

# “DSP原理及应用”课程教学改革探索

苗敬利, 何明星, 耿华, 安新, 李兵, 高敬格

河北工程大学, 信息与电气工程学院, 自动化与电气工程系, 自动化教研室, 河北 邯郸

收稿日期: 2024年3月11日; 录用日期: 2024年4月10日; 发布日期: 2024年4月17日

## 摘要

以无刷直流电动机控制为主线, 采用启发进阶式、交叉融合式的教学方法, 制定CPU定时器、GPIO引脚控制、中断和PWM信号产生、脉冲信号捕获、AD转换等典型案例教学实验, 设计了无刷直流电机综合实验, 形成了由浅入深的多样化DSP实验体系, 使学生兴趣浓厚、容易掌握, 取得了良好的教学效果。

## 关键词

DSP实验体系, 启发进阶式, 交叉融合式, 无刷直流电动机, 综合实验

# Exploration on Teaching Reform of “DSP Principle and Application” Course

Jingli Miao, Mingxing He, Hua Geng, Xin An, Bing Li, Jingge Gao

Automation Teaching and Research Group, Department of Automation and Electrical Engineering, School of Information and Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Handan Hebei

Received: Mar. 11<sup>th</sup>, 2024; accepted: Apr. 10<sup>th</sup>, 2024; published: Apr. 17<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Based on the control of brushless DC motor, an instructional design has been implemented that adopts both inspirational incremental and interdisciplinary integration teaching methodologies. The typical teaching experiments of CPU timer, GPIO pin control, interrupt, PWM signal generation, pulse signal capture and AD conversion are made. A comprehensive experiment of brushless DC motor was designed, and a diversified DSP experimental system from the shallow to the deep has been formed. The teaching practice shows that this practice can promote the student interest, and achieve good teaching effect.

## Keywords

**DSP Experimental System, Instructive Incremental Approach, Interdisciplinary Integration, Brushless DC Motor, Comprehensive Experiment**

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

基于工程教育专业认证以学生为中心、以产出为导向、持续改进的三大教育理念[1], 强调培养学生解决复杂工程问题能力。2017年教育部推行的“新工科”建设, 倡导实现多学科多专业融合发展, 强化学生实践综合能力培养[2]。在新工科和工程教育认证等背景下, 要求更加注重学生实践能力的培养, 提高学生的工程实践能力和综合应用知识能力。

随着 DSP 性价比的不断提高, DSP 已广泛应用于工业制造、智能控制等产业中[3]。DSP 原理及应用课程在自动化专业人才培养中的地位日益凸显。作为应用性极强的课程, 除了介绍 DSP 的基础知识, 还要求学生将理论知识运用到实践中。结合实际中的典型应用案例, 帮助学生掌握 DSP 的基本原理、系统设计、软硬开发方法, 拓宽学生的知识面及提高学生的实际动手能力, 培养学生的工程素养。

为便于学生掌握 DSP 应用技术, 挖掘学生的学习潜能, 需要由浅入深帮助学生建立 DSP 系统的概念, 并通过 DSP 系统的实验、设计与综合实验等环节, 结合其他专业知识, 使学生进一步深入理解和掌握 DSP 的应用技术。为此, 需要对传统的教学模式和内容进行改革。采用进阶式和交叉融合的教学方式, 制定了 CPU 定时器、GPIO 引脚控制和中断、PWM 信号输出、脉冲信号捕获、AD 转换等典型案例教学实验, 形成了由浅入深、多样化实验体系, 激发学生学习兴趣, 提高学生的工程应用能力和综合实践能力。

## 2. DSP 课程教学改革

### 2.1. DSP 课程特点

DSP 是应用型技术, 我校自动化开设的 DSP 课程介绍的是应用于控制领域的 DSP28335 芯片, 主要内容包括 CPU 定时器、GPIO 引脚设置、中断、PWM 信号产生、脉冲信号捕获等部分。该课程多以讲解模块内部结构、硬软件系统设计以及应用案例为主, 更偏向于应用的综合性技术课程[4] [5]。在实际应用中, 根据系统的需要, 往往要用到 DSP 内部的多个模块, 而每一模块的效果难以单独直观显现, 给初学者带来一定困难。

