



华东交通大学教材（专著）基金资助项目
高等学校电气工程及其自动化规划教材

电力电子技术基础

DIANLI DIANZI JISHU JICHU

主编 胡文华 袁义生 叶满园



西南交通大学出版社



华东交通大学教材（专著）基金资助项目
高等学校电气工程及其自动化规划教材

电力电子技术基础

DIANLI DIANZI JISHU JICHU

主编 胡文华 袁义生 叶满园



西南交通大学出版社

华东交通大学教材（专著）基金资助项目
高等学校电气工程及其自动化规划教材

电力电子技术基础

主编 胡文华 袁义生 叶满园

参编 杨丰萍

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

前言

“电力电子技术”是电气工程及其自动化、自动化等强电类专业重要的专业基础课程。该课程的特点是：理论性强，概念多，与工程实际联系密切。其教学目标是：通过本课程的学习使学生获得电力电子技术系统的基本理论知识、基本分析方法、基本实验技能。这些基本内容和分析方法对分析其他电气设备也有普遍指导意义，因此，“电力电子技术”是强电类各专业的理论基础。本书正是以此为指导，全面阐述了电力电子技术系统的基本理论、基础知识。

本书内容共分7章。第1章是电力电子技术绪论部分，主要介绍了什么是电力电子技术、电力电子技术的发展历史和电力电子技术的应用领域；第2章阐述了电力电子器件的原理及其工作特性；第3章阐述了交流-直流变流电路，包括晶闸管整流电路、二极管整流电路和全控型器件的PWM整流电路；第4章阐述了直流-交流变流电路，包括单相电压型逆变器及其调制、三相电压型逆变器及其调制、多电平逆变器、高压大容量逆变器复合结构、电流型逆变器及其调制等；第5章阐述了直流-直流变流电路，即降压斩波电路、升压斩波电路、升降压斩波电路、Cúk斩波电路、Sepic斩波电路和Zeta斩波电路，复合斩波电路和多相多重斩波电路；第6章阐述了交流调压电路、交流调功电路、交流电力电子开关及交交变频电路；第7章阐述了反激变换电路、正激变换电路、推挽变换电路、全桥和半桥隔离式降压变换器、带隔离的Sepic和Cúk变换器、Boost派生隔离变换器和软开关技术等。

本书的特点是：将电力电子技术的基本原理与开关电源两部分内容有机地结合为一个整体。以电力电子技术中应用最为广泛的四类基本变流电路为重点，侧重于基本原理和基本概念的阐述，并始终强调基本理论的实际应用。本书文字阐述方面层次清楚、概念准确、通俗易懂、深入浅出；内容阐述方面循序渐进、删繁就简、重点突出、难点讲透，便于自学。每章开篇结合专业特点用楔子引入，每章结尾用小结高度概括本章的重点内容，便于复习巩固，同时针对各章节的重点和难点，精心编写了例题和习题，题目具有典型性、启发性和实用性，能很好地引导学生掌握本课程的主要理论，培养学生解决工程实际问题的能力。

本书可作为普通高等学校和成人高等学校电气工程及其自动化、自动化等强电类专业“电力电子技术”等课程的教材或参考书，也可供有关工程技术人员参考使用。

本书由胡文华、袁义生、叶满园主编，杨丰萍参编。参加编写工作的还有：宋平岗、徐晓玲、许莹莹等老师。

在本书的编写过程中，编者参考了不少电力电子技术学界前辈的著作和兄弟院校的教材，在此谨对他们致以衷心的感谢。本书的出版还得到了华东交通大学教材出版基金的资助，在此深表谢意。本书的编写也得到研究生的支持，他们是章超凡、谭光辉、孟新宇等。在此，一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之编写时间比较仓促，书中难免会有疏漏之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2019年11月

