

新能源汽车 电机/电池/电驱动 综合仿真与最佳实践

庄百兴/ 华南区技术经理

ANSYS深圳



现代汽车发展趋势







新能源 + 智能 = 现代汽车必然趋势

全电气化 百公里加速3.1 秒 轻量化铝制车身 5 星碰撞测试评分 17" 高清触屏





新能源汽车的关键技术



动力电池



控制器



软件



牵引电机



无线充电



智能驾驶



传动机构





ANSYS 集成化+系统级的零部件+整车仿真系统



5 © 2017 ANSYS, Inc. July 24, 2017

ANSYS UGM 2017



电机 综合仿真与最佳实践



6 © 2017 ANSYS, Inc. July 24, 2017

ANSYS UGM 2017



新能源汽车电机本体







Maxwell高效电机电磁自动化设计流程







电机设计工具包(UDO/Toolkits)

Incutiver: DutputRower Torque Speed **RewardFactor** SupplyCurrent FhaseVoltage Coreloss Solidioss StrandedlossR. MechanicalLoss Totalloss Bifficiency TorqueRipple **RowerBalance** V(d-axis) M(q-mis) I'd-axish Eq-365) L(d-axis) L(g-axis) FluxLinkage(d-axis) FluxLinkage(q-axis)









■ UDO和Toolkits是针对客户需求定制化开发的电机设计工具包,可直接输出电机电磁性能数据,自动化计算转矩转速特性、效率Map图等,在电机设计领域应用广泛。





ToolKits案例:IPM效率Map图计算

		A Electric Machines Design To	olkit							
General Sweep & Map	General Sweep & Map &		A Electric Machines Design Toolkit							
Design Setup Properties	Design of Experiments Ch	General Sweep & Map Window		A Electric Machines Design Toolkit	-			x		0
Setup1 Electric Machine Characte Machine Type PM Synchron	Total Number of B Number of Time St Number of Electric Number of Electric	Alignment of the D-Q Avis	LSDSO (Optional)	General Sweep & Map Windings Simulation Advanced Skewing Calculate the Effect of Skewing:	Gener	al Sweep & on Core Loss	Map Windings Sim	Jason Advanced	Custom Loss	/it Settings He
Control Strate MTPA RMS Line Cur 200	Number of Angle S Number of Speed 5 Map Characteristics	Stator Phase Resistance	Miscellaneous	Single-Sided Staircase Skew Angle Between Two Adjacent Segments (Mech. deg)	C Time-Domain Model C Time-Domain Model III III IIII IIII IIIII IIIIII IIIIIII				Model	
ে Wye-Con ি Delta-Cor Simulation Mode ি Motor	Number of Speed I Number of Torque Torque Threshold I Maximum Speed (n		Re-Read Transient Data and Re-Create Re Keep Transient Data in Tookit Directory	Optimization Algorithm Population Size: Maximum Number of Evaluations:	+)-	Object Nan Stator Rotor	 Model Depthimi 0.083566 0.083566 	Stading Factor 0.96 0.96	Mass Density Right 3 7600 7600	Upited Loss/W.fkg1 Browse Browse
Run	Run	Run	Run		4					,





选择多种控制算法和电压控制方式

		Default Settings	Help	Machine Type:	Voltage Control Type:
eneral Sweep & Map Windings	Simulation Adv	Ivanced Custom Loss		PM Synchronous Machine	Line-Line RMS Voltage
esign Setup Properties					Leve the to be renage
Analysis Setup:		UDO Setup:		Control Strategy:	Line-Line RMS Voltage:
Setup1		MachineSolutions1		MTPA.	V -
ectric Machine Characteristics Machine Type:		Voltage Control Type:		MTPA Total Loss Minimization Core Loss Minimization Solid Loss Minimization Torque Ripple Minimization	DC Voltage:
PM Synchronous Mach	ne •	Line-Line RMS Voltage		Id Minimzation Ig Minimzation	Modulation Index: 1.0
MTPA		45.0 V V			
RMS Line Current:		DC Voltage:		Machine Type:	Voltage Control Type:
56.0	A 👻	45.0 V =		Indunction Machine 🔹	Line-Line RMS Voltage 🔹
(Wye-Connection		Modulation Index: 1.0		Control Strategy:	Line-Line RMS Voltage:
C Delta-Connection				Total Loss Minimization	V -
imulation Mode	C Ge	enerator C Both Modes		MTPA Total Loss Minimization Core Loss Minimization Solid Loss Minimization Torque Ripple Minimization	DC Voltage:





