

苏州研发总部

地址：
江苏省苏州市工业园区金鸡湖大道99号
苏州纳米城东南区65栋

邮箱：
enquiry@orientalsemi.com

电话：
+86 512 6253 4962

深圳业务及应用服务中心

地址：
深圳市南山区西丽街道留仙大道与创科路交汇处
创智云城A7栋19楼1905室

邮箱：
robin.lu@orientalsemi.com

电话：
+86 0755-83229660

SuZhou Headquarter

Add:
Building 65, Southeast Area, Nanocity, No. 99 Jinji Lake Avenue,
Suzhou Industrial Park, Jiangsu Province

Mail:
enquiry@orientalsemi.com

Tel:
+86 512 6253 4962

ShenZhen Sales & Application Center

Add:
Room 1905, 19th Floor, Building A7, Chuangzhi Cloud City,
Intersection of Liuxian Avenue and Chuangke Road,
Xili Street, Nanshan District, Shenzhen

Mail:
robin.lu@orientalsemi.com

Tel:
+86 755 8322 9660

WHITE PAPER ON POWER SUPPLY SYSTEMS FOR AI DATA CENTERS

东微半导体 算力服务器供电系统白皮书



www.orientalsemi.com

苏州东微半导体股份有限公司©版权所有



WHITE PAPER ON POWER SUPPLY SYSTEMS FOR **Ai** DATA CENTERS

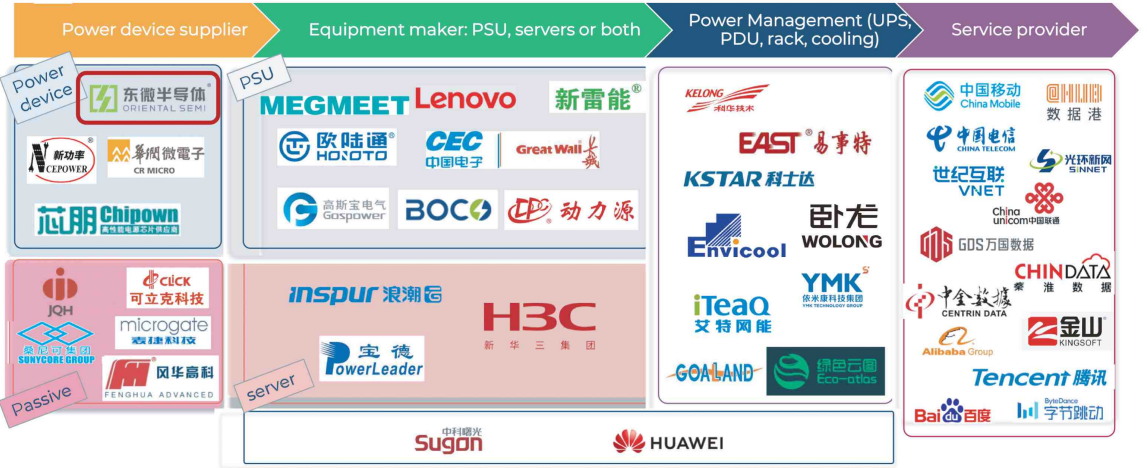


人工智能不再是遥远的科幻，它最近引领的技术革命将毫无疑问地带领人类文明进入全新的阶段。伴随人工智能算力需求的激增，能源已经成为制约其发展的瓶颈，因此算力服务器供电系统已经成为算力技术革命最重要的基础设施。随之而来的，算力革命中的供电系统也正面临史无前例的挑战：高昂的投资成本、宝贵的算力训练数据、有限的机柜空间、巨大的负载电流密度和剧烈变化的负载动态等等的特性，都对供电链路的可靠性、冗余度、能量效率、功率密度、保护速度、系统稳定性与扩展性等方面提出了前所未有的苛刻要求。

为应对这些技术挑战，工业界在电源架构、功率器件、封装技术和热管理等各个技术方向上已经展示出各类的创新方案，比如碳化硅和氮化镓第三代半导体的应用、800V高压直流总线供电架构、固态变压器（SST）、负载侧的垂直供电架构等等，这些创新不断拓展电力电子的技术边界。

功率半导体器件与各类电源管理IC是算力服务器供电系统性能实现的核心载体，其成本占电源硬件总成本五成左右。东微半导体自创立以来，始终聚焦高性能功率器件的研发与市场化推广，在数据中心、工业控制及汽车电子等高端应用场景构建了领先的品牌壁垒与市场地位，并获得国际独立咨询机构的专业认证（图表1）。此外，通过并购慧能泰这家以数字能力为核心竞争力的半导体公司，东微产品布局延伸至先进的数字电源控制芯片领域，形成功率器件与数字控制IC双核驱动的产品矩阵，打通“控制–驱动–执行”的关键功率转换链路。

源自 Yole Group 《Semiconductor Trends in Data Centers 2024 Market and Technology Report》