电力电子技术符号说明

A——安培；安培表；晶闸管阳极

α ——调制度

a, b, c——三相电源

b——晶体管基极

BU_{cbo} ——晶体管发射极开路时集电极和基极间反向击穿电压

BU_{ceo} ——晶体管基极开路时集电极和发射极间击穿电压

BU_{cer} ——晶体管发射极和基极间接电阻时集电极和发射极间击穿电压

BU_{ces} ——晶体管发射极和基极短路时集电极和发射极间击穿电压

BU_{cex} ——晶体管发射结反向偏置时集电极和发射极间击穿电压

C——电容器；电容量

C——IGBT集电极

c——晶体管集电极

C_{in} ——MOSFET输入电容

C_{iss} ——MOSFET源漏短路时的输入电容

C_{oss} ——MOSFET共源极输出电容

C_{rss} ——MOSFET反向转移电容

D——MOSFET漏极

D——畸变功率；导通占空比

di/dt ——晶闸管通态电流临界上升率

du/dt ——晶闸管断态电压临界上升率

E ——IGBT发射极

E ——直流电源电动势

e ——晶闸管发射极

e_L ——电感的自感电动势

E_M ——电动机反电动势

F ——电容量的单位（法）

f ——频率

G ——发电机；MOSFET栅极；晶闸管门极；GTO门极；IGBT栅极

G_{fs} ——MOSFET跨导

h_{FE} ——晶闸管直流电流增益

HRI_n —— n 次谐波电流含有率

I ——整流后负载电流的有效值

I_1 ——变压器一次侧相电流有效值

i_1 ——变压器一次侧相电流瞬时值

I_2 ——变压器二次侧相电流有效值

i_2 ——变压器二次侧相电流瞬时值

I_{ATO} ——GTO最大可关断阳极电流

i_b ——晶体管基极电流

i_c ——晶体管集电极电流

I_c ——IGBT集电极电流

I_{ceo} ——晶体管集电极与发射极间漏电流

I_{cM} ——晶体管集电极最大允许电流

I_{cs} ——晶体管集电极饱和电流

I_{VD} ——流过整流管的电流有效值

I_{D} ——MOSFET漏极直流电流

I_{d} ——整流电路的直流输出电流平均值

i_{VD} ——流过整流管的电流瞬时值

i_{d} ——整流电路的直流输出电流平均值

I_{dVD} ——流过整流管的平均电流

I_{DM} ——MOSFET漏极电流幅值

I_{DR} ——流过续流二极管的电流有效值

i_{DR} ——流过续流二极管的电流瞬时值

I_{dVT} ——流过晶闸管的平均电流

i_{e} ——晶体管发射极电流

$I_{\text{F(AV)}}$ ——电力二极管的正向平均电流

I_{FSM} ——电力二极管的浪涌电流

I_{G} ——晶闸管、GTO的门极电流

I_{H} ——晶闸管的维持电流

I_{L} ——晶闸管的擎住电流

I'_{n} ——变压器一次侧线电流中的n次谐波有效值

i_o ——输出电流；负载电流

I_o ——负载电流有效值

i_p ——两组整流桥之间的环流（平衡电流）

I_R ——整流后输出电流中谐波电流有效值

I_{VT} ——流过晶闸管的电流有效值

i_{VT} ——流过晶闸管的电流瞬时值

$I_{VT(AV)}$ ——晶闸管的通态平均电流

I_{VTSM} ——晶闸管的浪涌电流

i^* ——指令电流

K——晶闸管的阴极

K——常数

L——电感；电感量；电抗器符号

L_B ——从二次侧计算时变压器漏感

L_p ——平衡电抗器

M——电动机

M——变压比；调制比

m——相数；一个周期的脉波数

m_a ——幅值调制比

m_f ——频率调制比

n——电动机转速

n_N ——电动机额定转速

N——线圈匝数；载波比

N——负（组）；三相电源中点

P——有功功率、功率

P——正（组）

p——极对数

P_{CM} ——IGBT集电极最大耗散功率

P_{cM} ——晶体管集电极最大耗散功率

P_d ——整流电路输出直流功率

P_G ——直流发电机功率

P_M ——直流电动机反电动势功率

P_R ——电阻上消耗的功率

P_{SB} ——晶闸管二次击穿功率

Q——无功功率

R——电阻器；电阻

R_B ——从变压器二次侧计算的变压器等效电阻

R_M ——直流电动机电枢电阻

S——视在功率

S——MOSFET源极；功率开关器件

s——秒

S_r ——电力二极管的恢复时间

t——时间

