



浅谈技术创新对降低 电机控制器成本的重要作用

中国科学院电工研究所 刘钧

2017年7月29日



报告大纲

1 背景概述

2 浅谈降低成本的技术创新途径



-
- 【概述】
- 电机驱动系统的性能直接决定了车辆的性能。
 - 是支撑电动汽车技术体系的**三项关键共性技术之一**。



【要求：高性能、可靠、安全、低成本】

- **高性能**：良好的电机驱动系统性能保证车辆的**动力性**、**增加车辆续驶里程**；
- **可靠性、安全性**：直接影响到车辆的**可用性**和用户的**接受度**；
- **低成本**：电机驱动系统的成本将影响到新能源汽车的**产业化进程**。



美国DOE电驱系统成本目标

Requirements: 55 kW peak for 18 sec; 30 kW continuous; 15-year life

Technical Targets



Electric Traction Drive Systems (ETDS)				
Impact	Reduce Cost	Reduce Weight	Reduce Volume	Reduce Energy Storage Requirements
Year	Cost (\$/kW)	Specific Power (kW/kg)	Power Density (kW/l)	Efficiency (%)
2015	12	1.2	3.5	>93
2020	8	1.4	4.0	>94

Power Electronics (PE)		
(\$/kW)	(kW/kg)	(kW/l)
5	12	12
3.3	14.1	13.4

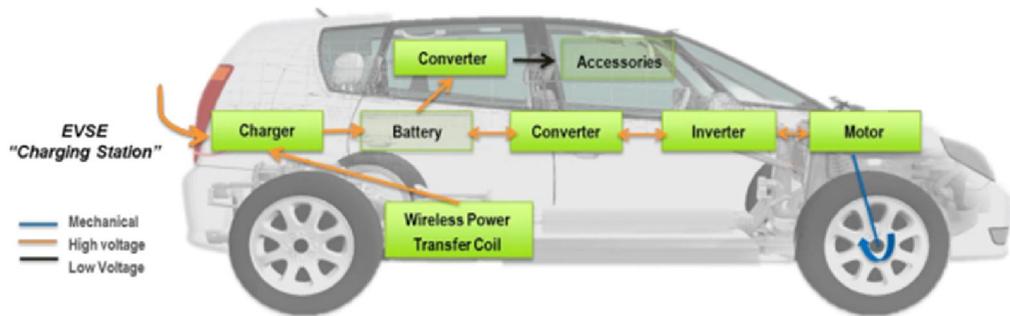


Electric Motors (EM)		
(\$/kW)	(kW/kg)	(kW/l)
7	1.3	5
4.7	1.6	5.7

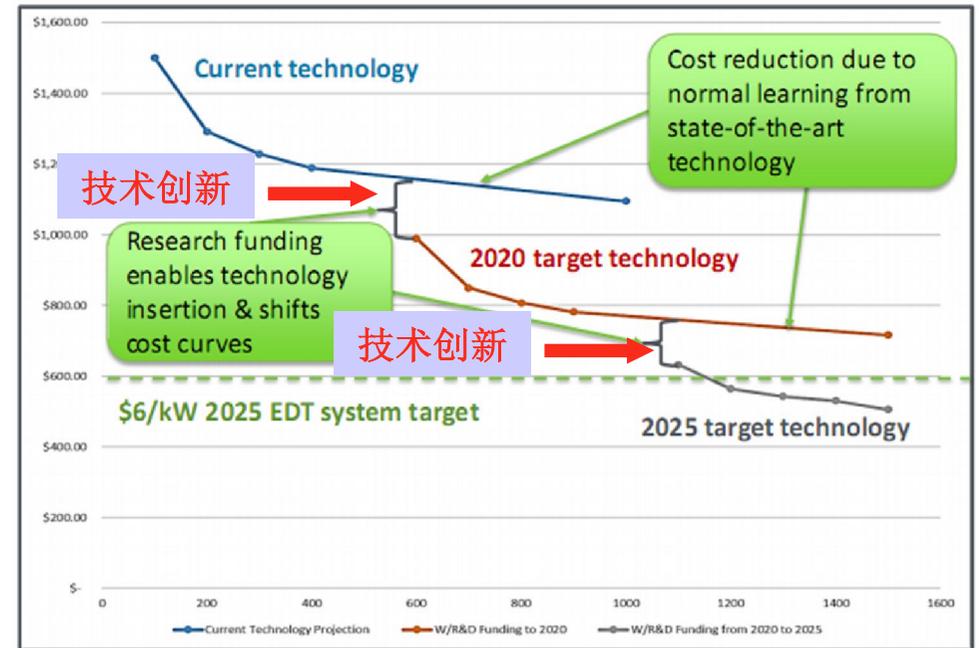
From US DOE APEEM Program



美国DOE电驱系统成本目标



2025 GOAL: Reduce the cost of electric drive system to \$6/kW
(50% decrease from 2015 baseline)



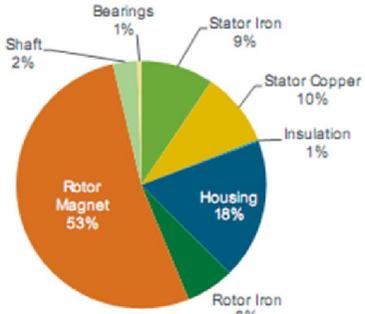
Note: 100 kW EDT system & 100,000 unit annual production volume



电驱系统成本构成

Cost analysis

On-road 80 kW Motor
Manufacture Price: \$938



Specific cost: \$11.73/kW
2020 target: \$4.7/kW

R&D emphasis

