

基于电感磁芯材料饱和特性的指标点达成度智能评价

旷 怡, 段 斌, 杨宇佳, 吕梦平, 吴俊锋

(湘潭大学 信息工程学院, 湖南 湘潭 411105)

摘要: 针对目前高校工程教育认证中有关毕业要求指标点达成度评价中“算分法”存在的问题, 本文分析了以证据为中心的毕业要求指标点评估模型, 以研究电感饱和对电流和电压纹波的影响为例, 基于贝叶斯心理测量模型搭建了熟练度模型、任务模型和证据模型, 依据贝叶斯网络推理, 有效实现了毕业要求指标点达成度的智能评价。最后, 在贝叶斯网络分析软件 Netica 中搭建了毕业要求指标点达成度智能评价模型, 并进行了仿真实验, 仿真验证了所提方法的正确性和有效性。

关键词: 电源; 贝叶斯心理测量模型; 毕业要求指标点; 智能评价

中图分类号: G423.04

文献标识码: A

文章编号: 1008-0686(2019)01-0011-05

Evaluation of Power Supply Research Based on Bayesian Psychometric Modeling

KUANG Yi, DUAN Bin, YANG Yu-jia, LV Meng-ping, WU Jun-feng

(Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstract: To avoid the disadvantages of current "scoring method" in the evaluation of target acquisition degree of graduation for engineering education certification in the college, this paper analyzes the evaluation model of graduation requirements index point based on evidence-centered design. The proficiency model, task model and evidence model are built based on Bayesian psychometric model with the example of the studying of impact of the inductor saturation on current and voltage ripple. According to Bayesian network reasoning, the intelligent evaluation of graduation requirement index point is effectively realized. Finally, the intelligent evaluation model of graduation requirement index point achievement degree is constructed with Bayesian network analysis software Netica, and the simulation experiment is carried out. Experimental results indicate that the correctness and effectiveness of the proposed method.

Keywords: power supply; Bayesian psychometric model; graduation requirements index point; intelligent evaluation

0 引言

自2016年6月我国成为《华盛顿协议》正式成员, 基于学习产出的教育模式 OBE(outcomes-based education) 的探索与研究在国内广泛展开, 这对工程教育认证具有现实意义。协议中提出了12条

毕业要求, 这已经成为各个学校培养工程应用型人才的标准。2014年下半年以来, 参加工程教育认证的专业普遍采用“算分法”进行教学目标达成度评价。但是, 算分法不能真实反应学生毕业要求达成度和教师教学目标达成度, 导致教学质量评估的效度和信度大大降低。

收稿日期: 2018-02-03; 修回日期: 2018-05-11

基金项目: 湖南省普通高等教育教学改革研究项目: 风电场有功出力 and 风电机组负荷协调优化方法(61379063)

作者简介: 旷怡(1994-), 女, 博士研究生, 研究方向为电力电子技术, E-mail: 571577646@qq.com

段斌(1966-), 男, 博士, 教授, 主要从事电力电子技术教学和研究工作, E-mail: db61850@163.com

基于以证据为中心 ECD (Evidence - centered Deign) 的毕业要求指标点达成度评价能解决上述问题, 弥补传统算分法的缺陷。ECD 是一种从证据论证的角度构建教育评价的方法, 它的概念评估框架包括熟练度模型、任务模型和证据模型等。基于此框架能根据学习者的作品信息证据推断学生掌握的知识与能力^[1]。

然而, 在毕业要求指标点达成度评估中, 学生完成任务的过程中具有不确定性, 仅从任务完成结果的角度进行评估是片面的。为此, 建议采用一种基于概率推理的贝叶斯网络, 以解决评价中的不确定性问题。

基于项目反应理论的认知诊断理论, 研究被试者潜在能力估计可以采用现代统计方法和计算机技术用于诊断被试者的认知结构和认知过程^[2]。贝叶斯估计方法能依据被试者的先验知识, 基于贝叶斯原理, 估计被试者能力。因此, 心理测量学的贝叶斯方法与相关潜在变量建模情景在教育评估中得到了广泛的应用^[3~4]。

