



电子测量系统

——理论与实践

(第二版)

Anton F P Van Putten 著

张 伦 译 吴常津 校

中国计量出版社

电子测量系统

——理论与实践

(第二版)

Anton F P Van Putten 著

张 伦 译 吴常津 校

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子测量系统:理论与实践/布顿(Anton F P Van Putten)著;
张伦译. —2版. —北京:中国计量出版社,2000.11
ISBN 7-5026-1385-4

I. 电… II. ①布…②张… III. 电子系统:测量系统-研究
N. P2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 71627 号

著作权合同登记 图字:01-1999-0870 号
英国大学物理出版社授权中国计量出版社独家出版、销售该书中文版。

Copyright ©1996 IOP Publishing Ltd
Originally published in English by Institute of Physics Publishing Ltd,
Dirac House, Temple Back, Bristol BS1 6BE, England
First published 1996

ELECTRONIC MEASUREMENT SYSTEMS
THEORY & PRACTICE
Second Edition
Anton F P Van Putten

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

850mm×1168mm 32 开本 印张 17 字数 417 千字
2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

*

印数 1—4000 定价: 21.00 元

译者序

本书是根据英国大学物理出版社(Institute of Physics Publishing) 1996年出版的《电子测量系统》(ELECTRONIC MEASUREMENT SYSTEMS 第二版)一书翻译而成。

有关本书的内容安排和主要特点已由作者在出版序言中做了详细说明,故不再赘述。这里仅着重指出,本书对构成一个电子测量系统所涉及到的各个主要方面都做了较精辟的论述,特别是书中的取材紧密结合实践,所述内容都是在使用任何一类电子测量系统时必须明确理解的,因而对实际工作有较大指导意义。作为一本基础教材,广大读者在学习掌握了这些知识就会为日后实际工作奠定良好的基础。此外,为使读者能灵活运用所介绍的内容,书中列举了大量实例,每章都附有适量习题供练习使用。对于已经从事电子测量实践的工程技术人员,本书也不失为一本有价值的参考读物。

需指出的是,原书中使用的某些单位、符号表示方法与国内现行标准不符。对此,在翻译过程中已做了相应的标注或修改。

迄今,专门论述电子测量系统的书籍尚不多见,因此,本书的出版可以在某种程度上弥补这一不足。

承蒙信息产业部电子12研究所吴常津博士细心校对了本书的译文,在此,译者谨向他表示衷心感谢。

译者对原书中的个别遗漏已做了适当补正。鉴于本书涉及的范围十分广泛,译者水平有限,译文中错误和不妥之处在所难免,切望读者不吝指正。

张 伦

2000.6 于北京

第一版序言

电子测量系统已成为能在各种各样的环境下完成各类艰巨任务的复杂装置，而且，在每个科技领域都能找到这样的系统。数字电子设备的巨大影响已使电子测量系统的面貌不论是系统内部或系统外部均发生了引人注目的变化。如今，对于多用途、多功能的测量系统来说，完成 10 年前还无法想象的各种任务已是很平常的事情。这类系统的另一个重要方面是社会对它们的依赖与日俱增，系统的可靠性已变得至关重要。测量系统所能实现的一些技术功能可以对信息进行搜集、处理、修改、存储、检索和表示。设计一个测量系统不仅需要深入了解元件及其功能，与系统的基本工作原理及其专门结构体系有关的其它方面的知识也日益重要。例如，在许多应用中，已出现大量向数字控制和微处理器驱动的测量系统的过渡。测量系统的设计是一个复杂过程，系统的设计师常常应精通许多知识领域，而且，在实践中设计师还面临大量涉及(技术)指标方面的问题，例如涉及以下几个问题。

1. 系统需要什么样的精度？
2. 什么样的环境条件，例如温度范围、冲击、振动和电磁干扰是多大？
3. 所要求的可靠性或预期的平均故障间隔时间是多少？
4. 待测的物理量需要哪种类型的传感器以及哪些传感器有可能提供？
5. 应当采用哪一类结构体系？
6. 被测对象所要求的灵敏度是多少？
7. 有何种噪声特性？
8. 所要求的共模抑制比是多少？
9. 哪类人机工程布局属于最佳？