为了更好地培养学生 DSP 工程设计素养, 课程教学必须要紧密联系技术的发展与产业的应用, 要求学生将理论知识运用到实践中, 只有在不断的开发实践中才能使快速掌握和提升 DSP 应用能力。但传统的教学方式未能注重课程的交叉性质, 学生面对抽象枯燥的知识内容缺乏学习兴趣, 教学效果难以保证。教学中发现, 学生普遍难以将“DSP 原理及应用”课程内容与被控对象的基础理论进行有效融合, 综合分析问题的能力亟待提升。

### 2.2. DSP 课程教学模式改革

一般 DSP 课程教学模式主要以教师上课讲授理论, 再配套相关实验在实验箱上进行训练的方式进行

[6]。先在课堂上讲授 DSP 内部结构、时钟、硬件模块的工作原理、中断系统以及应用案例等。实验课相对理论课开设稍晚,实验主要是模块基本功能验证,以达到理解和掌握基本内容的目的。这种教学虽然全面但较为繁杂,许多学生知识“碎片化”,难以系统把握。

本文提出交叉融合式 DSP 教学方法,采用项目驱动方式,对“DSP 原理及应用”课程的教学模式进行改革,摒弃填鸭式教学模式,采用边理论边实践的方式,授课重点以 DSP 技术应用为目的,相应的理论部分仅仅讲授重点和难点,同时,结合网络平台,对于晦涩难懂的理论部分,录制视频并放到学习通中,让学生进行线上学习,边理论边实践,采用“学习过程就是应用过程”的课程教学模式。为此,首先,对教学内容进行重构,不再按照章节推进,以项目为抓手,采用递进式教学,把项目分解成若干个子任务,在每个教学环节设置子任务的基本内容和扩展内容,前者促使学生掌握基本知识和基本技能,后者通过应用实例,让同学们采用口袋实验室或进实验室完成。这样层层推进,实现学生能力的递进式提升,通过学习、分析、设计、实现等一系列 DSP 技术学习流程,让学生掌握 DSP 综合应用技术,最终实现项目任务,进而培养学生的综合实践能力。

总之, DSP 课程教学模式主要有如下特点:

1) 确定控制对象,教学内容围绕控制对象展开,逐步深入。课程内容的设计包括横向和纵向两部分,横向为 DSP 芯片内部不同模块间知识的综合应用,纵向为不同课程间知识的融合。

2) 学习过程就是应用过程,所学即所用。课堂学习以学生为主体,通过课堂理论讲授、案例分析及练习推进。课堂上讲解重点和难点,详细的模块知识学习视频放到学习通中,供学生课下学习,口袋实验室搬到课堂上进行,这样理论学习与实际操作练习可以穿插进行,课堂上注意充分调动学生的学习积极性,对于编程调试中遇到的问题,分组讨论并引导学生分析问题,寻找问题的解决办法,这样,以学生为主体,通过老师对重点、难点知识的讲解,学生的学和练,达到学生更好地掌握每次课堂知识点的目的。循序渐进,从而达到综合应用 DSP 技术的目的。

3) 将课程思政融入课堂知识学习和实践中。结合 DSP 技术的应用实例及社会科学技术的发展,在教学过程中引导学生思政,培养学生的家国情怀和大国工匠精神,达到润物细无声的效果。

本课程以无刷直流电机的控制为出发点,面向无刷直流电动机的控制从教案设计、实验教学、课程考核等环节进行课程教学改革,要求学生分别通过不同硬件模块的实现、分析和综合完成该设计。可使课程更加贴近于 DSP 技术应用,激发学生学习兴趣,保证课程教学质量,更好地满足工程教育认证人才培养需求。

通过分析学生基础和 DSP 课程的特点,采用由浅入深的进阶式教学模式,针对必须具有的功能和内容,抓住学习重点,其特点如下:① 在授课中,内容的讲解均以实现无刷直流电动机的控制为目的,并注重不同课程知识间的内在联系,如无刷直流电动机控制的实现需要理解无刷直流电动机的转子位置与霍尔位置传感器信号的关系,且与芯片的硬件结构密不可分等。课程主要学习无刷直流电机控制所需要的 DSP 技术相关知识,内容主要包括 CPU 定时器、GPIO 引脚设置、中断、PWM 模块、eCAP、AD 模块等知识。总之,教案以 DSP 系统的设计过程为主线,将课程内容进行重新串联与设计,在此过程中培养和锻炼学生的 DSP 工程实践思维。② 对 DSP 实验采取进阶式学习方法,划分为基础实验、进阶实验和综合实验。实验过程中,将学生以每组 3 人进行分组,每组利用课后时间分工完成硬件使用、软件设计、代码编写、调试测试、报告撰写等工作,实验课堂为指导与调试时间。