本文主要针对目前高校工程教育认证中有关毕业要求指标点达成度评价中“算分法”存在的问题, 分析了基于 ECD 的毕业要求指标点评估模型, 以研究电力电子开关电源中电感饱和对电流和电压纹波的影响为例, 基于贝叶斯心理测量模型搭建了熟练度模型、任务模型和证据模型, 依据贝叶斯网络推理, 有效实现了毕业要求指标点达成度的智能评价。

1 电力电子毕业要求指标点达成度评价

电力电子开关电源中电感饱和对电流和电压纹波影响的学习内容, 其毕业要求指标点 4.2 达成度评价 Toulmin 图如图 1 所示^[5]。该图表征了教学目标、毕业要求和任务之间的联系, 目的是从学生设计的实验系统数据信息中, 通过对电感电流纹波、输出电压纹波、负载电流和输出电压进行分析与测试, 经贝叶斯网络推理得到教学目标及毕业要求指标达成的概率。支撑这一推理的是论据。然而, 在电力电子开关电源电感设计中, 学生完成任务的过程中具有不确定性, 比如学生可能是在他人的帮助下完成的, 或者沿用了先前学生的实验电路得到的正确结果。这些情况下, 仅从结果的角度便下结论其指标点是达成的并不妥当, 因为若更改电路运行条件, 则学生可能无法顺利完成实验, 答辩情况不会理想。因此, 应引入概率来表征毕业要求指标点达成度的不确定性。

