

# 针对多物流场的NVH分析

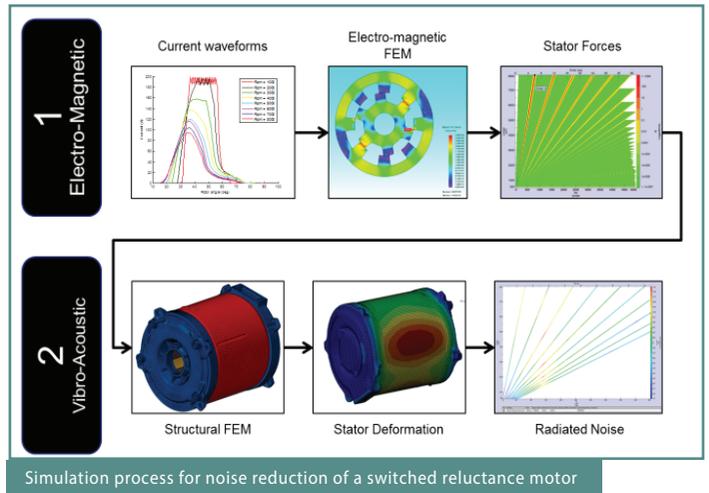
## 开关磁阻电机噪音的仿真与优化

为满足不同日益严格的法规要求、顺应业界开发环保汽车的趋势，传动系统电气化已成为一项越来越为重要的发展趋势。要让技术取得成功，电机和电池领域的创新是必不可少的。因此，各汽车制造商调查了电力驱动的几种方法，以求找到最符合汽车功能性能要求的方法。这些要求不仅包括燃油经济性，也包括舒适性及噪音、振动和平顺性(NVH)。

目前市场上的几乎所有混合动力汽车均配备了永磁(PM)同步电机技术。这项技术带来了众多的优势，尤其是当涉及到混合动力时更是如此，混合动力车辆空间有限，重量最小化和效率最大化需求强烈。但是，稀土元素的有限供应限制了大力规模部署。

因此，开关磁阻电机(SRM)日益受到有远见的汽车制造商们的青睐。在这些电机当中，转子向着定子与转子磁极间空隙中磁阻最低即电感最高的位置转动，从而产生旋转运动。通过连续对定子中的异名极供电，实现连续旋转。

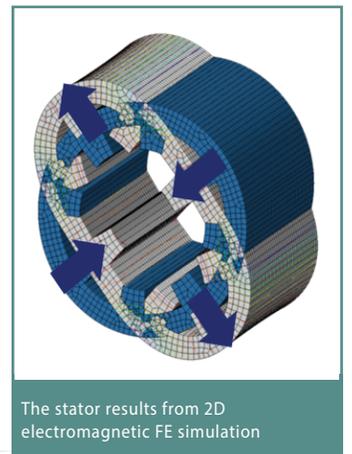
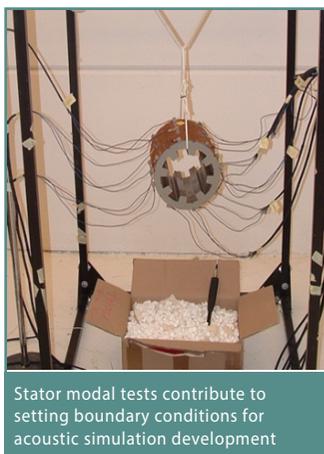
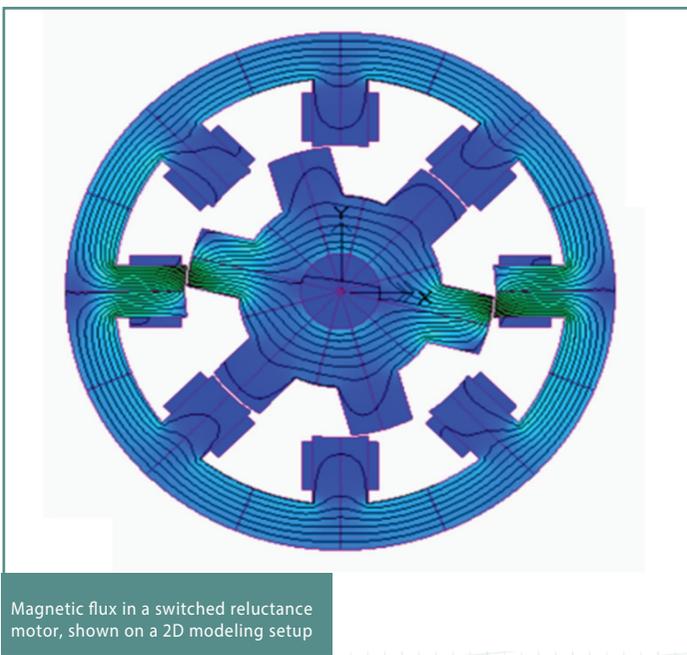
廉价高功率开关设备的易得性推动了SRM的工业应用。这些电机清楚地展示了自己的优势，比如构造简单且坚固、制造成本低廉(无永磁体)、扭矩转速特性出色，而且在很大的转速范围内都能实现最高效率。但是，几种缺点也阻碍了其在电动汽车领域的应用。这些当中就包括由于扭矩波动当中就包括由于扭矩波动较大而产生的噪音及电磁干扰(EMI)噪音。



