

# “信号检测、处理及实现”系列教材建设

徐科军 黄云志

合肥工业大学电气与自动化工程学院,安徽 合肥 230009

**摘 要:** 根据教学经验和科研积累,面向自动化和电气工程专业,编著“信号检测、处理及实现”系列课程的教材、参考书及实验指导书。构建信号检测、处理及实现完整的知识体系。注重培养学生分析问题和解决实际问题的能力;融入科学的教学方法,突出本质,理清思路;适应工程教育的需要,简要介绍新技术。系列教材在推动工程教育教学改革中发挥了较好的作用。

**关键词:** 信号检测、处理及实现;系列教材;知识体系;教学改革

## Series Teaching Material Construction of “Signal Measurement, Processing and Implementation”

Xu Ke-jun and Huang Yun-zhi

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui Province, China)

**Abstract:** According to the accumulation of experience in teaching and research, textbooks, reference books and experimental guide books of “signal measurement, processing and implementation” series curriculum are published and edited for automation and electrical engineering majors. The series teaching material builds up the complete knowledge system of signal measurement, processing and implementation. It focuses on training students' ability to analyze and solve practical problems. It integrates scientific teaching methods, highlights the nature, and clarifies ideas. It meets the needs of engineering education, and briefly introduces new technologies. The series teaching material plays a good role in promoting educational reform in engineering.

**Key Words:** signal measurement, processing and implementation; series teaching material; knowledge system; educational reform

### 引言

教材作为教学的基本工具,是体现教学内容和教学方法改革的载体,其质量优劣在一定程度上决定了人才培养的质量。现行的有些工科教材缺乏理论联系实际的特色,忽视对学生分析问题与解决问题能力的培养。重视教材本身的知识结构,缺乏教学方法的融入。新理论、新技术所占的比重较低,难以适应工程教育的发展。为此,

我们教学团队根据多年来的教学经验和科研积累,面向自动化和电气工程专业,构建“信号检测、处理及实现”系列课程<sup>[1]</sup>,积极开展教材、参考书和实验指导书的编写工作,先后出版了《传感器与检测技术》、《电气测试技术》、《信号分析与处理》、《TMS320F2812 DSP 应用技术》、《DSP 原理及应用》和《MSP430 单片机原理与应用》6 本教材,《传感器动态特性实用分析方法》、《DSP 及其电气与自动化工程应用》和《流量传感器信号建模、处理及实现》等 10 本参考书<sup>[2-8]</sup>,以及编写了 6

本实验指导书,形成了较为完整的“信号检测、处理及实现”系列课程的教材、参考书和实验指导书,在推动工程教育教学改革中发挥了较好的作用。

## 1 系列教材建设的必要性和作用

“信号检测、处理及实现”系列课程是自动化专业和电气工程专业的重点教学和实践内容,且具有较强的工程背景。“自动化”专业是以信息为基础、控制为核心、立足于系统,其中,电量和非电量的检测以及进一步的信号处理为控制提供必要的信息,而传感器、数字信号处理器(DSP)是实现自动化系统的重要部件和工具<sup>[9-10]</sup>。“电气工程”专业是完成电能的产生、变换、控制和传输,必然涉及信号的采集和处理。所以,“信号检测、处理及实现”系列课程是这两个专业的重要课程,如图1所示。而教材是教学之本,教学参考书可以辅助教学、扩展学生的知识面,所以,加强“信号检测、处理及实现”系列教材的建设对课堂教学和课外实践活动非常重要。

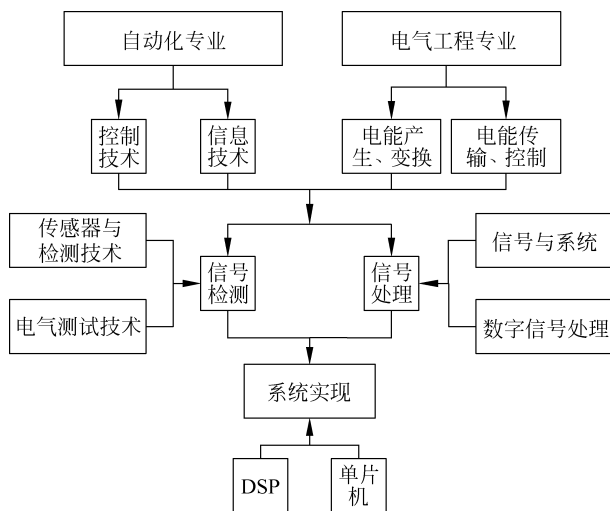


图1 自动化和电气工程专业内涵与系列课程之间的关系

Fig.1 The relationship between the connotation of automation and electrical engineering and series of courses

