

电动汽车充电与驱动集成拓扑研究

报告人： 黄文新 教授

南京航空航天大学
工信部多电飞机电气系统重点实验室

目录
CONTENTS

01

研究背景

02

充电与驱动拓扑集成技术

03

电机特性分析

04

仿真研究和实验结果

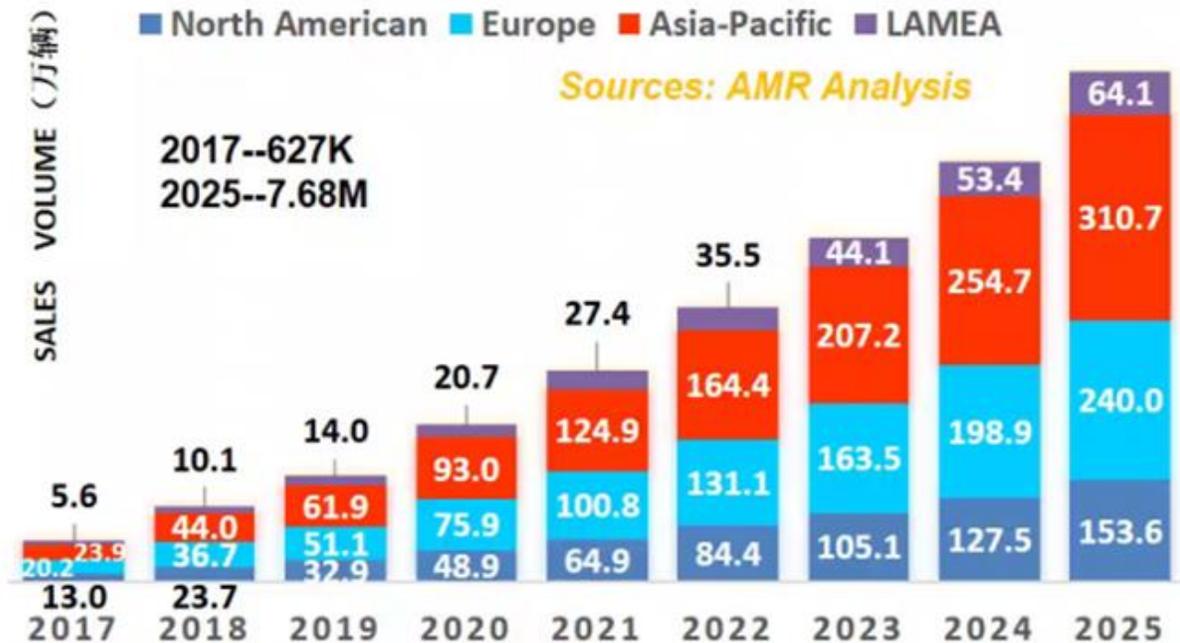
01

研究背景

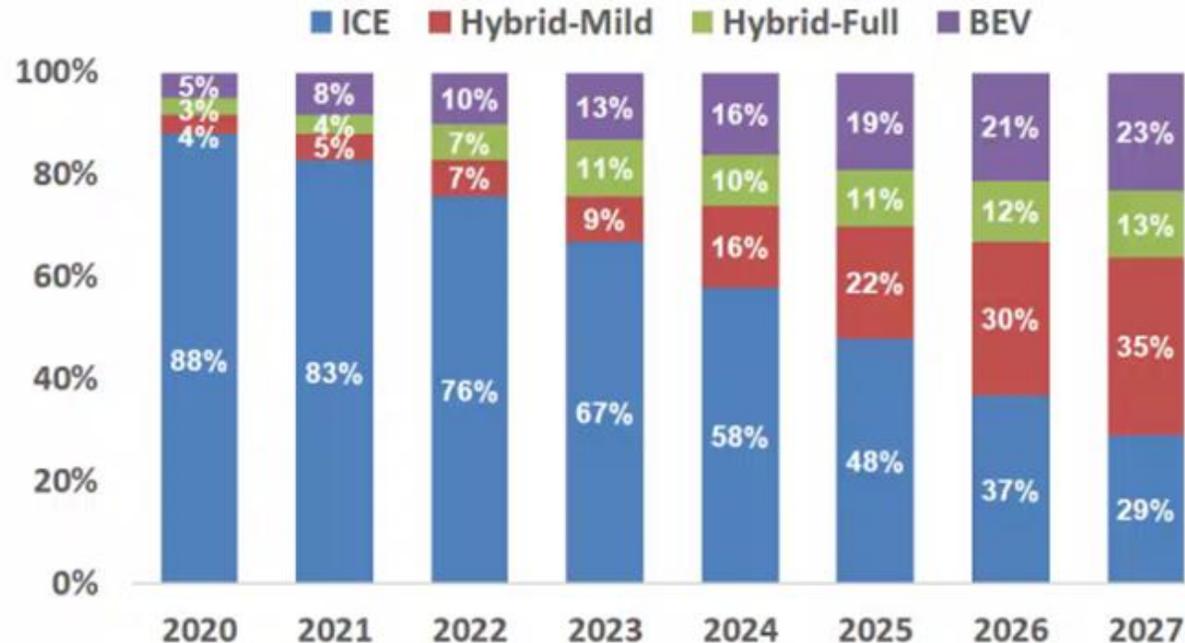
01

研究背景

■ 全球电动车市场趋势2017-2025

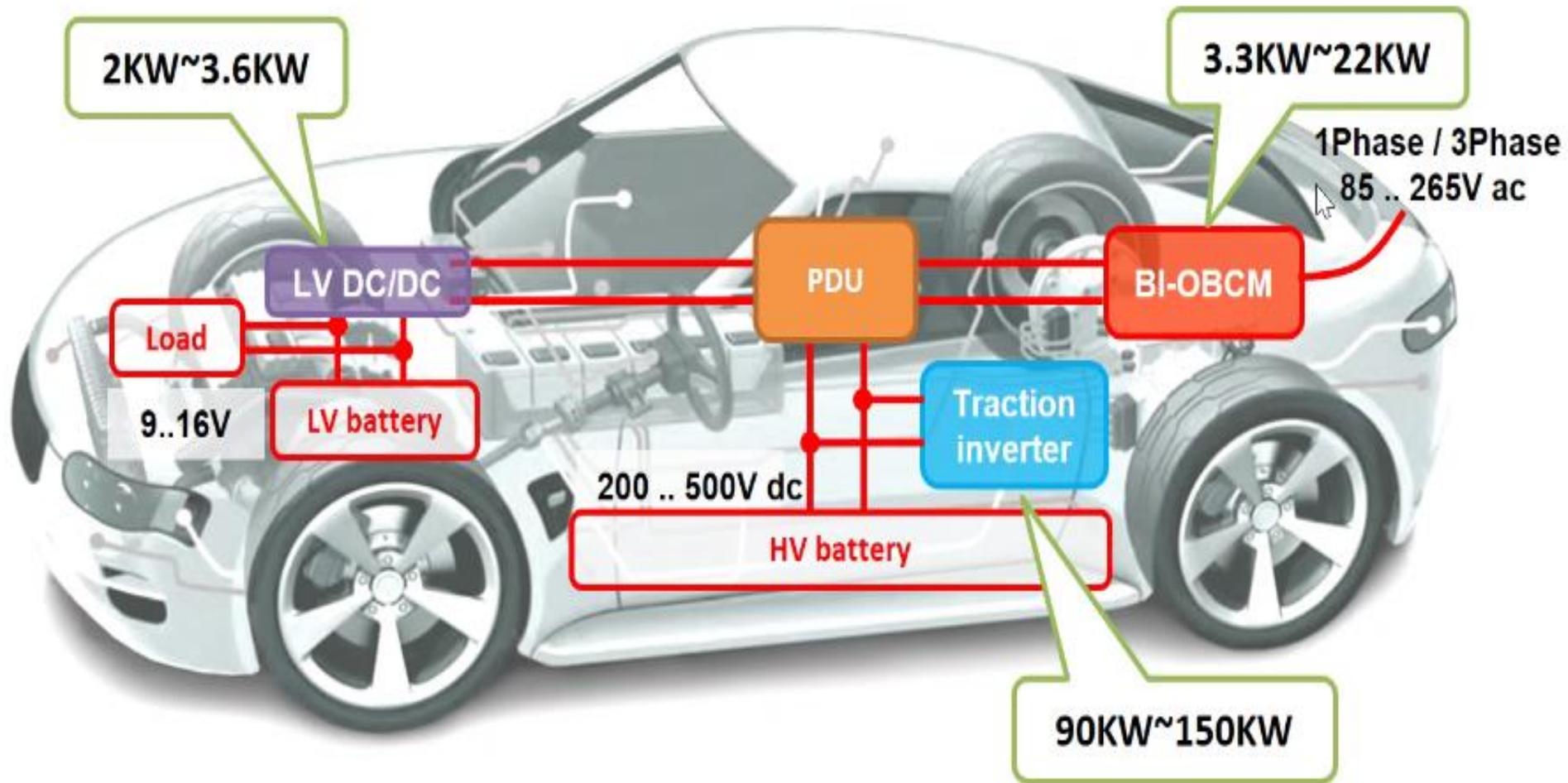


■ 中国新能源汽车市场趋势2020-2027



中国将成为全球最大的电动车市场

中国市场到2027年，大约70%的乘用车将会电气化，并且BEV的市场份额将达到23%左右



01

研究背景

电动汽车功率变换器的发展趋势

趋势

01

● 双向OBC在移动储能中的应用

02

● 功率系统集成 (X in 1)

03

● 800V高压电池系统

04

● SiC及高功率密度

05

● 兼容性的封装设计匹配多样化的功能集成

01

研究背景

车载电力电子装置集成技术

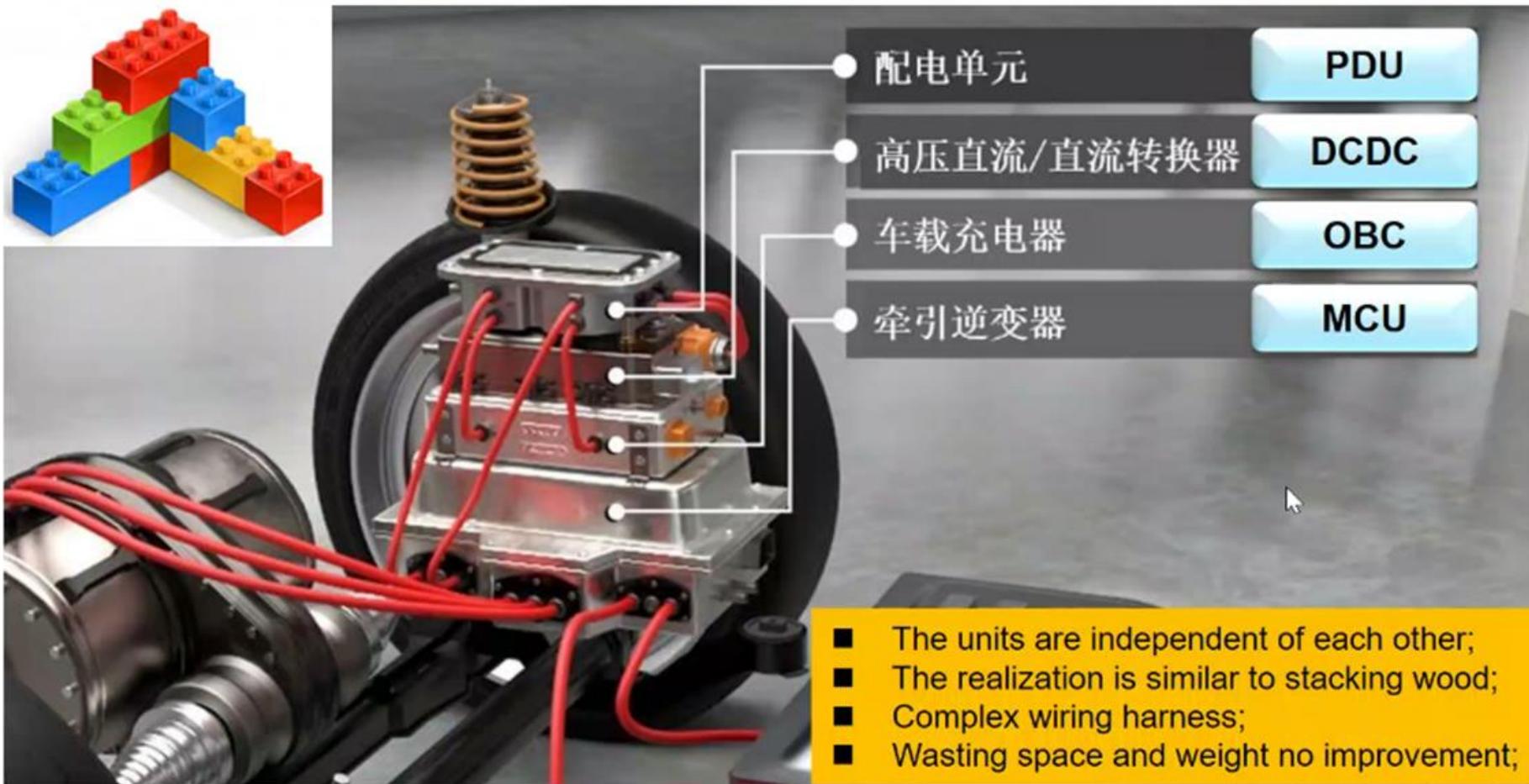
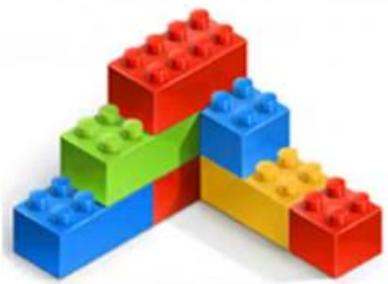
物理集成

