

仿真 App 在电磁学课程教学中的应用

弗吉尼亚联邦大学电气工程专业的学生通过仿真 App 深入理解电磁学原理, 以获得更好的学习体验和成就。

作者 BRIANNE CHRISTOPHER

对于 Nate Kinsey 而言, 他在大学本科刚开始学习电磁学课程的经历, 是一段痛苦的回忆。“不少人仍记得他们学习电磁学课程的深刻体会, 如果不付出巨大的努力, 就无法理解其中的奥秘, 但理解之后会豁然开朗。” 他说道。然而, 这段经历并没有让 Kinsey 感到灰心。他选择继续在电气工程领域深造, 攻读了密苏里大学 (University of Missouri) 的硕士学位和普渡大学 (Purdue University) 的博士学位。目前, 他在弗吉尼亚联邦大学 (Virginia Commonwealth University, VCU) 教学, 同时进行集成光子学和非线性光学方面的研究工作。

Kinsey 第一次学习电磁学课程的艰难经历, 促使他选择仿真软件为学生授课。他认为, 要理解如此高难度的内容, 关键是要将问题可视化, 使学生获得直观的认识。然而, 这并非易事。

» 三维仿真视图加深理解电磁学原理

对于初学者而言, 由于电磁学包含了公式、三维矢量计算等抽象内容, 因此学习过程极具挑战性。许多学生深陷于理解复杂的数学公式和方程式, 而对于实际要解决的问题却没有清晰的认知。Kinsey 认为, 清晰的认知是学习电磁学课程的关键。

Kinsey 发现, 当代学生正努力在自己的脑海中创建一个关于物体或物理问题的图像。这是被新技术包围的新一代学

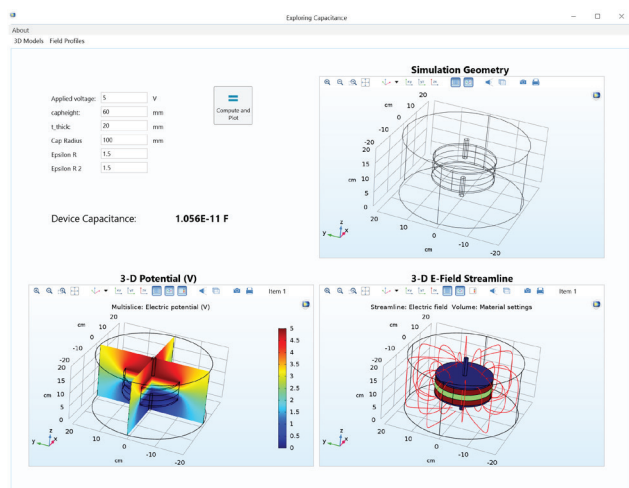


图 1 一款帮助学生学习电容器边缘场效应的仿真App。
图注: Device Capacitance - 设备电容值; Simulation Geometry - 模拟几何结构; 3-D Potential - 电势三维图; 3-D E-Field Streamline - 电场线三维视图。

生最擅长的事, 即一旦在大脑中留下直观形象, 他们就可以回忆起相关内容。因此, 他们需要借助可视化图像来理解问题。

在电磁学领域, 由于电磁波看不见、摸不着, 因此学生对于手机或信号塔周围电磁场的实际情况了解甚少。而水波和声波直观可见, 因此, Kinsey 利用它们来解释电磁波, 从而帮助学生

理解数学公式所描述的物理现象。然而, 这些波也不能准确描述三维的电磁波。Kinsey 解释说: “学生需要三维视图才能看到真实存在的电磁现象, 如偶极子周围的磁场。” 他在黑板上画出了电磁场的原理绘图 (例如偶极子周围的场强分布类似于圆形或八字形, 具体取决于观察的角度), 然而黑板绘图仅能做到这些。Kinsey

“COMSOL 软件能使电磁场可视化, 能对场进行旋转、缩放及互动。例如, 可以观察偶极子周围的电场线如何分布, 而黑板上的绘图则很难准确描述这一现象。”

——NATE KINSEY, 弗吉尼亚联邦大学

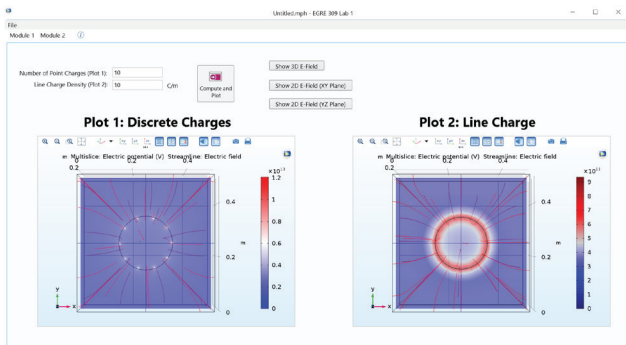


图2 一款帮助学生计算独立和连续电荷的仿真 App。
图注: Discrete Charges - 独立电荷; Line Charge - 连续电荷。

说：“有些学生能够理解，而有些人仍很挣扎。”而仿真工作恰好能解决这个问题。“COMSOL Multiphysics® 软件能使电磁场可视化，并能对场进行旋转、缩放及互动。例如，通过三维仿真视图可以观察偶极子周围的电场线分布，而黑板上的绘图则很难准确描述这一现象。”Kinsey 说道。

