

基于慕课的“信号与系统”教学实践

金 林 万丽娟 江胜利 卫 宁 刘畅咏

(合肥师范学院 电子信息工程学院, 合肥 230601)

摘要:分析了合肥师范学院电子信息类专业学生“信号与系统”学习难度大的因素,针对某些教学难点,探讨了对于数理基础较弱学生的教学,教学改进措施包括借鉴慕课资源、回顾高数等知识点和线上线下协同教学。本课程以学生为中心,重视学生的物理概念理解,激发学生的学习兴趣。

关键词:信号与系统;慕课;物理概念

中图分类号:G421

文献标识码:A

文章编号:1008-0686(2023)0 -0000-00

Classroom Practice of Signal and System Course Based on MOOC

JIN Lin WAN Lijuan JIANG Shengli WEI Ning LIU Changyong

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Hefei Normal University, Hefei 230601, China)

Abstract: The difficulties of learning Signals and Systems are analyzed for our students in electronic information major. Aiming at some teaching difficulties, this paper discusses the teaching method for students with weak mathematical foundation. Teaching improvements include MOOC resources, reviewing knowledge points and online and offline collaborative teaching. Established with clear understanding of physical concepts, this student-oriented course can stimulate learning interest.

Key words: signal and system; MOOC; physical concept

“信号与系统”是一门承上启下的专业基础课程,一方面需要“高等数学”“复变函数”“电路分析”等知识,另一方面又是“数字信号处理”“通信原理”等课程的基础。先修课程的掌握程度会影响该课程的学习,而该课程的学习又对后续课程影响很大。提高该课程的教学质量对于提升电子相关专业学生的专业能力有重要的意义^[1]。该课程的知识点多且环环相扣,想学好这门课程,学生需要扎实地理解每个知识点的物理意义。而合肥师范学院电子信息专业的学生数理能力和基础相对薄弱,当所教内容涉及较为复杂的数学计算和物理概念时,学生往往感到难以理解、缺乏学习兴趣。

结合课程的特点和地方院校的实际情况,针对现存的教学问题,对课程进行教学改革,充分利用精品慕课资源,理解“信号与系统”的教学内涵,透彻讲解物理概念,采用线上线下协同教学,激发学生自主学习兴趣。

1 教学现状

“信号与系统”的优秀教材较多,这些教材各有特色,适用的教学对象有所差别,应根据学生的学情合理选择相应教材^[2-4]。合肥师范学院选用教材为郑君里著第三版《信号与系统》,其上册内容主要是连续系统时域和变换域分析,也是教学的重点章节。“信号与系统”课程概念多、公式多,地方院校的学生普遍反映学习难度大。主讲教师和学生探讨后,总结分析学习难度大的可能因素来自于以下几个方面。

(1)高等数学等知识储备不够。课程必然会涉及高数一些关于微分、积分的概念,以及复变函数的极坐标系等知识。如果学生对此部分内容生疏,整个课程就完全无法进行下去。

(2)概念抽象,理解困难。教材内容严谨,概念解释精简,学生难以掌握知识点。比如,“1.5信号的分解”仅脉冲分量这一部分就有8个公式,如

收稿日期:2022-03-19;修回日期:2022-09-19

基金项目:安徽省高等学校省级质量工程项目(2021jxtd233,2020xsxxkc380,2020kfkc430);省级科研平台专项项目(2020PT07)

第一作者:金林(1984—),女,博士,高级工程师,主要从事“信号与系统”课程的教学和集成电路版图设计的研究工作,E-mail:jlinlir@

果不理解分解的含义,光背公式是没有意义的。而此部分内容又是第二章“2.6 冲激响应与阶跃响应”“2.7 卷积”等的基础。

(3)答疑不够仔细。学生前面一个知识点没有很好地掌握,会影响后一个知识点的吸收。

2 课堂教学改革

为了解决以上几个问题,重新设计教学活动和配置教学资源,基于“信号与系统”的慕课资源,开展 25% 学时的线上教学与线下面授有机结合。本课程共 64 个课时,其中 16 课时用于线上教学,48 课时用于线下。

2.1 知识点回顾

关于第一个问题,教学改进措施是在相关章节授课时,会首先回顾高数等知识点,如表 1 所示。虽然回顾旧知识点占用少量课时,但是,学生基于回顾的内容,能够快速领会本课程新的知识点。