功能集成

拓扑集成

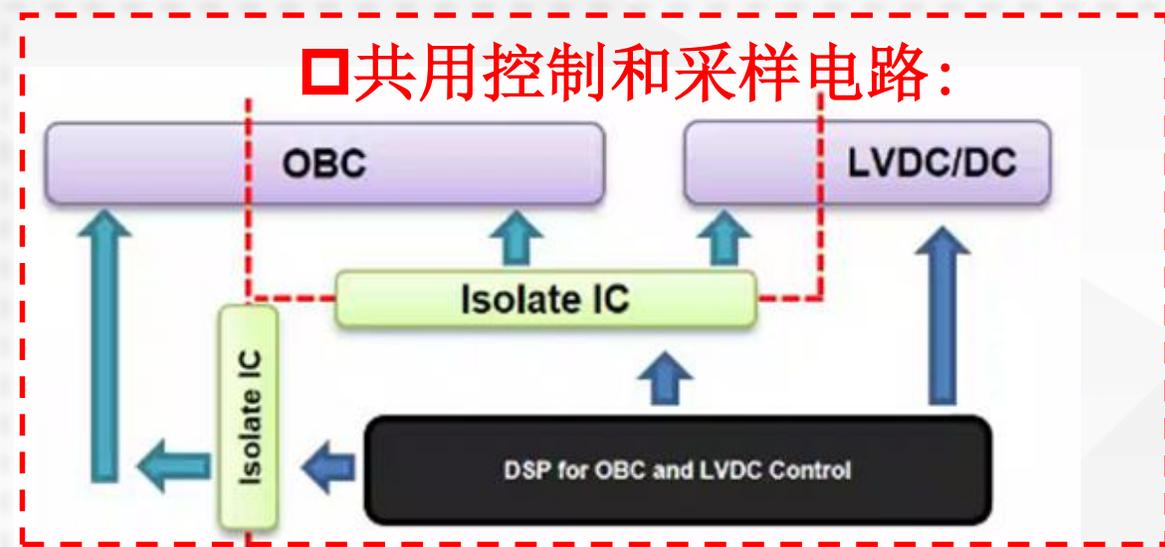
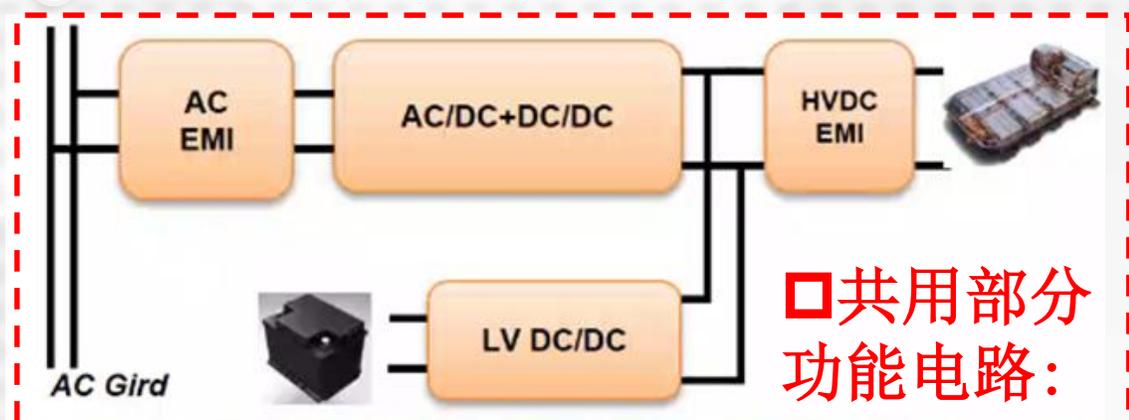


物理集成方案



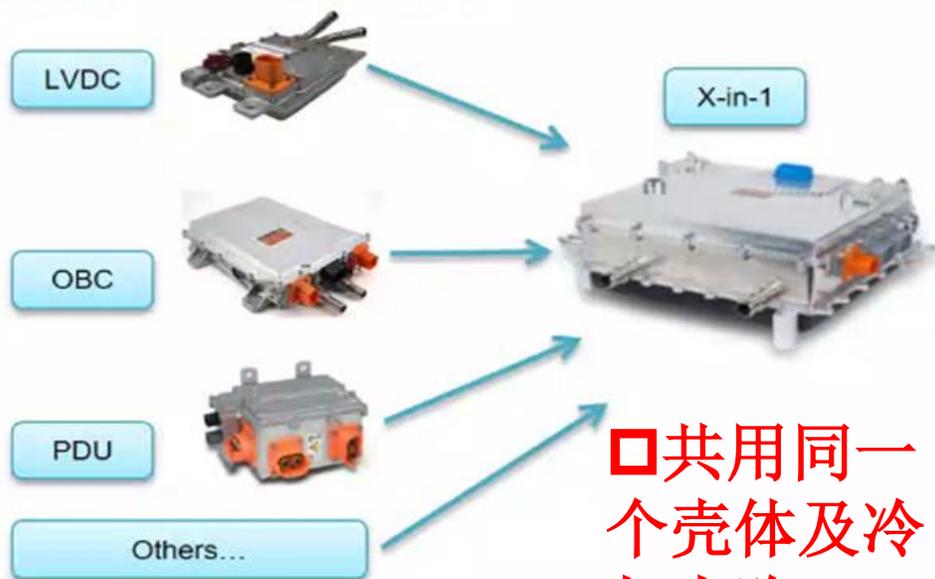
<https://www.ednchina.com/products/7017.html>

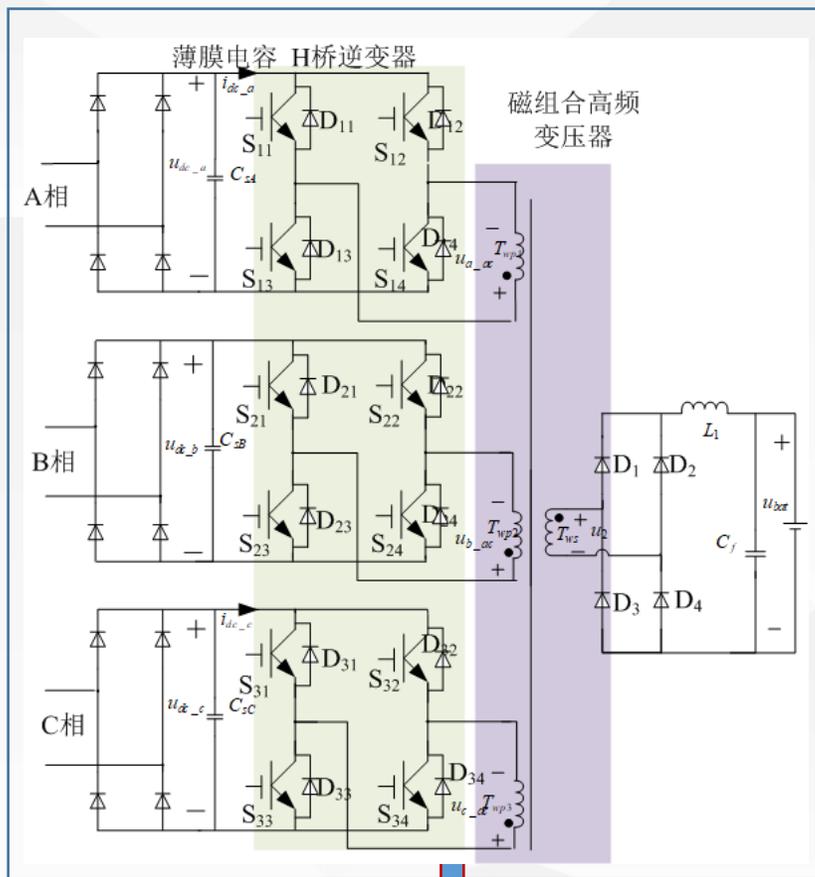
物理集成方案现在已经被大部分主机厂和供应商接受



通过将相同功能的电路及结构部件的集成设计，可以有交地改善成本以及尺寸大小。

功能集成是当前最为主流的集成方案





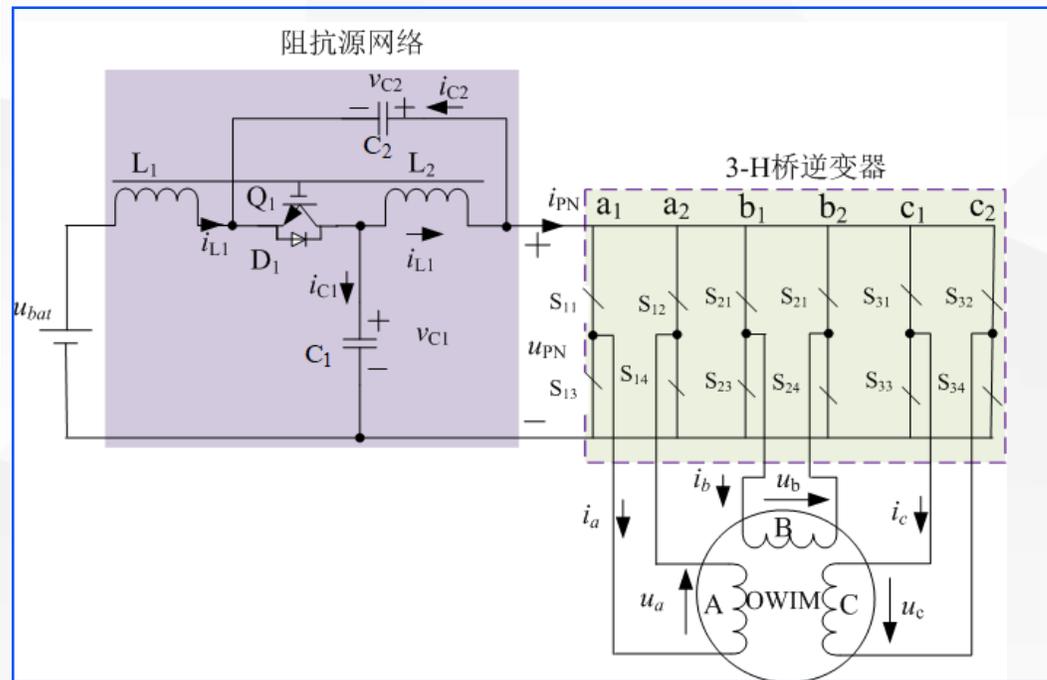
集成的驱动模式

本课题组提出的一种集成方案

集成思想：复用变换器和部分无源器件

优势：

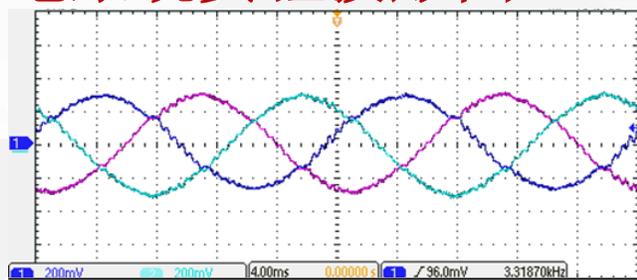
- 充电系统具有**电气隔离**，适合大功率快充
- 驱动系统加入**升压**环节提升驱动系统效率
- 充电时对**驱动电机**无影响，充电效率较高
- 驱动系统具有**容错**功能
- 母线侧无电解电容



