# 《DSP原理与应用》课程教学大纲

|  |  |
| --- | --- |
| 课程名称：DSP原理与应用 | 课程代码：ELEA2023 |
| 英文名称：The Principle & Applications of DSP | |
| 课程性质：专业选修课程 | 学分/学时：2学分/36学时(27+9) |
| 开课学期：第7学期 |  |
| 适用专业：电气工程及其自动化 | |
| 先修课程：计算机信息技术、C语言程序设计、计算机原理及应用、单片机原理与应用 | |
| 后续课程：无 | |
| 开课单位：机电工程学院 | 课程负责人：王富东 |
| 大纲执笔人：季清 | 大纲审核人：余雷 |

## 一、课程性质和教学目标（在人才培养中的地位与性质及主要内容，指明学生需掌握知识与能力及其应达到的水平）

**课程性质：**DSP原理与应用是电气工程及其自动化专业的一门专业选修课程。本课程针对电气工程及其自动化专业的特点，以DSP原理等基础知识为主，同时结合单片机原理、电机原理和电力电子技术，并且以实际应用为导向，培养学生运用数字控制技术解决电气领域实际工程问题的能力。

**教学目标：**DSP技术是综合运用单片机和数字信号处理，实现信号采集变换、数字滤波和数字控制等应用的一门技术。本课程的主要内容包括：数字信号处理的基本原理、DSP芯片的结构、指令系统和编程方法，时钟电路、I/O端口、定时器、中断系统、A/D转换器和PWM模块的功能和设置方法，以及DSP和数字控制技术在开关电源拓扑和电机控制中的应用专题。通过相关功能模块的理论讲授和实验训练，使学生掌握具体功能编写和调试程序的能力，并通过电机控制综合实验，培养学生设计程序和解决实际问题的能力。通过相关应用专题的功能讲解、技术剖析和代码演示，拓展学生的知识，了解DSP技术在专业领域的应用情况，引导学生应用DSP技术解决与电气专业相关的具体工程问题，培养学生的数字控制程序分析、设计与维护能力。

本课程的具体教学目标如下：

1. 掌握数字信号处理的主要特征、DSP芯片的结构和程序开发方法，以及具体功能模块的原理和设置方法。培养学生针对具体功能需求，编写和调试功能代码的能力；
2. 掌握协调DSP芯片多个功能模块组合运行的方法，培养学生综合设计程序框架和整体逻辑结构、解决数字控制技术中实际问题的能力；
3. 熟悉数字控制技术在电气工程领域实际应用相关的知识，使学生具备程序分析、设计与维护能力，能够理解如何应用DSP技术解决数字PI调节器、功率变换器的数字控制、直流和交流电机调速等实际复杂工程问题。

**教学目标与毕业要求的对应关系：**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 毕业要求 | 指标点 | 课程目标 | 对应关系说明 |
| 毕业要求3：  设计/开发解决方案 | 3-2 能针对需求独立进行算法和程序设计，并能验证算法和程序的正确性 | 教学目标2 | 要求掌握组合DSP芯片多个功能模块的方法，具备程序框架和整体设计的能力。 |
| 教学目标3 | 要求学生理解基于DSP的数字电源和电机控制的知识与技能，使学生具备分析、设计与维护相关DSP程序的该能力。 |
| 毕业要求5：  使用现代工具 | 5-3 能使用现代工具验证、分析和预测电气和自动化系统性能，并理解使用相关技术手段的优缺点 | 教学目标1 | 要求掌握I/O端口、定时器和A/D转换器等DSP芯片功能模块的工作原理和设置方法。 |

## 二、课程教学内容及学时分配（含课程教学、自学、作业、讨论等内容和要求，指明重点内容和难点内容。重点内容：★；难点内容：∆）

1. **绪论（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. 信号处理系统概述
   2. 数字信号处理的基本概念
   3. 数字控制技术的应用
   4. DSP芯片的基本结构和主要特征
   5. 本课程的教学内容、课程特点和学习要求