图表1 国内数据中心电源系统供应链

未来，公司将面向高端电源应用，打造高效、高可靠、智能化的完整电源管理系统级解决方案。算力服务器供电应用是公司核心战略发展方向。东微依托自研高性能功率半导体，结合与慧能泰数字电源管理IC的系统协同优势，致力于为客户提供有效优化算力服务器电源使用效率（PUE）并降低全生命周期总拥有成本（TCO）的系统方案。本白皮书首先梳理算力服务器供电系统面临的挑战，进而全面深度剖析东微半导体专为算力服务器各个供电环节打造的高性能供电解决方案，聚焦从电网接入到算力芯片的端到端技术创新，并展示东微未来的产品布局。

缩略语：

下列缩略语适用于本白皮书：

PUE：电源使用效率（Power Usage Effectiveness）	PHM：预测和健康管理（Prognostics and Health Management）
TCO：生命周期总拥有成本（Total Cost of Ownership）	MTBF：平均故障间隔时间（Mean Time Between Failures）
AIDC：AI数据中心	IBC：中间总线转换器（Intermediate Bus Converter）
PoL：负载点（Point-of-Load）	MoSfet：金属–氧化物–半导体场效应晶体管
MOSFET：金属–氧化物–半导体场效应晶体管	GaN HEMT：氮化镓高电子迁移率晶体管
GaN HEMT：氮化镓高电子迁移率晶体管	SiC：碳化硅
SGT：屏蔽栅MOSFET（Split Gate Transistor）	SOA：安全操作区间（Safe Operating Area）
DrMOS：驱动电路+MOSFET（Driver+MOSFET）	LLC：电感–电感–电容谐振转换器
UPS：不间断电源（Uninterruptible Power Supply）	PSU：电源模块（Power Supply Unit）
PHM：预测和健康管理（Prognostics and Health Management）	HVDC：高压直流
MTBF：平均故障间隔时间（Mean Time Between Failures）	HSC：混合开关电容转换器（Hybrid Switched Capacitor）
IBC：中间总线转换器（Intermediate Bus Converter）	SST：固态变压器（Solid-State Transformer）
PoL：负载点（Point-of-Load）	VRM：电压调节模块（Voltage Regulator Module）
MoSfet：金属–氧化物–半导体场效应晶体管	Hotswap：热插拔
GaN HEMT：氮化镓高电子迁移率晶体管	PFC：功率因数校正（Power Factor Correction）
SiC：碳化硅	ZVS：零电压开关（Zero Voltage Switching）
SGT：屏蔽栅MOSFET（Split Gate Transistor）	ZCS：零电流开关（Zero Current Switching）
SOA：安全操作区间（Safe Operating Area）	PMBus：电源管理总线（Power Management Bus）
DrMOS：驱动电路+MOSFET（Driver+MOSFET）	xPU：包括GPU、CPU、TPU等各种算力芯片
LLC：电感–电感–电容谐振转换器	
UPS：不间断电源（Uninterruptible Power Supply）	
PSU：电源模块（Power Supply Unit）	

Contents

01

算力服务器供电系统面临的严峻挑战

- 1.1 指数级增长的功率需求
- 1.2 能源效率、功率密度与热管理
- 1.3 可靠性

02

AC-DC转换

- 2.1 48V总线架构
- 2.2 800V总线架构和固态变压器

03

IBC（中间总线转换器）

04

VRM（电压调节模块）

05

eFuse和固态断路器（SSCB）

06

东微产品在算力服务器的战略价值

07

未来产品路线图

- 7.1 电压等级演进
- 7.2 器件技术发展
- 7.3 技术演进时间表与产业化路径

总结

01 算力服务器供电系统面临的严峻挑战

1.1 指数级增长的功率需求

人工智能大模型训练的计算需求不断提高处理器xPU（GPU、CPU或者TPU）的功率级别，也推动单个服务器IT机架的负载功率从传统的3–5kW猛增至100kW以上的数量级。目前商用的顶级算力训练集群如NVIDIA GB200平台的NVL72机架功率需求达到了120kW，2026年CES刚刚推出的Vera Rubin NVL72机架，由于搭载了更高性能的CPU、GPU和HBM4内存，单机架最高功率达到200kW。未来Rubin系列机架功率还会不断上升，据报道Rubin Ultra这样的极限配置可以让单机柜功率达到惊人的MW级别。

1.2 能源效率、功率密度与热管理

从全球最终电力需求的比例来看，据国际能源署（IEA）估算，数据中心在2024年的用电占全球电力总需求的1.5%，约415太瓦时（TWh）。预计到2030年，数据中心的用电量将增长一倍以上，达到约945太瓦时，占比将达到约3%。根据焦耳定律（ $P_{loss}=I^2R$ ），在低电压架构下传输大功率会导致线路损耗呈平方倍增加。之前12V供电总线逐渐被淘汰，而目前主流的48V总线在处理未来100kW以上级别大功率时电流同样过大，不但产生巨大的能量浪费和散热难题，而且巨大铜线重量让数据中心建筑结构无法承受，不断上升的铜价使48V总线系统也不再经济。