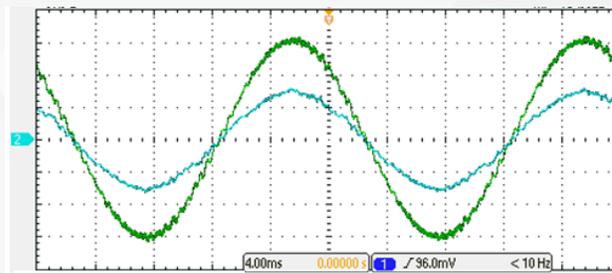
本课题组提出的一种集成方案

——充电与驱动复用功率器件

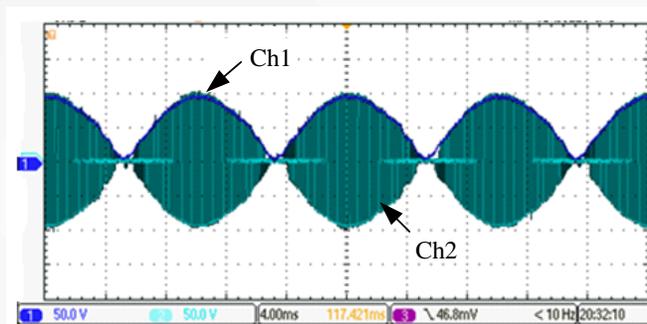
15kW充电系统实验波形图



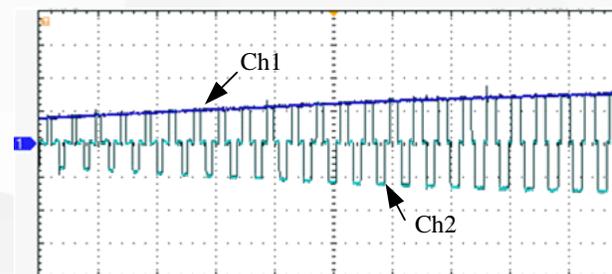
(a) 三相输入电流



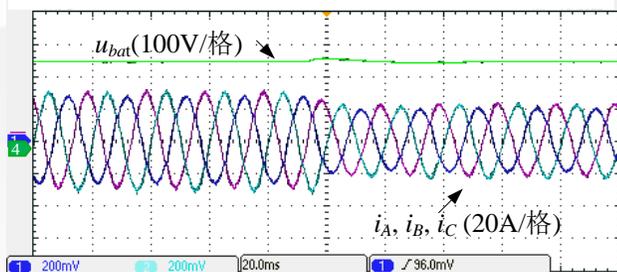
(b) 网侧电压和电流



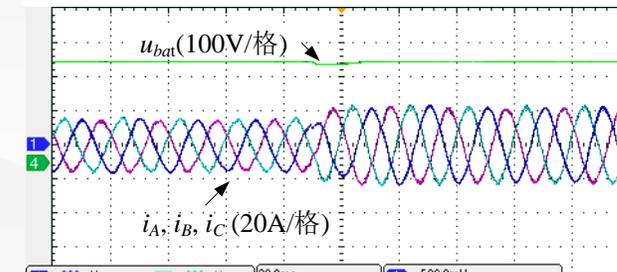
(c) 直流母线电压和逆变器输出电压



(d) 直流母线电压和逆变器输出电压展开图

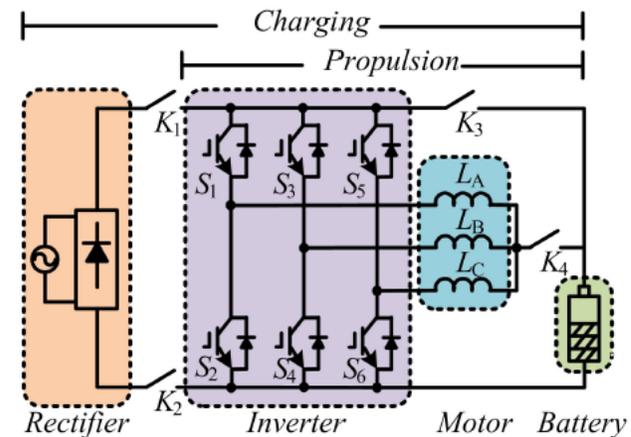
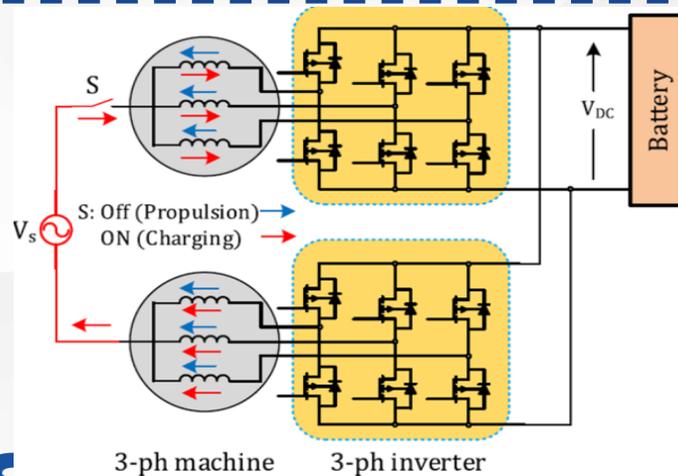
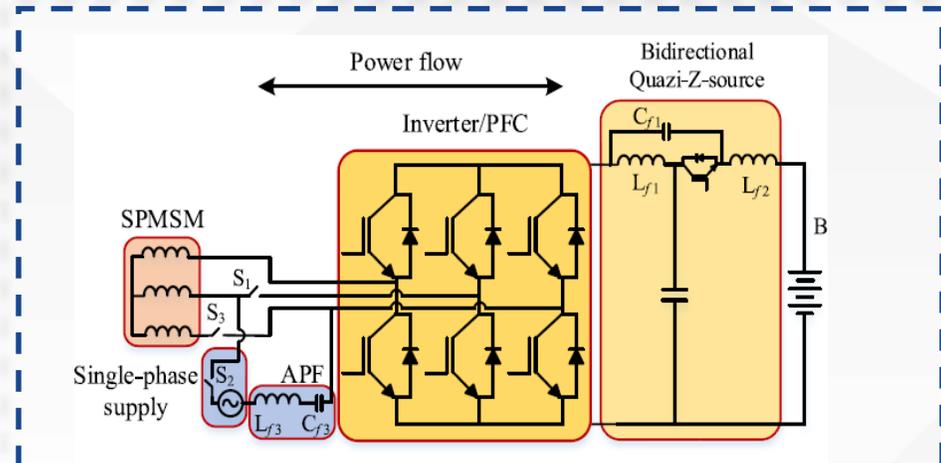
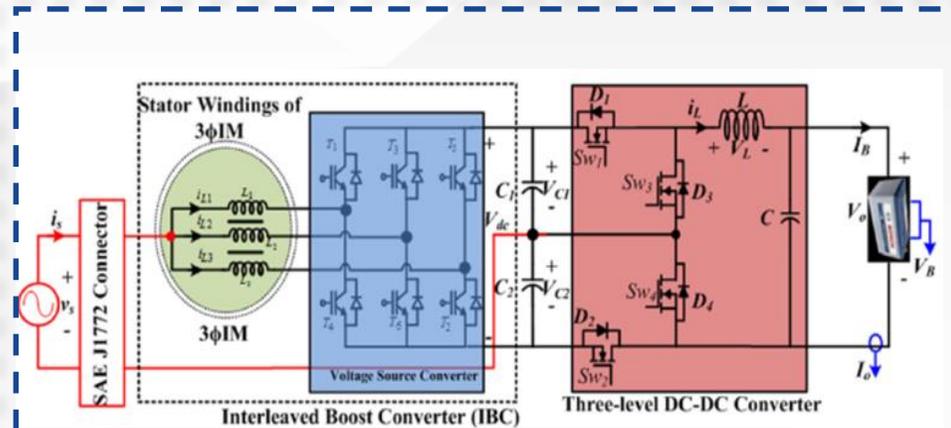


(i) 100%负载突减25%时输出电压和网侧电流



(j) 60%负载突增20%时输出电压和网侧电流

利用电机绕组漏感作为充电拓扑中功率因数校正电感



利用电机绕组漏感作为充电拓扑中功率因数校正电感或者利用特殊电机结构重构充电隔离变压器实现磁性整合。

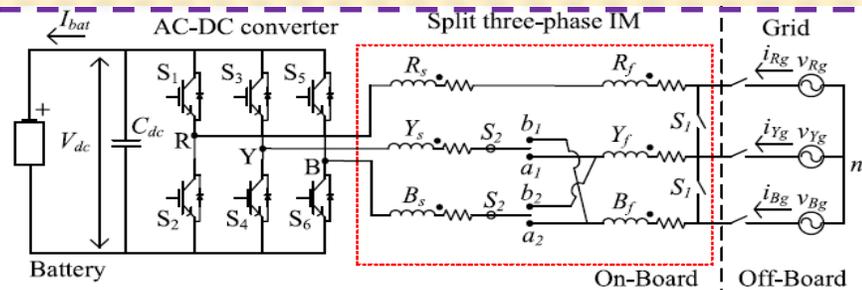
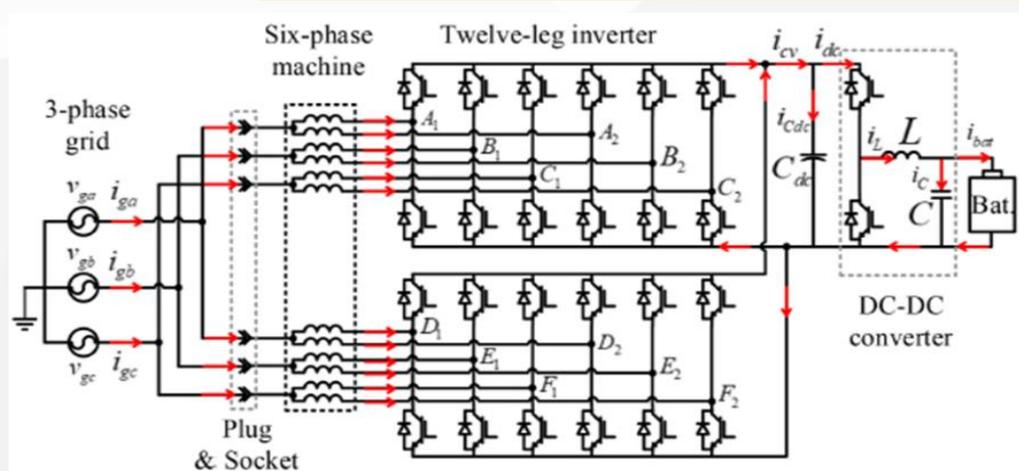
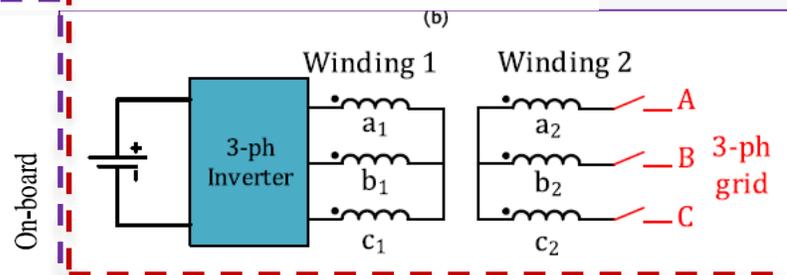
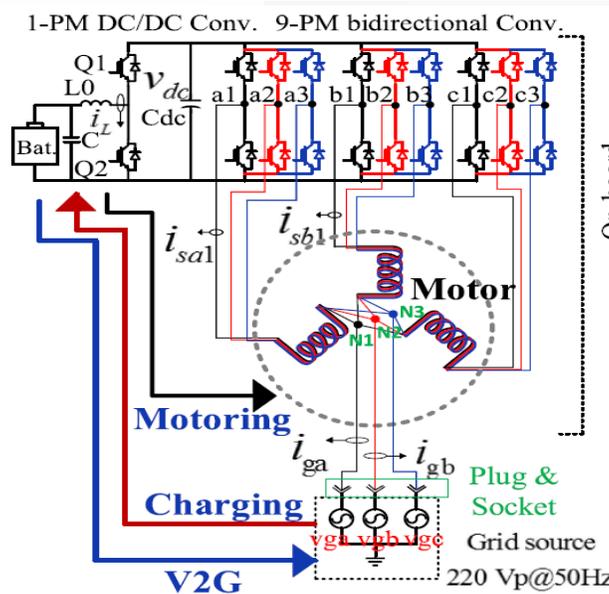
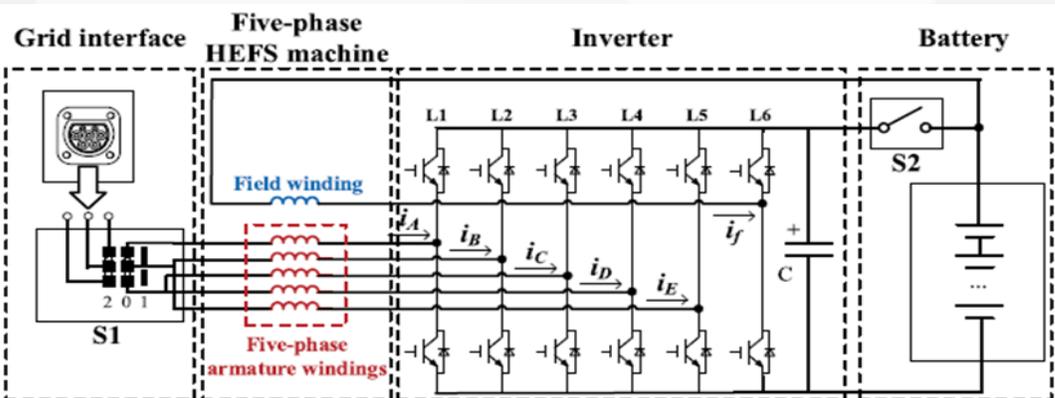


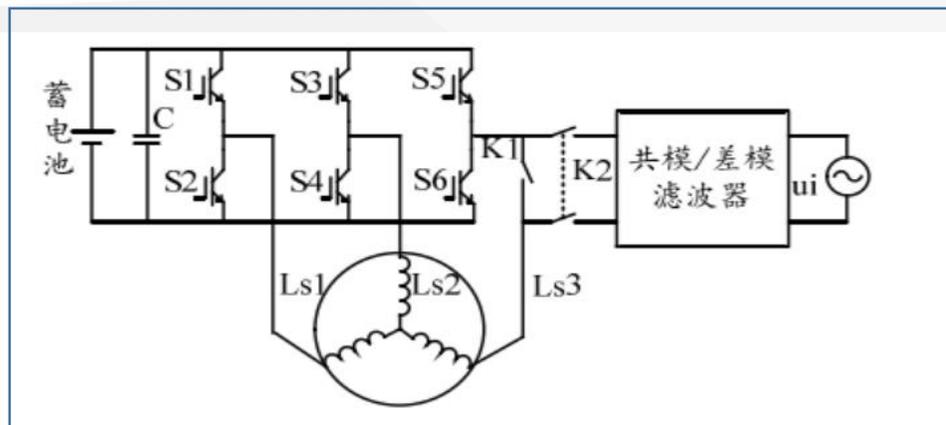
Fig. 10 Reconfiguration of machine windings between the propulsion and charging modes.