本书涉及在电子测量系统的设计、应用和检验中所遇到的大

量问题。各个系统都可以被考虑为由三部分组成，即输入级、变换级和输出级。每级均可以单独进行处理。

前4章中，对测量体系、结构、用来描述系统的工具和执行部件给出了一般性描述，对系统的技术指标进行了详细讨论，并用许多例子加以说明。其余章节则讨论一些对系统正常工作十分重要的问题。由于篇幅有限，故书中不可能对所有问题进行仔细讨论。正如将要看到的那样，本书专注于介绍通常在一本书中不能同时涉及到的内容。这些内容往往最终决定了一个系统是否能在它的规定指标范围内工作。多年来，这本教科书所依据的材料已供具有电子学基本知识的电气与电子工程专业的研究生和大学生使用，当然，所讨论的某些论题的适用范围远远不限于电子学系统。为了完整起见并使讲解易于接受，一些可能是为大家熟知的问题在此也做了讨论。各章的内容可以归纳如下：

第1章论述了测量系统的基本概念，如什么是信息以及为什么人们乐于用电子学方式处理信息。

第2章讨论了测量的体系结构，其中包括功能结构、信号、空间结构和自动化结构。

第3章论述了一些有用的手段，如波特(Bode)图、极坐标图、极点-零点图以及它们之间的关系。介绍了一些常用功能的进一步执行过程。这些执行过程包括模拟功能、模数转换功能、数模转换功能和其它一些功能。在最后一节，讨论了一种新型组合电桥。

第4章论述了通用的和较特殊的工程系统技术指标。介绍了所有常用的技术指标及其含义和最终结果。讨论了共模特性、线性放大和反馈的实施。还介绍了误差的定义、分类和计算。在介绍了某些误差源之后，对一些常用的改进措施进行了评述。本章最后讨论了采用微处理器的测量系统。

第5章对可靠性概念做了全面介绍，包括基本概念和计算方法，并将马尔可夫(Markov)法作为计算可靠性的最通用且最有

效的方法加以介绍。

第6章论述了用于将各种能量变换为电能和作相反变换的传感器和执行装置。详细讨论了基本概念和定义,并对最流行的能量变换机理进行全面评述。本章还讨论了制造传感器的硅工艺和相容工艺的可能性。

第7章讨论了基本电子设备有源元件的失调和漂移问题。详细论述了温度对双极晶体管、场效应晶体管(FET)和差动输入级的影响。此外,还单独论述了失调和漂移。

第8章论述了对系统进行保护和屏蔽以防止电磁噪声的问题。随着人们日益趋向于以电子方式处理所有各类信息,环境正越来越多地受到电磁污染。此外,电子测量系统对电磁干扰十分敏感,因而必须采取有效措施来消除这些影响。本章详细讨论了所有各类预防性补救方法,还讨论了对于扰源的共模抑制比的影响。

第9章讨论了噪声计算。没有必要详细了解噪声的物理性质,而只需利用制造厂家的技术规范便足够了。对噪声的理论描述留在第10章进行。

第10章针对目前电子设备中常用的有源元件,如双极晶体管和场效应晶体管的三种重要噪声机理和噪声特性,讨论了噪声的物理性质。

最后,第11章论述了人类工程学或人机工程学。该章介绍了涉及人-机关系的某些重要方面,特别是用于表示信息的视觉器官和听觉器官的人机工程学。

书中几乎每一章均可单独阅读,因而能灵活地对所讨论的问题进行介绍。这种叙述方式的结果是某些细节重复出现在不同的上下文中,但这有助于加深理解。此外,每章中还提供了若干实例和练习材料。

很显然,编写一本书是一项艰巨任务,没有其他人的帮助是不能付诸实现的。因此,作者要对在撰写本书的过程中直接和间

接提出建议的所有人士表示感谢。特别要感谢 National Semiconductor 公司的 Jim Sherwin 允许本书使用有关噪声计算的材料。我还要感谢飞利浦公司的 A W Wijkman、P J van den Akker 和 K E Kuijk 允许本书使用有关屏蔽和保护的材料。我还要感谢迪夫特(Delft)大学出版社的 Paul A M Maas, 以及迪夫特(Delft)理工大学的 Paul P L Regtien 和 Simon Middelhoek 教授, 他们为我提供了传感器和相关论题的材料。特别要对曼彻斯特大学科技学院的 Mark Browne 博士仔细阅读本书手稿和提出的宝贵意见表示衷心感谢。

第二版序言

本书第一版自 1988 年问世以来，技术上的许多变化对电子测量系统的设计产生了重大影响。硬件和软件的发展使设计领域向前推进。进一步小型化和微细加工的先进特征，使得三维结构以及一些能完成当时无法预料的器件的设计和具体实现成为可能。