» 仿真 App 帮助学生学习电磁学课程

尽管 Nate Kinsey 在电磁学理论方面有深厚的造诣，但

他仍认为试验和使用仿真技术可以显著提升课程教学效果。2017 年，他重新设计了 VCU 的电气工程课程，以帮助 学生深入理解教学内容。

Kinsey 在课程表中添加了 COMSOL® 软件内置的仿真 App。“通过仿真 App 学生可以自行观察物理现象，并进行思考。”他说道。由于在课程中已经安排了大量的学习资料，因此 Kinsey 不再为学生增加学习仿真软件的任务。班级助教将他创建的电磁学基本模型封装成一个仿真 App，并将其上传至学校的 COMSOL Server™ 上，这样学生就

可以通过网页浏览器自行访问和运行该仿真 App。Kinsey 说：“我们设置了 5~7 个参数供学生试验，既能调动他们的兴趣，又不会使他们感到繁琐（图 1~图 3）。”此外，仿真内容是经过精心设计的，如果对过程规定过多或给予过多指导，会限制学生的批判性思维能力。为此，他们向学生分发了一个仿真 App，并设置了一些开放性问题，例如“使用该仿真 App，模拟一个以 $1/r^2$ 的速率下降的球场周围的电场”（图 4~图 5）。他解释道，不告知学生特定的数值或参数而让他们自己思考，如“我还需要测量什么？哪些参数需要清除？”如果参数设置错误或找不到所需的信息，他们必须反复尝试并从错误中成长，这将是一次很好的锻炼。

Kinsey 将他的电气工程课程设计为一个为期两周的，由仿真实验室和实测操作相结合的循环交替过程，并通过学生演讲和详述过程的方式来强化教学效果。第一周，学生通过演讲和数值仿真来探讨关键主题；第二周，通过动手做试验，来验证数值仿真的结果。最后，

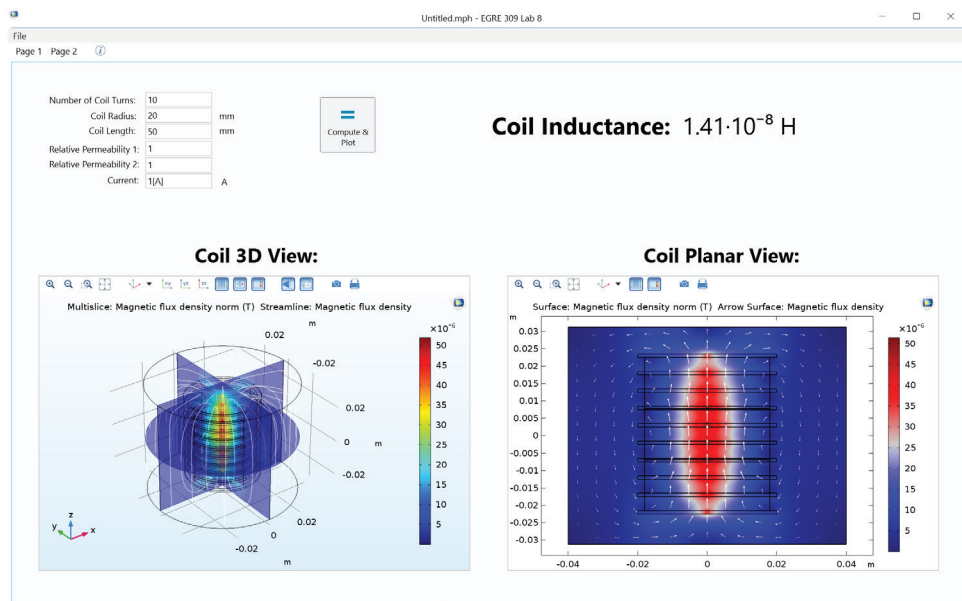


图3 一款用于计算线圈电感和边缘场效应的仿真 App，通过该仿真 App 可以调整线圈几何形状和设置参数。
图注: Coil Inductance - 线圈电感; Coil 3D View - 线圈三维视图; Coil Planar View - 线圈二维视图。