* **目标及要求：**

1. 掌握数字信号处理的基本概念和一般流程，明确数字信号处理技术的主要特征为高速处理大量的乘加运算★；
2. 熟悉DSP芯片的基本结构，理解哈佛结构和冯∙诺依曼结构的区别★；
3. 了解DSP芯片的分类和工程应用背景，认识数字信号控制器的最新技术，激发学习兴趣；
4. 了解课程的主要教学内容、学习方法和主要参考资料。

* **讨论内容：**

简要介绍ARM和FPGA的功能和应用，讨论DSP与它们的差异，突出DSP的主要特征。

* **作业内容：**

强化数字信号处理技术的主要特征和DSP芯片的基本结构。

1. **微芯公司的DSP芯片（3学时）（支撑教学目标1）**
   1. 微芯公司MCU和DSP产品概述
   2. 微芯公司16位DSC芯片架构和型号
   3. MPLAB集成开发环境和工具
   4. dsPIC30F DSC系列芯片架构

* **目标及要求：**

1. 了解微芯公司的MCU和DSP产品系列、主要性能参数和选型方法；
2. 了解16位DSC系列芯片的架构、主要参数和应用对象；
3. 掌握MPLAB IDE开发软件的适用方法，熟悉软件界面、项目文件的结构和操作方法★，了解相关编程器、调试器和开发评估板；
4. 掌握dsPIC30F系列芯片的数据和程序存储器、逻辑运算单元和DSP引擎的结构★∆；
5. 了解数据和程序存储器空间的可视性映射，理解数据存储器的X和Y数据空间划分★。

* **讨论内容：**

结合数字信号处理的主要特征，讨论DSC系列芯片将数据存储器划分为X和Y数据空间的原因。

* **作业内容：**

强化dsPIC30F DSC系列芯片的数据和地址宽度。

* **自学拓展：**

通过查看dsPIC30F系列芯片的头文件，了解系统配置和预定义。

1. **DSP的指令系统和编程（3学时）（支撑教学目标1、2）**
   1. DSP的MCU指令
   2. DSP的特殊指令
   3. DSP的C语言程序结构
   4. MPLAB C30的C语言与汇编语言混合编程

* **目标及要求：**

1. 了解DSP的指令系统，复习和掌握基本MCU指令；
2. 熟悉DSP的累加、乘法和乘加等特殊DSP指令，理解双源操作数指令的执行过程★；
3. 了解DSP的编程方法，在MPLAB IDE中试写C语言程序并调试，熟悉MPLAB IDE的寄存器和程序变量监视窗口，掌握MPLAB SIM软件模拟器的使用方法★；
4. 了解C30编译器的编译过程，熟悉内建函数的调用方法，掌握在C30中实现C语言和汇编语言混合编程的方法★∆。

* **讨论内容：**

采用汇编、C语言、调用内建函数和混合编程等方法，编写实现向量表数据乘加的源程序，讨论不同方法的执行效率。

* **作业内容：**

1. 强化DSP特殊指令的执行过程；
2. 强化C语言的编程方法。

* **自学拓展：**

针对给定多相量数据表的乘加计算，思考提高程序执行效率的方法，尝试充分发挥DSP芯片的功能优势，编写执行效率最高的汇编或C语言程序。

1. **时钟电路和振荡器（1学时）（支撑教学目标1）**
   1. dsPIC时钟系统概述
   2. dsPIC30F振荡器设置

* **目标及要求：**

1. 了解dsPIC时钟系统的特点，熟悉系统的时钟电路，掌握系统时钟和指令周期之间的关系★；
2. 熟悉振荡器配置寄存器FOSC和振荡器控制寄存器OSCCON中相关数据位的含义；
3. 熟悉外部晶体、外部RC、内部低功耗和内部快速振荡器等时钟源的设置方法，了解锁相环PLL的适用条件★。