在第 2 章中，有关信号结构的一节做了扩充，并对最常用的 I/O(输入/输出)总线、数据采集(DAQ)电路板及其体系结构进行详细讨论。

第 3 章中引入了用户可编程器件(UPLD)，使读者能对该器件的能力有所了解。

第 4 章中介绍了微处理器原理在仪器中的应用。

在论述可靠性的第 5 章中，我们指出了一些新途径。由于每个芯片面积上晶体管密度的急剧增加，必须遵循一些全新的测试程序，其中，内置可测试性成为最主要的特征。

在第 6 章中，可以发现近 10 年来已发生的最重大变化。为使该章更便于学生阅读，在这一版中，对每种传感器有关的能量首先扼要介绍相关的物理性质，以便理解其工作原理。目前，许多传感器已变得越来越灵巧，且具有内置智能。在此，仪器的制造已成为微系统工艺。

在论述失调和漂移的第 7 章中，特别注意传感器中的漂移，因为漂移对传感器的正常工作有重大影响。该章中引入了消除漂移的新方法，即交替方向法(ADM)。

在论述屏蔽和保护的第 8 章中，我们用一定篇幅介绍已在 1996 年 1 月生效的新欧洲电磁兼容法规。此外，还扼要介绍了 ISO 9000 质量体系。对于学生和制造厂商来说，重要的是要知道

这些条例的存在。

第 9 章扩充了某些其它噪声计算方法,以满足某些读者的需要。

第 10 章还补充了传感器中的噪声并进行了讨论。

第 11 章引入了与传感器的连接电路,其中特别着重介绍了用于对传感器进行调制的电桥电路。此外,还讨论了自动调零传感器的特征。

这一版中已考虑了来自编审、同事和学生的所有意见,从而可能改进并澄清一些不明确之处。这些意见十分宝贵,在此向他们表示衷心感谢。作者要对迪夫特(Delft)理工大学的 Johan Huijsing 教授提供材料表示感谢。特别要感谢 Barcelona 大学的 Ramon Pallas Arany 博士寄来的有价值的意见和对第一版仔细推敲的结论。此外,还要感谢 Bordeaux I, IXL 大学的 Yves Danto 教授对集成电路可靠性工程的新途径提出了有价值的意见。特别要感谢我的两个儿子 Michael van Putten 硕士和 Maurice van Putten 博士,是他们发明了 ADM 原理。我还要对大学物理出版社制作和生产部门的工作人员,特别是 Peter Binfield 和 Katie Pennicott 表示感谢。

这本教科书已证明不仅对有不同知识背景,包括机械、电气、电子工程、机械电子和物理专业的学生具有价值,而且对研究建筑环境物理学的学生也可从这本教科书中受益。工程技术人员也可找到相关材料并从有用的资料中受益。

作者将十分愉快地接受改进本书的任何批评意见。书中所提到的参考文献不可能面面俱到,需要深入了解细节的读者可与作者联系。参考文献中引用的是一些主要的相关教材。在下列期刊中或查阅图书馆的数据库便可以找到合适的资料。

IEEE Circuits and Devices

IEEE Solid State Circuits

IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement

Sensors and Actuators

IEEE Proceedings (with excellent review articles)

Journal of Micromechanics and Microengineering

Photonics Spectra

Measurement Science and Technology

符 号 表

符号	说明	单位
a	加速度	m/s^2
A	增益系数	
$A(t)$	可利用性(瞬时)	
A	表面积	m^2
B	带宽	Hz
B	磁感应强度	$T = Wb/m^2 = Vs/m^2$
c	光速	m/s
C	电容	F
$[C]$	离子密度	m^{-3}
D	表面电荷率	Cm^2
D, D_n	扩散系数	m^2/s
\bar{e}_n	噪声电压	$nV Hz^{-1/2}$
\bar{e}_N	总噪声电压	μV
E	弹性模量	Pa
E	电场强度	$V/m = N/C$
$E(x)$	期望	
E_F	费密能量	eV
E_g	带隙能量	eV
F	鉴别系数	dB
F	法拉第常数	C/mol
f	频率	Hz
g	根或底	
g_m	跨导	mA/V
h	普朗克常数	$J \cdot s$
H	传递函数	
H	磁场强度	A/m

符 号 表

续表

符号	说明	单位
H	抑制系数	dB
\bar{i}_n	噪声电流	pA Hz ^{-1/2}
I	辐射强度	cd
I	电流	A
J	电流密度	A/m ²
J_{ab}	电荷面密度	C/m ²
k	玻耳兹曼常数	J/K
Δk	波数变化 ($=k_2 - k_1$)	
K	应变系数	
l	长度	m
L	电感	H
$L(L_e)$	辐射度	W/(sr · m ²)
m	比质量(密度)	kg/m ³
M	模数	待定, 取决于应用情况
M	被测对象	待定, 取决于应用情况
M	单位体积磁矩	A/m = Am ² /m ³
N	实数	
N_x	载流子浓度	m ⁻³
$N_{c, v}$	导带或价带能量的状态密度	
n	折射率	
n	单位体积的载流子数	m ⁻³
p	单位体积的空穴浓度	m ⁻³
p	原子的磁偶极矩	Am ²
P	概率	
P	压力	N/m ² = Pa
P	功率	W
q	电子的电荷量	C