在成本和功率密度方面具备较大的优势

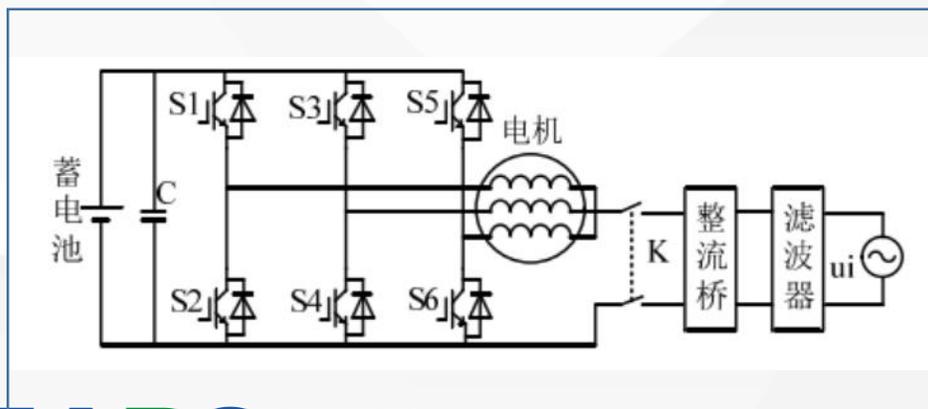
充电与驱动拓扑集成技术关键问题：

- 功率器件复用及电机绕组利用集成技术
- 电机转子在充电状态下静止



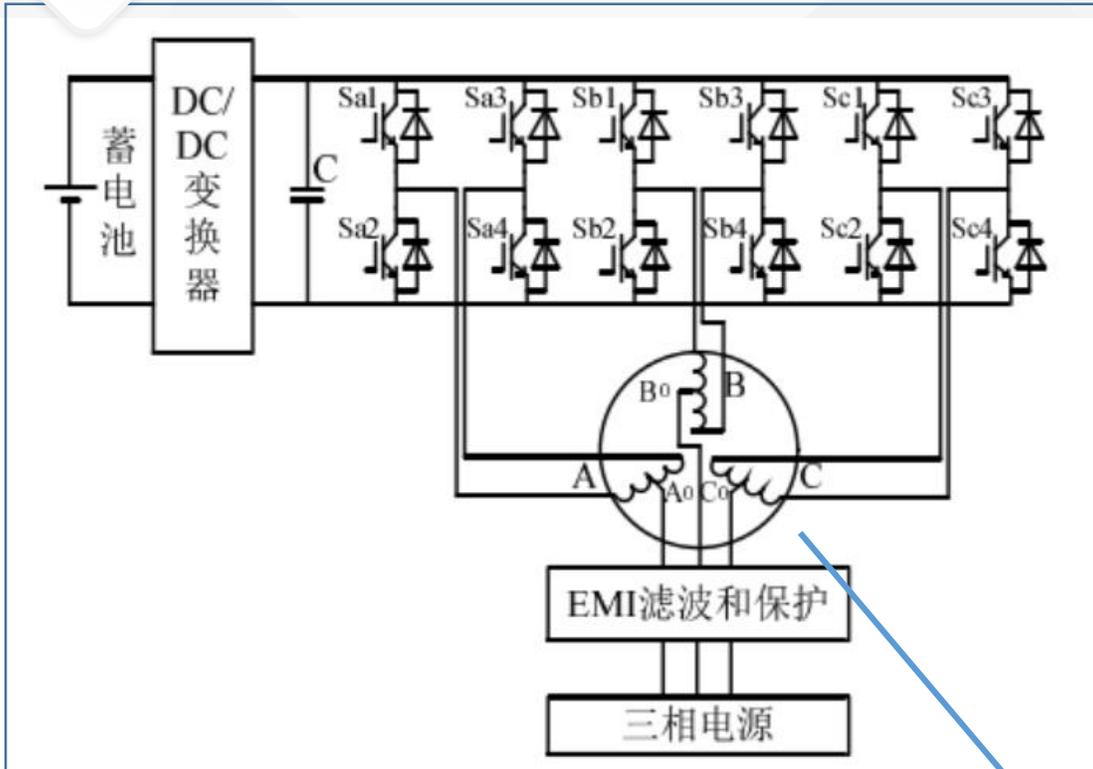
机械固定法

优点：结构简单，桥臂少
缺点：需要额外的机械装置固定电机，且充电噪音较大



零序电感法

缺点：电机三相绕组电感并联使用，降低了等效感量，因此限制了充电功率，一般在1~2KW左右

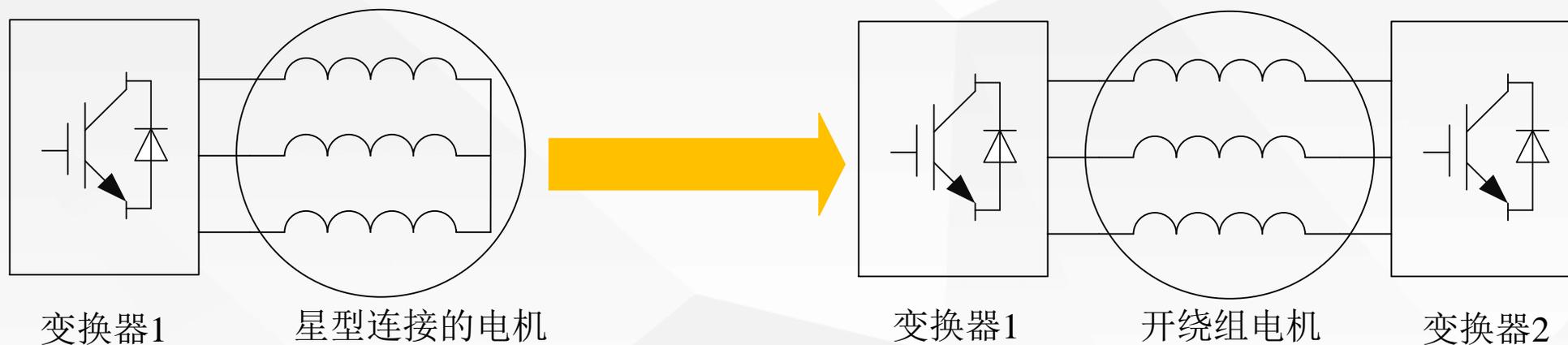


磁通平衡法

- 可以实现大功率充电；
- 充电过程中可以无需附加机械装置来保持电机转子静止；
- 开绕组，变换器桥臂较多。

电流从各相绕组中点引入，
通常两段不同极相组绕组建立相
反的磁场

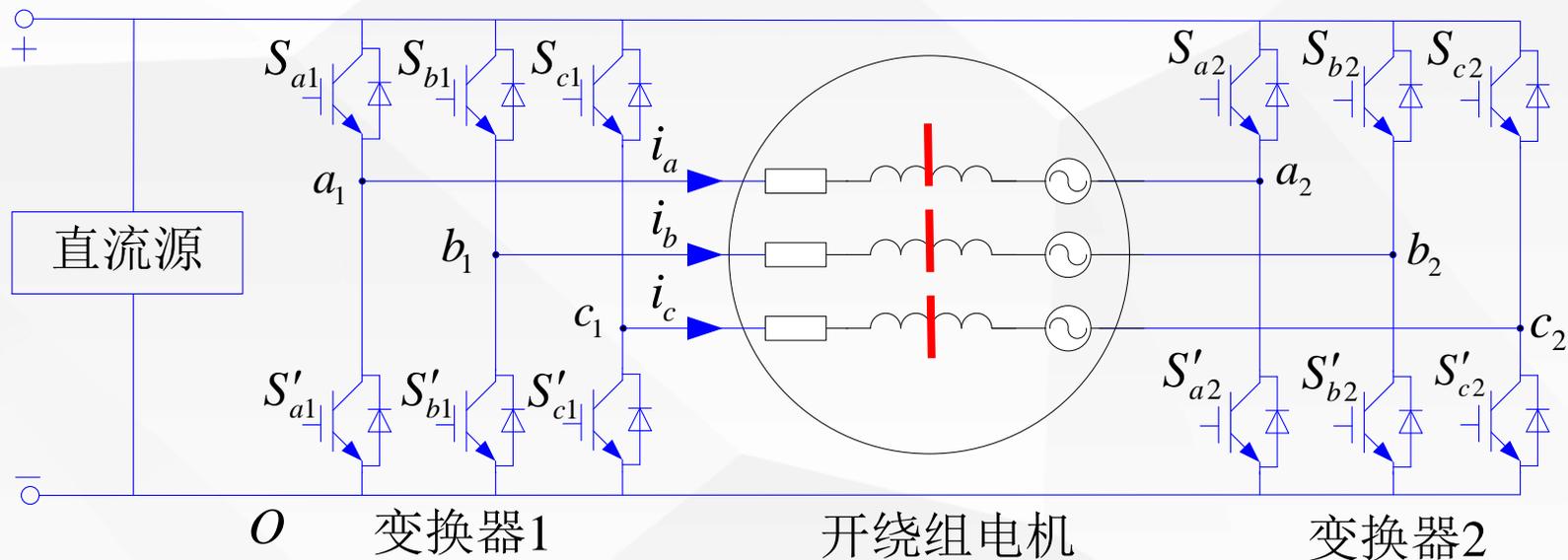
■ 开绕组电机拓扑



◆ 无需重新设计电机，仅需对定子绕组出线进行改造即可构成**开绕组电机**驱动系

统。由于采用**双端馈电**，可使得施加在定子上的电压得到提升，**拓宽调速范围**。

■ 开绕组电机拓扑



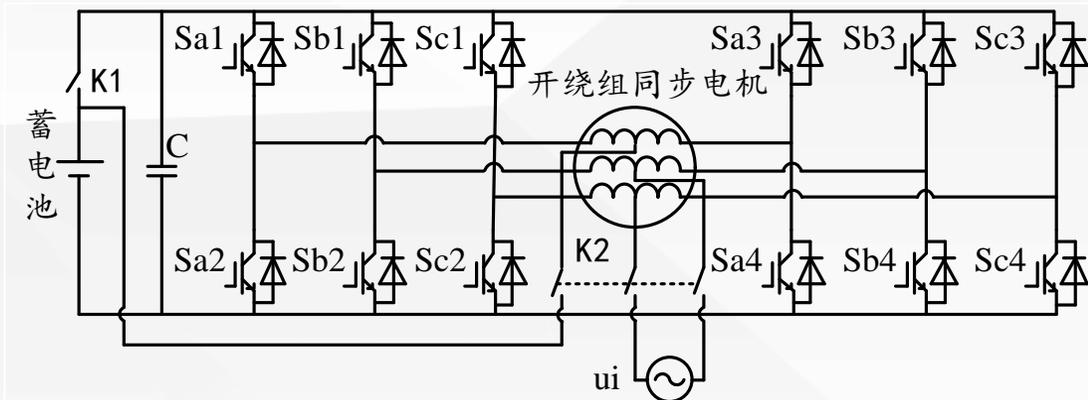
- ◆ 仅需一条直流母线，**结构简单**，适合于单电源供电的场合（如电动汽车）。
- ◆ 采用双逆变器供电，**电压矢量资源丰富**（可产生64个电压矢量），**控制灵活**。
- ◆ 具有**故障容错**控制能力，一相故障可输出。
- ◆ 绕组中点接出，便于采用“**磁通平衡法**”用于充电拓扑。

02

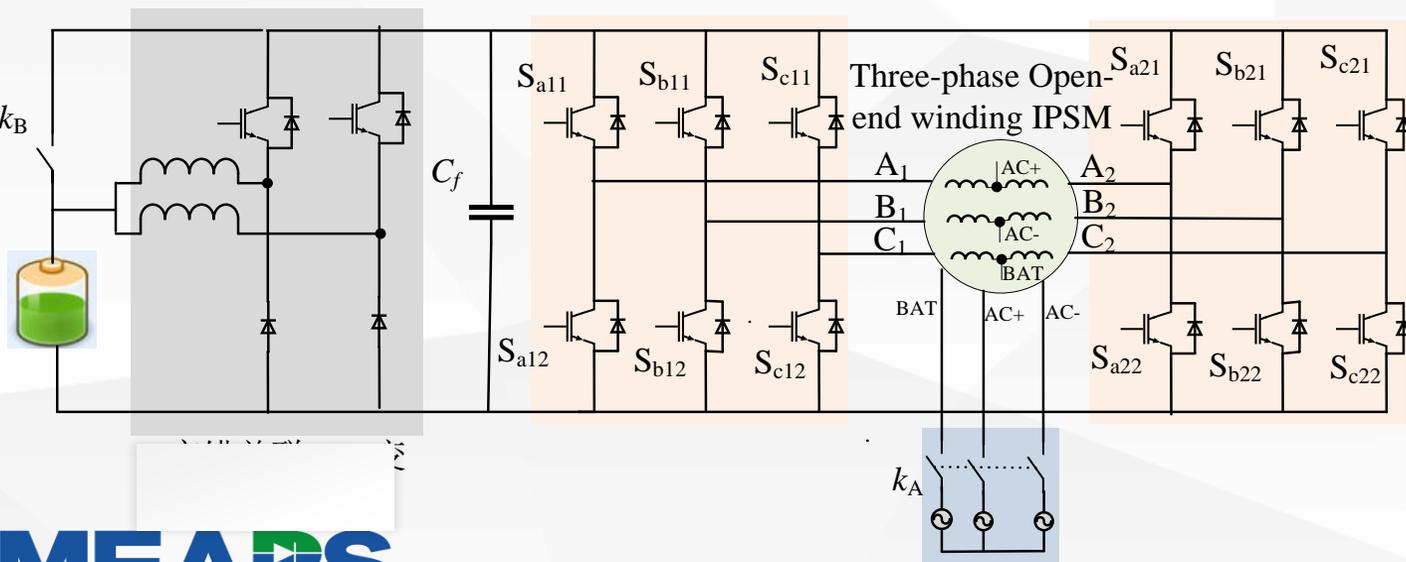
充电与驱动拓扑 集成技术

提出的拓扑集成方案

单相充电



三相充电

**优点:**

充电时磁通平衡法;

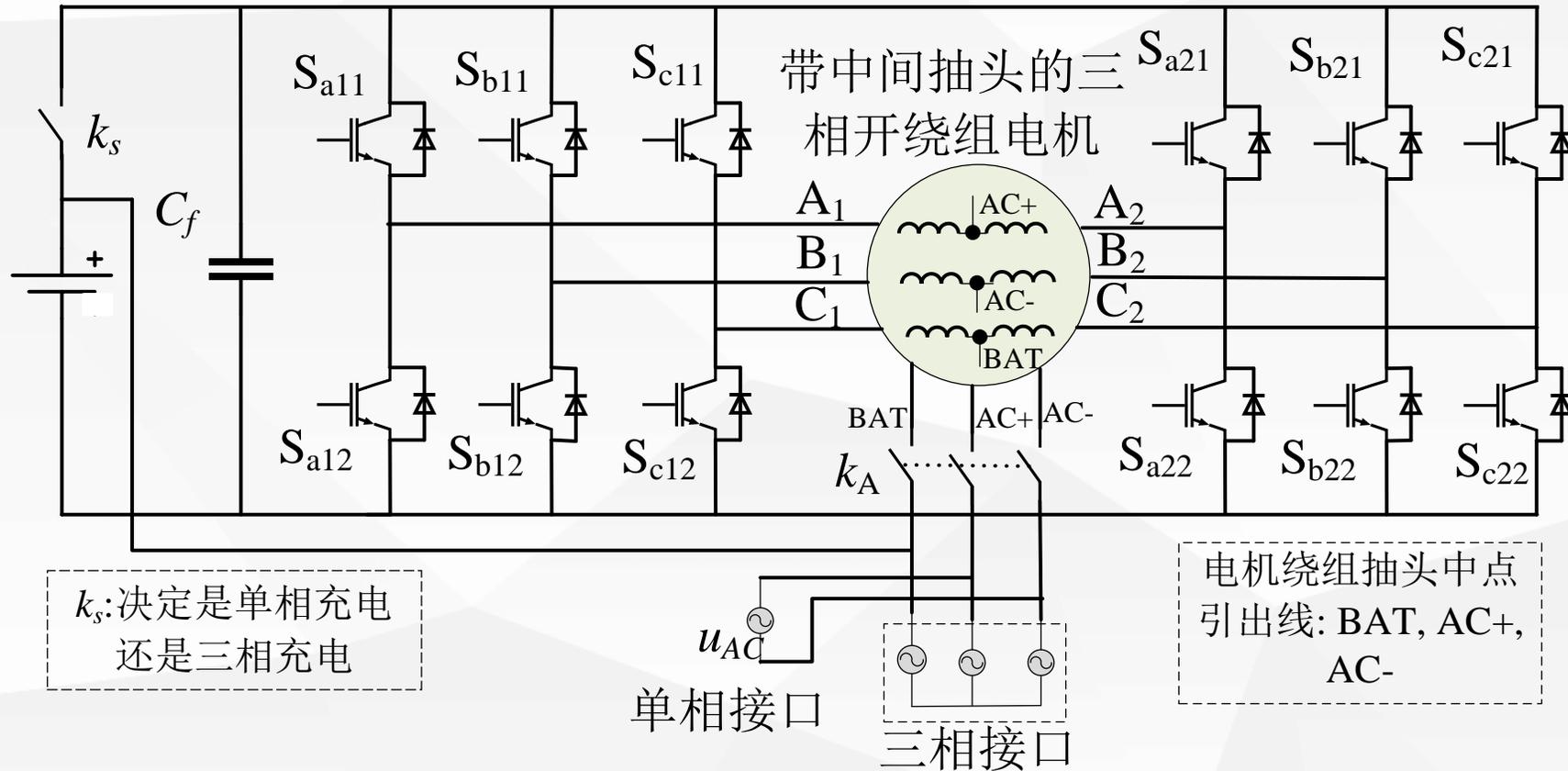
PFC 整流电路;

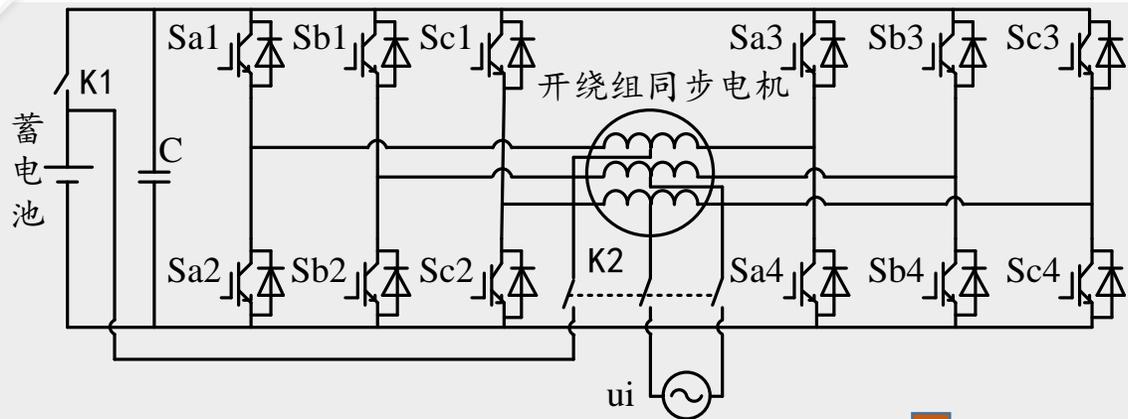
开绕组驱动;