表 1 高数等知识点回顾和对应的信号与系统章节		
概念	知识点	信号与系统的章节
复数的模和幅角	极坐标系和直角坐标系转换	1.2 欧拉公式
		3.2 节 ~3.6 节
定积分几何意义	定积分求面积	3.2 表 3-1 函数的对称性与傅里叶系数的关系
分部积分法	$(uv)' = u'v + uv'$	1.4 冲激偶性质的证明
		4.2tn 的拉氏变换
		4.3 原函数微分、积分和初值定理的证明
双重积分	交换积分次序	2.8 卷积结合律
		3.8 时域卷积定理
		4.5 卷积定理的证明
积分和导数	定义	1.5 脉冲分量推导过程
		2.7 表 2-5 卷积表达式的导出
导数几何意义	切线的斜率	1.4 图 1-35 冲激偶的形成
微分方程	齐次解和特解	2.3 用时域经典法求解微分方程

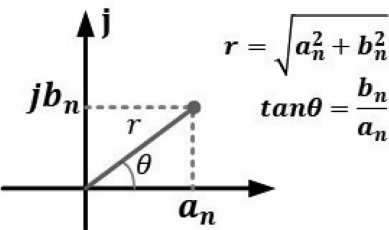
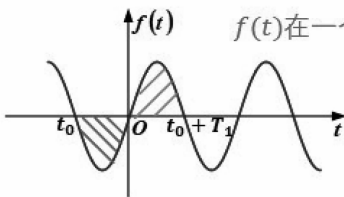
线下教学时,具体采用的授课方式是从高数等教材中截图,在课堂上带学生回顾导数和积分等的准确定义,或画简图来辅助理解,如图 1 所示。

比如,3.2 节偶函数傅里叶系数的正弦分量,见公式(1),看起来形式复杂。但是,学生如果理解在一个周期内,该奇函数曲线下面积的正值和负值相等,那么直观得到正弦分量值为 0。又如,理清极坐标和直角坐标系的关系,是掌握第 3 章和第 4 章各种运算的前提。

$$b_n = \frac{2}{T_1} \int_{t_0}^{t_0+T_1} f(t) \sin(n\omega_1 t) dt$$

(1)

$f(t)$ 在一个周期内的积分?
→ 积分为 0。



$$Y_n = a_n + j b_n = |Y_n| e^{j\theta} = r e^{j\theta}$$

图 1 高数等知识点回顾

复习数学概念可辅助本课程的学习。但更为重要的是,“信号与系统”课程的教学内涵是信号分析与系统分析的原理和概念,也不能将该课程变为“数学”课,大量地讲解如何计算卷积,如何计算系统响应,如何求信号的变换。这是普遍存在的误区,造成学生陷入计算细节和公式。

2.2 借鉴慕课资源

关于第二个问题,教学改进措施是通过线上精品慕课资源提炼出信号与系统的难点,用于线下教学。线下教学能够与学生互动,及时掌握学生学习情况,比学生仅观看慕课视频的线上教学效果更好^[5-6]。主讲教师在线下教学时,引用了“学堂在线”的清华大学宫琴、“中国大学 MOOC”的北邮尹霄丽、北交大陈后金、东南大学孟桥、西电郭宝龙、华中科技大学宋琪等教师及团队慕课视频和课件^[7-10]。从不同的慕课资源中,一线教师既能学习如何系统把握教学内涵,又能学习数学和物理概念的引申,从而提升教学效果。

北交大陈后金老师在慕课章节“信号与系统课程总结”中,清晰地梳理了信号与系统的基本原理和基本分析方法。信号与系统不是讲“求解系统响应”,更不是讲“信号的变换”。“求解系统响应”是途径,通过求解系统响应揭示信号与系统的作用机理;“信号变换”是工具,目的是为信号分析和系统描述提供不同的方法。基于此教学内涵,再结合一些计算难点的细节推导,进行线下教学,能让学生透彻掌握信号表示与系统描述的基本思想,为进一步学习后续课程奠定坚实的理论基础。