53% **Rotor magnet**

- Research motor design concepts that *eliminate* rare-earth magnets – IM, SRM, etc.
- Research motor design concepts that *reduce* rare earth content
- Develop and refine less expensive magnets – ALNICO or ferrite

18% **Housing**

- Develop advanced scalable packaging designs & materials to reduce losses, improve heat removal, and increase efficiency

10% **Stator Copper**

- Evaluate higher speed strategies to reduce volume and mass

9% **Stator Iron**

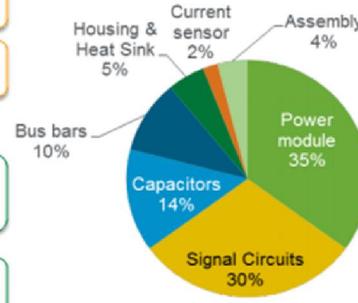
- Integrate less costly, low loss materials

6% **Rotor Iron**

Total 43%

Cost analysis

On-road 80 kW Inverter
Manufactured Cost: \$1,092



Specific cost: \$13.65/kW
2020 target: \$3.3/kW

R&D emphasis

35% **Power Module**

- Utilize WBG devices for high temperature operation & increase efficiency to reduce cooling system requirements
- Reduce heat loss & improve heat transfer with improved packaging materials and heat exchangers
- Integrate designs to minimize components

30% **Signal Circuits**

- Integrate gate driver, isolation circuit, and fault logic to match WBG performance

14% **Capacitors**

- Implement advanced circuit designs to reduce capacitor requirements
- Improve capacitor performance characteristics