工作模式切换方便。

缺点: 无电气隔离

单相/三相电网兼容的集成拓扑（110V三相体制或高压电池系统）



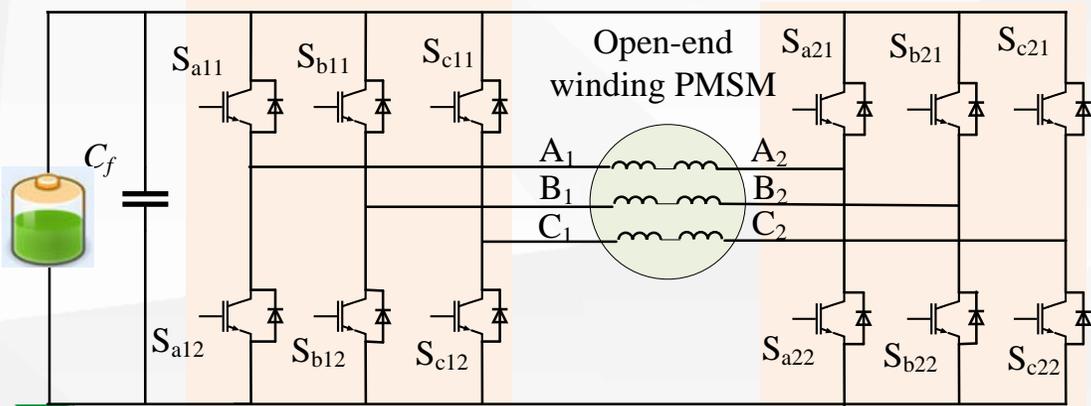


◆单相集成拓扑（慢充）

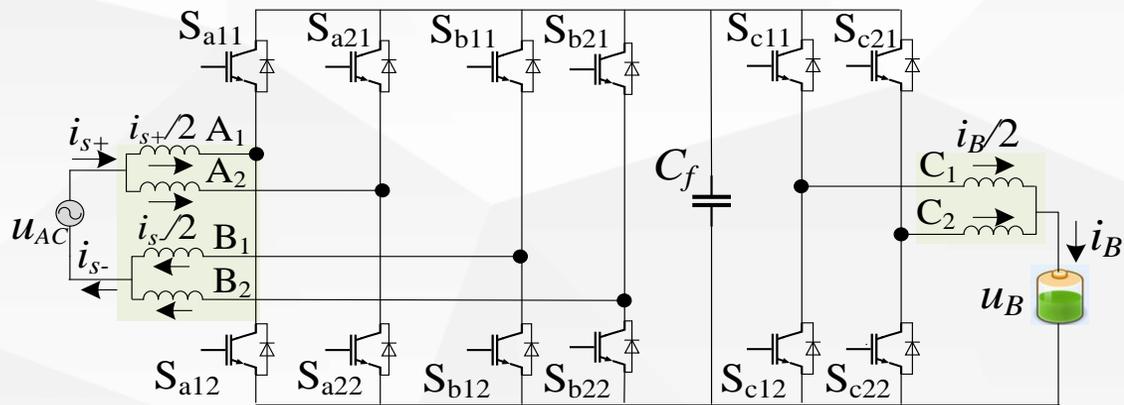
优势：

- 集成化程度高，节省空间
- 电压利用率高，宽调速范围
- 充电具备PFC和buck/boost功能
- 同步机效率高，续航能力强
- 驱动系统具有容错功能

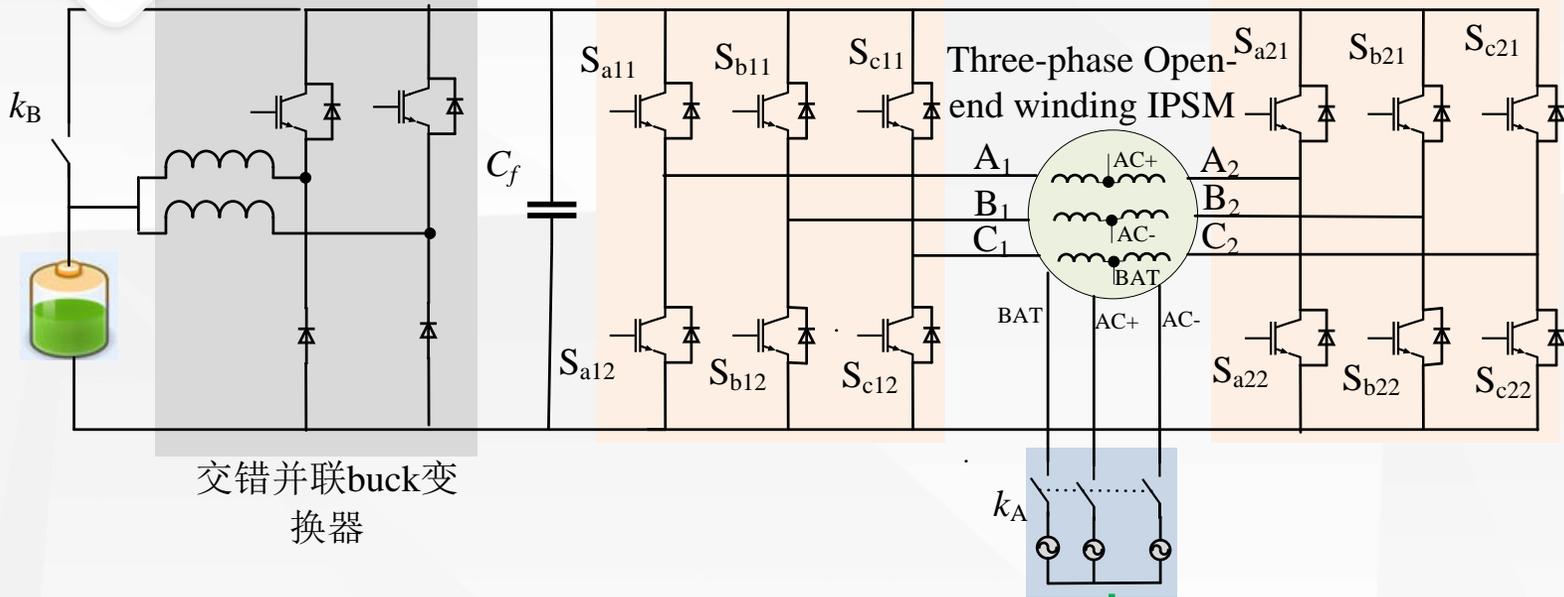
电驱动拓扑



充电拓扑



无桥Boost PFC+Buck

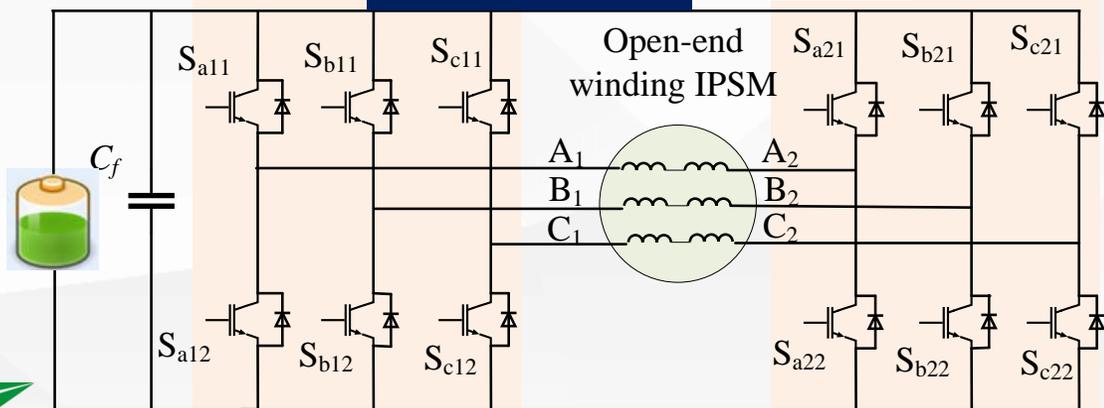


交错并联buck变
换器

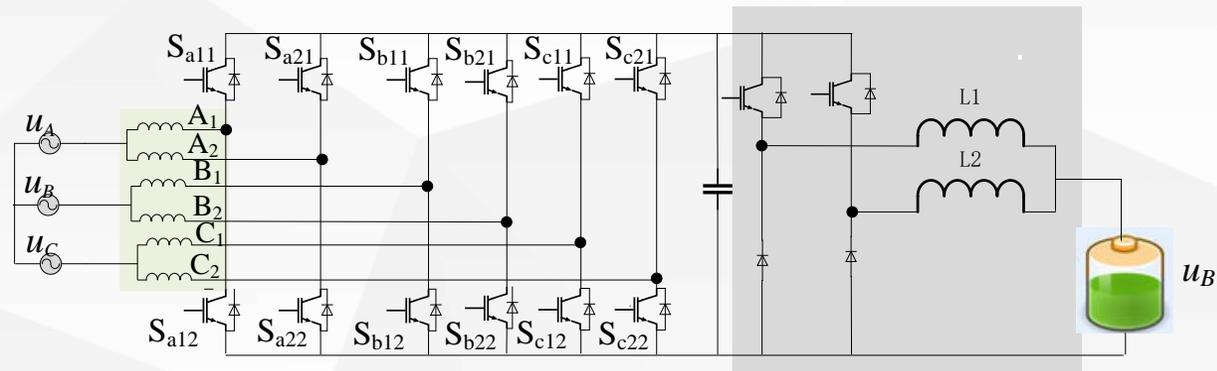
优势:

- 大功率应用, 快充场合
- 单、三相兼容
- 效率高, 续航能力强

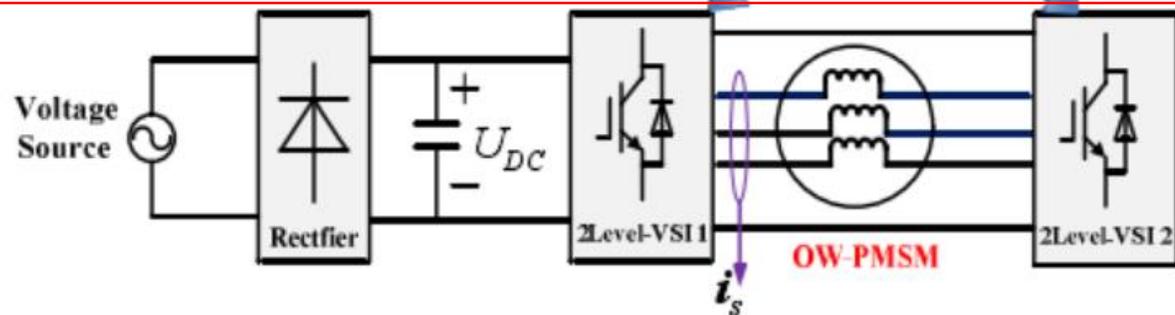
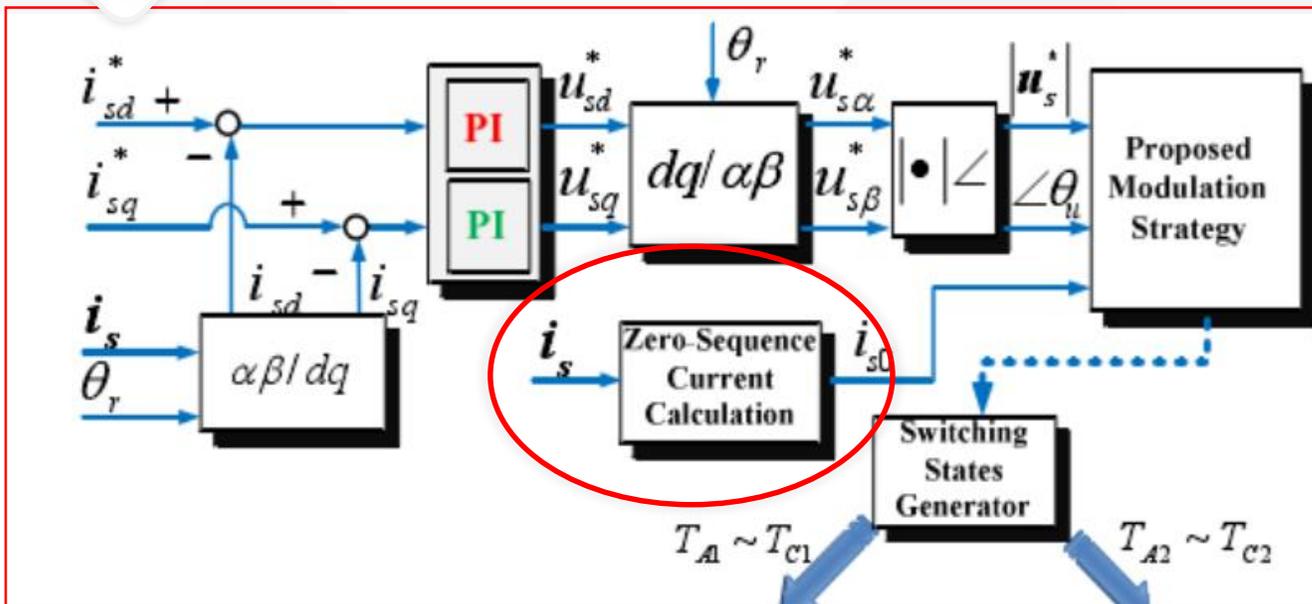
电驱动拓扑