“信号检测、处理及实现”系列教材的内容和联系如图2所示。

我们出版的“信号检测、处理及实现”系列教材和参考书以及编写的实验指导书如图3(a)、

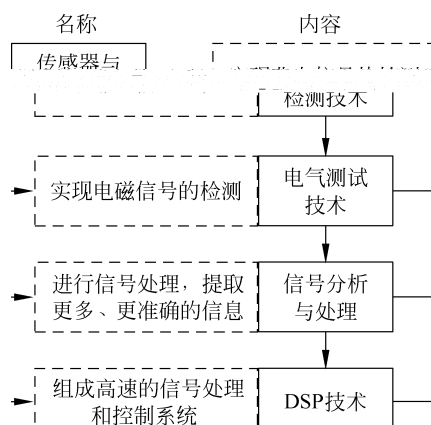


图2 信号检测、处理及实现系列教材的内容和联系

Fig.2 The content and contact of signal detection, processing and implementation of the series of teaching materials

(b)和(c)所示。图中,TI 公司为德州仪器半导体技术(上海)有限公司。

## 2 系列教材建设的思路 and 特色

### 2.1 构建信号检测、处理及实现完整的知识体系

面向自动化和电气工程专业,以信号为线索,围绕信号的检测、处理以及实现这几方面编写教材,使教材的内容前后呼应,紧密衔接,形成完整的知识体系;同时,不仅编撰了面向课堂的教材,而且编著了供学生课外阅读的教学参考书,以及实验指导书,形成了“全方位”的系列教材和参考书。

(1) 合理整合内容,在有限学时内介绍更多的知识

将“传感器原理与应用”和“自动检测技术”有机地融合在一起,形成了《传感器与检测技术》,满足自动化等电气信息类专业本科生教学的要求。在传感器部分,以传感器的工作原理为线索进行介绍;在检测技术部分,以被测量为线索进行叙述。

将电磁量的测试与非电量的测试很好地融合起来,形成了《电气测试技术》,满足电气工程专业教学的需要。介绍用各种比较式电测仪表、电子式测量仪表和数字化电测仪表完成电磁量的测试,用各种传感器完成非电量的测试。因为非电量的测量是通过传感器转换成电量来进行的。电

