

基于认知图谱的电力电子实验课程 目标达成度评价方法^{*}

旷 怡¹, 段 斌¹, 李鸿儒², 章 兢¹

(1. 湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105;

2. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要:针对目前电力电子实验课程目标达成度评价中存在的主观性强、评估片面以及忽视过程性评估等问题,提出了一种基于认知图谱的电力电子实验课程目标达成度评价方法。首先,根据电源领域专业知识,从六个方面深入研究了电源拓扑和特性、工作模式、效率、控制、稳定性、精度、暂态响应、磁性元件等因素之间的相互影响,构建了开关电源认知图谱;其次,研究与分析了基于开关电源特定领域知识的认知测量模型;构建了开关电源实验项目与实验课程目标的关联矩阵;最后,对被测者进行降压稳压器认知能力评测,通过分析被测者试题作答反应,经期望后验估计和最大后验估计方法,分析并得到了被测者的电力电子实验课程目标达成度。

关键词:开关电源;认知图谱;课程目标

中图分类号:G423.04

文献标识码:A

文章编号:1000-5900(2018)06-0021-10

DOI:10.13715/j.cnki.nsjxu.2018.06.003

Evaluation Method of Power Electronics Experimental Course Objectives Achievement Based on Cognitive Graph

KUANG Yi¹, DUAN Bin¹, LI Hong-ru², ZHANG Jing¹

(1. College of Information Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105;

2. College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819 China)

Abstract: To avoid the disadvantages of strong subjectivity, one-sided evaluation and negligence of formative assessment in the current evaluation of the degree of achievement assessment in the power electronics experiment course, a method for evaluating the achievement degree of power electronic experiment course based on cognitive graph is proposed. Firstly, according to the subject matter experts in the field of power supply, the interaction among power supplies topologies and characteristics, modes of operation, efficiency, control, stability, accuracy, transient response, power magnetics, and other factors are deeply studied from six aspects and the cognitive graph of power electronics is built. Moreover, the cognitive psychometric model based on the specific knowledge of switch power supply is studied and analyzed. The correlation matrix between the switch power supply experimental items and the experimental course objectives is constructed. Finally, through the testing of Buck regulator cognitive ability and analyzing responses of examinees, the target achievement degree of the power electronic experiment course of examinees is obtained by using expected a posteriori estimation and the maximum a posteriori estimation method.

Key words: switch power supply; cognitive graph; course objectives

实验课程是高校培养学生达到毕业要求指标点的重要途径,在培养学生熟练运用理论知识能力、问题解决能力、动手能力和实践创新能力等方面起着关键且不可替代的作用^[1-2]。传统上,电力

^{*} 收稿日期:2018-11-05

基金项目:湖南省普通高等学校教学改革研究项目

通信作者:段斌(1966—),男,湖南湘潭人,教授。E-mail:db61850@163.com

电子实验课程目标达成度评价存在目标内容不完善、评估过程过于主观等弊端,使得评估结果较为片面,不能反映课程目标达成度评估的科学性和合理性。

因电力电子开关电源本身是一个复杂工程问题,涉及多方面的技术、工程和其他因素,包含多个相互关联的子问题,并可能相互之间有一定的冲突。在开关电源的研究与设计中,需考虑电感、电容等元器件对电路纹波、效率、负载暂态响应等指标的影响^[3]。因此,需构建开关电源认知图谱,将多因素与各性能指标关系显性化表达,反映电源领域中某些问题的真实认知。

在认知诊断能力评估中,许多心理学家和教育学者提出了约 100 种认知诊断模型^[4]。根据理论基础,可将已有的认知测量模型分成 4 类^[5]:潜在特质模型^[6]、基于非参数人工智能的方法、潜在分类模型和证据中心设计^[7]。其中,DINA 模型是潜在分类模型中的一种,是一个简单的随机连接模型,由于该模型中只包含失误系数和猜测系数,不仅简洁、灵活和易于解释,而且判准率较高,因此得到了广泛的理论和应用研究。

本文经深入研究学习德州仪器电源管理实验室套件降压稳压器实验手册,电源领域专业知识,研究了运行条件对效率的影响、无源器件和开关频率对电流和电压纹波的影响、穿越频率和无源器件对负载暂态响应的影响、电感饱和对电流和电压纹波的影响、电感特性对限流操作的影响、滞环控制的开关频率、纹波、偏移和抗扰能力等,构建了开关电源认知图谱;然后,研究与分析了基于开关电源特定领域知识的认知测量模型,构建了开关电源实验项目与实验课程目标的关联矩阵;最后,对被测者进行降压稳压器认知能力评测。通过分析被测者试题作答反应,得到开关电源实验项目的失误系数和猜测系数,经期望后验估计和最大后验估计方法,分析并得到了被测者的电力电子实验课程目标达成度。