10% **Bus Bars**

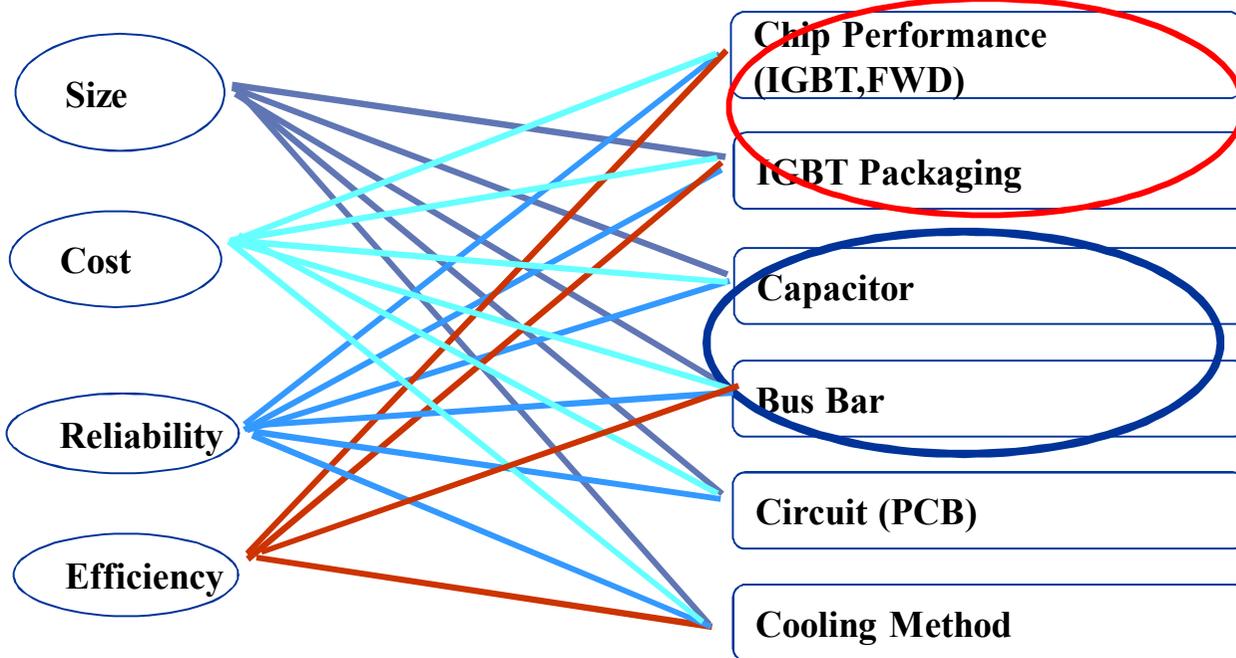
- Reduce the size and bulk of the dc bus with a novel heat blocking strategy



汽车应用需求与挑战

主要解决方案

高效、可靠、低成本车用电机控制器



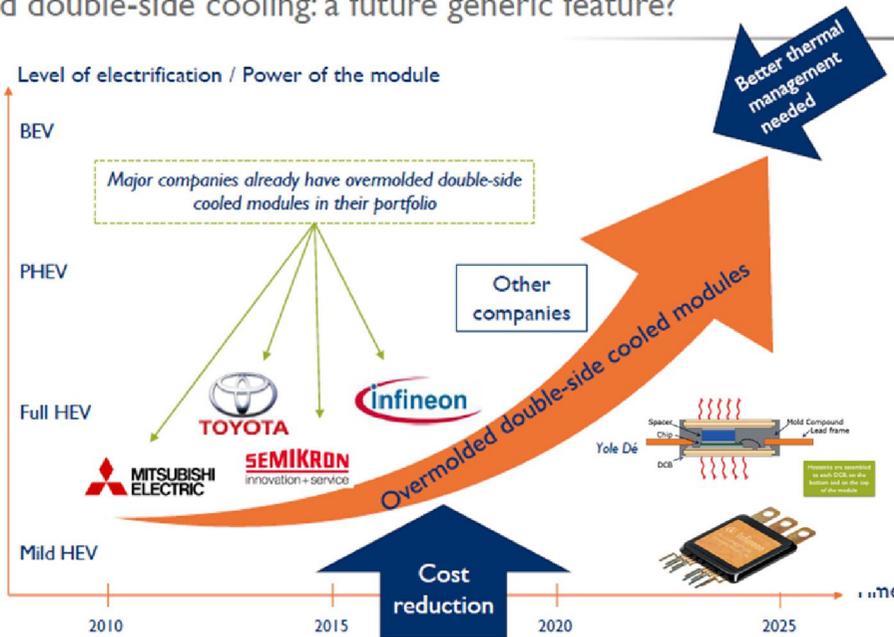
控制器成本降低的主要技术途径包括：(1)有效提升现有材料利用率及国产化率(Si基IGBT与电容组件)；(2)功率控制总成与动力总成集成创新；(3)基于第三代半导体技术的全SiC控制器。