* **讨论内容：**

结合dsPIC30F系列芯片的头文件，讨论如何调用预定义系统配置函数和设置参数，设置时钟源和锁相环倍数。

* **作业内容：**

强化dsPIC30F系列芯片的锁相环适用条件。

* **自学拓展：**

结合系统的时钟配置，学习MPLAB SIM软件模拟器中系统时钟参数的设置方法。

1. **I/O端口设置（1学时）（支撑教学目标1）**
   1. dsPIC引脚概述
   2. I/O端口结构
   3. I/O端口控制寄存器

* **目标及要求：**

1. 了解dsPIC系列芯片的引脚模块和各引脚关联的功能，熟悉各类引脚的电气特性；
2. 熟悉dsPIC的I/O端口相关电路结构，掌握I/O引脚与外设功能之间的复用规则★；
3. 掌握方向寄存器TRISx、端口寄存器PORTx和端口锁存器寄存器LATx的功能和幅值方法★∆。

* **讨论内容：**

试运行给定程序，通过MPLAB SIM软件模拟器监视I/O引脚电压，讨论端口寄存器和锁存器的功能差异。

* **作业内容：**

强化端口控制寄存器的幅值编程，练习对寄存器直接幅值和按数据位幅值两种方法。

* **自学拓展：**

结合I/O端口与外设功能的复用，学习利用复用原理对外设输入引脚施加激励的方法。

1. **实验一：跑马灯实验（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. MAPLAB IDE使用基础
   2. 操作I/O端口实现跑马灯

* **目标及要求：**

1. 强化使用MPLAB IDE编写程序的过程和基本操作，建立新的工程文件，添加源文件、头文件和链接命令文件，编译和软件仿真；
2. 熟练掌握单步调试、断点设置、Watch监视窗口和StopWatch跑表等功能；
3. 强化I/O端口控制寄存器的操作和编程，编写程序使LED指示灯闪烁、轮流点亮★。

* **自学拓展：**

采用循环指令实现马灯的闪烁间隔，学习控制间隔时间长短的方法，为定时器功能的学习作准备。

1. **定时器（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. dsPIC定时器的分类
   2. 定时器的相关寄存器
   3. 定时器的工作模式

* **目标及要求：**

1. 掌握定时器的基本工作原理，了解A类、B类和C类定时器的功能，理解B类和C类定时器相连可以扩展计数宽度；
2. 掌握定时器的控制寄存器TxCON、周期寄存器PRx和计数寄存器TMRx的功能和操作方法★；
3. 了解定时器相关中断标志位TxIF与定时器工作状态之间的关系★；
4. 理解定时器作为同步定时器、同步计数器、门控定时器和异步计数器几种工作模式下的运行状态。

* **讨论内容：**

试设置控制寄存器TxCON中的分频比和周期寄存器PRx，并讨论定时器计数周期与系统时钟周期之间的换算关系。

* **作业内容：**

强化定时器工作原理的理解，练习相关寄存器的幅值。

* **自学拓展：**

学习8位移位寄存器CD4094和数码管的相关资料，准备实验二。

1. **实验二：跑马灯周期计数实验（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. 以1/5秒为时间间隔轮流点亮马灯
   2. 操作数码管显示马灯周期数

* **目标及要求：**

1. 熟练掌握dsPIC的定时器使用和编程，实现通过循环指令监视定时器中断标志位，准确控制马灯时间间隔★∆；
2. 理解移位寄存器的工作原理，熟练掌握8位移位寄存器CD4094和数码管的使用方法★；
3. 通过软件计算马灯周期，并操作CD4094在数码管上显示周期数字，实现数据进位的处理。

* **自学拓展：**

尝试将循环指令改为中断服务程序，实现马灯时间间隔，为中断系统的学习作准备。

1. **中断系统（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. dsPIC的中断过程
   2. dsPIC的中断设置流程
   3. 用C30编写中断服务程序

* **目标及要求：**

1. 理解dsPIC中断事件的发生、处理请求和处理过程，了解中断向量表、备用中断向量表和中断优先级；
2. 熟悉中断控制寄存器INTCON1~2、中断标志状态寄存器IFSx和中断允许控制寄存器IECx，掌握中断的初始化方法★；
3. 掌握用C30编写中断服务程序时的C语言语法，理解中断服务程序编写时强制不带参数、强制不可被调用和建议不调用其它函数的原则★∆。