1 开关电源认知图谱的构建

德州仪器大学计划推出了电源教学的电源管理实验室套件(power management lab kit, PM-LK),分别针对 LDO、Buck、Boost、Buck-Boost 等 4 种常用的电源拓扑,设计了多个由浅入深的实验。TI-PMLK Buck 涵盖了低功率 DC-DC 电源设计中的一些基本问题,如电源拓扑特性、工作模式、效率、控制策略、精度、暂态响应、噪声、磁性元件等^[8]。降压稳压器中涉及 TPS54160 和 LM3475 两款电源管理芯片。其中,TPS54160 器件是带有集成型高侧 MOSFET 的 60 V、1.5 A 降压稳压器。采用电流模式控制,提供了简单的外部补偿和灵活的元件选择;LM3475 是一个磁滞 P-FET 降压控制器。滞环控制拥有系统设计简单、无外部补偿、运行稳定、暂态响应快等优点,即使在轻负载条件下,磁滞控制也可提供高效运行。

TI-PMLK Buck 稳压器提供的 6 个实验场景分别为:运行条件对效率的影响;无源器件和开关频率对电流和电压纹波的影响;穿越频率和无源器件对负载暂态响应的影响;电感饱和对电流和电压纹波的影响;电感特性对限流操作的影响;滞环控制的开关频率、纹波、偏移和抗扰能力等。

1.1 运行条件对效率的影响

降压稳压器的损耗主要来自 MOSFET、二极管等开关器件和电感、电容等储能元件。

(1) MOSFET 的损耗有传导损耗 P_{MOSp} 、开关损耗 $P_{\text{MOS,sw}}$ 、栅极驱动损耗 $P_{\text{MOS,g}}$,如式(1)所示。

$$\begin{aligned} P_{\text{MOS}} &= P_{\text{MOSp}} + P_{\text{MOS,sw}} + P_{\text{MOS,g}} \\ &= R_{\text{ds}} D I_{\text{out}}^2 \alpha_{\text{pp}} + V_{\text{in}} I_{\text{out}} f_{\text{s}} t_{\text{sw}} + Q_{\text{g}} V_{\text{dr}} f_{\text{s}}, \end{aligned} \quad (1)$$

式中: R_{ds} 为 MOSFET 导通电阻; Q_{g} 为 MOSFET 栅极电荷; V_{dr} 为 MOSFET 栅极驱动器电压; t_{sw} 为 MOSFET 开关时间; f_{s} 为开关频率; α_{pp} 为电感纹波系数; Δi_{pp} 为电感电流纹波; D 为 MOSFET 的占空比。

$$D = t_{\text{ON}} / T_{\text{s}} = V_{\text{out}} / V_{\text{in}}. \quad (2)$$

(2) 二极管的传导损耗计算公式为

$$P_{\text{二极管}} = V_f(1-D)I_{\text{out}}, \quad (3)$$

式中: V_f 为二极管正向压降.

(3) 电感元件的绕组损耗 $P_{L,W}$ 和磁芯损耗 $P_{L,C}$ 分别为

$$P_L = P_{L,W} + P_{L,C} = ESR_L I_{\text{out}}^2 \alpha_{pp} + K_1 f_{xs} (K_2 \Delta i_{pp})^V, \quad (4)$$

式中, ESR_L 为电感等效串联电阻.

(4) 输入电容损耗 P_{Cin} 和输出电容损耗 P_{Cout} 计算公式如式(5)和式(6)所示.

$$P_{Cin} = ESR_{Cin} I_{\text{out}}^2 D(1-D), \quad (5)$$

$$P_{Cout} = \frac{1}{12} ESR_{Cout} \Delta i_{pp}^2, \quad (6)$$

式中: ESR_{Cin} 为输入电容等效串联电阻, ESR_{Cout} 为输出电容等效串联电阻.

由式(1)~(6)可知,电源损耗与电感电流纹波、输入电压、负载电流和开关频率等可观测量相关.

1.2 无源器件和开关频率对电流和电压纹波的影响

(1) 对于不饱和的电感,其纹波电流峰-峰值计算如式(7)所示.

$$\Delta i_{pp} = V_{\text{out}}(1-D)/(f_s L). \quad (7)$$

由式(2)和式(7)可知,输入电压和开关频率对电感电流纹波有很大影响.当输入电压增大和开关频率减小时,纹波将增加.

(2) 对于饱和的电感,其纹波电流峰值会比不饱和电感情况下要大,

$$\Delta i_{pp} > V_{\text{out}}(1-D)/(f_s L). \quad (8)$$

(3) 对于高 ESR 滤波电容(电解电容),电压纹波取决于 ESR 和电流纹波 Δi_{pp} ,

$$\Delta V_{\text{outpp}} = ESR \Delta i_{pp}. \quad (9)$$

由式(9)可知,电解电容的电压纹波仅与电感纹波成正比.

(4) 对于低 ESR 滤波电容(陶瓷电容),输出电压纹波为

$$\Delta V_{\text{outpp}} = \Delta i_{pp}/(8f_s C_{\text{out}}). \quad (10)$$

式(9)和式(10)表明,陶瓷电容对于开关频率呈现出强得多的敏感性:如果我们将开关频率加倍,则纹波变为四分之一,而若是电解电容则变为一半.