集成了自定义铁耗算法

						Defa	ult Settin	gs	Help
Genera	i Sweep & Map	Windings Simu	lation Advanced	Custo	m Loss				
Custo	om Core Loss	-		-	-	-		_	
	The Oates Co	ant and 1							
	Coe Custom Co	re Loss:							
	e. Time	-Coman Model		Pres	pency-	Coman	Model		
			1	-	Variabi	e Coell	-		
	Symmet	ry Multiplier:		1					
i let el	Chierte								
4/-	Object Name	Model Depth[m]	Stacking Factor	Kh	Кс	Ke	Alpha	Beta	
+	Stator 💌	1.0	1.0	200	0.5	0.0	0.75	2.0	
_									_

P	Use Custom Co	re Loss:						
C Time-Domain Model				Frequency-Domain Model				
			5	Use Variable Coeffici	lents			
	Symmet	ry Multiplier:		8				
	Cohunta							
ist o	f Objects Object Name	Model Depth(m)	Stadking Factor	Mass Density (kg/m3)	Upload Loss[W/ka]			
ist o +/-	f Objects Object Name Stator	Model Depth(m) 0.093	Stadking Factor	Mass Density (kg/m3) 7600	Upload Loss[W/kg] Browse			
ist o +/-	f Objects Object Name Stator	Model Depth[m] 0.093 0.093	Stacking Factor 1.0 1.0	Mass Density (kg,/m3) 7600 7600	Upload Loss[W/kg] Browsk Browsk			

	incomplete.								
NOV.						- 400			
.8.1	111100.007	"LINNED.	4.15840103	Ampleia	T-LHAMMAN	1.101010.004	Approximate	Addressing	AMOUNT
1.1	A Assessing &	Distances.	a loss worth?	1,0000,000	ar Maximum Mile	a sidente	LOCTOWNA .	A literature i	a story growth
9.6	- memory re-	III. LONGITTER	C-DOMESING	LANDAUR?	LINESSTER.	LO MARGINE	(Lineare)	1.10001121	1.414CTATES
0.4	1.1544.000	In A section Design	1.005400	1.000.00403/	3.8104817	3.0703.0000	A.Contention	3-100-0000	(1.indiana
10.1	1.1	3125601125	10.1034/5407	1.0002725.000	2.40000.000	ANDIDON	1.30%000111	2.14400014	M.ADMILLIO
	0.00034681	0.403001034	Antilimati	V grandenski	4.0000123-01	a beneration	A CONTRACT	in a distant of the	in sectors
1.1	1. a constraint	SCHOOL STREET,	Lotio manual	1.10000-001214	3.88877910	A DISTRIBUTION OF THE OWNER	La Association	13.4259411	(0.400031)
1.0	1.48810.004	CAUSE/N72	A. GROUNDAINS	AMERIATION	A Distances	OR ADDRESS	LA.MILLECTRO	A. R. Houseweight	84,9404.0
2.5	RAMONA A	P.8346080171	LURISAN	-4.5 798.00111	A.M. COLUMN	11.21.0 9002	10.75400.021	23.14000394	AT ADDRESS.
1	in milerary's	d-brisso 255	nariamilan's	Advantage	shatehates	VA Significant	and the result to	Ad. Parties inc.	TH-LO MILLION
14	A MORENEST	LINDOWE	3 ministration	10000000	(154mmilt)	In Plant in	(a pitelphi	at heirstall	its success
1 4	LABORTIZA	1.42425.0178	2 MARGENTIN	COMPANY OF	11.100304	IA-81 TANKS	ALTH THAT	44.19.770003	CO (IN THE
1.5	1.1.00000010	LADAMAN.	D.M. (HIMAN	11/2/10/00	UA300AUAN	ALC: NUMBER OF	41.10079421	54.4001181	
1.4	i miniatra	2.541410004	a.https://doi.org/1	111/14/14/201	21 Mailed 2	IA. HOTHIN	Manual Park	in pairies.	
1.8	Linguese	A CONTRACT	3-00000000	A NUMBER	UNPARENT.	an Marrison	A& DOWNLOS	of their state	
1.6	C REALFORMER IN	1.12710.12275							
	A community	A REPART							

S.W. LANSING, AMARING.