电机设计领域大多只将重点放在降低扭矩波动来解决SRM的噪音、振动和平顺性(NVH)问题。控制策略优化来降低扭矩波动，的确能给噪音辐射带来有利的影响。但是，为了避免在电动汽车内感受到过度的振动和噪声，优化电机结构及其外壳同样也必不可少。在设计流程的早期阶段纳入详细的声振分析，有利于电机设计者更好地了解并

控制最终产品的NVH特性。

本文中所谈到的电机具有八个定子磁极(四对定子磁极)以及六个转子磁极。这是一款8/6式SRM，具有四个独立的相，专为汽车牵引应用而设计，可提供200Nm的峰值扭矩和40kw的峰值功率。此外，该款SRM的设计也专门用于采用无级变速箱(CVT)的全混合传动系统。



通过仿真优化电机噪音（包括 SRM）涉及颇具挑战性的多物理场建模。SRM 中的噪音和振动主要源于定子的结构性激振，是由不断变化的磁场和相电流引起的。电机外表面的结构变形导致其周围的空气流动，从而产生了气压变化，形成噪音。要实现精确的仿真，需要将磁学、振动（结构性）和声学领域加以结合，才能正确捕获所涉及的全部现象。

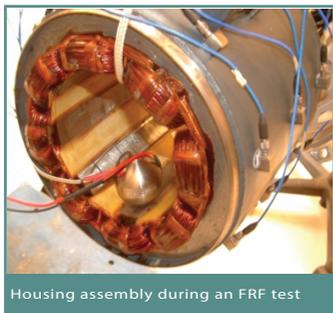
第一步是计算定子上的磁力。为此，就要对离散数的转子角度和相电流值进行二维电磁有限元 (FE) 仿真。这些力会作为来自应力张量（可直接从解算器获取）的合力进行计算。得益于结构的轴对称几何关系，二维建模可以提供十分理想的近似结果，能显著地限制计算时间。

为了准确捕捉电机在所需频率范围内的动力学特征，我们会创建定子的结构有限元模型，然后与真实结构上的测试结果进行相关性分析和模型修正。定子的结构包含钢板层合堆叠中，中间夹有树脂，会呈现出材料非线性。通过在仿真模型和真实结构之间的模态相关性分析，然后再进行有限元模型修正，可定义等效各向异性材料属性，而无须对定子层合板进行明确建模。

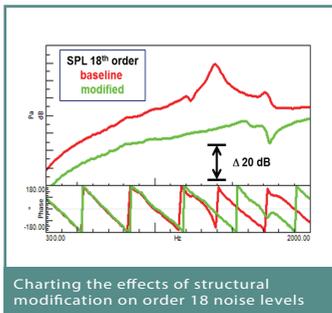
为确保测试结果呈现系统中的全部模态行为，会对初始有限元模型进行预试验分析。这样有助于对加速计和激振设备进行目标定位，以实现最全面的模态测试，这对于接下来的相关性分析和有限元模型更新具有非常重要的意义。在这些阶段中，仿真模型会得到反复改进，直到其产生的结果充分符合测试结果。对于噪音辐射，椭圆形模态是最重要的模态，其优先级最高。有限元模型会逐步更新，直到这些模态频率与其测试频率的差距在 5% 以内为止。