注：效率还与电机负载及控制算法有关

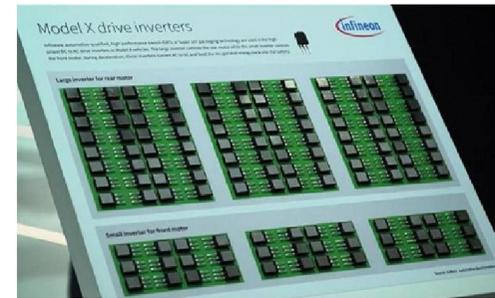


Overmolded modules and double-side cooling: a future generic feature?

- Overmolded modules were first used due to their **low cost**, especially in hybrid vehicles.
- Double-sided cooling allows **better thermal management** in a **reduced volume**, which is a key constraint in hybrid vehicles.
- On the other hand, with the increase in junction temperature, thermal management is also key for fully electric vehicles.



提升Si基IGBT模块的材料利用率



塑封/双面冷却封装技术是被看好的规模化低成本方案之一；同时Tj在线检测（芯片集成温度传感器与损耗/热阻模型计算相结合），减小设计余量。另外采用量大价廉的塑封分立器件（如特斯拉），可有效降低模块成本（估计>30%以上）



提高Si基IGBT模块国产化率

● 国际市场供应链已基本成熟，但随着新能源等市场需求增长，市场链条正逐步演化……



国内IGBT主要厂商			
设计	制造	模组	IDM
中科君芯	中芯国际	中车西安永电	中车株洲时代
西安芯派	华润上华	西安爱帕克	深圳比亚迪
无锡同方微	深圳方正微	江苏宏微	吉林华微
宁波达新	上海先进	南京银茂	杭州士兰微
山东科达	华虹宏力	深圳比亚迪	中环股份
		嘉兴斯达	中航微电子

IGBT 国际厂商优势明显，国内发展潜力巨大，目前，国内已形成了 IDM 模式和代工模式的 IGBT 完整产业链。以中车、比亚迪为代表的厂商已成功实现国产 IGBT 在高铁和新能源汽车中的应用，新能源汽车/轨交市场需求加速 IGBT 国产替代。



功率模块产品质量检验中心

<http://www.iee.cas.cn/qt/ieeps/>

中心成立于2013年，2014年10月获得CNAS及CMA二合一认可，是国内首家专门针对高压大功率半导体器件的综合性检测实验室。中心拥有30余台世界先进的检测设备，重点开展绝缘栅双极型晶体管（IGBT）、场效应管（MOSFET）、功率二极管等器件的技术参数检测和可靠性测试。