大规模分布式计算加速分析









ToolKits:IPM效率Map图







ToolKits:IPM效率Map图







电机温升、散热分析流程







考虑磁钢温度特性的电机特性仿真







UnitV

Simple 0

Solid

Utrit



22

Material Coordinate System Type: Cartesian **P(T)**

q(T)

٠

View/Edit Material for

18 Active Design

C This Product

F All Products

View/Edit Modilier for

Thermal Modifier

Β.

1164

elm^{*}2

kg/m_ None

1-0.00651758*(Te

Value

Bi-H Curve,

-11.01516919_ kOe

H_{ci}



永磁电机定子水冷仿真





	实验值 ℃	计算值℃
进水口和出水口温升	2.4	2.58
绕组温度	137	132.5
机壳点201温度	46.5	48.7
机壳点201温度	48	53
机壳点201温度	45.9	47.2
机壳点201温度	45.8	47.7





三相感应电机液冷仿真







三相感应电机喷油及液冷仿真



Temperature Sterrivino Temp 4.1204+002 3.9829+002 3.9839+002 3.9839+002 3.5846+002 3.5466+002 3.5466+002 3.5466+002 3.5466+002 3.4656+002 3.4056+002 3.3306+002 [N]







U,

2ªd

berature,





电机电磁振动噪声耦合分析流程









ONVERGENCE

国 T ANSYS 用户技术大会

振动噪声分析案例

优化后

优化前:电机在3740Hz和4060Hz 处存在共振,噪声分别为65.09和 65.03dB(A)。

优化后:电机在3739Hz和4024Hz处 存在共振,噪声分别为57.83和 62.59dB(A)。

· 1000000000000

旋转变压器及其控制器仿真

详见IEEE VPPC2008论文

电机ECE模型抽取

PMSM 高级控制仿真

电驱动/逆变器 综合仿真与最佳实践

27 © 2017 ANSYS, Inc. July 24, 2017

ANSYS UGM 2017

IPM弱磁控制调速

28 © 2017 ANSYS, Inc. July 24, 2017

ONVERGENCE

专业IGBT开关器件物理原型建模工具,可生成包含MC特性的IGBT模型

示例:不同精度模型仿真结果差异

示例结论:器件精度影响EMC仿真

高级动态模型+封装寄生参数提取:开通/关断特性

ONVERGENCE

NNSYS

示例:开关器件开关过程电磁辐射

July 24, 2017

ONVERGENCE

33

© 2017 ANSYS, Inc.

- 即使器件工作在100Mhz , 电场也主 要分布在器件周围 ;
- 器件功率较高 , 由此造成了距离器 件很远的地方电场强度依然很高 ;
- · 经过优化设计和分析,当前模型在 110MHz工况下,工作情况良好。

外部热设计

冷却液(冷板)设计

- 冷却液:乙二醇
- 温度:45℃
- 外部气流通过冷板表面
- 效果较好但昂贵

风冷散热设计

- 成本较低
- 温度变化区域较大
- 需要进一步进行优化设计

IGBT封装热特性仿真分析:温度场

S

■ 冷板温度,最高处126度

July 24, 2017

■ 冷板中面上水流速度矢量分布图

模组上方的空气流动矢量图,
 因主要是水冷散热,自然对
 流带走的热量少,流动不强

开关模块建模

TOSHIBA Leading Innovation >>>

ANSYS Simplorer + Q3D

ANSYS

电池包 综合仿真与最佳实践

39 © 2017 ANSYS, Inc. July 24, 2017

ANSYS UGM 2017

电池开发中面临的主要挑战

- 性能(能量密度及功率密度)
- 耐用性和使用寿命(考虑在不同环境 和使用周期)
- 安全性(考虑恶劣环境)

- •复杂的多尺度、多物理场系统
- 快速发展的材料和设计理念
- 现有软件工具不专业针对电池

热管理至关重要

安全性

等效电路模型

CFD

FEA

Life

SEI

电化学

NVH

EMI/EMC

等效电路模型

CFD

ROM

FEA

等效电路模型

ROM

Large Scale

锂离子电池全面仿真解决方案

温度分布

July 24, 2017

ANSYS UGM 2017

模块/封装级- CFD 热分析

温度分布

温度分布

ANSYS

July 24, 2017

降阶模型(ROM)分析

≻作为一种通用的热分析方法,CFD 是准确的

- 但对大规模系统级瞬态分析来说计算代价太大
- ▶ ROM 可以显著降低模型规模和模 拟时间
- ≻ ROM 是系统级模拟的重要工具

在Workbench下导入UG的模型

- · 电池包内部包含超过2000的零件
- · 电池包内的很多零部件是一样
- ANSYS可以利用该一致性来降低建模的复杂性

自重分析

- ・ 目标:
 - 。 分析电池自身重量
- ・ 载荷:
 - 。 重力
- ・约束
 - 。 固定电池底座的安装位置
- ・ 结果:
 - 。 电池顶部有较大的位移
 - 应力在许可范围内,最大应 力出现在最大应变位置相对 的支撑位置