既然已经计算出电磁力，并提供了准确的结构模型，就需要对这两者进行映射，以完成受迫响应分析。由于是在频域中进行声振仿真，因此第一步是采用离散傅立叶变换，将来自二维电磁有限元软件的时域节点定子力转化为频域。随后，二维结果会拉伸至三维，并通过守恒映射加载到结构有限元网格上。为提高计算效率，载荷数据将限制保留最为必要的信息。载荷会以阶次谱来表达，对应于开关磁阻电机主阶次（电机转速基频的 6 阶及其谐频）。

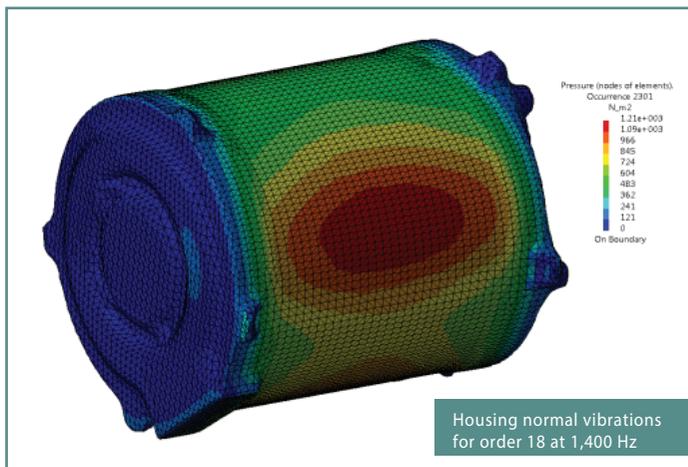
基于模态的受迫响应分析会通过将已更新有限元模型的结构模态与映射电磁载荷相结合，



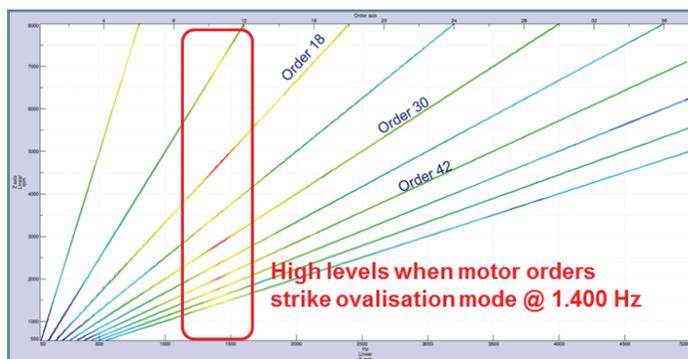
Housing assembly during an FRF test



Charting the effects of structural modification on order 18 noise levels



Housing normal vibrations for order 18 at 1,400 Hz



Waterfall plot of radiated noise showing increased levels of vibration around 1,400 Hz

来计算主要 SRM 阶的外壳振动。这些会用作声学仿真的边界条件，计算在距 SRM 1 米的目标麦克风位置产生的声压级。自动匹配层 (AML) 技术可仿真自由声场条件，以实现高效的声辐射研究。

然后，不同的后处理工具可提供针对电机噪音行为的深入工程见解。当电机阶次频率与结构固有频率一致，或定子力模式与结构模态振型相匹配时，就会发生高强度的共振。例如，在 1400 Hz 左右电机第 18 阶耦合到结构椭圆形模态，就会产生强振动。所有第 6 阶的奇倍数都会发生这种情况。在 8/6 式 SRM 中，每次旋转都会激活相位六次，导致产生第 6 阶谐波及其倍数。基于这一见解，我们可以提议对外壳和冷却夹套进行设计更改，将结构的固有频率错开到低阶的激励频率范围之外。

应用流程示例中所描述的这一基于先进仿真的 SRM 辐射噪音高级优化，可以借助 LMS Virtual. Lab™ 声学、噪音和振动以及相关分析软件来完成。要达到要求苛刻的汽车客户所期待的高质量标准，电机设计人员必须在设计的早期阶段就引入此类辐射分析。只有通过提供将能源效率与避免降低其他性能 (例如 NVH) 相结合的技术，他们才能成功地提供传动系统电气化解决方案。

FREE READER INQUIRY SERVICE  
To learn more about Siemens, visit:  
[www.ukipme.com/info/etm](http://www.ukipme.com/info/etm)  
INQUIRY NO. 505