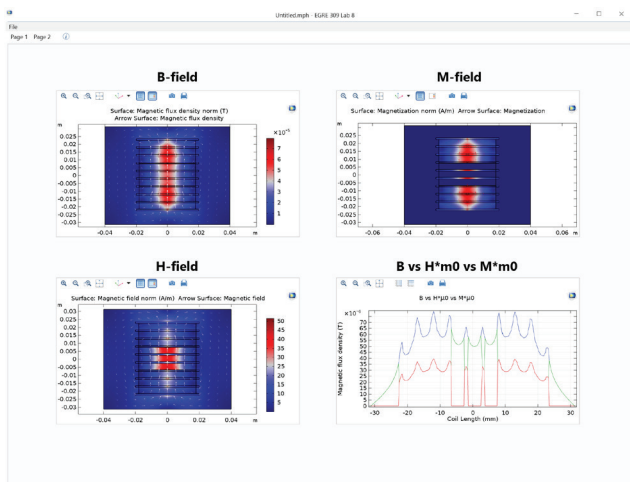


图4 使用仿真 App 计算磁场和磁化强度的模拟结果。

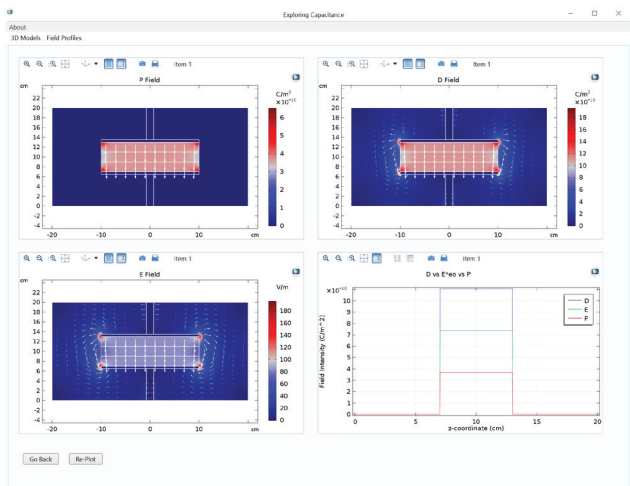


图5 使用仿真 App 计算介质中电场分布的模拟结果。

通过比较实际测量值与数值模拟值的结果,讨论实际值与模拟值之间的差异并分析原因。

与任何教育机构的改革一样,仿真 App 的正常运行需要时间来不断调整。例如,在课程设计初期, Kinsey

致力于探讨如何合理设置自学任务的难度和自由度。同时,一些学生发现他们的模拟需要耗费较长的时间。Kinsey 认为这是一个很好的学习机会,因为可以使生思考如何平衡仿真的精度和速度,这对未来的工程师

培养很有帮助。

» 培养新一代电气工程师

Nate Kinsey 希望他的课程可以达到三个培养目标。首先,他希望能够培养学生对电荷之间相互作用的直觉,使他们不会因为问题变得复杂而气馁;“电磁学很容易令人费解,” Kinsey 说道,“实际上,你只需要寻找电荷之间的作用力就能将问题化繁为简,然而这个过程既简单又困难。”

其次, Kinsey 希望他的学生毕业后,能够成为具有批判性思维、并能解决实际问题的人。因此,学生需要理解电磁理论而不是死记硬背公式。例如,他不希望学生只会背诵高斯定律,而是希望他们能够进行自我反思:“高斯定律要表达什么内容,它可以解决什么问题”。

最后, Kinsey 希望学生可以领悟更高层次的电磁学内容,例如数学和物理是如何融合的。一名学生可能会求解线积分,却不会计算 A 点到 B 点的电位差,即使这两个问题的求解过程在本质上是相同的。因此,他希望学生能够跨越“复制粘贴式”的思维习惯,将数

学公式作为工具使用。“这就好像学习如何使用锤子一样,” Kinsey 说,“首先,你需要先练习钉钉子,但最终你必须能够超越这一阶段,创造出新的东西。”

» VCU 电磁学课程教学的未来

目前, Nate Kinsey 正在寻找新的、更好的方法使学生能够更轻松的学习。他希望有朝一日能将虚拟现实或增强现实 (VR/AR) 技术纳入他的课程教学中。AR/VR 技术能够模拟真实的工程场景,使学生沉浸于虚拟的电磁场、电容器和电介质中,深入体验物理现象并理解物理问题。Kinsey 说:“如何让这些新兴技术在教学中发挥作用,以及如何与仿真相结合是未来教学的研究方向。”



Nate Kinsey, 助理教授, 电气与计算机工程学院, 弗吉尼亚联邦大学。