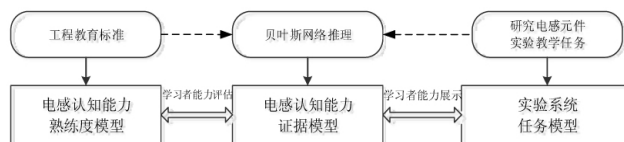


图 2 开关电源中电感元件 ECD 评价体系

2 开关电源中电感元件 ECD 评价体系

开关电源中电感元件 ECD 评价体系由熟练度

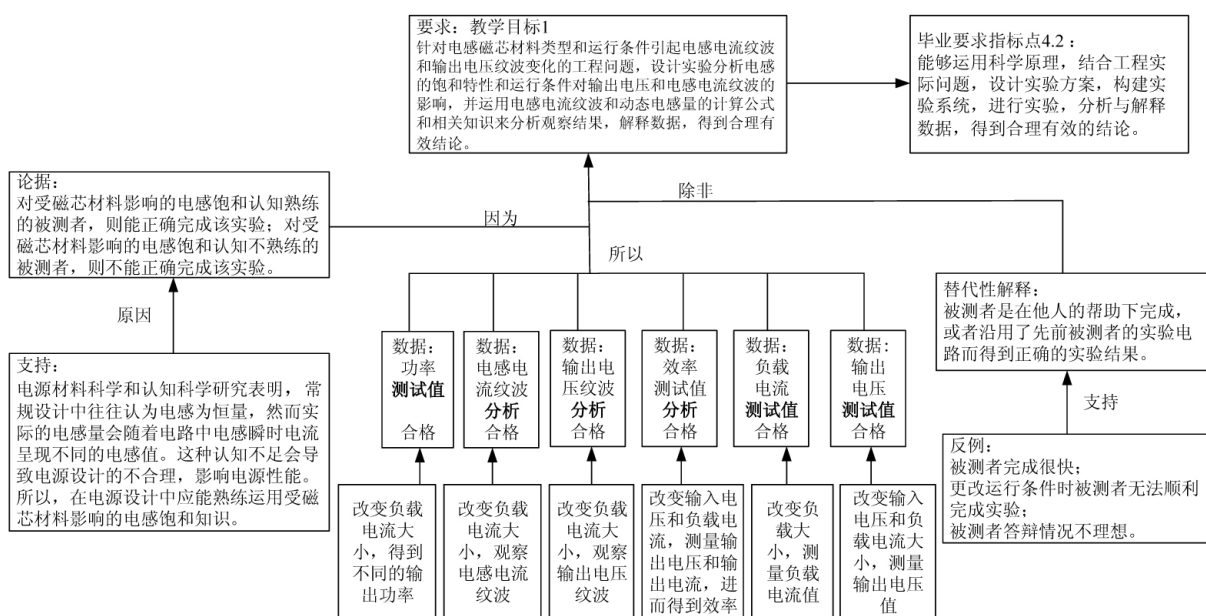


图 1 毕业要求指标点 4.2 达成度评价 Toulmin 图

模型、证据模型和任务模型构成,如图2所示。

其中,电感知熟练度模型依据电源复杂工程问题特征点、工程教育专业认证华盛顿协议知识和能力要求、CDIO教学大纲三种工程教育标准构建,它们代表了与学生掌握的知识、技能等密切相关的潜在变量,分为专家与新手两个等级;证据模型表征了学生与电感元件本身的关键特征,提供熟练度模型的证据,并依据贝叶斯网络推理知识得到证据模型变量达标的概率;任务模型是一种通用框架,用于设计符合熟练度模型中某些证据要求的任务,每个任务是任务模型的实例化^[6]。任务模型描述了应该设计什么样的实验任务来获得证据模型中所需要的证据。

2.1 电感知熟练度模型

熟练度模型定义了与学生掌握的电感设计的知识、技能等密切相关的潜在变量。在实际应用中,电感知能力包括线圈认知能力与磁芯认知能力。电感知熟练度模型如图3所示。图3中的潜在变量节点,表示该知识或能力的掌握程度,分为专家和新手两个等级。

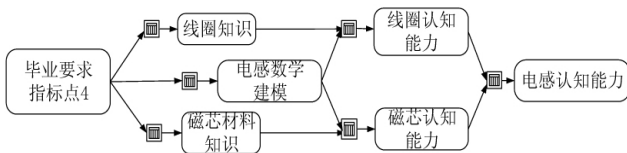


图3 电感知熟练度模型

2.2 电感知任务模型

电感知任务要求学生根据不同的电感磁芯材料研究与分析运行条件对电感电流纹波与输出电压纹波的影响。为保证学生在任务中能完全体现其知识与能力掌握情况,需对此研究任务设计实验。实验包括:在不同的输入电压、输出电流等运行条件下,分析铁氧体磁芯电感与磁粉芯电感的饱和特性,测量电路的电感电流纹波、输出电压纹波、负载电流和输出电压等实验数据,并采用相关计算公式和知识分析解释数据并得到有效结论。

铁氧体磁芯电感与磁粉芯电感因其磁芯材料的不同饱和特性,随着电感电流的变化会呈现出不同的电感值。其中,铁氧体磁芯电感的动态电感量与电流的变化可表示为

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

式中 L_d 为动态电感量,指通有电流后的电感量

或实际在使用时的电感量; L_{nom} 是静态电感量,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;系数由电感类型、磁芯材料和温度决定。

$$\sigma = \frac{\cot(\pi\Gamma_{30\%}) - \cot(\pi\Gamma_{70\%})}{I_{30\%} - I_{70\%}} \quad (2)$$

$$I_L^* = \frac{I_{70\%} \cot(\pi\Gamma_{30\%}) - I_{30\%} \cot(\pi\Gamma_{70\%})}{\cot(\pi\Gamma_{30\%}) - \cot(\pi\Gamma_{70\%})} \quad (3)$$