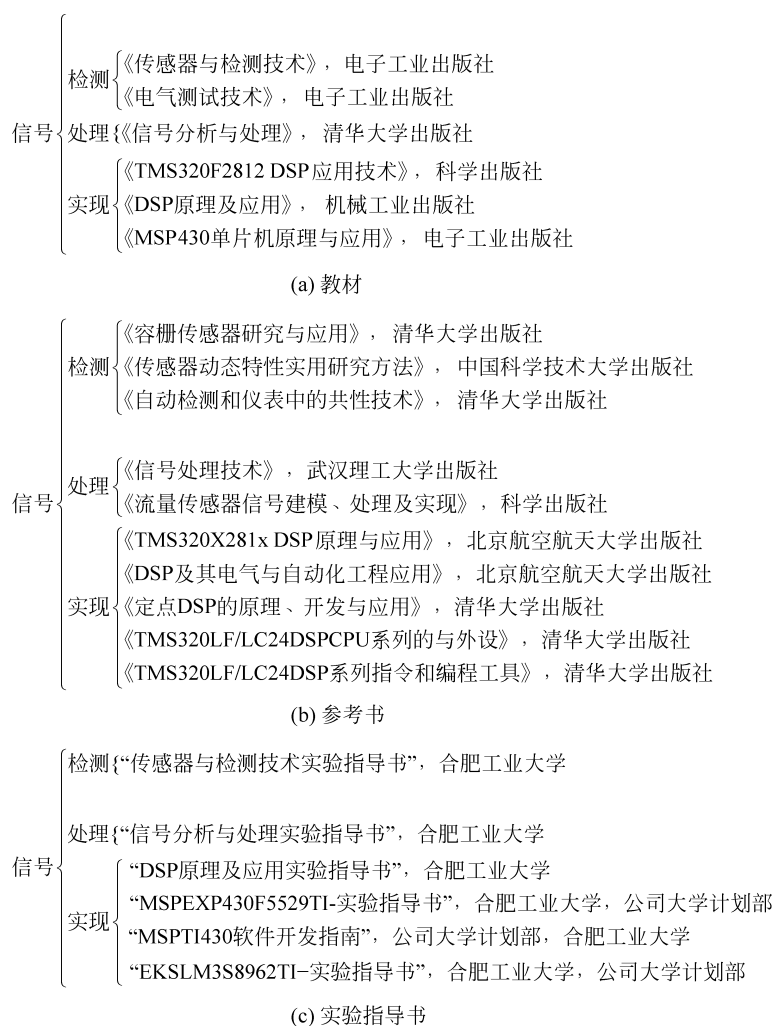


图 3 “信号检测、处理及实现”系列教材、参考书和实验指导书的组成

Fig. 3 The composition of “signal detection, processing and implementation” series of teaching materials, reference books and experimental instructions

量的测量是非电量测量的基础,而非电量的测量是电量测量的拓展。

将“信号与系统”和“数字信号处理”有机地融合在一起,形成《信号分析与处理》。考虑到总学时数的减少以及在“自动控制理论”课程中学习过系统的知识,我们将“信号与系统”中的信号部分内容以及“数字信号处理”中的部分内容,融入“信号分析与处理”课程中。这样既与先修课程“数字信号处理”等紧密联系,又不重复先修课程的内容,有自己的教学内容和体系,可以使自动化专业学生在较短的学时内很好地掌握信号处理的基本理论和方法。

(2) 注意内容的衔接,形成完整的、实用的知识体系

在“信号检测、处理及实现”系列教材的编写中,我们注重教学内容的前后呼应和融会贯通,使学生形成完整的知识体系。在《电气测试技术》中介绍测量频率和相位的基本方法;在《传感器与检测技术》中,介绍扭矩和流量等非电量可以通过转换,变成频率和相位差来进行测量;再在《信号分析与处理》中介绍如何用数字信号处理方法来获得频率和相位差;最后,在《TMS320F2812 DSP 应用技术》中,介绍用 DSP 芯片构成一个完整的数字信号处理系统,去实现这些量的实时测量。

在《信号分析与处理》中,介绍数字滤波器的设计,而在“DSP 技术”方面的教材中,介绍用 DSP 芯片去实现数字滤波器。

对于自动化和电气工程专业来讲,《信号分析

与处理》所分析和处理的信号均来自于传感器,所以,该教材不仅介绍采样定理,还简要介绍数据采集技术以及等效时间采样方式,与《传感器与检测技术》很好地衔接,共同构成关于信号、系统完整的工程科学基础。

## 2.2 注重培养学生分析问题和解决实际问题的能力

在《信号分析与处理》中注重列举信号分析与处理技术在工程方面的具体应用,例如,介绍频谱分析、相关分析在多个领域中的应用实例。特别在第5章“随机信号分析”中,我们不仅给出了功率谱估计方法,还列举了多个功率谱估计的应用实例,并详细说明了在功率谱估计中需要考虑的几个实际问题,又进一步介绍了非常实用的频谱校正方法,以提高功率谱的估计准确度。这样的介绍使得学生对实际中广泛应用的功率谱从概念、方法到实际应用,有了完整的认识,便于培养学生解决实际问题的能力。

在该教材中,不仅介绍了一般教材都包括的 IIR 和 FIR 数字滤波器,还介绍了几种简单滤波器的设计和应用,因为这些简单滤波器在实际工程中用得很多,也非常有效。

在该教材的最后一章“总结和应用”中,以自动化领域为应用背景,针对含有各种现场噪声的信号,介绍用信号分析与处理方法准确提取出频率、幅值和相位差信息的应用实例,以便学生熟悉信号处理方法的应用过程。此外,我们出版了供学生课外阅读的《流量传感器信号建模、处理及实现》一书,该参考书以多种流量传感器为研究对象,详细介绍了各种先进的信号处理技术的应用过程,以及基于 DSP 和 MCU 的信号处理系统的研制过程,为学生的实际应用给出了典型的案例。