续表

符号	说明	单位
Q	辐射能	J
Q	电荷	C
Q	质量	
$Q_{n,p}$	声子曳引	
R	可靠性	
R	电阻	Ω
R_H	霍耳系数	m^3/C
R	普适气体常数	$J/(mol \cdot K)$
S	单位体积的熵	$Nm/(K \cdot m^3)$
s	位置	m
S	灵敏度	任意 y/x
S	横截面积	m^2
t	时间	s
T	周期	s
T	热力学温度	K
v_e	电子速度	m/s
V	电压(电位差)	V
V_H	霍耳电压	V
V_{GAP}	带隙电压	V
V_{GS}	栅极-源极电压	V
V_p	夹断电压	V
W	能量	$J/s=W$
W_B	基底厚度	m
X	电抗	Ω
z_i	价离子	
Z	阻抗	Ω

符 号 表

续表

符号	说明	单位
α_s	塞贝克系数	$\mu\text{V}/\text{k}$
β	增益系数	
γ	汤姆逊系数	V/K
ϵ	相对变化	m
ϵ_r	相对介电常数	
ϵ_0	真空介电常数	F/m
λ	失效率	h^{-1}
λ	波长	m
$\mu_{n,p}$	载流子迁移率	$\text{m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$
μ	平均数	待定, 取决于应用情况
μ	迁移率	$\text{m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$
μ_0	真空磁导率	$\text{H}/\text{m} = \text{Vs}/(\text{A} \cdot \text{m})$
μ_r	相对磁导率	
ν	频率	Hz
ν	泊松常数	
Π_{ab}	珀耳帖系数	J/C
ρ	质量(密度)	kg/m^3
ρ	电阻率	$\Omega \cdot \text{m}$
σ	斯忒藩-玻耳兹曼常数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
σ	标准偏差	
σ	电导率	$\text{S}/\text{m} = \Omega^{-1}\text{m}^{-1}$
τ	弛豫时间	s
φ	相移	rad
Φ	辐射通量	lm
ω	角频率($2\pi f = 2\pi/T$)	rad/s

感 谢

作者对下列允许我们在本书中使用其资料的单位表示感谢。

National Instruments

Eindhoven University of Technology 提供的图 3.24, 3.35, 3.36, 3.37, 3.38, 3.39, 3.40, 3.41

Fluke Nederland 提供的图 12.2

Institute of Optical Research 提供的图 6.26

Chalmers University of Technology 提供的图 6.31 和 6.42

Department of Signals, Sensors and Systems 提供的 6.43

Fraunhofer G-ISIT 提供的图 6.15

TU Denmark 提供的图 6.17

Micro Parts, Germany 提供的图 6.16

IEEE 提供的图 6.29

Berkeley Sensors & Actuator Center 提供的图 6.25

John Wiley & Sons Ins 提供的图 6.61

Academic Press 提供的图 6.33, 6.34, 6.60 和表 6.22

Intel Corporation 提供的图 4.21, 4.22 和 4.27

Institute for Technology, Sweden 提供的图 6.41

Sweden Report 提供的图 6.32 和图 6.18

Elektrotechnische Materialien 提供的图 6.57 和 6.58

Artech House Books 提供的图 6.74

Peter Peregrinus Ltd 提供的表 8.12

Measurement Systems: Applications and Design 提供的图 4.20

Twente University 提供的图 6.46

Delft University Press 提供的图 7.11(a) 和 (b)

IMEC 提供的图 6.37(b) 和 6.55

目 录

第一版序言	(1)
第二版序言	(5)
符号表	(8)
第1章 电子测量系统概述	(1)
1.1 信息	(1)
1.2 测量的类型	(6)
1.3 为什么要使用电子测量系统	(7)
1.4 今后的发展趋势	(10)
习题	(13)
参考文献	(13)
第2章 测量系统的类型	(14)
2.1 概述	(14)
2.2 功能结构	(15)
2.2.1 有源物理量的测量结构	(15)
2.2.2 无源物理量的测量结构	(17)
2.3 信号结构	(20)
2.3.1 具有特定特性的信号	(21)
2.3.2 周期信号	(26)
2.3.3 取样信号	(31)
2.3.4 随机信号	(36)