$$\Gamma_{30\%} = \frac{L_{30\%} - L}{L_{nom} - L_{sat}} \quad (4)$$

$$\Gamma_{70\%} = \frac{L_{70\%} - L_{sat}}{L_{nom} - L_{sat}} \quad (5)$$

磁粉芯电感的动态电感量与电流的变化可表示为

$$L_d = L_{nom} - \frac{L_{nom} - L_{30\%}}{I_{30\%}} I \quad (6)$$

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。

Buck电路中电感电流纹波计算公式为

$$\Delta i_{Lpp} = (V_{in} - V_{out}) V_{out} / (V_{in} f_s L_d) \quad (7)$$

输出电压纹波计算公式为

$$\Delta V_{cpp} = \Delta i_{Lpp} / (8 f_s C) \quad (8)$$

2.3 电感知证据模型

证据模型确定学生熟练度与电感元件本身的关键特征,提供熟练度模型的证据。电感知证据模型如图4所示。

依据研究任务,通过测量电路的功率、电感电流纹波、输出电压纹波、效率、负载电流和输出电压等可观测量,经贝叶斯网络推理,可分析学生对输出滤波电路认知能力的概率,进而可反推学生电感相关知识的掌握程度以及毕业要求指标点4.2达成度概率。

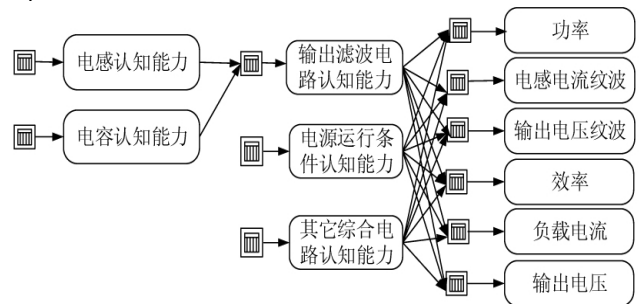


图4 电感知证据模型

3 证据模型中的贝叶斯推理

由任务模型中观测和计算的证据,即可观测变量,需经贝叶斯推理方法得到知识与能力掌握程度的概率。即

$$p(\theta|X) = \frac{p(\theta)p(X|\theta)}{p(X)} \quad (9)$$

式中 θ 表示熟练度模型变量; X 表示可观测变量; $p(\theta)$ 指学生熟练度变量的先验概率; $p(X|\theta)$ 反映了在给定的熟练度 θ 情况下可观测变量 X 的可信度,即似然概率; $p(X)$ 指标准化常量,指在 θ 取遍所有可能值的条件下得到可观测值 X 的概率的平均值; $p(\theta|X)$ 表示观测到数据 X 后的熟练度变量 θ 的后验概率。

设熟练度模型变量 θ 受参数的影响,可观测变量 X 受参数的影响,似然概率分布集记为,根据这些参数与变量间的独立性,他们的联合概率分布为

$$P(\lambda, \eta, \theta, \pi, X) = p(\lambda) \times p(\theta|\lambda) \times p(\eta) \times p(\pi|\eta) \times p(X|\pi, \theta) \quad (10)$$

首先依据专家经验确定毕业要求指标点达成度与学生完成研究任务结果为合格的概率,再确定熟练度变量与参数的先验概率及似然概率,贝叶斯推理的目标是求解观测到 X 值的条件下,其他参数与变量的后验概率,即

$$P(\lambda, \eta, \theta, \pi|X) \propto p(X|\pi, \theta) \times p(\theta|\lambda) \times p(\lambda) \times p(\pi|\eta) \times p(\eta) \quad (11)$$

式中 $P(\lambda, \eta, \theta, \pi|X)$ 是不可观测参数和变量

的后验概率分布。

其中,似然概率由心理学测量理论等级反应模型确定,即

$$P(X_{ij} \geq k) = \text{logit}^{-1}(a_j(\theta_i - b_{jk})) \quad (12)$$

式中 a_j 为总任务中第 j 个任务的区分度, b_{jk} 为第 j 个任务的等级 k 的难度。在任务 j 中评估熟练度等级为 k 的似然概率为

$$P(X_{ij}=k) = P(X_{ij} \geq k) - P(X_{ij} \geq k+1) \quad (13)$$

4 仿真实验

2016 年 6 月 22 日,德州仪器(TI)推出 TI 电源管理实验室套件(TI-PMLK)系列^[7],能够开展的实验涵盖了低功率非隔离式 DC-DC 电源设计的一些基本问题,如电源拓扑和特性、工作模式、效率、控制、稳定性、精度、暂态响应、噪声、磁性元件等。PMLK 能更好地帮助学生将实验室中获得的实践学习经验应用于电源解决方案设计。