(5) 当输入电容足够大时,输入电流纹波为:

$$\Delta i_{\text{inpp}} = I_{\text{out}} D(1-D)/(f_s C_{\text{in}}). \quad (11)$$

由式(11)可得,输入电流纹波与负载电流成正比,与开关频率成反比,并在占空比 D 为 0.5,即输入电压高出输出电压两倍时,具有最大值.

(6) 当输入电容足够小时,输入电流纹波为:

$$\Delta i_{\text{inpp}} = I_{\text{out}} + \Delta i_{pp}/2. \quad (12)$$

1.3 穿越频率和无源器件对负载暂态响应的影响

降压稳压芯片 TPS54160 的控制方式为峰值电流控制(peak current-mode control, PCC),其电压反馈环路补偿对电流模式控制的降压稳压器的负载暂态响应有影响,即采用不同的输出电容和反馈补偿组合,降压稳压器的负载暂态响应会不一样.

PCC 降压稳压器的电压环路增益为

$$T(s) \cong \frac{T_o}{H_s} \frac{1+s/\omega_{zps}}{1+s/\omega_{pps}} \frac{\omega_{oca}}{s} \frac{1+s/\omega_{zca}}{1+s/\omega_{pea}}, \quad (13)$$

其中,

$$\begin{cases} T_o = gm_{ps} V_{out} / I_{out}, \\ \omega_{zps} = 1 / (ESR_{Cout} C_{out}), \\ \omega_{pps} = I_{out} / (V_{out} C_{out}), \\ H_s = 1 + s / (Q_s \pi f_s) + s^2 / (\pi f_s)^2, \\ Q_s = 1 / [\pi(2(1-D) - 0.5)], \end{cases} \quad (14)$$

式中: gm_{ps} 表示 PCC 降压稳压器的跨导, $\{R_g, R_i\}$ 为电压传感器, $\{C_{f1}, C_{f2}, R_{f2}\}$ 是反馈阻抗, 决定了环路增益的以下要素:

$$\begin{cases} \omega_{oea} = gm_{OTA} H / C_{f2}, \\ \omega_{zea} = 1 / (R_{f2} C_{f2}), \\ \omega_{pea} = 1 / (R'_{f2} C'_{f1}), \\ H = R_g / (R_g + R_i) = V_{ref} / V_{out}, \\ R'_{f2} = R_{f2} R_{OTA} / (R_{f2} + R_{OTA}), \\ C'_{f1} = C_{f1} + C_{OTA}. \end{cases} \quad (15)$$

式(13)~(15)表明 TPS54160 PCC 降压稳压器的环路增益特性及其负载暂态响应取决于输入电压、负载电流、输出电容和反馈阻抗. 降压稳压器电压环路增益的穿越频率由反馈补偿误差放大器的极点和零点位置所决定. 如果误差放大器在设计上旨在实现高穿越频率, 则环路增益将在更宽的频率范围内具有更高的幅度(从 0 rad/s 到 ω_c rad/s), 环路增益大于 0 dB.

较高的穿越频率可确保 PCC 降压稳压器更快地响应负载暂态变化. 这样可以减小输出电压浪涌的幅度. 控制器对负载扰动的反应加快, 缩短了输出电容在电感电流和负载电流之间维持不平衡状态所需的时间间隔长度.

负载暂态响应中的振荡由补偿的环路增益的相位裕度所决定. 理论上, 大于 52° 的相位裕度可确保暂态浪涌没有振荡. 由于 PCC 固有的采样机制, 在 $1/2$ 开关频率 f_s 处引入了一个极点, 相位裕度受该极点影响. 如果穿越频率 f_c 需要固定在高于 $f_s/20$ 处以便在大幅的负载扰动下实现良好的暂态性能, 则必须在误差放大器的设计中考考虑采样极点的相位滞后效应.

1.4 电感饱和对电流和电压纹波的影响

不同的电感磁芯材料类型有不同的饱和特性, 在不同的运行条件下, 对降压稳压器的电流纹波和电压纹波的影响不同. 在开关电源中, 电感元件磁芯主要采用铁氧体磁芯和磁粉芯. 其中, 铁氧体磁芯电感的动态电感量随电流的变化为

$$L_d = L_{sat} + (L_{nom} - L_{sat}) \left[\frac{1}{2} - \frac{\tan^{-1}[\sigma(I - I_L^*)]}{\pi} \right], \quad (16)$$

式中: L_d 为动态电感量, 指通有电流后的电感量或实际使用时的电感量; L_{nom} 是静态电感量, 也是电感的标称值, 指电感电流为 0 时的电感量; L_{sat} 表示深度饱和的电感的电感量; 系数 σ 由电感类型、磁芯材料和温度决定.

磁粉芯电感的动态电感量随电流的变化为

$$L_d = L_{nom} - \frac{L_{nom} - L_{30\%}}{I_{30\%}} I, \quad (17)$$

式中: L_{nom} 是电流为零时的标称电感; $I_{30\%}$ 是满足 $L(I_{30\%}) = 0.70 \cdot L_{nom}$ 条件的 30% 饱和电流.