IT机架的体积增加幅度和功率增长速度也不成比例，所以高功率密度设计一直是电源系统的永恒话题。这些不断增长的高效率和高功率密度的要求，使得在其他应用中已经使用的800V总线供电系统和中压交流输入的固态变压器成为意料之内的选择。如此之高的功率密度和xPU（CPU、GPU、TPU等终端处理器）负载端的电流密度也对热管理造成前所未有的挑战。

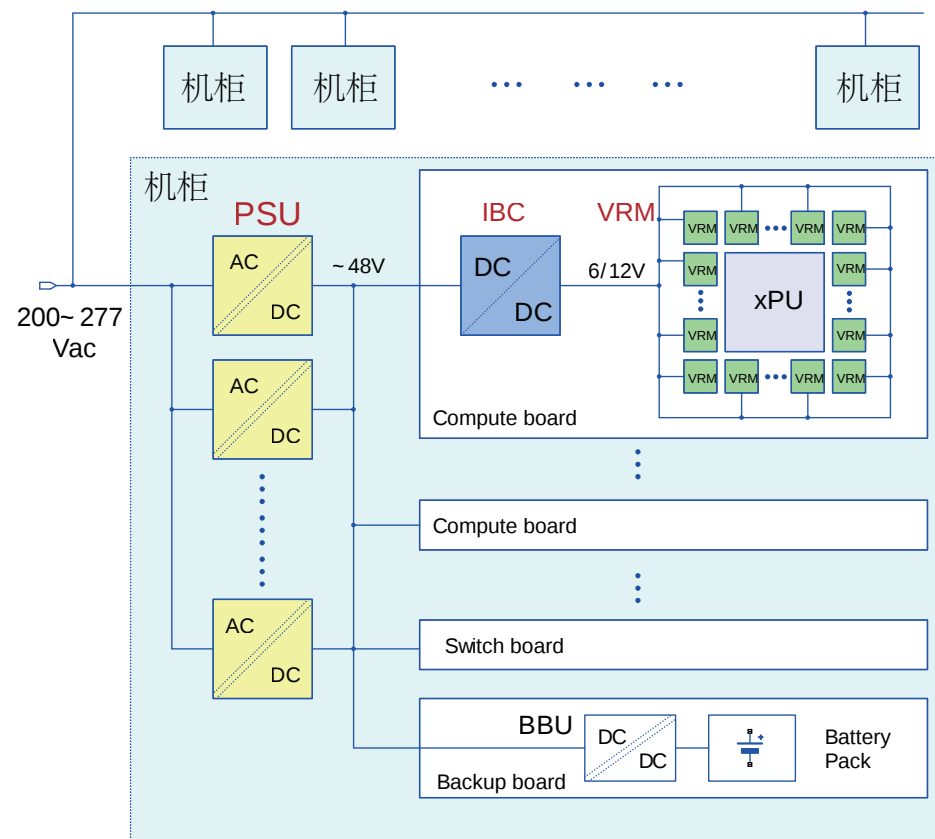
1.3 可靠性

成本高昂的算力服务器作为支撑大规模人工智能训练与推理任务的核心基础设施，其运行连续性和服务稳定性至关重要。为保障业务不中断、数据处理高效可靠，整个数据中心必须实现99.99%甚至更高的系统可用性。这意味着全年计划外停机时间不得超过约52.6分钟。在如此严苛的可用性指标下，供电系统的可靠性成为决定整体性能和TCO的关键因素之一。

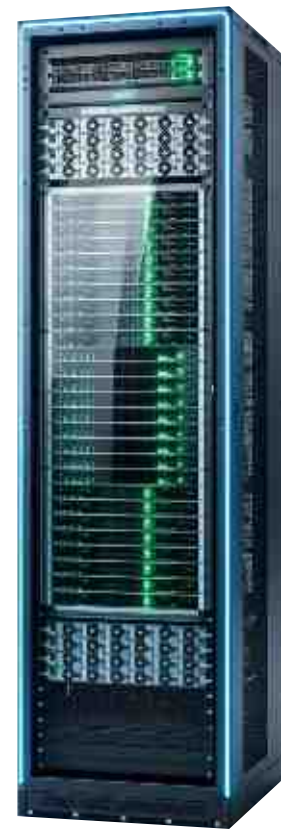
据报道，在算力服务器的供电链路中，中间总线转换器（Intermediate Bus Converter, IBC）是故障高发环节。IBC通常承担着将高压直流总线（如48V）高效、稳定地转换为适用于负载点（Point-of-Load, POL）转换器输入电压（如12V或更低）的任务，处于供电架构的中枢位置。一旦IBC发生失效，将直接导致下游大量算力加速卡xPU或其他关键计算单元断电，进而引发系统级宕机。此外，AC–DC的能量转换环节也面临电网电压质量不佳、雷击等应力冲击。