测试能力

■ 技术参数测试

动静态参数、热特性、杂散参数测试等

■ 可靠性测试

芯片可靠性、封装可靠性、环境适应性等测试

■ 失效分析

无损检测、温度场分布等

技术方向

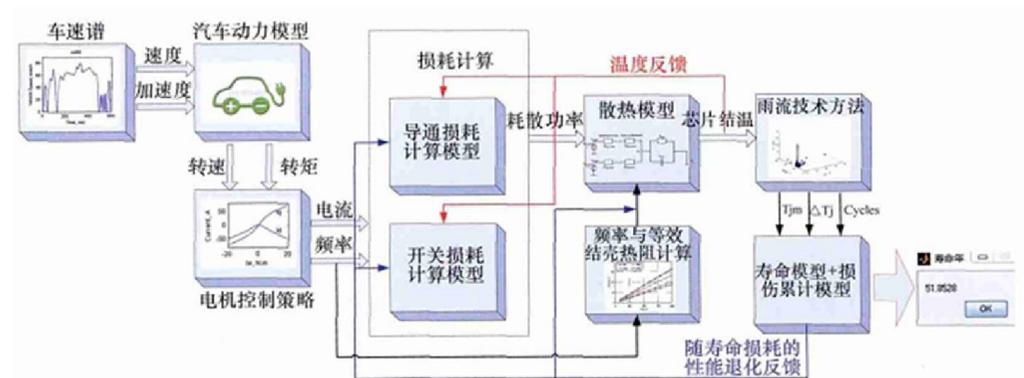
IGBT参数测试方法

可靠性模型和IGBT失效机理分析

IGBT寿命模型及寿命预测



提高Si基IGBT模块国产化率



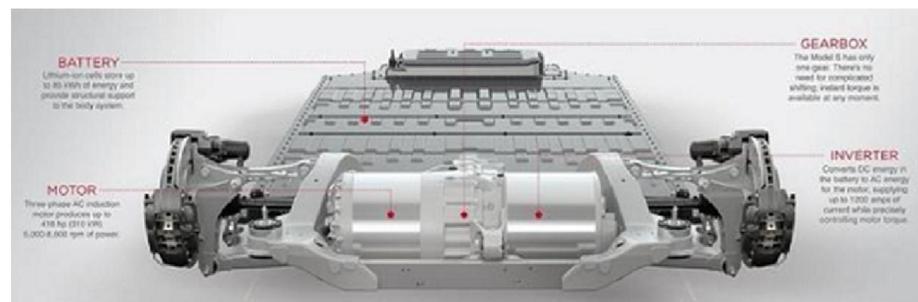
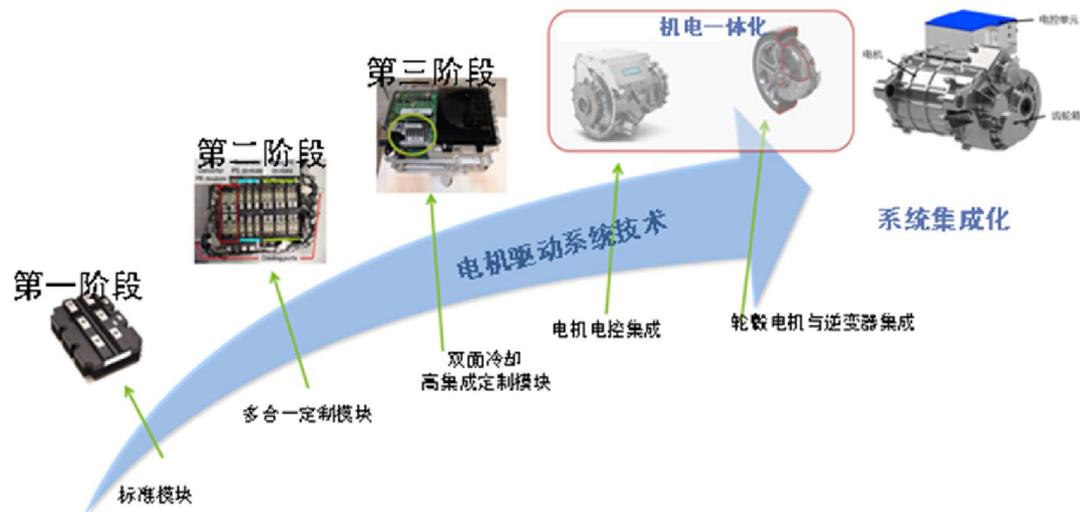
中科院电工所功率器件检测中心是目前国内首家专门针对高压大功率半导体器件的国家级CNAS认证实验室，检测中心对外服务的企业、研究机构已超过30家，可提供工况下IGBT模块寿命预测与实测。国内IGBT厂商委托测试需求日益增加，产品成熟度快速提高。