由于学生工作主要集中于软件设计与调试,所需知识均在理论教学过程中进行讲解。而实验课中的指导与调试,使教师能够更加清晰地了解学生对知识的掌握程度,针对性地调整理论教学内容。同时实验内容摆脱了传统固定实验形式,充分挖掘和发挥学生主观能动性,让学生在分工与协作中完成设计任务,有效地提升了学生的工程设计素养。

### 2.3. DSP 实践教学内容设计

表 1 所示为 DSP 进阶式实验的分类与主要教学内容，实验分为基础实验、进阶实验和综合实验三个阶段：

**Table 1.** DSP experimental project arrangement

**表 1.** DSP 实验项目安排

序号	实验项目名称	实验类型	教学内容
1	软件环境搭建	基础型	CCS 软件安装，工程项目建立
2	CPU 定时器	基础型	定时周期设置
3	GPIO 实验	基础型	GPIO 引脚接口设置
4	中断实验	基础型	3 级中断系统
5	PWM 信号产生实验	基础型	PWM 模块
6	脉冲捕捉实验	基础型	eCAP 模块
7	AD 转换实验	基础型	ADC 模块
8	LED 灯亮度调节实验	进阶型	GPIO 模块、PWM 模块和 CPU 定时器中断
9	PWM 产生和捕获	进阶型	PWM 模块和 eCAP 模块
10	数据采集实验	进阶型	CPU 定时器、ADC 模块和 PWM 模块
11	无刷直流电动机控制	综合型	无刷直流电机原理、PWM 和 eCAP 模块

1) 基础实验。通过验证 DSP 组成模块的基本功能，掌握基本理论知识。将实验内容按功能分类，要求学生通过键盘和发光二极管、CPU 定时器中断、PWM 信号产生、脉冲信号捕获和 AD 转换等简单实验，掌握相应基础理论知识，熟悉 DSP 实验操作和编程。

2) 进阶实验。将基础实验模块进行组合，实现一定控制功能的小系统，建立系统概念。

3) 综合实验。在进阶实验的基础上进行系统集成，融合多种功能模块，并结合无刷直流电动机的工作原理，引导学生进行思考和探究，引导学生将知识运用到实际应用当中。

### 3. DSP 系统进阶实验教学

为了使学生充分理解 DSP28335 的控制方法，基于阶梯递进原则，按照基础型、进阶型、综合型设置了多层次、分等级的实验项目，形成了 3 个等级共 11 个实验项目的课程体系，实现了阶梯配置、循序渐进的教学模式。

首先，从基础型实验开始，让学生学习实验环境的搭建，包括软件安装、工程创建等，并在此基础上开展片上外设模块实验，让学生逐步掌握 CPU 定时器、中断、PWM、捕获、AD 转换等各类片上外设模块的使用方法。通过基础型实验学习，使学生熟悉 DSP，并具备基本的开发能力。

第二阶段为进阶型实验，设置了 3 个实验项目，第一个项目是通过 GPIO 模块、PWM 模块和 CPU 定时器模块的综合应用，开 CPU 定时器的周期中断，在中断服务程序中调节 PWM 信号的周期，从而实现 LED 灯光的周期性调节。第二个项目是采用 PWM 模块产生 PWM 信号，用 DSP 自带的 eCAP 模块捕获 PWM 模块输出的脉冲信号，用 PWM 模块模拟外部输入的脉冲信号，在捕获中断服务程序中计算输入的脉冲信号的周期，从而检验 PWM 模块和 eCAP 模块的学习效果。第三个项目是采集外部输入的模拟量信号，利用 DSP 中自带的 ADC 模块，结合 CPU 定时器和 PWM 模块，用 PWM 模块产生 ADC 模数转换的触发信号，在 CPU 定时器中断中读取模拟量信号，实现外部模拟量信号的周期采集。通常情况

下采集模拟量信号需要外接传感器,传感器输出的电压信号与 DSP 的 ADC 模块的引脚相接,考虑到学生随时随地做实验的便捷性,就用光电鼠标中的 5 号电池来模拟传感器输出的电压信号,这样也避免 ADC 引脚输入的电压信号超过 3V 的限制,从而保护了 ADC 引脚。电压信号采集见图 1 所示。