这些应力对电源所采用的功率半导体器件（如硅MOSFET、GaN HEMT等）提出了极高的可靠性与稳定性要求。这些器件不仅需要在高频率、高功率密度、高温梯度等严酷工况下长期稳定工作，还须具备优异的抗浪涌能力、低失效率、良好的一致性以及对制造工艺偏差和老化效应的强鲁棒性。此外，系统层面还需引入冗余设计、故障预测与健康监测（PHM）、快速故障隔离等机制，以进一步提升整体供电架构的容错能力和平均故障间隔时间（MTBF），从而满足算力服务器对极致可靠性的需求。

下面我们会对算力服务器电源从交流AC输入到xPU间每一个电能转化环节的架构进行解析，其中包括AC–DC转换（一次电源，或者PSU），总线电压到板卡之间的DC–DC转换（二次电源，也叫IBC），和xPU附近供电稳压的DC–DC转换（VRM）。东微半导体为每一级功率转化都提供了高性能方案，为客户应对设计挑战带来各种选择。



图表2 目前算力服务器 IT机架里的电源结构

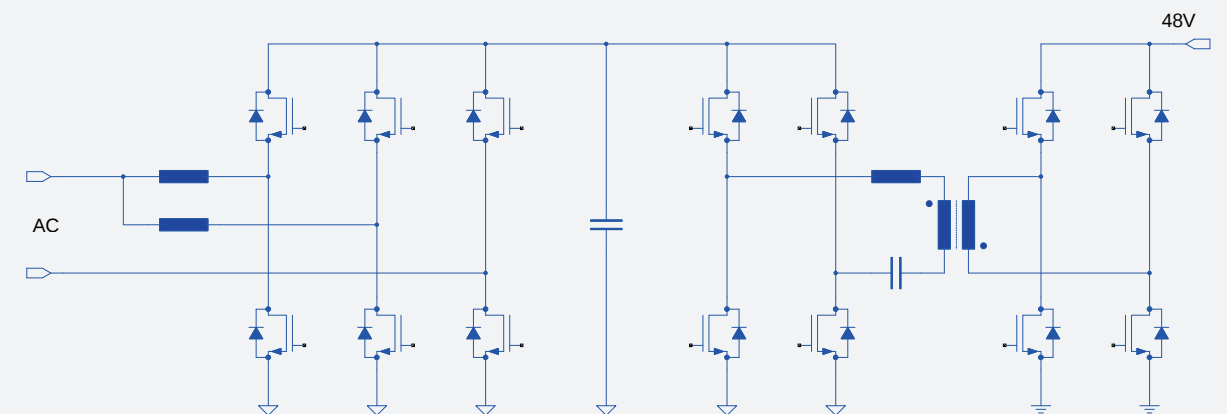


02 AC-DC转换

目前方案中，算力服务器会在配电房中通过传统的中压变压器和UPS先把电网配电转换为稳定可靠的交流电，通过交流电压总线传递到IT房中的每一个IT机柜。在机柜内先经若干并联的一次电源模块（也叫PSU，Power Supply Unit）把交流电转换为稳定的直流电压总线，通过汇流排给各个计算板卡和网络板卡供电。

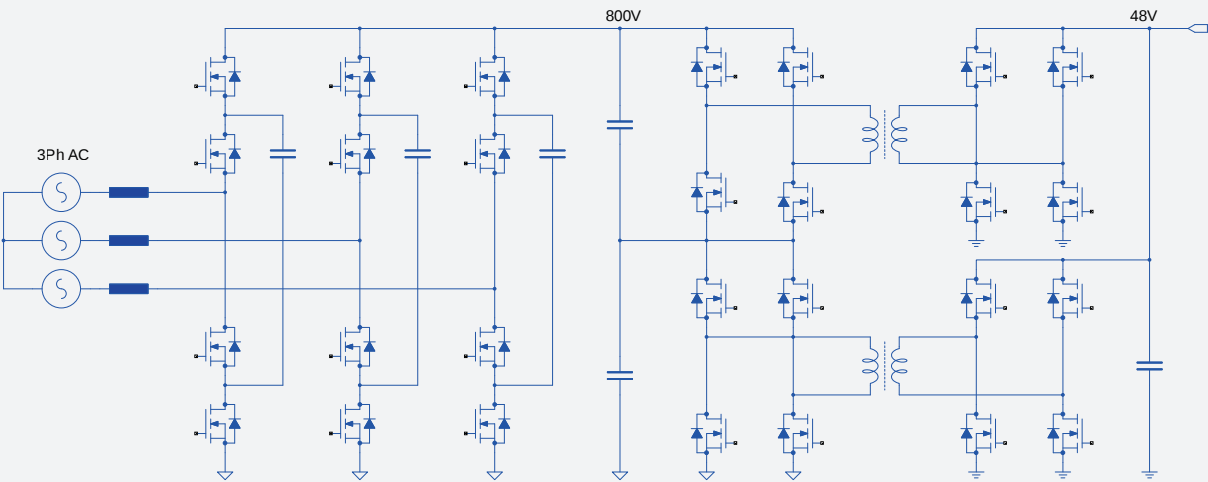
2.1 48V总线架构

在OCP（Open Compute Project）里ORv3（Open Rack V3）核心电源规范中，主流的标准PSU模块有3kW和5.5kW两种功率，输出电压约为48V。随着算力功率需求进一步升级，近期8kW、12kW甚至更大功率的PSU模块已经出现。对于3kW和5.5kW模块，输入是交流单相电，PFC部分一般通过一两相的交错图腾柱拓扑来产生一个约400V 直流母线，再通过一个高压DC-DC产生48V直流电。由于输入交流电压最低可降到180Vac，这意味着PFC必须以连续电流模式（CCM）来降低导通损耗以达到最高的效率目标。为了实现高功率密度，开关损耗更低的SiC或者GaN器件成为提高操作频率的合适选择。