为了使学生更好地掌握 DSP 技术,我们在出版相关教材的同时,还根据我们学院多年来在 DSP 技术应用方面的成果,编写了和《DSP 及其电气与自动化工程应用》一书,详细介绍了 DSP 技术在传感器与自动化仪表、电气传动、电力系统、新能源利用和电机控制等方面的应用实例,给出了硬件系统框图、电路原理图、系统软件框图、流程图、部分程序源代码、测试和实验结果等,极大地方便了学生的应用。

## 2.3 融入科学的教学方法,突出本质,理清思路

“传感器与检测技术”课程介绍各种传感器的

工作原理、基本结构、调理电路和应用实例,以及过程参数的检测方法和系统。其中,传感器的工作原理涉及力学、热学、电磁学和化学等,测量对象涉及到位移、速度、加速度、力、压力、力矩、温度、流量、成分等。所以,最大的教学难点是:表面上显得内容杂乱,没有一条主线贯穿始终;可以用多种传感器去测量某一非电量,如何选择最佳的传感器。我们采用整合归纳和横向比较的方法,较好地解决了这一难题。将应变式传感器和压阻式传感器归为电阻式传感器;将自感式传感器、差动变压器式传感器、电容式传感器、电涡流式传感器和压磁传感器归为变阻抗式传感器;将光电器件、光电码盘、电荷耦合器件、光纤传感器和光栅传感器归为光电式传感器;将磁电式传感器、霍尔传感器和压电式传感器归为电动势式传感器式。以相同和相似的工作原理为线索,进行教材编写和课堂教学。让学生对多种传感器有了基本认识之后,再以相同的被测量为线索,介绍不同的传感器和测量方法。这样从纵(传感器工作原理)横(传感器的各种应用)两方面,把各种传感器的工作原理、结构组成和各种应用介绍清楚。在介绍各类检测技术中,对同一物理量的不同检测方法进行比较。例如,对于转速的测量,介绍光电测量方法、霍尔传感器测量方法和磁电式测量方法。根据各自的特点,说明它们各自的原理、特点和适用范围,拓展学生的思维,培养学生工程能力和创新能力。

在《传感器与检测技术》中针对工作原理复杂的传感器,例如,电感式传感器、电涡流式传感器,若要分析其工作原理,必然涉及电磁场的分析和计算,为此,采用等效电路的方法,分析其工作原理,推导出输入输出关系,这样既突出了传感器工作的实质,又简化了分析和计算过程。

在《信号分析与处理》中,用图解的方法介绍离散傅里叶变换推导过程;用图解的方法介绍连续傅里叶变换与离散傅里叶变换之间的关系与过渡;用框图形式归纳全书的叙述思路和各章的主要内容。这些使学生比较容易掌握各种变换的实质,把握各章的主要内容和整个教材的脉络。

## 2.4 适应工程教育的需要,与时俱进地更新教材内容,简要介绍新技术

在《传感器与检测技术》中简要介绍一些实用



的共性技术和新技术。例如,介绍误差修正技术,可以有效地消除传感器和检测系统应用中的静态和动态测量误差,特别是动态补偿技术的采用,可以使传感器真正应用于实时、快速的控制系统。此外,我们还出版了学生课外阅读的《传感器动态特性实用研究方法》和《自动检测和仪表中的共性技术》两本书,详细介绍了传感器动态实验、建模和校正技术,以及仪表中的一些共性关键技术,把更为深入和前沿的内容展示给学生。又例如,《传感器与检测技术》简要介绍了当前迅速发展、具有广阔应用前景的基于 MEMS 技术的微型传感器和无线传感器网络等。

在《信号分析与处理》的第2章“离散时间信号分析”中,介绍了等效时间采样方式。针对在实际中应用广泛的周期图谱受到非周期采样的影响,计算误差大的问题,介绍了近十几年发展起来的频谱校正技术,可以有效地提高了频谱分析的精度。介绍用自适应陷波滤波处理科氏质量流量传感器的输出信号,测量和跟踪频率的变化。将经典理论与最新技术相融合,扩展学生的学习兴趣和对最新知识的了解。