借助此套件,学生 A 基于电感饱和对电流和电压纹波的影响问题,研究与设计了如下实验:在基于开关稳压器芯片 TPS54160 的降压电路中,分别给定输入电压为 6 V、12 V、18 V、30 V,输出电流为 0.15 A、0.75 A、1.5 A,输出电压为 3.3 V,输出滤波电感为 MSS7341-183MLB 铁氧体磁芯电感和 XAL4040-153ME 铁粉磁芯电感,测量负载电流、电感电流纹波和输出电压纹波等性能指标,分析数据,并得到结论。学生 A 实验得到实验数据如表 2 和表 3 所示。

表 2 铁氧体磁芯电感下的实验数据

ΔV_{pp} (mV)	Δi_{pp} (mA)	V_o (V)	MSS7341-183MLB 铁氧体磁芯电感								
			$I_{out} = 0.15A$			$I_{out} = 0.75A$			$I_{out} = 1.5A$		
$V_i = 6V$			46.0	400	3.311	70.8	440	3.258	98.8	498	3.188
$V_i = 12V$			54.8	460	3.309	104	460	3.234	117	550	3.197
$V_i = 18V$			72.8	420	3.310	112	540	3.247	128	597	3.179
$V_i = 30V$			80.8	480	3.307	118	588	3.232	140	674	3.196

表 3 铁粉磁芯电感下的实验数据

ΔV_{pp} (mV)	Δi_{pp} (mA)	V_o (V)	XAL4040-153ME 铁粉磁芯电感								
			$I_{out} = 0.15A$			$I_{out} = 0.75A$			$I_{out} = 1.5A$		
$V_i = 6V$			49.8	420	3.301	77.8	450	3.300	80.0	400	3.168
$V_i = 12V$			64.8	480	3.313	104	500	3.233	128	512	3.202
$V_i = 18V$			108	488	3.310	116	520	3.257	128	580	3.189
$V_i = 30V$			128	560	3.305	216	600	3.282	132	602	3.197