图表3 一种典型的3kW/5.5kW PSU电源结构

对于单体12kW的PSU模块来说，传统单相交流电已经难以承载巨大的输入电流，三相交流电输入成为必须。相应的，多相交错图腾柱PFC或者维也纳PFC经常成为选择。由于更高的输入电压，PFC部分和HVDC部分也常见多电平的方式来降低单个功率器件的电压等级。下图是一种多电平的PSU实现方式，这里高压侧的功率器件用600V/650V的高压器件即可。



图表4 一种三电平的PSU电路结构

东微半导体凭借在高压超级结MOSFET和SiC MOSFET及新型封装方面的技术积累，正加速推动48V或者未来800V总线架构在算力服务器中的规模化落地，为下一代高能效、高可靠供电体系奠定坚实基础。

东微关键功率器件选型矩阵：

PFC侧：

拓扑位置	产品系列	产品型号	封装形式	产品描述
PFC	600V系列Si MOSFET 650V系列Si MOSFET	OSG60R055TT3F	TOLL	600V/55mΩ
		OSG60R028HT3ZF-F	TO-247-3	600V/28mΩ
		OSG60R022HT3ZF-F	TO-247-3	600V/22mΩ
		OSG60R017HT4ZF	TO-247-3	600V/17mΩ
		OSG65R040HT4ZF	TO-247-3	650V/40mΩ
		OSG65R038HMZF	TO-247-3	650V/38mΩ
		OSG65R030HT3ZF	TO-247-3	650V/30mΩ
	650V系列SiC MOSFET	OSQ65R052H4T3F_NB	TO-247-4	650V/52mΩ
		OSQ65R045H4T2F_NB	TO-247-4	650V/45mΩ
		OSQ65R045TT2F	TOLL	650V/45mΩ
		OSQ65R020TT2F	TOLL	650V/20mΩ
		OSQ65R020QDT2F	QDPAK	650V/20mΩ
		OSQ65R020H4T2F_NB	TO-247-4	650V/20mΩ
	1200V系列SiC MOSFET	OSQ120R060K7T2F	TO-263-7	1200V/60mΩ
		OSQ120R035H4T3F_NB	TO-247-4	1200V/35mΩ

HVDC侧：

拓扑位置	产品系列	产品型号	封装形式	产品描述
HV DC DC	600V系列Si MOSFET 650V系列Si MOSFET	OSG60R060JT3ZF	PDFN8*8	600V/60mΩ
		OSG60R045TT4ZF	TOLL	600V/45mΩ
		OSG60R045PT4EZF	TO-220-3L	600V/45mΩ
		OSG60R040PT4ZF	TO-220-3L	600V/40mΩ
		OSG60R035HT4ZF	TO-247-3	600V/35mΩ
		OSG60R020HT3ZF-F	TO-247-3	600V/20mΩ
		OSG60R017HT4ZF	TO-247-3	600V/17mΩ
		OSG65R038QDT3ZF	QDPAK	650V/38mΩ
		OSG65R038HMZF	TO-247-3	650V/38mΩ
Sync Rectifiers	40V系列Si MOSFET 60V系列Si MOSFET 80V系列Si MOSFET 150V系列Si MOSFET	SFS04R007UGNF	PDFN5*6	40V/0.7mΩ
		SFS04S009UGNF	PDFN5*6	40V/0.9mΩ
		SFS06R010UGF-A	PDFN5*6	60V/1.2mΩ
		SFS08R019UGNF	PDFN5*6	80V/1.9mΩ
		SFS08R024UGNF	PDFN5*6	80V/2.8mΩ
		SFS15R075UGNF	PDFN5*6	150V/7.5mΩ
		SFS15R074PNF	TO-220-3L	150V/7.4mΩ
ORing	80V系列Si MOSFET	SFS08R019UGNF	PDFN5*6	80V/1.9mΩ
	30V系列Si MOSFET	SFS03R009UGF	PDFN5*6	30V/0.7mΩ
	25V系列Si MOSFET	SFSE2R006UGF-A	PDFN5*6	25V/0.6mΩ

DSP布局：

工业控制DSP是电源与基础设施的“心脏”，以实时控制、高精度PWM、高速ADC为核心，适配数据中心AC-DC和DC-DC转换环节。东微半导体DSP产品自主设计整个数字架构及所有硬件加速IP模块，产品已经累计申请发明专利11项（已授权4项）、软件著作权17项、集成电路布图3项，并且产品已量产且服务多家国内知名企业。产品对标TI C2000系列，广泛适用于电源控制、电机驱动、工业网络等领域，在满足客户性能需求前提下推进核心器件国产替代与自主可控。