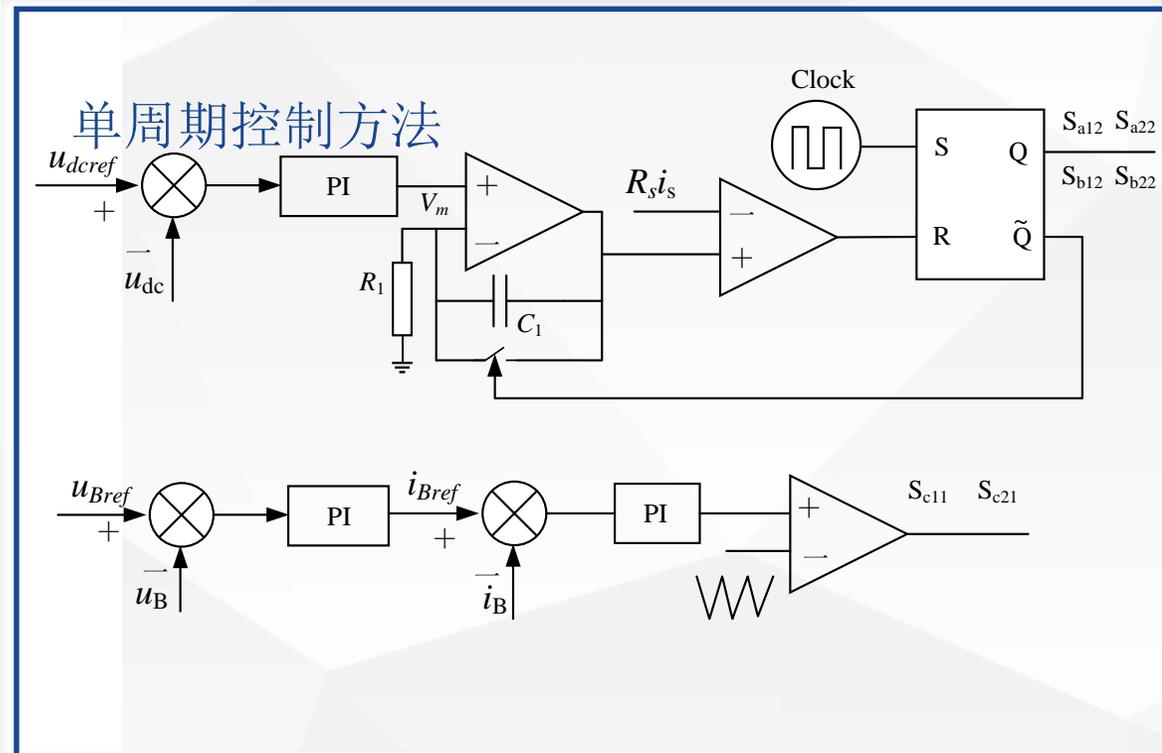
充电拓扑



交错并联buck变
换器



三相开绕组永磁同步电机矢量控制



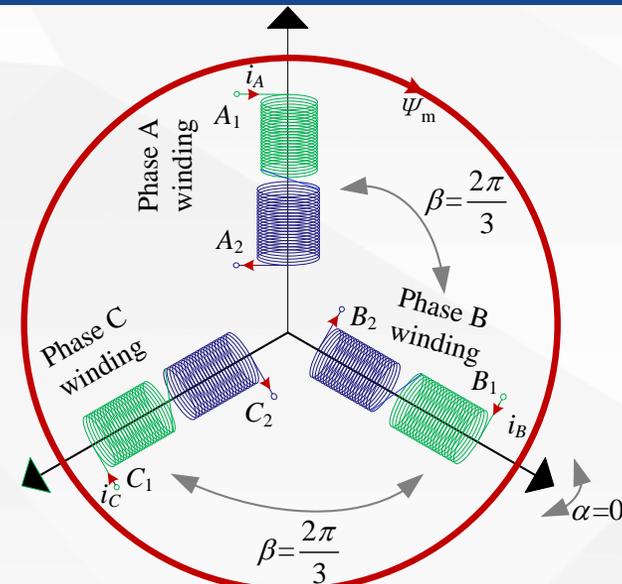
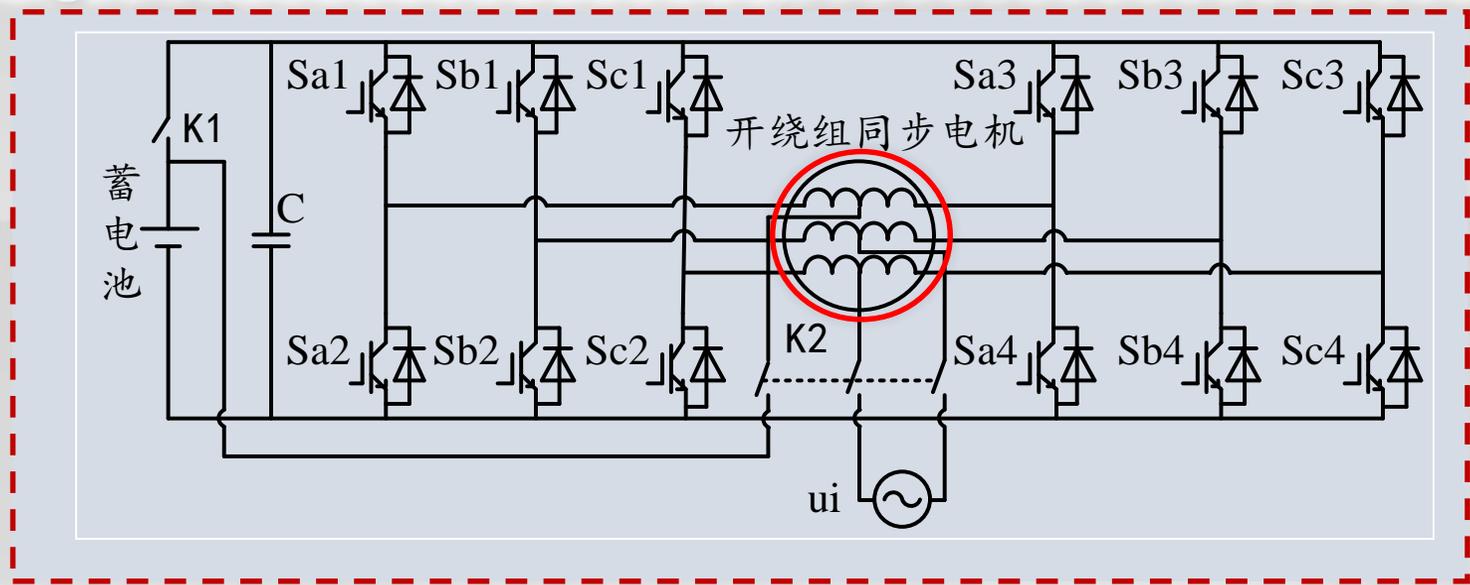
充电控制策略

03

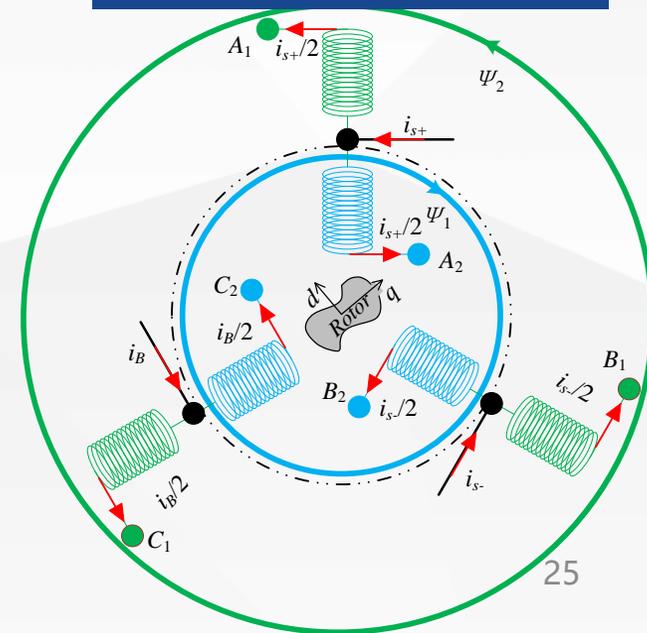
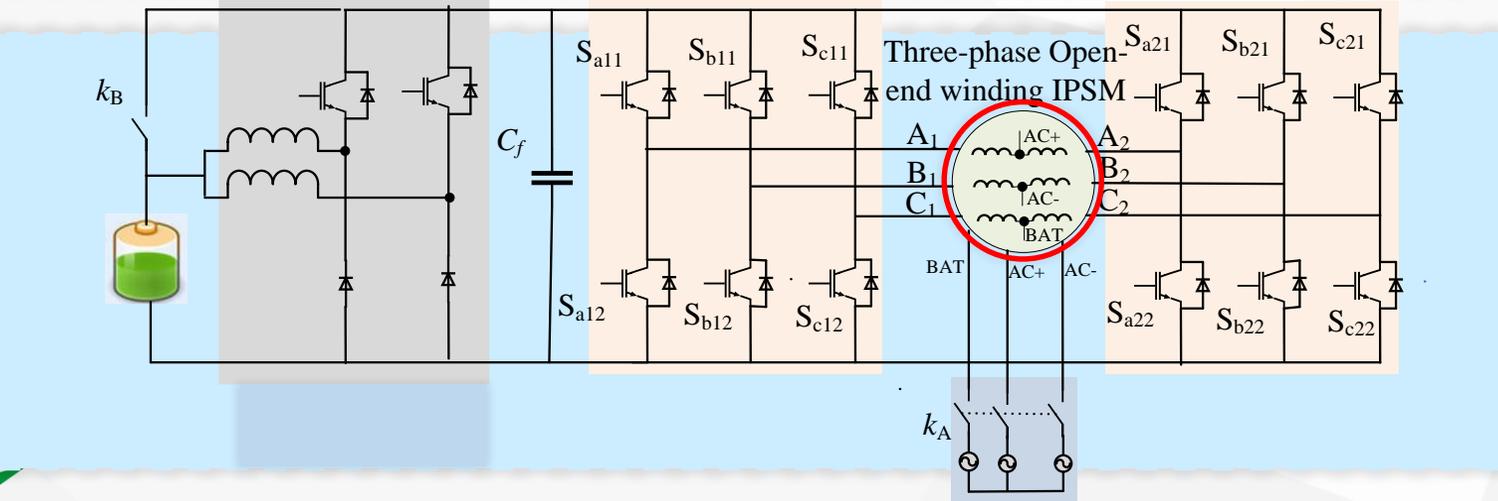
电机特性分析

驱动电机特性

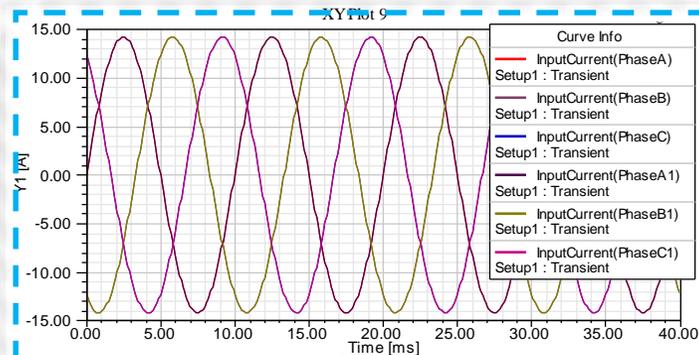
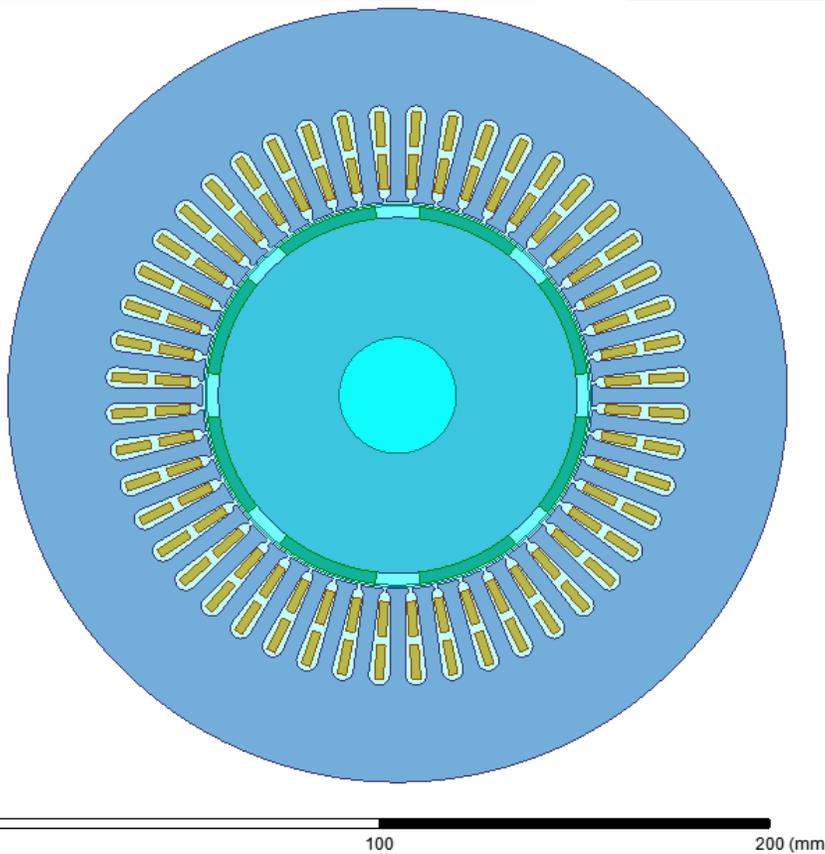
充电时电机特性



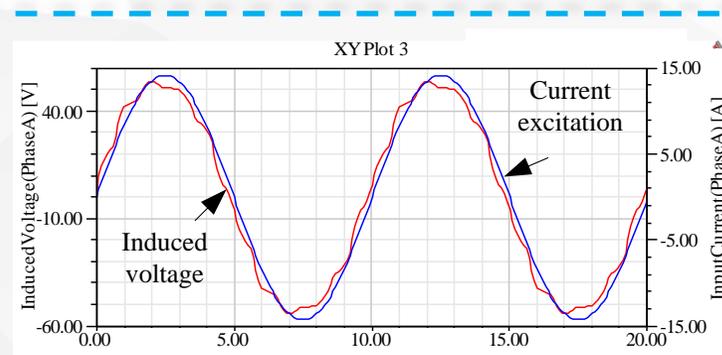
充电模式下电机



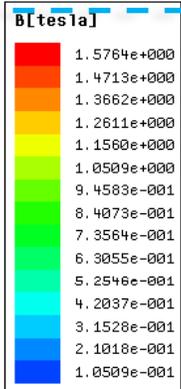
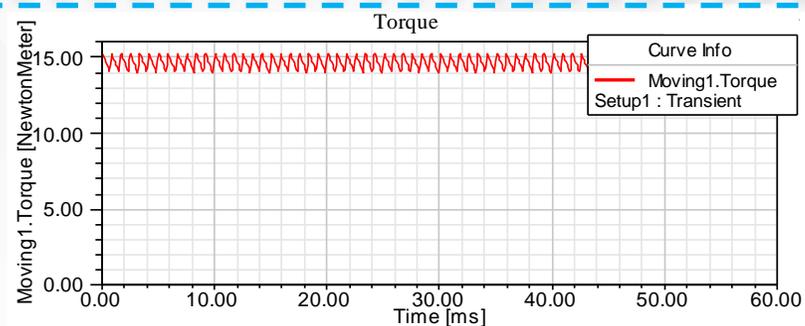
开绕组电机2D模型



