专辑寄语

从微分方程到偏微分方程的世界

Change from Differential Equation to the World of Partial Differential Equation

小笠原 悟司 OGASAWARA, Satoshi
北海道大学 大学院情报科学研究院 教授

电力电子的历史从使用放电现象的水银整流器时代开始，经历了半导体化 SCR（Silicon Controlled Rectifier）或半导体闸流管、具有自我灭弧能力的功率晶体管、功率 MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）、GTO 半导体闸流管（Gate Turn-Off Thyristor）到现在广泛使用的 IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor），随着功率器件主角更替得到了很大的发展。特别是近年来，使用 SiC（碳化硅）和 GaN（氮化镓）等宽带隙半导体的功率半导体器件不断普及，有望取得更大的发展。电力电子技术基于功率器件的开关动作，以转换控制电力形态（电压、电流、频率等）的电力转换器为基础，不仅应用于普通工业、电力、铁路等领域，现在还扩展到汽车、家电、住宅等社会的方方面面，如今说它是社会的基础技术也不为过。

在电力电子设备中，将功率器件用作开关的这一原理从创建初期到现在完全未曾改变。但是，随着功率器件的发展，通过导通状态减低压降来降低导通损耗和通过提升开关速度来降低开关损耗不断得到推进。特别是开关时间将大幅提高，从 μs 级升至 ns 级，可利用的开关频率也将从电源频率提高至 MHz 级。开关频率的高频化可使电感器、变压器、电容器等无源器件实现小型化，电力电子设备正朝着小型化、轻量化、高效化方向发展。从损耗密度的观点来看，电力电子设备的高效化和冷却技术是必须与小型化同时实现的重要问题。在考虑到冷却技术的基础上，不仅需要研究热电阻电路，还需要研究使用“热传导方程”的温度分布，也需要掌握一定的流体力学知识。

另一方面，迄今为止几乎被忽视的配线电感和杂散电容，因开关速度实现高速，对器件的开关特性和开关损耗产生了很大的影响。这些参数很大程度上依赖于主电路的安装技术，设备的小型化即部件接近也是增加杂散电容的主要原因。因此，设计电力电子设备，不仅需要具备电路知识，还需要对电场、磁场、电磁感应等电磁学有相当了解。另外，开关频率的高频化也是电磁干扰的高频化、宽带化的原因，有可能影响到 100 MHz 级的频带。例如，300 MHz 的电磁波波长为 1 m，从其大小来考虑，电力电子设备和配线需要考虑天线，这就须具备电磁场相关知识。而且，在考虑设备的振动和噪音时，还需要了解力学场和声场。

随着电力电子技术的发展，仅通过以往使用的电路、磁路、力学电路、热电路等集中常数模型无法表示现象，而必须使用电磁场（包括静电场、静磁场、电磁感应）、力学场、热和温度场之类的分布常数模型或空间模型来表示。要掌握这些知识，看起来可能会觉得很困难。但是需要注意的是，前者集中常数模型均用微分方程表示，后者分布常数模型均用偏微分方程表示。也就是说，即使是不同物理系统的现象，只要是由相同形态的微分方程或偏微分方程表示的现象，则只需更换物理量即具有相同的特性，其他领域应该也可容易地理解。希望技术人员今后能从单纯的电路领域走向多物理场，从微分方程走向偏微分方程的世界，进一步推动电力电子技术的发展。此外，希望电力电子技术作为社会的基础性技术能继续发挥积极作用，通过与 IT 和 AI 技术的结合，为能源管理做出贡献。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。