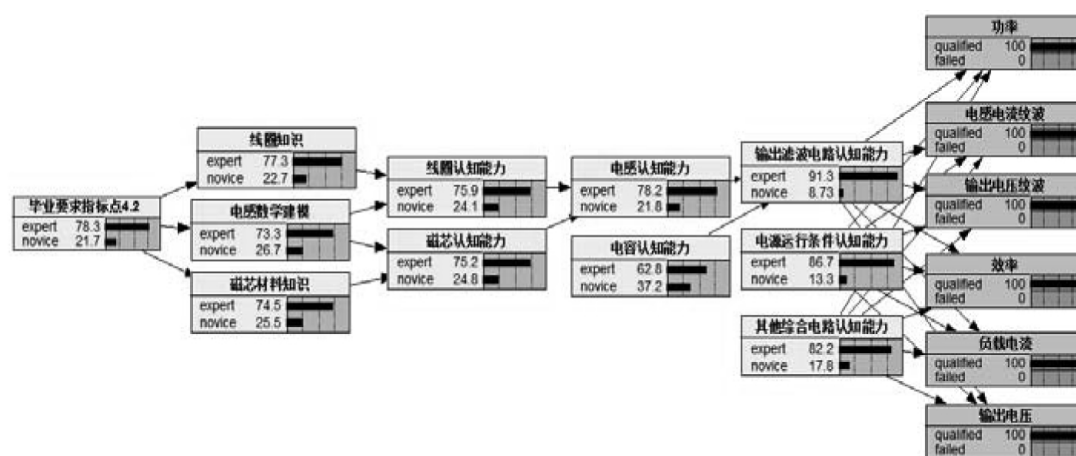


图5 基于贝叶斯心理测量模型的毕业要求指标点4.2达成度评价模型

学生A通过理论与数据分析,得到如下结论:在负载电流小的条件下,铁粉磁芯电感比铁氧体磁芯电感具有更高的电流纹波,在负载电流高时情况相反。

利用贝叶斯网络分析软件 Netica,基于电感饱和对电流和电压纹波影响的研究,根据贝叶斯心理测量模型,搭建毕业要求指标点4.2达成度评价模型,如图5所示。教师依据学生A设计的实验,通过对实验中的可观测量是否合格进行评分,并采用贝叶斯网络推理方法,实现智能评价。

5 结语

(1) 针对高校工程教育认证中有关毕业要求指标点达成度评价中“算分法”存在的问题,具体阐述了达成度评价中引入概率来描述评估的不确定性和采用贝叶斯推理方法进行评估的原因与意义;

(2) 研究与分析了基于ECD的电力电子毕业要求指标点达成度评估模型,以开关电源中研究电感饱和对电流和电压纹波的影响为例,构建了电感认知熟练度模型、任务模型和证据模型。

(3) 利用贝叶斯网络分析软件 Netica,基于贝叶

斯心理测量模型,搭建了毕业要求指标点4.2的智能评价模型并进行了仿真实验。仿真验证了所提方法的合理性和有效性。

参考文献:

- [1] Almond, R. G., Mislevy, R. J., Steinberg, L. S., Yan, D., & Williamson, D. M. Bayesian Networks in Educational Assessment [M]. New York: Springer, 2015: 19-20.
- [2] 孙珊珊. 项目反应理论与认知诊断的统计推断方法[D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- [3] Levy, Roy. Advances in Bayesian Modeling in Educational Research [J]. Abingdon-on-Thames: Educational Psychologist, 2016, 51(3-4): 368-380.
- [4] Almond R G, Shute V J, Underwood J S, et al. Bayesian networks: A teacher's view[J]. Cambridge: International journal of approximate reasoning. Special Section on Bayesian Modelling, 2009, 50(3): 450-460.
- [5] Levy R, Mislevy R J. Bayesian psychometric modeling[M]. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC Press, 2016.
- [6] 柏毅, 吕泽恩. 美国教育评估系统的ECD模型[J]. 长沙: 教育测量与评价(理论版), 2016(1): 35-39.
- [7] Nicola Femia, et al. Power Management Lab Kit Buck Experiment Book [M]. Dallas: Texas Instruments 2016.

名师风采



段 斌教授，博士生导师，湘潭大学信息工程学院院长，兼任教育部自动化专业教指委委员，电子信息与电气工程类专业认证委员会认证专家，多次担任入校考查专家组长。在工程教育领域，致力于推动“应用网络学习空间促进工程教育专业认证标准实施”，相关成果被教育部科学技术司收入《教育信息化优秀案例集（2017）》。学院积极推进信息化与教育教学的深度融合，通过在空间教学中深入实践OBE教育模式，解决了工程教育认证的难点和痛点问题。学院在实施过程中组织研发队伍，基于认知测量理论开发达成度评价软件，内嵌于网络学习空间，实现知识和能力达成度由软件自动评价，既有力促进了空间教学的开展，又促进了工程教育认证理念的普及。链接在学校主页上的专业课程墙，把教师们履行责任的工作状况显性化展示，形成了分布式共识机制，能有效促进教师明确并履行自己在成果导向评价体系下的责任。通过近几年的应用与实践，湘潭大学在网络学习空间与自主探究性学习模式探索方面取得了宝贵经验，应用空间教学手段促进OBE工程教育模式的实践，有利于建立开放、透明、富有弹性和互认的教育结构，提高高校办学的开放性和包容性。