**Figure 1.** Data acquisition experiment  
**图 1.** 数据采集实验

第三阶段为综合型实验,实验无刷直流电动机的运行控制。该实验融合了 eCAP 模块和 PWM 模块,并结合 DSP 外围的驱动电路,分析无刷直流电动机的工作原理,采用二二导通三相六状态的工作方式,实现无刷直流电机的运行控制。利用 3 个 eCAP 模块捕获 3 个霍尔元件的状态,根据不同的霍尔元件状态的组合,切换无刷直流电动机三相定子绕组的通电状态,进而实现无刷直流电动机的持续运行,通过改变 PWM 信号的占空比来调节电机的运行速度。

通过采用基础型、进阶型和综合型实验,使学生的学习过程循序渐进,有利于学生分析问题能力的提升,随着实验要求的提高会促使学生开动脑筋,积极探讨与研究,提高了自主学习能力,培养了学生综合应用知识的能力。

通过进阶式实验教学使得实验难度由易到难、实验内容由浅入深、实验项目由简单到综合,培养学生的学习兴趣,从而达到人才培养的目的。

## 4. DSP 实验过程及考核方式

### 4.1. 实验过程

基础型实验和进阶型实验采用口袋实验室的方法,为了培养学生的团队协作和交流能力,实验过程中,将学生以每组 3 人进行分组,学生以组为单位借走 DSP 基础实验板,每组利用课后时间分工完成硬件配置、软件设计、程序调试、报告撰写等工作,实验课堂为教师指导与调试时间。综合型实验需要进实验室进行无刷直流电动机的控制实验,但在此之前,老师往往要求学生利用 DSP 基础实验板,用三个按键的不同状态组合来模拟 3 个霍尔位置传感器的不同状态组合,用 6 个 LED 灯来模拟无刷直流电动机的三相绕组所接逆变桥的 6 个功率管的导通状态,进而模拟无刷直流电动机三相绕组的通电状态,为学生进入实验室进行综合型实验打下良好基础。

### 4.2. 考核方式

为了检验学生的学习效果,课程成绩的评定按照平时 20%,理论考核 30%,实验考核 50%的原则。

实验考核时学生除了需要现场演示实验效果和做书面报告之外，还要回答老师的相关问题。这样，一方面使教师能够更加清晰地了解学生对知识的掌握程度，以便有针对性地调整理论教学内容，同时另一方面可以充分挖掘和发挥学生主观能动性，让学生在分工与协作中完成设计任务，培养了学生的沟通能力和团队协作能力以及清晰表达和回应问题能力，有效地提升了学生的工程设计素养。

## 5. 结语

以学生为中心、以培养复合应用型人才的教学目标为导向，以基于 DSP28335 的无刷直流电动机控制为出发点，改革了实验教学环节，基于阶梯递进原则，按照基础型、进阶型、综合型设置了多层次、分等级的实验项目，通过阶梯配置、循序渐进的教学模式，可使课程更加贴近于 DSP 技术应用，激发了学生学习兴趣，保证了课程教学质量，更好地满足了工程教育认证人才培养需求。教学情况表明，实验内容设置合理，取得了良好的教学效果。

## 基金项目

煤炭行业教育研究课题(2021MXGJ048)；河北省高等教育教学改革研究与实践(2022GJJG255)。

## 参考文献

- [1] 林健. 工程教育认证与工程教育改革和发展[J]. 高等工程教育研究, 2015(2): 10-19.
- [2] 刘宇雷, 余明. “新工科”背景下高校实验教学体系建设探索[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(11): 19-21, 32.
- [3] 苏海涛, 胡鸿志, 徐翠锋, 等. 新工科人才培养下 DSP 课程教学改革设计[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(9): 222-225.
- [4] 张婉洁, 牛江川, 曹京亚, 等. 项目驱动的多维度混合式课程创新教学探究——以《DSP 原理及应用》为例[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报, 2022, 21(3): 102-105.
- [5] 朱君, 宋树祥, 秦柳丽, 等. “新工科”创新理念的电子信息类专业基础实践教学改革[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(11): 171-173, 177.
- [6] 苓树奇, 安建珍, 康学福, 张步达. 地方高校应用型课程改革探索——以《DSP 原理与应用》为例[J]. 山西电子技术, 2023(6): 101-103.