东微DSP产品核心优势有：

1.高分辨率PWM

最高为80ps的高分辨率HRPWM模块，解决了传统模拟设计思路中量产可靠性和一致性问题，超越部分国际国内竞争对手。

2.更便捷的可编程逻辑资源

相较于C2000资源有限和开发方式简单的CLB模块，本产品的PLM模块可通过HDL语言输入，并以CK LUT为一个单元，实现丰富高效的调试，且在规模和实现效率中不需要DSP核或CLA核接入，大幅提升实时性。

3.全并行硬核DSP

通过硬核DSP，实现SIN/COS/ATAN/SQRT等函数运算支持矢量、正弦/余弦、指数、平方根、公共对象等数学运算，支持浮点运算，三角函数硬件精度可达到千万分之一。插入新的硬核DSP计算指令来使得芯片设计层面非常方便且易于加入。

4.自研CLA核

除了硬核DSP以外，CLA核也为自研，它能够支持更高实时性的DSP调用，与HDSP、FLM一起支撑IP3系列芯片的高效DSP计算能力和高实时性。

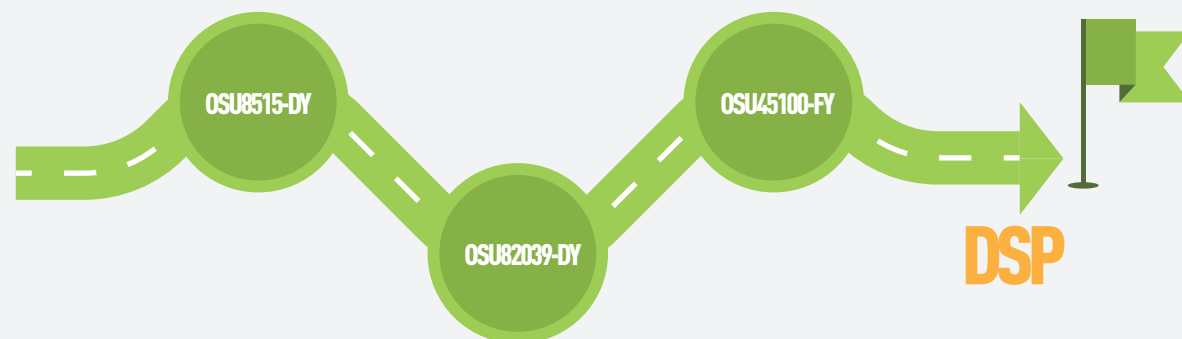
5.ADC采样值实时搬运

相较于TI C28x系列中ADC采样值搬运资源紧张的问题，采用增强DMA方式，大幅提升代码执行效率，同时更方便代码开发。

6.增强通讯和调度能力

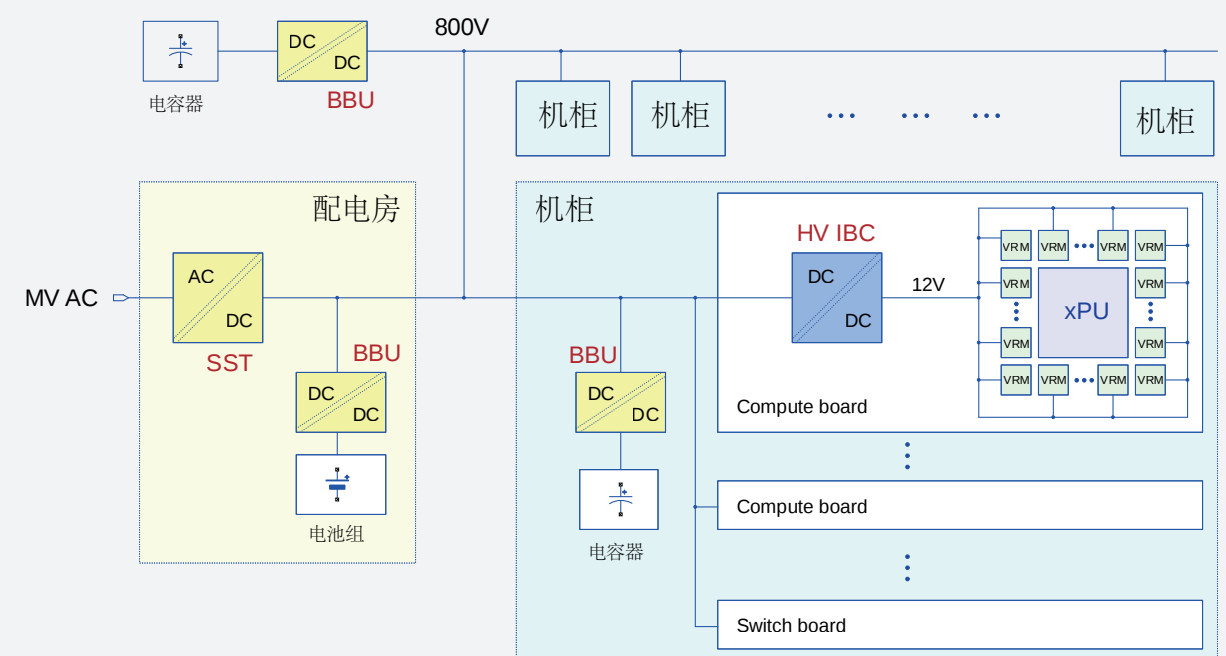
改善TI C28x中的通讯和调度能力较弱的问题，额外增加一颗MCU高性能内核，配备“软硬件锁时间”解决了逻辑问题；不仅单芯片解决通讯问题，而且任务调度也一并完成。