在《电气测试技术》中,删减比较陈旧的技术内容,增加新的技术内容。例如,考虑到实际中,直读式电测仪表很少应用,所以,在该教材的第3版中删除了“直读式电测仪表”。增加了数字式电测仪表的内容。又增加了“数字荧光示波器”和“基于数字信号处理的电测仪表”等内容。

在 DSP 原理及应用方面的教材编写中,我们选择占市场 60% 的美国德州仪器(TI)公司的 DSP 芯片作为讲授对象,在 TI 公司的 DSP 芯片中,C2000 系列用于电机控制、数字电源和先进传感,所以,特别适用于我们自动化和电气工程专业。前几年我们介绍的是当时主流的 DSP 芯片 TMS320LF2407A;随着芯片的发展,我们与时俱进地介绍了 TMS320F2812 DSP 芯片。

### 3 系列教材建设的效果

(1) 作为本校多门课程的主要教材,促进工程教育教学改革。《传感器与检测技术》、《信号分析与处理》、《TMS320F2812 DSP 原理与应用》和《MSP430 单片机原理与应用》分别为本校相关课

程的教科书。“传感器与检测技术”课程为安徽省精品资源共享课;“信号分析与处理”课程为校精品课程,由原先的自动化专业选修课发展成学院的公共平台课,为自动化和电气工程专业的必修课;“DSP 原理及应用”课程为自动化和电气工程专业的选修课;“DSP 技术”被遴选为校级研究生公共实验课;“MSP430 单片机原理与应用”是我校第一门工科性质的、网上视频校定平台选修课。

(2) 被多所高校采用,得到好评。《传感器与检测技术》被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材、2009 年普通高等教育国家精品教材、2010 年全国电子信息类优秀教材一等奖和普通高等教育“十二五”国家级规划教材,发行了 14 多万册,被国内约 100 所高校选作教材。《电气测试技术》被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,发行了近 2 万册,被十几所高校选作教材。《信号分析与处理》被评为普通高等教育“十一五”和“十二五”国家级规划教材,发行了 2 万多册,被三十多所高校选作教材。

(3) 指导学生参加课外实践活动,为培养学生创新能力提供了丰富的材料。我们编写的基于 EKS-LM3S8962 的 ARM 实验教学套件和基于 MSP-EXP430F5529 单片机开发板的实验套件,包括实验案例、实验指导书、实验视频和 PPT,公布在 TI 公司的网站上,也发送给包括清华大学、上海交通大学、西安交通大学、西安电子科技大学等 200 余所高校,已有 2 万多名学生学习并使用了这些实验套件。

### 参考文献

- [1] 徐科军,信号检测、处理及实现系列课程建设探讨[J]. 南京:电气电子教学学报,2009,31(2): 11-12,24
- [2] 徐科军,马修水,李晓林等. 传感器与检测技术(第3版)[M]. 北京:电子工业出版社,2011
- [3] 徐科军,黄云志,林逸榕等. 信号分析与处理(第2版)[M]. 北京:清华大学出版社,2012
- [4] 徐科军,马修水,李国丽等. 电气测试技术(第3版)[M]. 北京:电子工业出版社,2013
- [5] 徐科军,陈志辉,傅大丰. TMS320F2812 DSP 应用技术[M]. 北京:科学出版社,2010
- [6] 徐科军. 传感器动态特性的实用研究方法[M]. 合

- 肥：中国科学技术大学出版社,1999
- [7] 徐科军,陶维青,汪海宁等. DSP 及其电气与自动化工程应用[M]. 北京：北京航空航天大学出版社,2010
- [8] 任保宏,徐科军. MSP430 单片机原理与应用[M]. 北京：电子工业出版社,2014
- [9] 韩九强,郑南宁,彭勤科. 自动化专业体系与实验环境建设[C]. 2007 年中国自动化教育学术年会论文集,18-23,北京：机械工业出版社,2007
- [10] 赵光宙,齐冬莲. “信号分析与处理”课程教学改革与思考[C]. 2007 年中国自动化教育学术年会论文集,379-382,北京：机械工业出版社,2007