以下的慕课示例主要用于引导学生注重原理和概念理解,以及分析方法的应用。除教材章节外,章节标号均指慕课的章节。第一章的重点是常

见信号和信号的运算,难点是脉冲分量的分解和冲激信号的性质。线上教学 1 课时,线下分配 8 课时。

信号的分解教学引用宫琴老师的慕课。信号可表示为 δ 信号是时域分析的要点。宫老师利用公式和动画清晰的演示了教材 1.5 节信号分解成脉冲分量的过程,并指出信号分解为 $\delta(t)$ 的物理意义和实际应用(1.5 节)。

信号的表示教学引用宋琪老师“调幅广播系统”的例子(1.1 节)、陈后金老师的“开关电路与阶跃信号”(2.2 节)、郭宝龙老师“学好确定信号是基础,今后的随机信号分析方法与确定信号分析方法一致,只要把输入、输出换成统计量(V1.01 节)”。

信号的运算教学时,可以加入口诀,帮助学生记忆。比如移位是“左加右减”,反褶是“照镜子”,尺度变换是“磁带的慢放快放”。尺度变换难点在于变换时,要抓住函数值不变,针对自变量 t ,如 $f(2t)$ 变换为 $f(2t-1)$, t 的变化是从 t 变换到 $t-1/2$ 。

在该章的学习中,基本信号、基本运算与基本分解都是为了对复杂信号的分析转化为对基本信号的分析,这是信号分析与处理的基本思想。

第二章的重点是卷积,其次双零法,难点是卷积公式法中积分限的确定、卷积图解法,0 + 状态的初始条件。该部分线上教学分配 5 课时,线下分配 8 课时。

卷积的物理意义、卷积公式法和图解法引用宫老师(2.6 节)和尹老师(2.6 节)慕课。尤其,卷积的图解法中,理解 $f_2(t-\tau)$ 的移位是难点,但是很少有网课给出详细的过程。宫老师指出,以 t 表示移动的距离,那么“ $t=0$, $f_2(t-\tau)$ 未移动”“ $t>0$, $f_2(t-\tau)$ 右移”“ $t<0$, $f_2(t-\tau)$ 左移”,因此,“ t 从 $-\infty$ 到 $+\infty$,对应 $f_2(t-\tau)$ 从左向右移动”。线下教学时,主讲教师结合慕课,板书给出某个 $f_2(t-\tau)$ 函数的移位示意图,如图 2。另外,陈老师(3.5 节)提到卷积公式法的计算结果等于 0 的区间也要标注,不然学生有时候不太理解为什么要加上 $u(t)$,并且还板书给出了两个矩形脉冲的快速卷积运算示例。

线上发布卷积拓展内容供学生课后思考。该拓展内容引自孟桥老师举了方波和折线构成的信号相卷积的例子。该例子综合运用了信号移位、卷积的微分性质和结合律,将信号转换成方波信号相卷积后再求积分,并引出思考“如果不是有始信号进行微积分,会出现什么问题”。孟老师还提到了杜阿梅尔积分(2.6.1 节)、转移算子(2.2 和 2.9 节)。

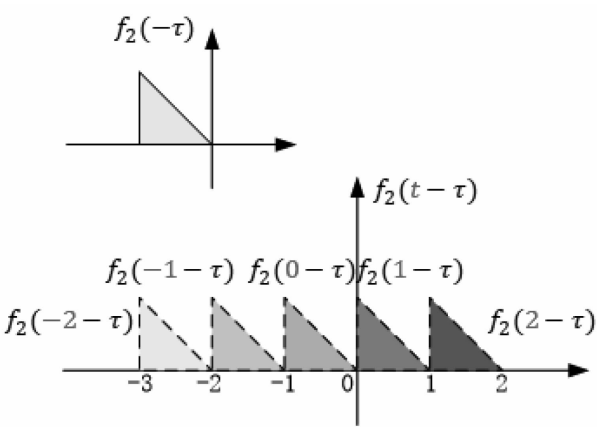


图 2 某 $f_2(-\tau)$ 函数的移位

本章的学习中,卷积积分不仅仅是个计算,更重要的是揭示了它们在时域相互作用的机理,即输入信号、输出信号和系统三者的关系。单位冲激响应 $h(t)$ 尽管是个信号,但是它是在时域用来描述系统的。时域分析是基础,后面频域或复频域分析需要回望时域分析。