预紧力作用下的振动模态分析

- ・ 目标:
 - 分析电池部件在预紧力下的振动模
 态
- ・ 分析设置:
 - 由于随机振动载荷高达190 Hz,分
 析中需要考虑1.5倍范围,因此分析
 频率高达250Hz
- ・ 约束:
 - 由于分析预紧力下的工况,因此约
 束是由静力学分析获得
- ・ 结果:
 - 。 提取了32阶模态
 - 80%的质量分布在三个方向,随机
 振动模拟的精度足够

Analysis setting

Mode shape 1st mode = 36Hz

ANSYS

随机振动分析

・ 目标:

- 在预紧力作用下,对纵向、侧向和
 垂直三个方向进行随机振动分析
- ・载荷:
 - 。载荷按照SAE J2380中的标准
 - 。 纵向和侧向施加相同的振动载荷
- ・ 约束:
 - 。 约束是由静力学分析获得

Vert	tical	Longitudina	and Lateral
Frequency (Hz)	1.9 grms Amplitude (G ² /Hz)	Frequency (Hz)	1.9 grms Amplitude (G ² /Hz)
10	0.113	10	0.064
15	0.113	13	0.064
18	0.083	22	0.032
25	0.037	45	0.016
35	0.037	80	0.01
45	0.021	120	0.0057
80	0.021	190	0.0057
120	0.0092		
170	0.0052		
190	0.0052		

随机振动分析

・结果:

- 无量纲应力在三个方向都是安
 全的,最大值发生在垂直方向
- 变形同样很小,最大值发生在
 纵向
- 尽管纵向和侧向激励一致,但
 结果差别明显

Directional deformation

1 sigma equivalent stress

Direction	Deformation (m)	Equivalent Stress (Pa)
Vertical	6.93e-4	1.78e8
Longitudinal	2.4e-3	1.24e8
Lateral	1.19e-3	8.58e7

7

- 热应力分析 _{目标:}
- 对电池模块进行热应力分析
- ・载荷
 - 热载荷由MAXWELL进行电磁场分析获得
 - 电池模块固定在底面上
- ・ 结果:
 - 分析热应力和变形是否导致部件的失效

Electromagnetic FEA Analysis for Busbar RLC Network Extraction

Structural FEA: Total Deformation

Structural FEA: Equivalent Stress

跌落分析

・ 目标:

- 。 按照SAE J2464标准进行电池电池组的跌落分析
- ・工具:
 - 显式动力学模块
- ・ 网格 & 接触:
 - 避免使用金字塔网格,保证网格可以用于所有类型的分析
 - 。 可能破环的接触位置定义为超过150MPa后自动分离
- ・ 载荷 & 边界条件:
 - 电池从2米高以45度角跌落
 - 为节省分析时间,定义接触前的跌落速度作为初始载荷
- ・ 结果:
 - 套件的上下位置分离

Total deformation after 15% solve time

最佳实践:SVD ROM: GM 16 Cell Test Case

- SVD ROM technology allows for quick temperature distribution calculation in addition to average temperature calculation.
- ➢ SVD (奇异值分解法) ROM技术能够在以往计算平均温度的基础上,快速的计算温度场的 分布
- Using a heat source from GM, SVD ROM is applied to the GM 16 cell case.
- ▶ GM的16个cell案例中,使用了一个热源的SVD ROM 模型

Heat source used

S. Asgari, X. Hu, M. Tsuk, S. Kaushik, "Application of POD plus LTI ROM to Battery Thermal Modeling: SISO Case," SAE 2014.-01-1843 X. Hu, S. Asgari, I. Yavuz, S. Stanton, C-C Hsu, Z. Shi, B. Wang, H-K Chu, "A Transient Reduced Order Model for Battery Thermal Management Based on Singular Value Decomposition,"IEEE Energy Conversion Congress and Expo, 2014

感谢聆听