由式(16)和式(17)可知, 铁氧体磁芯随着电感的增加, 在小电流的条件下电感量变化不大, 而在大电流的条件下, 因磁芯的急剧饱和作用使得电感量骤降; 磁粉芯电感的电感量随电流的增加呈一种更加温和、更加线性的方式下降. 进一步地, 由电感电流纹波峰-峰值 Δi_{pp} 计算式(7)可得, 在低负载电流时, 铁粉磁芯电感比铁氧体磁芯电感具有更高的电流纹波, 而在高负载电流时的情况则正好相反.

1.5 电感特性对限流操作的影响

在TPS54160降压稳压器中,当负载电流增加时,电压传感器会检测到输出电压的下降,使得反馈控制电压 V_c 增大,平均电感电流增大。降压稳压器能够提供的最大负载电流由内部TPS54160电流限制功能决定。电流限制功能将在控制电压 V_c 达到特定的电平 V_{cmax} 时激活。发生此情况时,输出电压 V_{out} 会降低至低于标称值。电流限制功能的激活受控于平均负载电流以及电感电流纹波峰-峰值,进而又取决于电感的输入电压 V_{in} 、开关频率 f_s 和电感 L 。根据磁芯材料的类型,随着电流增大,电感可能在高电流时饱和,而饱和时不同磁芯类型的电感其电感值减小的程度不同。因此电感的类型会影响电流限制行为。

基于1.4节的结论,随着电流的增加,铁氧体磁芯会急剧饱和,而磁粉芯电感的饱和过程更温和。因此,在高负载电流时,磁粉芯电感具有比铁氧体电感允许提供更高的最大电流,具有更高的负载电流限制。

1.6 滞环控制的开关频率、纹波、偏移和抗扰能力

目的是分析磁滞降压稳压器的开关频率 f_s 、直流精度和输入噪声抑制功能如何受输入电压、负载电流、输出电容和加速电容特性的影响

(1) 当基于芯片LM3457的磁滞降压稳压器为稳态运行状态时,实际输出电压平均值和纹波以及开关频率为

$$\Delta V_{out} \cong V_{outnom} + \frac{(V_i - 2V_{outnom})t_d ESR}{2L}, \quad (18)$$

$$\Delta V_{outpp} \cong \frac{V_{HYST} V_{outnom}}{V_{ref}} + \frac{V_i t_d ESR}{L}, \quad (19)$$

$$f_s \cong \frac{(1-D)ESR}{\frac{V_{HYST}L}{V_{ref}} + \frac{V_{in}t_d ESR}{V_{outnom}}}, \quad (20)$$

式(20)成立条件为:

$$C > \max\{D, 1-D\} / (2f_s ESR). \quad (21)$$

由式(18)~式(21)可知,在磁滞降压稳压器中,输入电压是开关频率的主要影响因素。其物理原因在于,磁滞降压稳压器中,MOSFET的关断时间取决于输出电压和电感值,而导通时间随着输入电压增加而减少。另一方面,输出电容的ESR是开关频率的主要影响因素。

(2) 当磁滞降压稳压器为暂态运行状态时,输出电压浪涌幅度 ΔV_{out} 为

$$\Delta V_{out} = ESR \Delta I_{out}. \quad (22)$$

由式(22)可知,负载暂态变化时输出浪涌电压取决于输出电容的ESR,并可在负载电流的电流变化速率较高时清晰可见。为了让磁滞稳压器在高频率下工作并提供良好的输入噪声抗扰性,需要采用高ESR,但这对负载暂态响应有适得其反的效果。

基于上述电源特定领域知识,依据研究与设计开关电源所需的认知技能,构建了开关电源认知图谱,如图1所示。图1中圆形符号表征该变量为能力变量,倒三角符号表示证据变量,方框表示实验项目场景。

2 电力电子实验课程目标达成度评估方法

2.1 基于开关电源特定领域知识的认知测量模型

专家通过对被测者的实验项目结果数据,经认知测量模型,实现对被测者的知识与能力的测量与评估。在认知测量模型中,DINA(deterministic inputs, noisy “and” gate)模型旨在对被测者的多维课程目标进行建模分析,它能够在精准建模被测者的学习状态的同时保证较好的可接受性^[9-10]。DINA模型通过开关电源实验与课程目标关联 Q 矩阵的信息,构建被测者对实验项目的得