第三章重点是傅里叶变换和采样定理,难点是周期信号的傅里叶级数和频谱、抽样信号的傅里叶变换。该部分线上教学分配 6 课时,线下分配 14 课时。

信号的频域分析为信号分析与处理提供了一种新的途径。陈老师通过“男女生声音”“滤除噪声”和“识别数字键”三个小例子直观地解释了在信号的分析时,为什么要引入频域分析(4.1 节)。理解频谱的概念,是从时域分析转向变换域分析的前提。结合下图和尹老师的“频率特性与频谱”(3.1 节),学生可直观理解信号时域表达和频谱之间的对应关系。

$$f(t) = 2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{4}\right) + \cos\left(2\pi t - \frac{\pi}{3}\right) + 0.5 \cos(3\pi t)$$

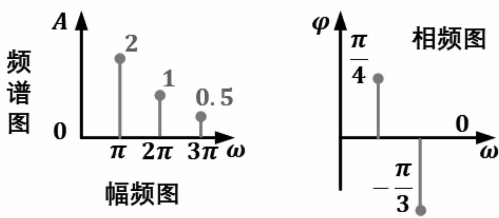


图 3 频率特性与频谱

为什么信号能分解成傅里叶级数,傅里叶系数怎么求,孟老师和尹老师也对此展开讲述(3.2 节)。先引入信号正交函数分解和完备正交函数集的概念,以矢量正交分解类比,两个矢量正交时,误差分量最小,因此,信号分解时采用正交分解。再根据方均误差最小原则来求最佳系数 c_{12} 。在正交分解的概念讲清楚后,再引入三角函数形式的傅

里叶级数的系数的求法。三角函数是个完备正交函数集,满足 Dirichlet 条件的信号可基于三角函数集分解,其系数是按求最佳系数 c_{12} 的方法得到。这样,学生就理解了傅里叶系数的由来。

$$c_{12} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} f_1(t) f_2^*(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} f_2(t) f_2^*(t) dt} \quad (2)$$

信号展开成傅里叶级数时的吉布斯现象,孟老师指出其与 Dirichlet 条件并不矛盾(3.3.7 节)。极限情况下的相等,公式(3)左右两边的函数误差是方均误差。函数的傅里叶级数不是逐点收敛,个别点出现过冲,但跳变点宽度为 0,所以仍是方均收敛。

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_1 t) + b_n \sin(n\omega_1 t)] \quad (3)$$

周期信号的傅里叶变换是教学难点。尹老师的计算推导清晰易记,单位冲激序列和它的傅里叶变换被形象地称为“两把梳子”,非常方便学生们记忆; $f(t)$ 和 $\delta(t-T)$ 的卷积式(4)被称为“复制”,引申到 3.10 节抽样信号的傅里叶变换中,信号的频谱和冲激序列的频谱相卷积式(5),被形象地称为“复制”多份频谱。

$$f(t) * \delta(t-nT) = f(t-nT) \quad (4)$$

$$F_s(\omega) = \frac{1}{2\pi} F(\omega) * [2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n \delta(\omega - n\omega_s)] \quad (5)$$

陈老师从物理概念的角度更深层次的解释了周期信号的傅里叶变换。周期信号的频谱和频谱密度函数本质上一致,在某些情况下,要同时处理周期信号和非周期信号,便于分析和处理(4.6 节)。抽样定理的本质是信号时域的离散化导致其频域的周期化(4.17 节)。时域周期化对应频域离散化。信号在时域中的相移,对应频谱函数在频域中的频域(4.7 节)。学生理解这些概念,再去记公式,事半功倍。

该章的学习中,信号的变换是把一个信号表示成另一类信号,它前面的加权系数称之为相应的变换。周期信号和非周期信号傅里叶变换的联系都是将时域信号表现成虚指数信号。

第四、五章的重点是复频域的拉氏变换、拉氏变换法分析电路、 $H(s)$ 求响应和模拟滤波器,难点是系统的频率响应和系统的物理可实现性。该部分线上教学分配 4 课时,线下分配 12 课时。

由于时域描述和频域描述有一定的局限性,所以引入复频域分析。复频域的信号表示和分解的

物理概念与时域和频域是一脉相承的,复频域的信号运算主要是拉氏变换和反变换的运算、系统函数求响应。

教材 4.5 节用拉氏变换方法求解电路响应时,需特别注意的是,画 0_- 等效电路,用来求解储能元件起始值;但是,列 s 域方程时,画 $t > 0$ 的 s 域等效模型,比如,电源 0_- 时刻是 $-E$, 0_+ 时刻是 $+E$,那么电源的单边拉氏变换是 E/s 。