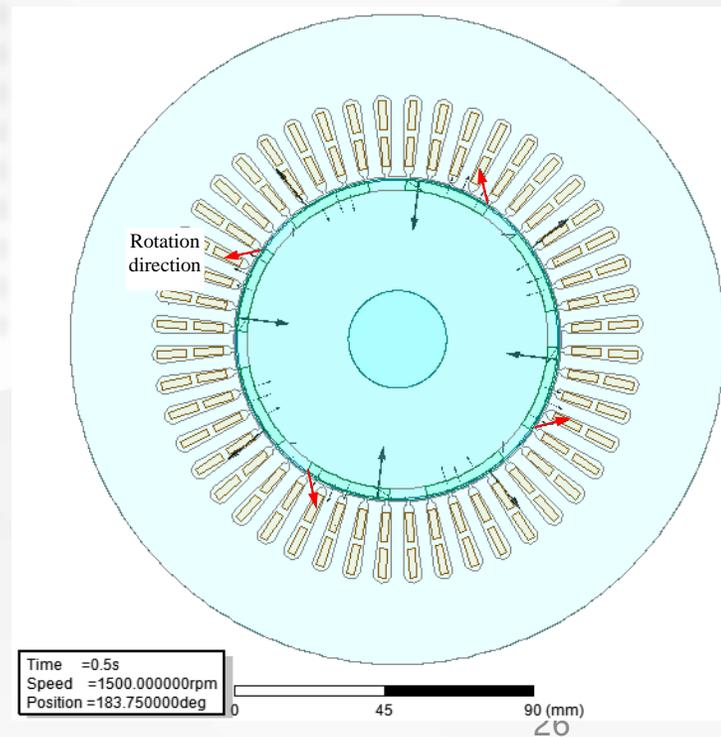
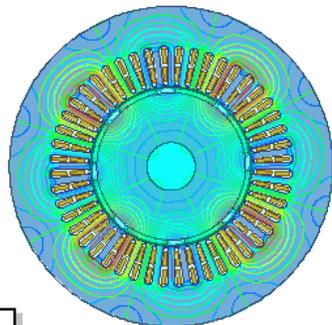
电流



感应电势



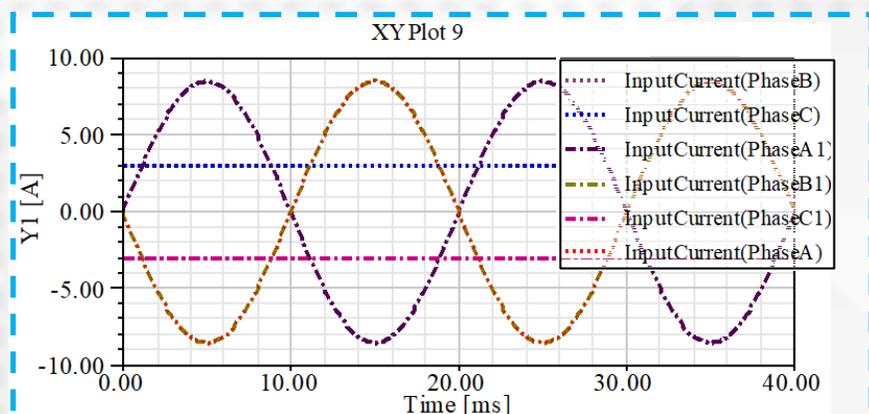
Time = 0.1s
Speed = 1500.000000rpm
Position = 183.750000deg



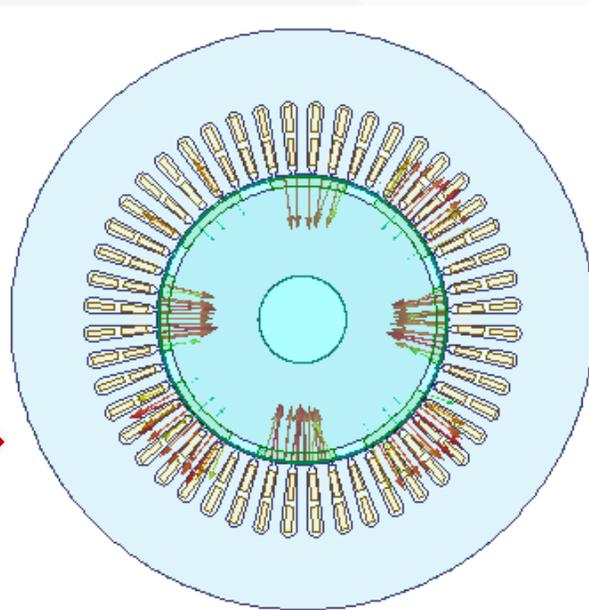
单相充电

充电时电机特性

三相充电

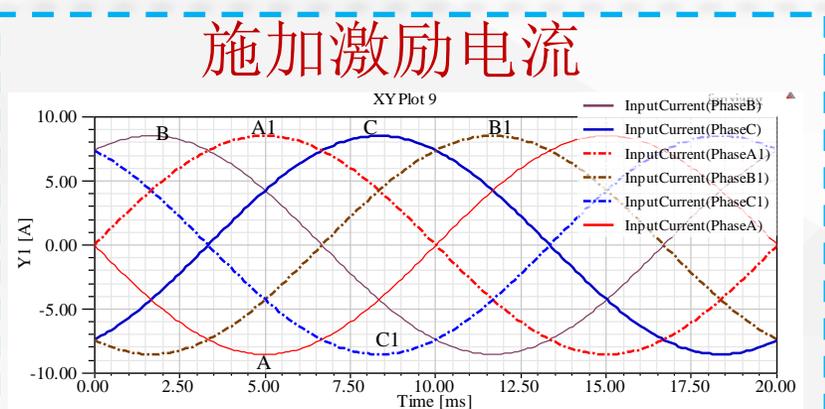


施加激励电流

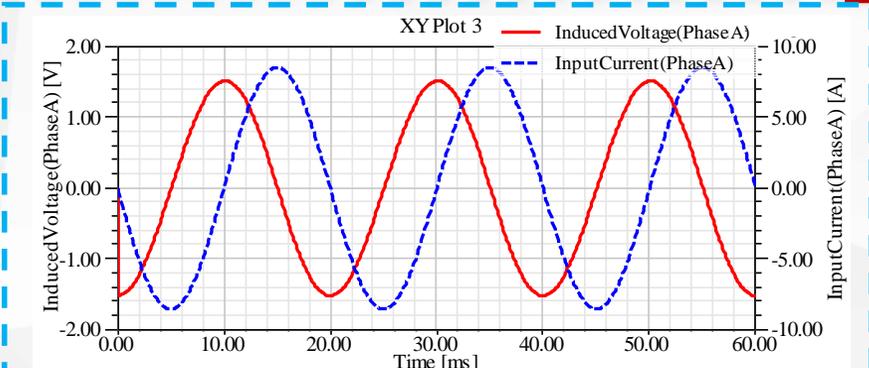


Time = 0.5000999999999961s 90 (mm)

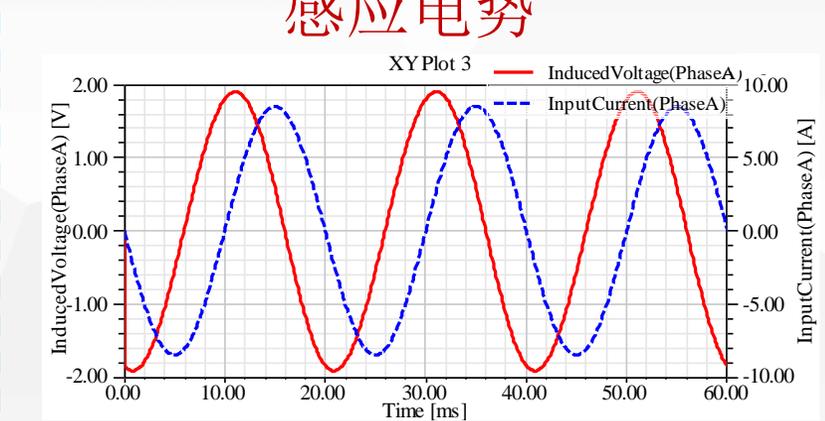
无旋转磁场



施加激励电流



感应电势



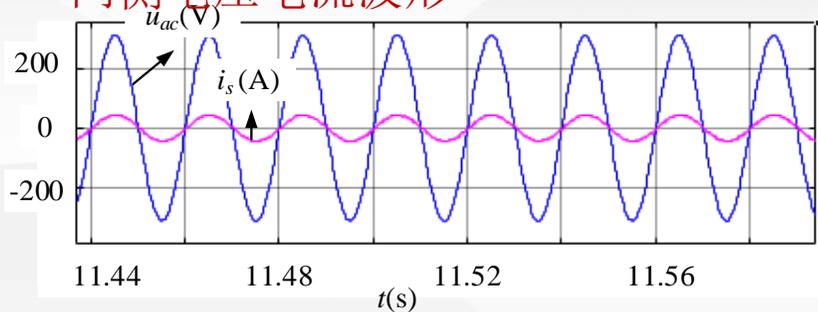
感应电势

04

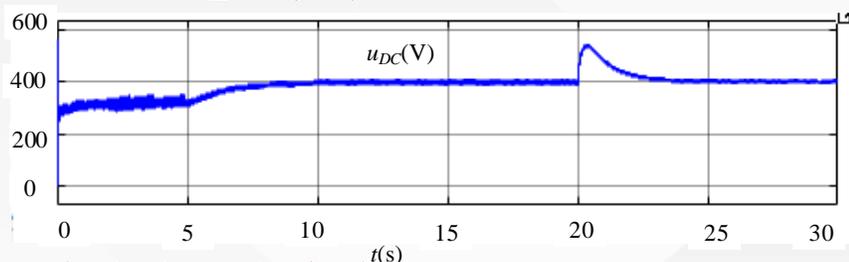
仿真和实验验证

◆ 充电单相

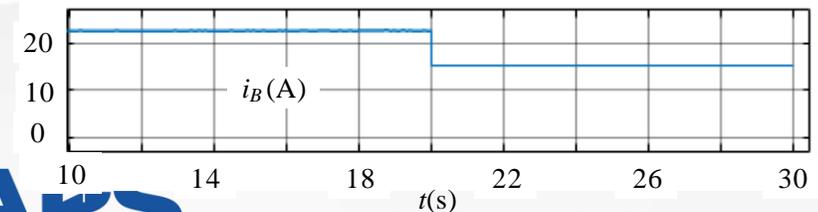
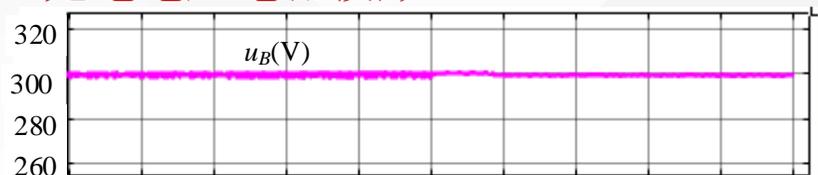
网侧电压电流波形



直流电压波形

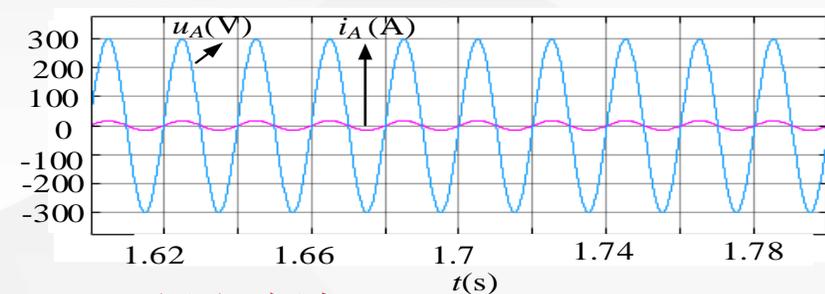


充电电压电流波形

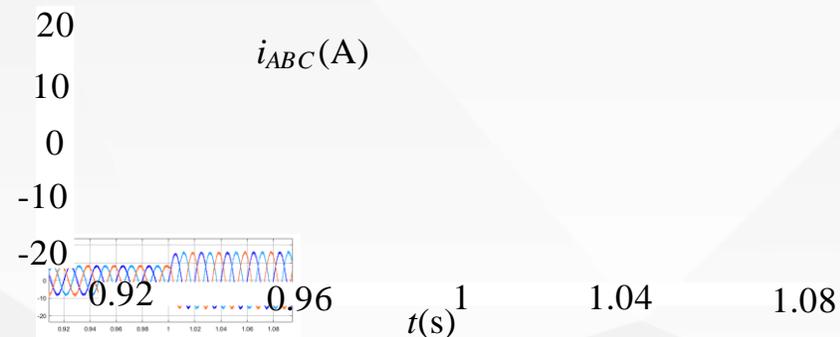


◆ 三相充电

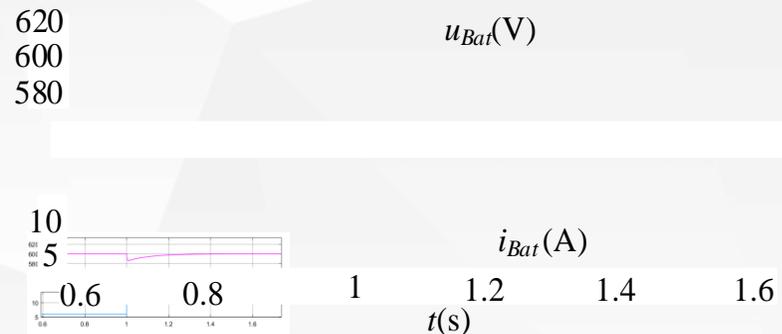
网侧电压电流波形

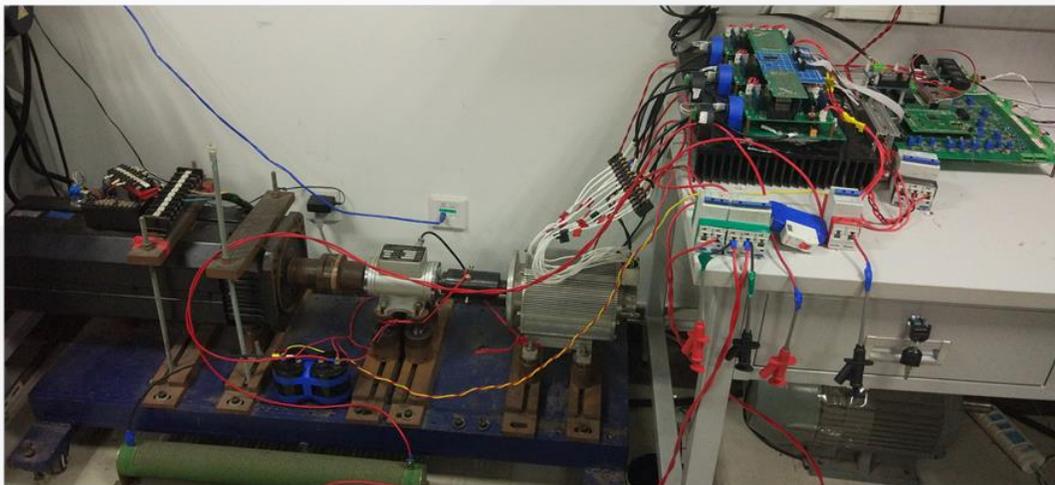


网侧电流波形



充电电压电流波形





集成方案实验验证

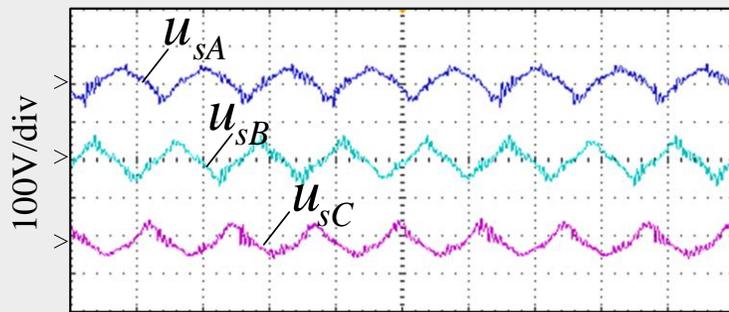


电驱动参数		充电参数	
参数	数值	参数	值
母线电压/V	150	输入交流源电压/V	220
额定电流/A	20	输入交流源频率/Hz	50
额定转速/(r/min)	1000	充电功率/kW	1.6
额定转矩/N.m	10	开关频率/kHz	40
相绕组自感/mH	0.848	恒压充电电压/V	400
定子电阻/ Ω	0.218	恒流充电电流/A	4
磁极对数	5		