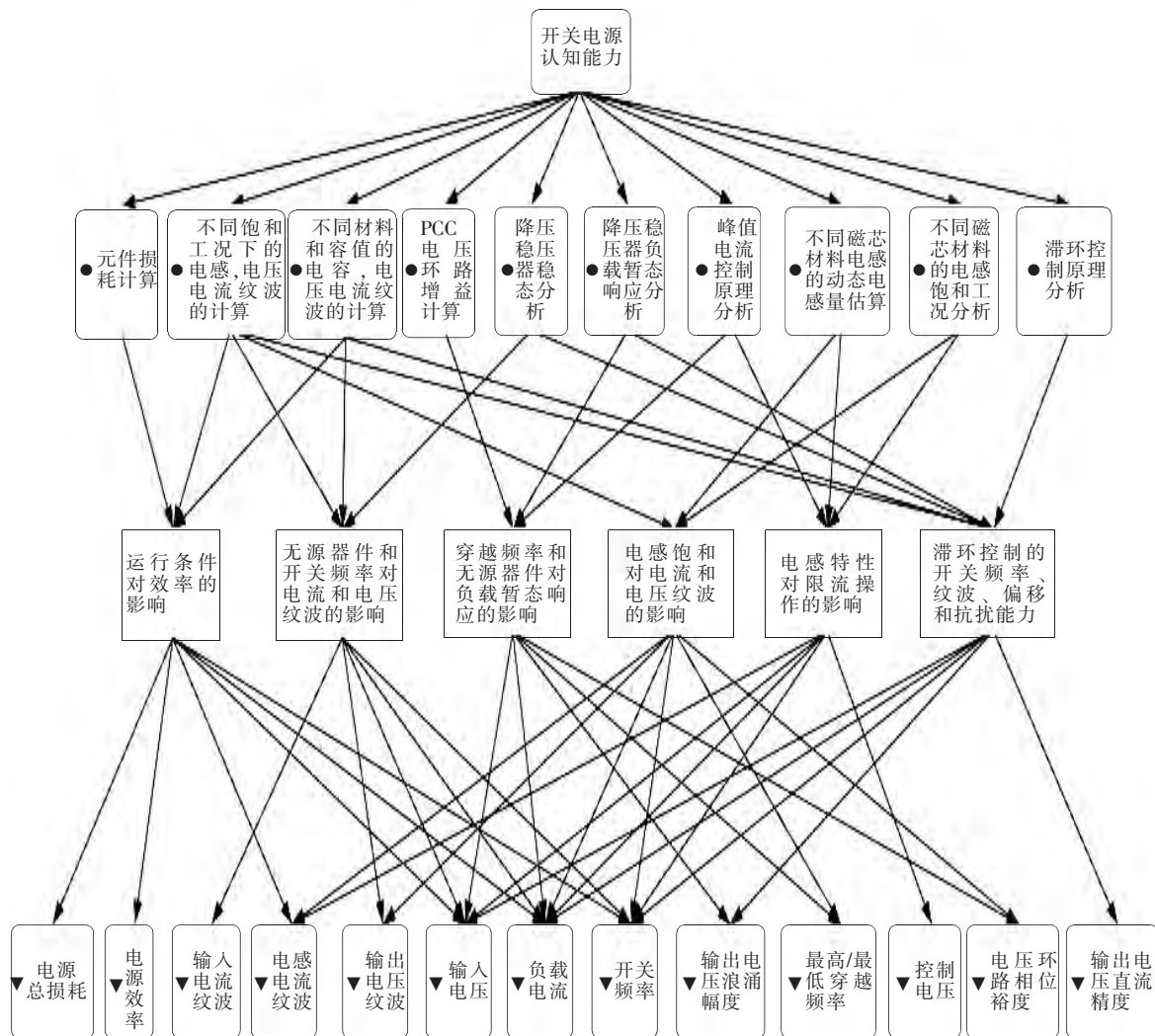


图 1 开关电源认知图谱

Fig.1 Switch power supply cognitive graph

分矩阵,借此来测量被测者的课程目标达成度.一般假设各实验项目作答相互独立,满足伯努利分布.当有 I 个被测者, J 个实验项目和 K 个课程目标时, DINA 模型的潜在得分变量 η_{ij} 可以表示为^[11]

$$\eta_{ij} = \prod_{k=1}^K \alpha_{ik}^{q_{jk}}, \quad (23)$$

式中, $\alpha_{ik} = 1$ 或 0 , 表示被测者 i 达成或没有达成课程目标 k , $\alpha_{ik} = \{\alpha_{1k}, \alpha_{2k}, \dots, \alpha_{ik}\}$ 表示被测者的潜在能力矩阵, 反映达成课程目标 k 需要具备的能力; 矩阵 $Q = \{q_{jk}\} J \times K$; η_{ij} 反映了被测者 i , 在实验项目 j 对应的课程目标达成情况. 在引入失误率 s 和猜测率 g 两种项目参数后, 实际响应矩阵 $X = \{X_{ij}\} I \times J$ 的概率模型, 即被测者 i 具备 α_i 的条件下, 正确完成实验项目 j 的概率为

$$P_j(\alpha_i) = P(X_{ij} = 1 | \alpha_i, \Omega_j) = \begin{cases} 1 - s_j, & \eta_{ij} = \prod_{k=1}^K \alpha_{ik} = 1 \\ g_j, & \eta_{ij} = \prod_{k=1}^K \alpha_{ik} = 0 \end{cases} = g_j^{1-\eta_{ij}} (1 - s_j)^{\eta_{ij}}, \quad (24)$$