教材 4.7 节和 4.8 节系统函数零极点分布决定时域和频响特性引用宫老师慕课,其利用矢量图演示了零极点分布,分析了低通、高通、带通滤波器的频响特性。孟老师指出对于很难求根的式子,系统的稳定性用罗斯-霍维序列判断(6.6 节)。陈老师给出了具有多级反馈的系统函数表达式,指出级联型或并联型框图比直接型更容易看出系统故障,复杂系统变为子系统,便于分析和实现。(6.9 节)。

系统的频率响应反映系统的物理量只与系统有关,输入是 $e^{j\omega t}$,输出也是它本身,改变的只是幅度加权或者相位。陈老师以“周期为 4 的矩形波通过不同 RC 参数系统的频率响应和时域波形”的简单示例,直观地将信号经过系统的时域和频域的表现统一联系起来(5.3 节)。滤波器滤除的是频率分量,所以频域上描述滤波器,滤波器的概念非常清晰(5.4 节)。不要以为相位失真无关紧要的,相位响应的斜率反映了系统的延时特性(5.5 节)。这些概念理清,就很容易理解连续时间信号的幅度调制与解调的一些示例(5.9 节)。

该章学习中,复频域的信号表示和信号分解,与时域和频域分析本质相同,也是将信号表示成另一类信号。拉氏变换将信号表现成复指数信号。

总之,“信号与系统”这门课程主要学习信号表示、系统描述和分析方法,而不是特别侧重于计算。因为工程中,很多问题没有数学表达式,更主要的是通过基本信号来建立时域和频域对应关系和感性认识,进而解决实际问题。

2.3 协同教学

关于第三个问题,改进措施是采用翻转课堂的形式。传统教学中,通常以任务点的形式在学习视频中设置问题,要求学生作答。而本课程通过反向操作,将不带问题的慕课视频发给学生,再让每位学生看完视频后,在线上讨论区发表一句话,可以是问题,也可以是对视频内容的理解。通过这种方式,主讲教师能全面掌握学情。之后,教师再将学生提出的问题汇总和分类,线下教学时统一解答。

另外,由于不同专业的学生,信号与系统的后续课程不同,那么,可以有针对性的根据专业设置结合后续课程进行授课。比如,在对微电子专业进行4.6节系统函数、4.7节和4.8节系统函数零、极点分布授课时,可以结合后续课程“集成电路原理”的放大器频率响应和负反馈进行讲解。

3 结语

“信号与系统”课程以学生为中心,重视概念理解,参考国内慕课精品课程,针对某些教学难点,探讨了对于数理基础较弱学生的教学方法。该课程获得2020年“省级线上优秀课堂”称号。在后续课程改革推进中,将探讨如何与专业结合更紧密,以提高学生的工程应用能力。

参考文献

[1]李涛,杨欣,费树岷,等. “信号与系统”课程教学的若干思考与实践[J]. 电气电子教学学报, 2018, 40(3):

24 – 27.
[2]郑君里, 应启珩, 杨为理. 信号与系统[M]. 北京: 高等教育出版社, 2011.
[3]Oppenheim A V. 信号与系统[M]. 第二版. 刘树棠译. 北京:电子工业出版社, 2013.
[4]徐守时, 谭勇, 郭武. 信号与系统理论、方法和应用[M]. 第二版. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2010.
[5]学堂在线 <https://www.xuetangx.com/>
[6]中国大学 MOOC(慕课)_国家精品课程在线学习平台 <https://www.icourse163.org/>
[7]杨威, 吴京, 韩韬, 等. “信号与系统”课程建设的SWOT分析[J]. 电气电子教学学报, 2021, 43(4): 46 – 48.
[8]陈后金, 胡健, 陶丹, 等. “信号与系统”慕课建设实践[J]. 电气电子教学学报, 2018, 40(1): 29 – 30.
[9]尹霄丽, 尹鹏, 林泊安, 等. 多课程融合的“信号与系统”实验教学改革[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(10): 192 – 195.
[10]宋琪. 基于慕课和微助教平台的翻转课堂教学实践[J]. 电气电子教学学报, 2021, 43(5): 6 – 9.