* **讨论内容：**

结合实验一和实验二的程序，讨论如何采用中断服务程序实现延时功能。

* **作业内容：**

强化中断系统相关寄存器的操作，练习中断服务程序编写。

* **自学拓展：**

学习A类和B类定时器的中断服务程序编写，为实验三作准备。

1. **实验三：中断编程实验（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. 实现以1/5秒为时间间隔的跑马灯
   2. 跑马灯的同时，实现数码管显示秒表，最低位为1/10秒

* **目标及要求：**

1. 强化掌握定时器中断服务程序的编写及其语法规范★；
2. 掌握程序整体结构设计，通过设置定时器A和定时器B，分别在它们的中断服务程序中实现跑马灯和秒表功能★∆。

* **自学拓展：**

学习中断优先级的设置，尝试减小秒表的累积误差。

1. **A/D转换器（2学时）（支撑教学目标1）**
   1. A/D转换器概述
   2. A/D转换器的相关寄存器
   3. 采样和转换模式
   4. A/D转换器的设置流程

* **目标及要求：**

1. 了解dsPIC的A/D转换器基本功能框图，理解A/D转换的基本过程；
2. 熟悉A/D转换器相关的控制寄存器ADCON1~3，A/D端口配置寄存器ADPCFG、通道选择寄存器ADCHS和输入扫描选择寄存器ADCSSL★；
3. 结合控制寄存器的功能位设置，熟悉A/D采样和转换的手动、自动和多通道顺序等模式；
4. 掌握A/D转换器功能设置流程★∆。

* **讨论内容：**

在解释相关寄存器功能的基础上，提出A/D转换的具体实际问题，由学生自行探寻A/D转换的功能设置流程。

* **自学拓展：**

学习设置采样结果存入缓冲区时的数据格式，思考数据格式与采样精度之间的关系。

1. **电机控制PWM模块（2学时）（支撑教学目标1、2）**
   1. PWM功能概述
   2. PWM模块相关寄存器
   3. PWM模块设置流程
   4. 正交编码器接口

* **目标及要求：**

1. 了解PWM技术的基本概念和应用，熟悉PWM模块的基本功能框图；
2. 熟悉PWM模块相关的控制寄存器PWMCON1~2，时基控制寄存器PTCON、时基寄存器PTMR、时基周期寄存器PTPER、特殊事件比较寄存器SEVTCMP和占空比寄存器PDC1~4等★；
3. 熟悉时基的自由运行、单事件和向上/向下计数模式，理解不同模式下缓冲器的更新方式，理解几种模式下占空比的比较逻辑和装载；
4. 掌握PWM模块的工作模式、周期和占空比的设置流程★；
5. 了解正交编码器的功能。

* **讨论内容：**

结合范例程序，讨论各条语句的基本功能。

* **作业内容：**

强化PWM模块的设置，为实验四作准备。

* **自学拓展：**

学习握8位串行输出移位寄存器74HC165的使用，为实验四作准备。

1. **实验三：电机控制综合实验（4学时）（支撑教学目标1、2）**
   1. 通过按键实现电机转速控制
   2. 通过数码管显示电机实际转速

* **目标及要求：**

1. 强化掌握电机控制PWM模块的功能和编程实现★；
2. 理解光电编码器的原理，利用正交编码器实现实际转速测试★∆；
3. 熟练掌握移位寄存器CD4094和74HC165的原理和使用方法；
4. 编写按键操作程序，并通过软件消除按键抖动。

* **自学拓展：**

查阅相关资料和教材，学习和探讨如何利用外部中断和定时器中断实现转速测试。

1. **应用专题一：基于DSP的开关电源控制（4学时）（支撑教学目标2）**
   1. 数字控制电源概述
   2. 数字PI调节器
   3. 相关外围电路
   4. 双向DC-DC变换器的DSP实现
   5. 功率因数校正（PFC）的DSP实现
   6. 光伏并网逆变器的数字控制实例