式中: $\Omega_j = (g_j, s_j)$ 是一个项目参数矢量. 其中, $g_j = P(X_{ij} = 1 | \eta_{ij} = 0)$ 表示未达成实验项目 j 的课程目标的被测者, 正确完成实验项目 j 的概率, 即猜测率; $s_j = P(X_{ij} = 0 | \eta_{ij} = 1)$ 定义为达

到实验项目 j 的课程目标的被测者,未能正确完成实验项目 j 的概率,即失误差。

2.2 开关电源实验与课程目标的关联矩阵

依据图1开关电源认知图谱设计了16个开关电源实验。根据电源领域专家(subject matter experts, SMEs)制定了开关电源实验与课程目标的关联矩阵,如表1所示。其中,灰色表示该实验能考察该课程目标是否达成,而白色则表示不能考察。开关电源实验与电力电子实验课程目标关联矩阵表代码的部分解释见表1下方的注释。

表1 开关电源实验与课程目标关联矩阵

Tab.1 Switch power supply experimental items and course objectives correlation matrix

实验	课程目标										
	1		2		3		4		5		
	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	3-1	3-3	4-1	4-3	5-2	5-3
实验 1	S1-1	S1-2					S1-3	S1-4		S1-5	
实验 2	S2-1	S2-2						S2-3		S2-4	S2-5
实验 3	S3-1	S3-2						S3-3	S3-4	S3-5	
实验 4	S4-1	S4-2	S4-3		S4-4		S4-5	S4-6	S4-7	S4-8	S4-9
实验 5	S5-1									S5-2	S5-3
实验 6	S6-1				S6-2					S6-3	S6-4
实验 7	S7-1		S7-2	S7-3		S7-4	S7-5		S7-6	S7-7	S7-8
实验 8				S8-1		S8-2		S8-3		S8-4	S8-5
实验 9	S9-1				S9-2					S9-3	S9-4
实验 10	S10-1	S10-2	S10-3		S10-4		S10-5	S10-6	S10-7	S10-8	S10-9
实验 11	S11-1	S11-2			S11-3	S11-4	S11-5	S11-6	S11-7	S11-8	S11-9
实验 12		S12-1		S12-2	S12-3	S12-4		S12-5		S12-6	S12-7
实验 13		S13-1			S13-2	S13-3				S13-4	S13-5
实验 14			S14-1	S14-2							S14-3
实验 15		S15-1	S15-2		S15-3				S15-4	S15-5	S15-6
实验 16			S16-1				S16-2			S16-3	

注:

实验1:输入电压对效率的影响

实验2:开关频率对效率的影响

实验3:负载电流对效率的影响

实验4:输入输出电容对输入电流纹波和输出电压纹波的影响

实验5:输入电压对输入电流纹波和输出电压纹波的影响

实验6:开关频率对输入电流纹波和输出电压纹波的影响

实验7:反馈补偿对电流模式控制型降压稳压器的负载暂态响应的影响

实验8:运行条件和输出电容对磁滞降压稳压器的负载暂态响应的影响

实验9:电感饱和和对动态电感量的影响

实验10:电感饱和和对电感电流纹波和输出电压纹波的影响

实验11:不同类型的电感在磁芯饱和时对电流限制行为的影响

实验12:开关频率对使用不同类型电感时降压稳压器的电流限制行为的影响

实验13:输出电容对使用不同类型电感时降压稳压器的电流限制行为的影响

实验14:运行条件和输出电容对磁滞降压稳压器的电感电流纹波的影响

实验15:运行条件和输出电容对磁滞降压稳压器的输出电压直流精度和纹波峰峰值的影响

实验16:运行条件和输出电容对磁滞降压稳压器的开关频率的影响

课程目标1-3:掌握电路、电子技术基础、电磁场等电气类工程基础知识,并具有分析工程问题的能力。

课程目标1-4:能够综合运用所学知识解决电气工程、船舶电力系统、电气设备自动化及相关领域复杂工程问题。

课程目标2-1:掌握文献检索方法,并通过研究分析电气工程、船舶电力系统、电气设备自动化及相关领域复杂工程问题。

课程目标 2-2:能够利用数学、自然科学和工程科学基本原理对电气工程、船舶电力系统、电气设备自动化及相关领域复杂工程问题进行准确识别和表达。

课程目标 2-3:能够通过工程原理、工程方法和文献研究综合对电气工程、船舶电力系统、电气设备自动化及相关领域复杂工程问题进行分析,并获得有效结论。

课程目标 3-1:能够针对电气工程、船舶电力系统、电气设备自动化及相关领域复杂工程问题明确设计需求,设计解决方案。

课程目标 3-3:在设计环节中体现创新意识,考虑社会、健康、安全、法律、文化以及环境等因素。

课程目标 4-1:能够运用科学原理及专业知识,针对电气工程、船舶电力系统、电气设备自动化及相关领域复杂工程问题进行研究。

课程目标 4-3:能够参照理论模型对实验数据进行分析 and 解释,并得到有效结论。

课程目标 5-2:具有开发、选择与使用恰当的技术、资源、现代工程工具和信息技术工具的能力。

课程目标 5-3:能够使用现代化工程工具与信息技术工具对复杂工程问题进行建模、预测和模拟,并在实践过程中理解其局限性。

S1-1:掌握等效电路的概念和特点,基尔霍夫定律,能分析降压电路的等效电路的原理。

S1-2:运用 MOSFET 损耗的计算,能对降压稳压器输入电压值和开关频率之间的相关性进行分析

S1-3:能使用二端口网络模型简化降压稳压器输入输出之间的关系,在满足输出条件的同时,对电气性能进行优化调整。

S1-4:掌握降压电路原理,MOSFET 元件损耗的计算公式,能分析和解释输入电压对降压电路效率的影响。

S1-5:能够使用 WEBENCH 仿真工具,对 TPS54160 芯片的降压电路进行设计,建模,仿真分析输入电压对效率的影响。

S2-1:掌握 LC 谐振产生的条件,能分析在降压电路实验中振铃产生的原因。

S2-2:运用 MOSFET 损耗的计算,能对降压稳压器输入电压值和开关频率之间的相关性进行分析。

S2-3:掌握降压电路原理,MOSFET 元件的损耗的计算公式,能分析和解释开关频率对降压电路效率的影响。

S2-4:能够使用 WEBENCH 仿真工具,对 TPS54160 芯片的降压电路进行设计,建模,仿真分析开关频率对效率的影响。

S2-5:能够使用 WEBENCH 仿真工具对基于 TPS54160 芯片的降压电路进行仿真并做实验,通过仿真波形和实验波形的比较发现仿真工具的局限性,并提出改善方法;通过分析振荡数学模型,找到减小振荡的方法。

2.3 实验测试结果数据分析方法

根据被测者对于开关电源实验项目的完成情况和所选择的 DINA 模型,采用期望后验估计(expected a posteriori, EAP)和最大后验概率估计方法(maximum a posteriori, MAP)对被测者的课程目标的达成情况进行计算。

(1) EAP 估计值一般是 0~1 之间的概率,即每个被测者达成课程目标的期望后验概率。被测者 i 在第 1 个课程目标上的 EAP 估计值为

$$\alpha_{\text{EAP},k}^{\wedge} = \sum_{l=1}^{2^k} \alpha_{l,k} P(\alpha_l | X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij}), \quad (25)$$

$$\alpha_{\text{EAP},k}^{\wedge} = [\alpha_{\text{EAP},1}, \alpha_{\text{EAP},2}, \dots, \alpha_{\text{EAP},k}]. \quad (26)$$

(2) 采用 MAP 算法对被测者的知识点与课程目标的达成情况进行计算,被测者课程目标能力达成度的估计值为

$$\alpha_{\text{MAP}}^{\wedge} = \arg \max_{l=1,2,\dots,2^k} P(\alpha_l | X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij}), \quad (27)$$

式中, $P(\alpha_l | X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij})$ 为观测到被测者 i 的实验 j 的完成情况,达成 α_l 课程目标的概率。由贝叶斯定理,可得

$$\begin{aligned} & P(\alpha_l | X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij}) \\ &= \frac{P(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij} | \alpha_l) P(\alpha_l)}{P(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij} | \alpha_l) P(\alpha_l) + \dots + P(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij} | \alpha_{2^k}) P(\alpha_{2^k})} \\ &= \frac{P(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij} | \alpha_l) P(\alpha_l)}{\sum_{m=1}^{2^k} P(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij} | \alpha_m) P(\alpha_m)}, \end{aligned} \quad (28)$$

其中,

$$P(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ij} | \alpha_i) = \prod_{j=1}^J P_j(\alpha_i)^{X_{ij}} (1 - P_j(\alpha_i))^{1-X_{ij}}. \quad (29)$$

3 案例分析和结果

受实验条件限制,将16个实验所涉及的知识点设计成测试题目.以问卷调查的形式发放给某高校27个学生进行测试.测试评定依据为,学生答对试题即表征已达成了相应的毕业要求指标点,记为1,否则说明未达成,记为0.专家依据实验项目测试评定依据得到被测者的得分矩阵,然后通过期望后验估计与最大后验概率估计方法,得到被测者的课程目标达成度评估结果.

3.1 实验项目参数估计

实验项目的非失误率与猜测率估计值,如图2所示.一般认为,实验项目参数的失误率与猜测率小于0.4,则说明实验项目具备较高的合理性和有效性.由于数据量不充足,问卷中试题1,4,5,8失误率与猜测率结果不佳,后期工作中可通过增加样本量减少噪音.

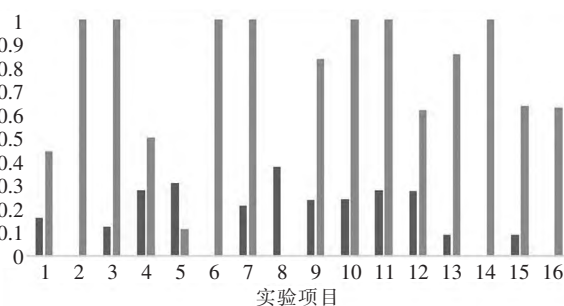


图2 实验项目参数

Fig.2 Experimental items parameters

3.2 被测者课程目标达成度评估依据与结果分析

EAP分析结果如图3所示,可知部分被测者stu1~stu10达成课程目标obj1~obj11的概率.