t_d ——晶体管、GTO开通时的延迟时间；电力二极管关断延迟时间

$t_{d(on)}$ ——MOSFET、IGBT开通时的延迟时间

$t_{d(off)}$ ——MOSFET、IGBT关断时的延迟时间

t_f ——电力半导体关断时的下降时间

t_{fi} ——MOSFET、IGBT等器件关断时的电流下降时间

t_{fv} ——MOSFET、IGBT等器件开通时的电压下降时间

t_{gr} ——晶闸管正向阻断恢复时间

t_{gt} ——晶闸管的开通时间

THD_i ——电流谐波总畸变率

T_{JM} ——电力二极管、晶体管的最高工作结温

t_{off} ——晶体管、GTO、MOSFET、IGBT的关断时间

t_{on} ——晶体管、GTO、MOSFET、IGBT的开通时间

t_q ——晶闸管的关断时间

t_r ——电力半导体器件开通时的上升时间

t_{ri} ——MOSFET、IGBT等器件开通时的电流上升时间

t_{rv} ——MOSFET、IGBT等器件关断时的电压上升时间

t_{rr} ——电力二极管反向恢复时间；晶闸管反向阻断恢复时间

t_s ——晶体管、GTO关断时的存储时间

t_t ——GTO关断时的尾部时间

t_δ ——并联谐振逆变电路触发引前时间

U、V、W——逆变器输出端

U ——整流电路负载电压有效值

U_1 ——变压器一次侧相电压有效值

u_1 ——变压器一次侧相电压瞬时值

U_{1L} ——变压器一次侧线电压有效值

U_2 ——变压器二次侧相电压有效值

U_{2L} ——变压器二次侧线电压有效值

u_c ——载波电压

U_{ces} ——晶体管饱和时集电极和发射极间的管压降

U_{CES} ——IGBT最大集射极间电压

u_{co} ——控制电压

U_d ——整流电路输出电压平均值；逆变电路的直流侧电压

u_{VD} ——整流管两端电压瞬时值

u_d ——整流电路输出电压瞬时值

u_{DR} ——续流二极管两端电压瞬时值

U_{DRM} ——晶闸管的断态重复峰值电压

U_{DS} ——MOSFET漏极与源极间电压

$U_{d\alpha}$ ——延迟角为 α 时整流电压平均值

$U_{d\beta}$ ——延迟角为 β 时整流电压平均值

U_F ——电力二极管的正向电压

U_{FP} ——电力二极管的正向电压过冲

u_g ——晶闸管门极电压瞬时值

u_{GE} ——IGBT栅极与发射极间电压

$u_{GE(th)}$ ——IGBT开启电压

U_{GS} ——MOSFET栅极与源极间电压

U_i ——斩波电路输入电压

u_k ——整流变压器的阻抗电压

u_L ——电抗器两端电压瞬时值

U_n ——整流电路输出电压中的 n 次谐波有效值

U_{nm} ——整流电路输出电压中的 n 次谐波电压最大值

U_o ——斩波电路输出电压

u_o ——负载电压

u_r ——信号波电压

u_p ——峰值电压

U_R ——整流电路输出电压中谐波电压有效值

U_{RP} ——电力二极管的反向电压过冲

U_{RRM} ——电力二极管、晶闸管的反向重复峰值电压

u_s ——同步电压

U_T ——MOSFET的开启电压

U_{TO} ——电力二极管的门槛电压

U_{TM} ——晶闸管通态（峰值）电压

U_{UN} ——逆变电路负载U相相电压有效值

U_{UV} ——逆变电路负载U相与V相间线电压有效值

V——晶体管；IGBT；电力MOSFET

VD——整流管

VD_R ——续流二极管

VS——硅稳压管

VT——晶闸管；GTO

X——电抗器的电抗值

X_B ——从二次侧计算时的变压器漏抗

X_p ——平衡电抗器的电抗

Z——复数阻抗

Z_1 ——基波阻抗

Z_n ——n次谐波的阻抗

α ——晶闸管的触发延迟角；晶体管共基极电流放大系数；用于斩波电路表示器件导通占空比；导通比

β ——晶闸管的逆变控制角；晶体管电流放大系数

β_{\min} ——最小逆变角

β_{off} ——GTO电流关断增益

δ ——晶闸管的停止导电角；并联谐振逆变电路触发引前角；波形畸变率

γ ——换相重叠角；纹波因数；输出电压比

θ ——晶闸管的导通角

φ ——位移因数；相位滞后角；负载阻抗角

ω ——角频率

ω_c ——载波角频率

ω_r ——信号波角频率

ν ——基波因数

λ ——功率因数

Φ ——磁通

σ ——三角化率