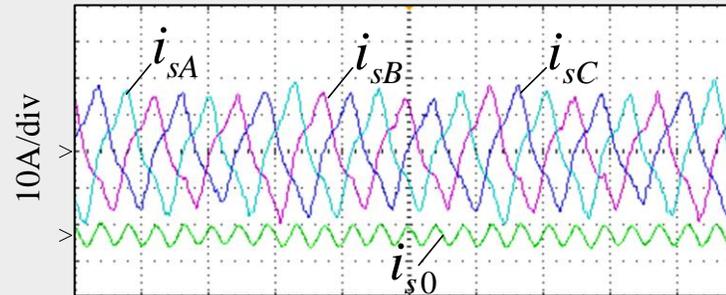


开绕组电驱动 实验波形

转速1000r/min 转矩10N.m

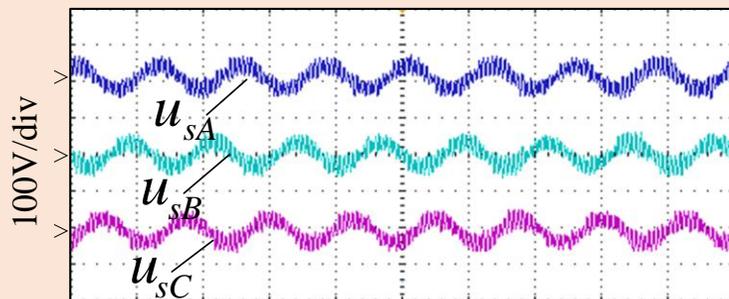


10ms/div
(a) 三相电压

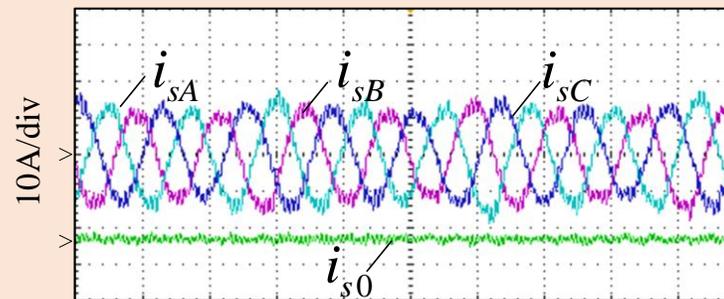


10ms/div
(b) 三相电流、零序电流

无零序分量的电压矢量调制的三相电流和零序电流波形图



4ms/div
(a) 三相电压



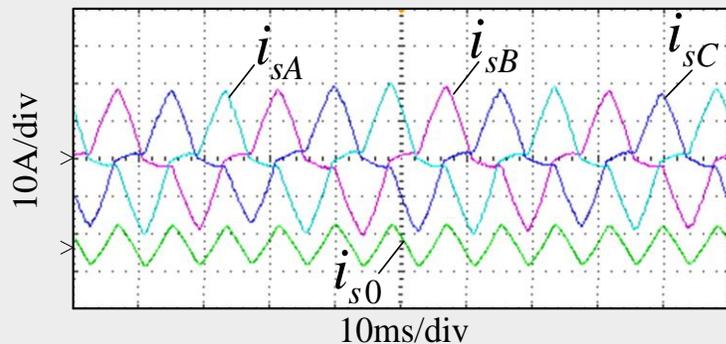
10ms/div
(b) 三相电流、零序电流

提出的控制策略三相电流和零序电流波形图

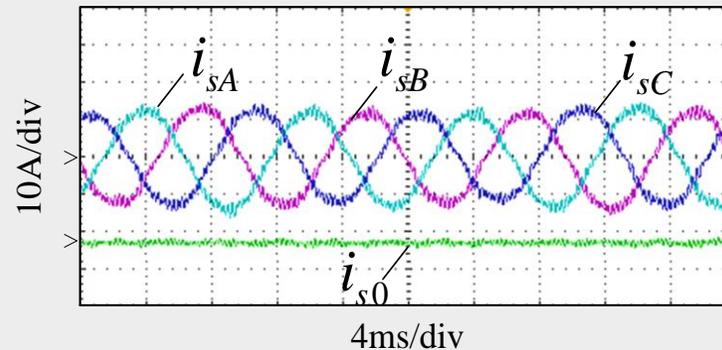


转速500r/min 转矩10N.m

波形对比

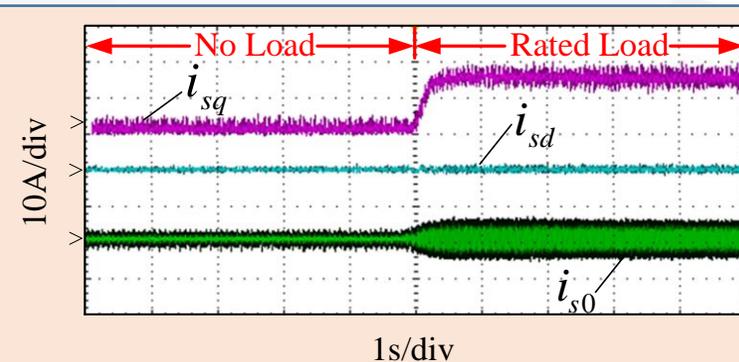


无零序分量的电压矢量调制

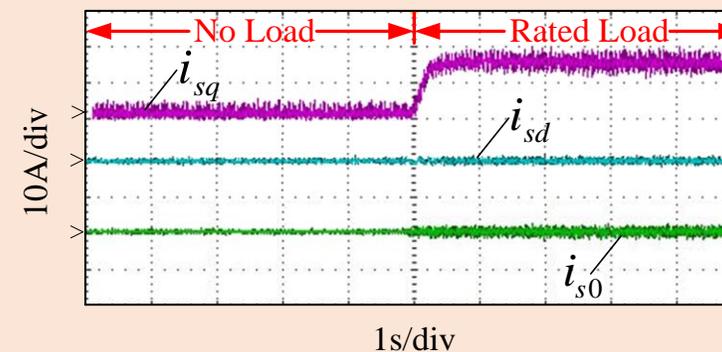


提出的控制策略

稳态三相电流和零序电流波形



无零序分量的电压矢量调制

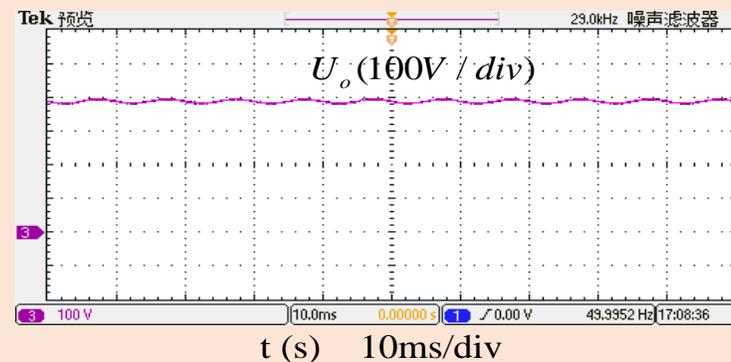
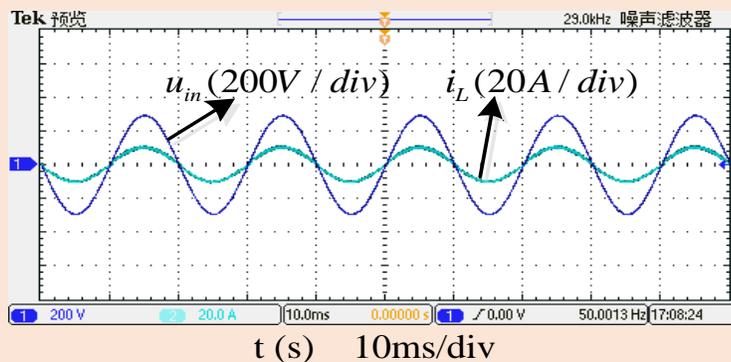


提出的控制策略

1000r/min时突加负载实验

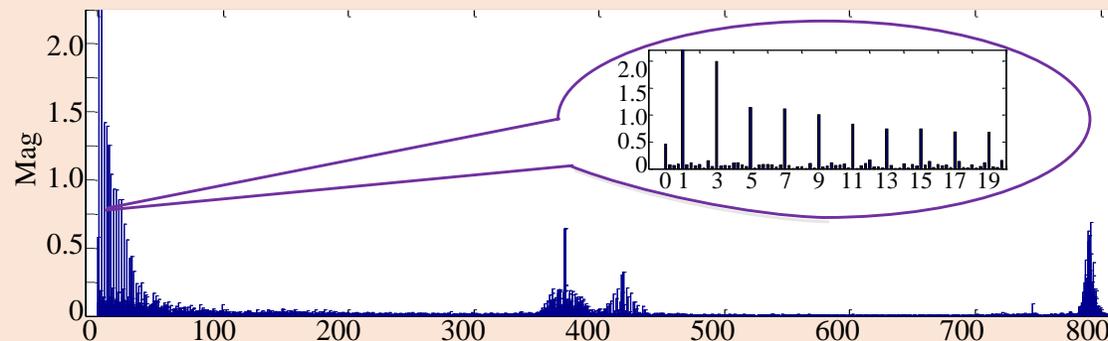


恒压充电 实验波形



(a) 交流输入端电压、电流稳态波形图 (b) 直流输出端电压稳态波形图

Fundamental(50Hz)=10.41, THD=4.05%

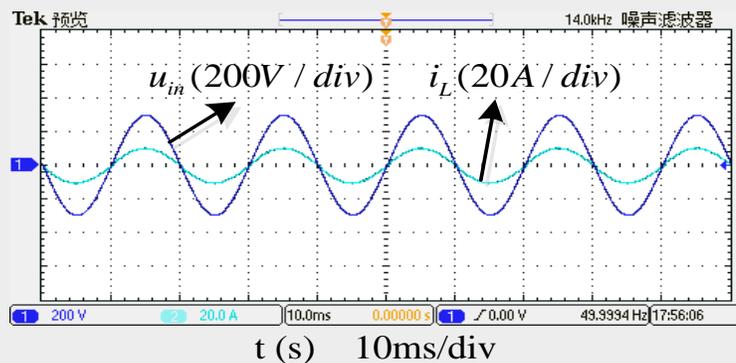


(c) 恒压输出实验交流输入端电流THD分布图

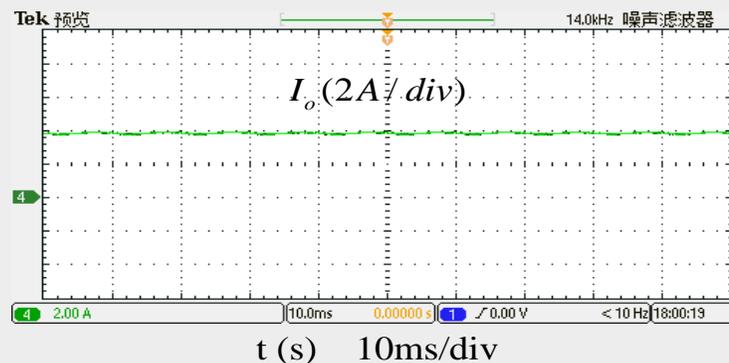
恒压输出实验波形图



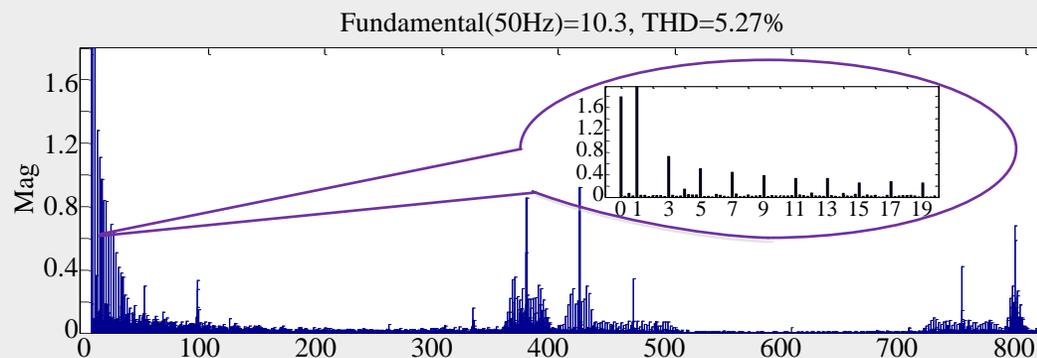
恒流充电 实验波形



(a) 交流输入端电压、电流稳态波形图



(b) 直流输出端电流稳态波形图



(c) 恒流输出实验交流输入端电流THD分布图

恒流输出实验波形图



总 结

- 电力电子装置集成化是电动汽车车载系统的发展趋势
- 利用电机绕组电感的集成拓扑方案可有效降低体积及成本
- 开绕组电机的驱动与容错控制值得研究
- SiC宽禁带器件的发展可以实现电子电机的集成



谢谢！