在三款已量产DSP产品中，OSU8515-DY专注于“控制+信号链”，生态友好，在提供强劲实时控制能力（PWM、ADC、eQEP）的同时，相比传统DSP具有更优的系统BOM成本，适合成本敏感型的中高端工业应用。OSU82039-DY基于ARM Cortex-M52与Helium矢量扩展，为高端伺服、数字电源及车载执行器提供兼具高实时算力与功能安全的单芯片解决方案。OSU45100-FY除了成熟的电源电机控制资源之外，内部还集成完整 EtherCAT 从站控制器（ESC），集成 PMBus + QSPI + LIN，满足多样化接口。



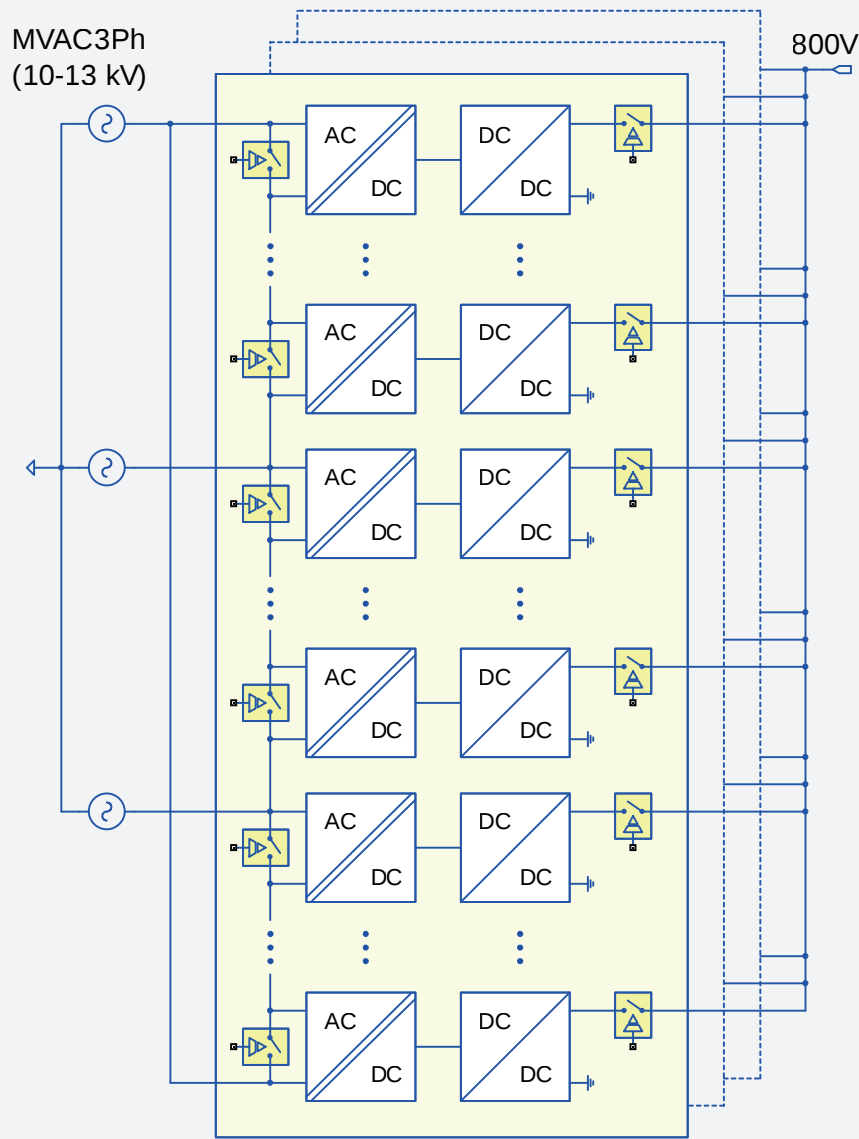
2.2 800V 总线架构和固态变压器

2027/28年左右IT机架功率会达到大几百千瓦甚至兆瓦级别，最近OCP全球算力大会上英伟达发表下一代800V算力基础设施架构的白皮书，提出800V总线供电系统会替代目前48V方案，成为系统成本、效率和复杂度比较平衡的最终选择。虽然中期也有巴拿马电源和±400V的过渡方案，但是经由中压配电网通过集中或分布式的固态变压器SST产生直流高压总线给机柜供电是目前行业流行观点。2025年，台达电子在COMPUTEX Taipei展会上首度推出基于碳化硅的800VSST方案，2027年±400V和800V的高压总线产品就会规模出货。国内阿里巴巴、字节跳动、富士康等头部大厂的800V算力服务器招标项目的落地实践也验证了技术可行性和商业价值。各种证据表明，相对传统液冷的工频中压变压器，SST可以减少约50%的占地面积，避免了传统UPS等设备的多次转换损耗，效率提升2%左右，大量减少对铜材的消耗，而且非常适合绿电的接入，很好地满足了算力服务器对体积、效率和成本的要求。



图表5一种基于SST的800V算力服务器电源系统架构

中压交流配电网电压在10kV以上，市面上极少有商用的单颗能承受如此之高电压的高效率功率器件，所以目前SST在交流侧会以模块串联的形式来承载电压（图表6）。这里越高的器件电压会使串联模块数量更少，所以比超结硅MOS器件有更高电压、开关速度更快的SiC器件会成为几乎唯一的选择。为承受系统的大电流，适当个数的模块也会并联在一起。这种串并联的模块化设计提升了系统的可扩展性和灵活性。



图表6 SST的模块化串并联结构

高压SiC MOSFET产品

为应对未来800V DC-DC和SST的到来，东微半导体已针对性地布局高压SiC技术路径，解决方案有助于实现>98%的系统效率。典型的高压SiC MOSFET产品如下：

产品系列	产品型号	封装形式	产品描述
1200V SiC	OSQ120R007H4T4F_NB	TO-247-4	1200V/7mΩ
	OSQ120R035H4T3F_NB	TO-247-4	1200V/35mΩ
	OSQ120R025H4T2F_NB	TO-247-4	1200V/25mΩ