MAP分析结果如图4所示,可知被测者是否达成课程目标1~11,达成则为1,否则为0.

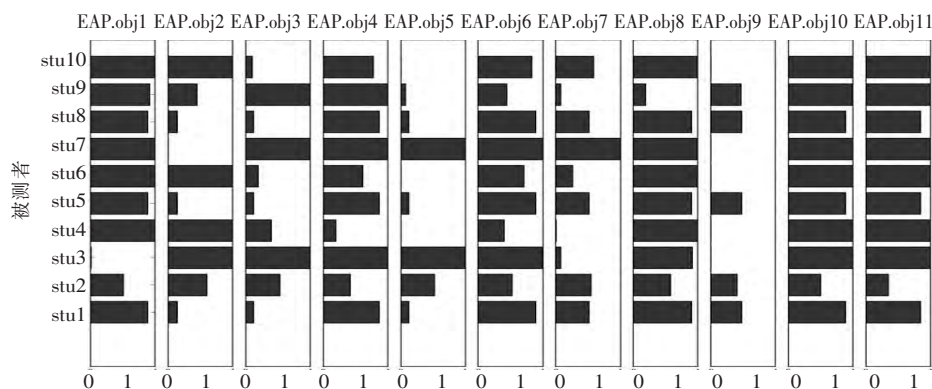


图3 EAP分析结果(部分)

Fig.3 Portion of EAP analysis results

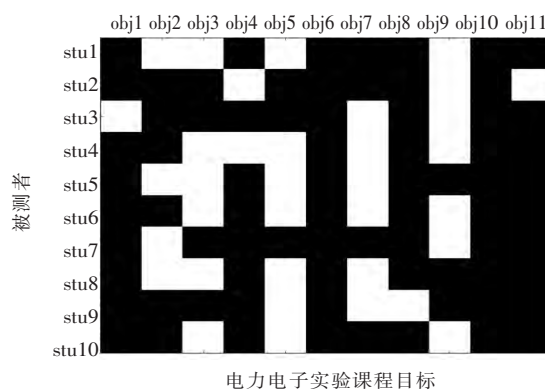


图4 MAP分析结果(部分)

Fig.4 Portion of MAP analysis results

4 结论与展望

(1) 依据德州仪器电源教学的电源管理实验室套件和电源领域专业知识,构建了开关电源认知图谱,表征了电源拓扑特性、磁性元件、控制方式等因素之间的相互影响关系。

(2) 基于开关电源认知图谱构建了开关电源实验与电力电子实验课程目标的关联矩阵,并详细阐述了电力电子实验课程目标,为电力电子实验课程目标达成度评估提供了依据。

(3) 基于开关电源特定领域知识的认知测量模型,研究与分析了基于开关电源认知图谱的电力电子实验课程目标达成度评价方法。基于降压稳压器认知能力评测,通过分析被测者试题作答反应,经期望后验估计和最大后验估计方法,分析并得到了被测者的电力电子实验课程目标是否达成。

(4) 基于认知图谱的电力电子实验课程目标达成度评估方法,提升了课程目标评价的科学性,可用于其他专业的实验课程目标达成度评估,具有普适性。

参 考 文 献

- [1] 王颖,李美花,王伟. 电类基础实验课考核方式的改革与实践[J]. 教育教学论坛, 2016,39:108-109.
- [2] 韩绍程,罗长杰,马银飞,等. 电类基础实验教学评价与考核方式改革设想[J]. 实验室科学, 2017,20(3):112-114.
- [3] 刘丽婊,刘金海. 一种开关电源环路补偿的工程设计方法[J]. 湘潭大学自然科学学报, 2016(4):94-97.
- [4] 辛涛,乐美玲,张佳慧. 教育测量理论新进展及发展趋势[J]. 中国考试, 2012(5):3-11.
- [5] 陈秋梅,张敏强. 认知诊断模型发展及其应用方法述评[J]. 心理科学进展, 2010, 18(3):522-529.
- [6] Embretson S E, Yang X. A multicomponent latent trait model for diagnosis[J]. Psychometrika, 2013, 78(1): 14-36.
- [7] Almond R G, Mislevy R J, Steinberg L S, et al. Bayesian networks in educational assessment[M]. Springer, 2015:26-38.
- [8] Nicola Femia. Power management lab kit buck experiment book [M]. Texas Instruments, 2016.
- [9] Culpepper S A. Bayesian estimation of the dina model with gibbs sampling[J]. Journal of Educational & Behavioral Statistics, 2015, 40(5):454-476.
- [10] Gu Y, Xu G. The sufficient and necessary condition for the identifiability and estimability of the dina model [J]. Psychometrika, 2018: 1-16.
- [11] 王超,刘淇,陈恩红,等. 面向大规模认知诊断的 DINA 模型快速计算方法研究[J]. 电子学报, 2018,46(5): 1047-1055.