功率控制总成与动力总成集成创新

电机驱动系统向**高效率、高转矩/功率密度、高集成度**方向发展。



电机+控制器+减速器（或变速箱）的乘用车动力总成集成方案；主驱+油泵+气泵+DCDC+高压配电的多合一商用车功率控制总成 (PCU) 方案均能有效降低系统成本。



第三代半导体SiC控制器

SiC器件性能全面超越Si基器件

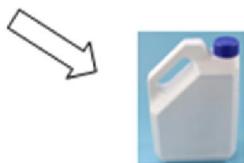
全SiC电机驱动控制器可达40kW/L以上



Si基变频器 20升

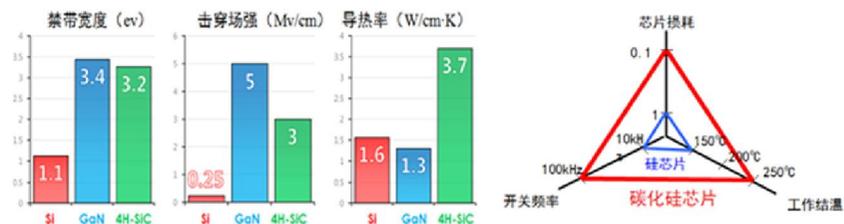


160kW



SiC基变频器 4升

下一代功率半导体芯片，多项优势



- 导通电阻小 硅器件1/3-1/5
- 可高温工作 硅器件1.5-2倍
- 可高速开关 硅器件3-5倍

提高系统效率
提高功率密度
提高可靠性

一代芯片、一代模块、一代系统，SiC为代表的第三代半导体可以高效、高速、高温工作，采用先进封装技术可以数倍提升Si控制器功率密度(2020年国内目标为≥30kW/L，装车≥1000套)。



第三代半导体SiC控制器

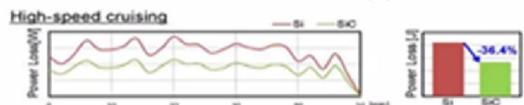
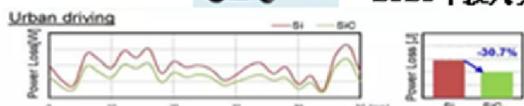


体积缩小80%

日本丰田



车载实验阶段
2020年投入实用



不同工况路试表明损耗降低30%以上，油耗降低10%

DENSO 日本电装

功率密度提高4倍
进入量产阶段

日本三菱

总体积缩小70%

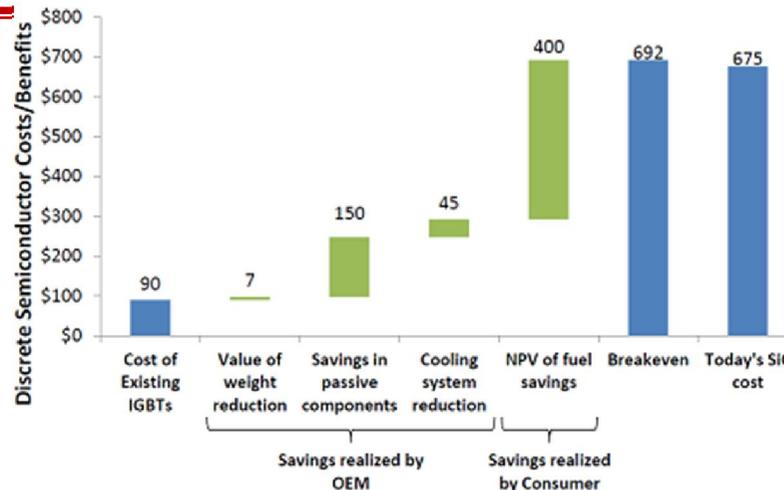
车载实验阶段

Nidec
-All for dreams

日本电产

体积削减32%
重量减轻69%

车载实验阶段



Cost-effectiveness of SiC transistors over IGBTs for HEV inverters based on the entire value chain [1]

SiC+先进封装技术可以有效降低控制器损耗，数倍提升控制器功率密度，规模化的系统综合成本是有优势的。



谢 谢 !