}_{i1}$  peak value of fundamental-frequency component of converter phase voltage 变流器相电压基波分量峰值
- $\vec{V}_k$  voltage space vector (for two level  $k=0, 1, \dots, 6$ , three level  $k=0, 1, \dots, 18$ )  
电压空间矢量 (对于两电平  $k=0, 1, \dots, 6$ , 三电平  $k=0, 1, \dots, 18$ )
- $\hat{V}_m$  peak value of modulating wave in sinusoidal pulse width modulation 正弦波脉(冲)宽(度)调制中的调制波峰值
- $\vec{V}_m$  magnetizing voltage of induction generator (complex) 异步发电机励磁电压(复数)
- $V_o$  average value of output dc voltage in boost converter 升压变流器输出直流电压平均值  
rms value of single-phase AC voltage controller output voltage 单相交流电压控制器输出电压有效值
- $V_{q\alpha}$  *q*-axis rms stator voltage of induction and synchronous generator 异步和同步发电机 *q* 轴定子电压有效值
- $\vec{V}_r$  rotor voltage of induction generators (complex) 异步发电机转子电压(复数)
- $V_s$  rms value of supply phase voltage 电源相电压有效值  
rms stator voltage 定子电压有效值
- $\vec{V}_s$  stator voltage of induction and synchronous generator (complex) 异步和同步发电机定子电压(复数)

|                |   |                                   |
|----------------|---|-----------------------------------|
| $x_a$          | phase- <i>a</i> variable in the <i>abc</i> stationary reference frame       | <i>abc</i> 静止参考坐标系中的 <i>a</i> 相变量 |
| $x_b$          | phase- <i>b</i> variable in the <i>abc</i> stationary reference frame       | <i>abc</i> 静止参考坐标系中的 <i>b</i> 相变量 |
| $x_c$          | phase- <i>c</i> variable in the <i>abc</i> stationary reference frame       | <i>abc</i> 静止参考坐标系中的 <i>c</i> 相变量 |
| $x_d$          | <i>d</i> -axis variable in an arbitrary <i>dq</i> reference frame           | 任意 <i>dq</i> 参考坐标系中的 <i>d</i> 轴   |
| $x_q$          | <i>q</i> -axis variable in an arbitrary <i>dq</i> reference frame           | 任意 <i>dq</i> 参考坐标系中的 <i>q</i> 轴   |
| $x_\alpha$     | $\alpha$ -axis variable in a two-phase stationary frame                     | 两相静止坐标系中的 $\alpha$ 轴              |
| $x_\beta$      | $\beta$ -axis variable in a two-phase stationary frame                      | 两相静止坐标系中的 $\beta$ 轴               |
| $X_c$          | reactance of capacitor in parallel with induction generator                 | 与异步发电机并联的电容容抗                     |
| $X_{lr}$       | rotor leakage reactance of induction generator                              | 异步发电机的转子漏抗                        |
| $X_{ls}$       | stator leakage reactance of induction and synchronous generators            | 异步和同步发电机的定子漏抗                     |
| $X_{eq}$       | equivalent reactance of rotor-side converter in DFIG                        | 双馈异步发电机转子侧变流器的等效电抗                |
| $X_m$          | magnetizing impedance of induction generators                               | 异步发电机的励磁阻抗                        |
| $Z_{eq}$       | equivalent impedance of the rotor-side converter in DFIG                    | 双馈异步发电机转子侧变流器的等效阻抗                |
| $\bar{Z}_{eq}$ | equivalent impedance of the rotor-side converter in DFIG (complex)          | 双馈异步发电机转子侧变流器的等效阻抗 (复数)           |
| $Z_m$          | magnetizing impedance of induction generator                                | 异步发电机的励磁阻抗                        |
| $Z_r$          | rotor impedance of induction generator                                      | 异步发电机的转子阻抗                        |
| $Z_{rm}$       | equivalent impedance of rotor and magnetizing branch of induction generator | 异步发电机的转子和励磁支路等效阻抗                 |
| $\bar{Z}_s$    | total input complex impedance of generator (complex)                        | 发电机的总输入复阻抗 (复数)                   |
| $Z_{sr}$       | equivalent stator-rotor impedance of induction generators                   | 异步发电机的等效定子-转子阻抗                   |