* **目标及要求：**

1. 了解数字控制电源的集成级别，熟悉DSP在拓扑控制级别的功能需求；
2. 掌握数字PI调节器的基本原理和实现方法，掌握通过混合编程提高数字PI调节器执行效率的方法★∆；
3. 掌握DSP芯片的供电电路、电压/电流采样电路和功率开关管驱动电路的基本原理★；
4. 了解双向DC-DC变换器的基本原理，通过程序实例，掌握电压和电流的数字检测检测、拓扑控制和功率方向控制的实现方法；
5. 了解PFC的基本工作原理，理解电压和电流双环控制的数字实现方法；
6. 了解光伏并网逆变器的拓扑结构和工作原理，通过程序实例，理解最大功率跟踪（MPPT）和正弦脉宽调制的数字实现★∆。

* **讨论内容：**

通过MPLAB SIM软件模拟器，对比几种数字PI调节器的软件编程方法，讨论程序执行效率。

* **自学拓展：**

查阅文献，进一步了解数字控制开关电源的软件仿真方法。

1. **应用专题二：基于DSP的电动机控制（4学时）（支撑教学目标2）**
   1. 电动机数字控制概述
   2. 直流电动机的数字控制
   3. 交流电动机的SPWM和SVPWM技术及DSP实现
   4. 数字控制无刷直流电机实例
   5. 数字控制开关磁阻电机实例

* **目标及要求：**

1. 了解电动机数字控制的分类，熟悉各类电动机的数字控制功能需求；
2. 了解直流电动机单极性可逆PWM控制系统的原理，熟悉转速和电流双环控制的数字实现方法★；
3. 了解交流电动机变频与变压调速、SPWM和SVPWM技术的基本原理，理解自然采样法、对称和不对称规则采样法SPWM的数字算法实现，了解SVPWM的数字实现；
4. 了解无刷直流电机及其全桥驱动电路的结构和工作原理，通过程序实例，理解电流和速度的检测和计算、调速系统的数字控制算法★；
5. 了解开关磁阻电机及其几种常用驱动电路的结构和原理，通过程序实例，理解角度控制法、电流斩波控制和电压PWM控制的DSP实现方法★。

* **讨论内容：**

结合具体实例，讨论几种位置检测和速度计算方法的区别。

* **自学拓展：**

通过查阅文献和相关资料，学习交流异步电动机矢量控制法的数字实现。

## 三、教学方法

在教学方式上，根据具体教学内容，综合运用课堂讲授和演示、课堂讨论、课堂练习、发现学习法和自学指导法，通过引入问题和启发式教学，使学生更加明确教学内容的知识体系，引导学生主动学习，激发内在学习动机，提高课堂的积极性。在目前的实验教学条件基础上，及时采用实验练习法，强化所学知识的理解和运用，培养学生解决实际问题的能力。在实验教学过程中，引导学生发现问题，思考解决方案，为后续教学内容作铺垫。