| $\alpha$       | angle of attack of blade  | 叶片攻角                              |
|                | delay angle of thyristor  | 晶闸管触发延迟角                          |
|                | delay angle of current source converter                                     | 电流源变流器的触发延迟角                      |
| $\alpha_i$     | delay angle of current source inverter                                      | 电流源逆变器的触发延迟角                      |
| $\alpha_r$     | delay angle of current source rectifier                                     | 电流源整流器的触发延迟角                      |
| $\alpha_R$     | rated (optimal) angle of attack of blade                                    | 额定 (最佳) 叶片攻角                      |
| $\delta$       | angle of stator current vector with respect to <i>q</i> -axis               | 相对于 <i>q</i> 轴的定子电流矢量角            |
| $\varphi_g$    | grid power factor angle   | 电网功率因数角                           |
| $\varphi_L$    | load power factor angle   | 负载功率因数角                           |
| $\varphi_r$    | rotor power factor angle  | 转子功率因数角                           |
| $\varphi_s$    | stator power factor angle   | 定子功率因数角                           |
| $\eta$         | efficiency of generator   | 发电机效率                             |
| $\lambda_{ar}$ | rotor phase- <i>a</i> flux linkage  | 转子 <i>a</i> 相磁链                   |
| $\lambda_{dr}$ | <i>d</i> -axis rotor flux linkage   | <i>d</i> 轴转子磁链                    |



- $\lambda_{ds}$   $d$ -axis stator flux linkage  $d$ 轴定子磁链
- $\lambda_{qr}$   $q$ -axis rotor flux linkage  $q$ 轴转子磁链
- $\lambda_{qs}$   $q$ -axis stator flux linkage  $q$ 轴定子磁链
- $\lambda_r$  rotor flux linkage 转子磁链
- $\vec{\lambda}_r$  rotor flux linkage vector 转子磁链矢量
- $\lambda_r^*$  reference rotor flux linkage 给定转子磁链
- $\vec{\lambda}_s$  stator flux linkage vector 定子磁链矢量
- $\vec{\lambda}_s^*$  reference stator flux linkage vector 给定定子磁链矢量
- $\lambda_T$  tip speed ratio 叶尖速度比
- $\lambda_{Top}$  optimal tip speed ratio 最佳叶尖速度比
- $\theta(t)$  angular displacement between  $\vec{v}_{ref}$  and the  $\alpha$ -axis of the stationary reference frame  $\vec{v}_{ref}$ 和静止参考坐标系  $\alpha$ 轴之间的角度差
- angular displacement between  $\vec{i}_{ref}$  and the  $\alpha$ -axis of the stationary reference frame  $\vec{i}_{ref}$ 和静止参考坐标系  $\alpha$ 轴之间的角度差
- $\theta_0$  initial angle of space vector 空间矢量初始角
- $\theta_{ci}$  angle of capacitor voltage vector in current source inverter 电流源逆变器电容电压矢量角
- $\theta_f$  rotor flux angle of squirrel cage induction generator 笼型异步发电机转子磁链角
- $\theta_g$  angle of grid voltage vector 电网电压矢量角
- $\theta_i$  angle of stator current vector 定子电流矢量角
- $\theta_k$  switching angle of SHE modulation scheme 特定谐波消除调制策略的开关角
- $\theta_r$  rotor position angle of induction generator 异步发电机的转子位置角
- $\theta_s$  synchronous angle of the  $dq$  frame  $dq$ 坐标系的同步角
- angle of stator voltage vector of DFIG 双馈异步发电机的定子电压矢量角
- $\theta_{sl}$  slip angle of induction generator 异步发电机的转差角
- $\theta_T$  torque angle between stator and rotor flux vectors in DTC control 直接转矩控制中定子与转子磁链矢量之间的转矩角
- $\theta_v$  angle of stator voltage vector 定子电压矢量角
- $\theta_{wi}$  firing angle of current source inverter 电流源逆变器触发延迟角
- $\theta_{wr}$  firing angle of current source rectifier 电流源整流器触发延迟角
- $\rho$  air density 空气密度
- $\sigma$  total leakage factor of induction generator  $\left(\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}\right)$  异步发电机总的漏磁系数
- $\tau_r$  rotor time constant of induction generator 异步发电机转子时间常数
- $\omega$  rotating speed of an arbitrary reference frame 任意参考坐标系中的转速
- $\omega_g$  angular frequency of the grid 电网角频率
- speed of grid synchronous frame 电网同步坐标系速度
- $\omega_m$  rotor mechanical angular speed 转子机械角速度