**教学内容体系、前后关联和相关重点**

C:\Users\Z\Desktop\新建 Microsoft Office Visio 绘图.tif

结合具体教学内容，本课程所采用的教学方法说明如下：

1. **数字信号处理基本原理、DSP芯片的结构和指令系统、时钟和振荡器。**教学内容的原理性比较强，所涉及数据空间划分、高效的DSP指令等知识点较难理解。在教学中采用**讲授法、演示法和讨论法**相结合，将抽象问题具体化。在讲授原理的基础上，以dsPIC30F系列DSP芯片为例，充分利用MPLAB IDE中的程序存储器、数据存储器和寄存器监视功能，演示数据空间的划分和高效DSP指令的执行过程，强化学生对数字信号处理主要特征的理解，引导学生对比和讨论不同指令的运行效率。在演示指令运行效率时，引入指令周期和振荡频率的概念，促进学生掌握教学内容的知识体系。
2. **I/O端口设置、定时器、中断系统和电机控制PWM模块。**教学内容涉及具体功能模块和代码编写，教学时比较容易设计明确的功能目标。在教学中采用**讲授法、演示法和实验练习法**相结合。在讲授各模块的基本功能框图和工作原理的基础上，演示简单的代码运行过程，设置明确的实验目标，训练学生编写实验代码，并予以适当指导，及时强化教学内容。设计实验内容时，考虑到相关模块的前后关联，在实验中引导学生发现问题。例如在实验一中，跑马灯的时间间隔由循环指令实现，无法准确控制，启发学生思考解决方案，为后续定时器的教学内容作铺垫。实验设置采用循序渐进的方法，在实验一和实验二的教学中，提供程序的大体框架，学生只需要编写关键代码。在实验三的教学中，针对中断编程的特点，只提供实验的具体指标，学生需要完成全部代码的编写，培养学生的程序设计能力。在实验四中，需要学生组合各模块的功能，设计程序框架，协调各模块的工作，实现相对复杂的实验目标。
3. **A/D转换器。**教学内容所涉及的工作模式较多、寄存器操作和流程设置复杂，对于缺乏实际经验的学生而言，内容比较抽象，对所有工作模式逐一讲解的效果较差。教学中采用**讲授法和发现学习法**相结合。开始教学时，只讲授A/D采样和转换的基本原理和过程，给出与A/D转换器相关的功能寄存器，并提出具体实现目标。然后，引导学生自行查阅寄存器的功能和设置流程，完成代码编写、调试和运行，最后给出示例程序，讲授和演示A/D转换器的设置方法。
4. **基于DSP的开关电源和电机控制应用专题。**本课程开设在第7学期，学生应该对已经学习的知识系统性较好。本教学内容建立在电机原理、电力电子技术等多门电气工程专业主干课程基础上，涉及电子技术、数字控制技术等应用性较强的知识，属于针对电气工程专业设置的拓展教学内容。教学中主要采用**讲授法、演示法和自学指导法**相结合。组织教学内容时，首先使学生掌握数字PID和相关外围电路等基础应用，然后将专题分为双向DC/DC变换器、功率因数校正变换器、开关磁阻电机控制等具体应用，在使学生理解相关变换器和电机的工作原理和控制要求的基础上，讲授数字控制的核心算法，并通过代码演示，使学生掌握数字控制的基础知识。根据学生所感兴趣的具体应用，给学生提供相关参考资料，引导学生自学拓展，强化对学生理论与实际结合的能力、工程问题分析能力的培养。本部分的教学内容将充分结合数字控制技术的新进展，拓宽学生的视野，从理论知识和应用方面不断更新教学内容。

在教学方法的实际执行过程中，每个教学环节都应具有明确的目的性。同时，以上教学方法需要根据教学过程中的实际效果、学生对知识点的掌握和应用情况不断改进。教学效果不好、学生对知识点理解程度不高时，应适当调整教学方法，适当增加演示法或实验训练法，或在讲授后续教学内容时，引导学生前后联系，结合前置难点内容进行讨论，强化知识掌握。在学生对知识掌握情况较好，系统性较好、实验训练效果较好的情况下，适当提高教学内容或实验内容的难度，或增加发现学习法和自学指导法，设置具体应用问题，引导学生探索解决方案。

## 四、考核及成绩评定方式

**考核方式**：开卷笔试，平时测验及作业，实验报告

**成绩评定方式**：笔试成绩70%，平时成绩15%，实验报告15%

## 五、教材及参考书目

**教材：**

石朝林，dsPIC数字信号控制器入门与实战，北京航空航天大学出版社，2009。

**参考书目：**

1. 刘和平等，dsPIC通用数字信号控制器原理及应用-基于dsPIC30F系列，北京航空航天大学出版社，2007。
2. 何礼高，dsPIC30F电机与电源系列数字信号控制器原理与应用，北京航空航天大学出版社，2007。
3. 王晓明等，电动机的DSC控制——微芯公司dsPIC应用，北京航空航天大学出版社，2009。
4. 江和，dsPIC33F系列数字信号控制器仿真与实践，北京航空航天大学出版社，2014。
5. 微芯公司dsPIC30F系列芯片技术文档，DS70151A\_CN，DS70046E\_CN，DS51519A\_CN等，http://www.microchip.com。

**2016年7月修订**