1400V SiC	OSQ140R035H4T3F_NB	TO-247-4	1400V/35mΩ
1500V SiC	OSQ150R035H4T2F_NB	TO-247-4	1500V/35mΩ

得益于优秀的性能和可靠性，东微半导体SiC MOSFET产品已经得到行业最顶尖电源客户的认可和使用。其中，0V关断SiC产品也已量产出货，帮助客户提高系统的可靠性，简化了系统设计。

高压辅源

800V系统中的控制芯片和栅极驱动供电需要从800V总线而来，目前东微半导体在开发可以支持1.1kV输入的高压辅助电源方案。关键特点包括无上拉电阻的自启动，内置SiC器件，高操作频率，集成电流采样，支持原/副边电压采样两种控制方案（PSR/SSR）。这款产品主要为了解算力服务器设计中空间有限的痛点，也可以支持电动车主驱辅源快速启动的要求。算力用辅助电源针对800V高压母线输入场景进行了高压启动及高功率密度专项优化，为算力服务器电源系统提供小体积高可靠性的辅助供电。

器件封装也是解决高功率密度下散热难题的手段之一。东微半导体先进封装技术包括：

- **Source-Down封装：**将主要发热源直接连接至底部散热焊盘，热阻降低30%
- **双面散热封装：**为热量提供额外散出路径，功率密度提升50%
- **模块化集成：**替代传统分立方案，缩短供电路径，减少损耗

其中东微半导体超级结MOSFET塑封模块已实现液冷式算力服务器中的批量应用，成功替代传统分立器件方案，助力系统功率密度提升30%。目前，东微半导体已成为客户在该领域的核心供应商，业务增长动能持续增强。东微半导体的QDPAK封装产品，通过微通道水冷板技术，支持新一代机柜的液冷集成方案，确保在高密度散热环境下长期稳定运行。该设计不仅解决了散热瓶颈，还避免了传统风冷方案中因散热不足导致的性能降额问题，为算力服务器提供了可靠的供电保障。

03

IBC（中间总线转换器）

算力服务器IT机架中，由PSU产生的直流电压总线通过汇流排通入各个载有xPU集群的板卡。这里，直流总线又经由中间总线转换器IBC把电压降到12V或者6V，后级电压调整模块VRM再给xPU供电。IBC设计面临的技术挑战有高功率密度、高效率、高负载动态、高输出电流等等。因为搭载xPU的计算板卡的成本非常高，IBC对可靠性要求也会异常严苛。

为应对高功率密度的要求，IBC通常会采用高效高频的谐振拓扑结构，来大幅缩小被动器件体积，满足计算板卡对电源尺寸的严苛要求。常见的有LLC或者基于开关电容结构的软开关拓扑，例如HSC（Hybrid Switched Capacitor）。它们的开关频率一般在300kHz–1MHz之间。这里功率器件的单位面积电阻Rsp，和提升开关速度、降低死区时间相关的FOM参数（RDS(on)×Qg、RDS(on)×Qd等）成为IBC做器件选型的重要依据。开关频率也受封装结构的杂散电感影响，良好的封装结构也会降低器件温升，提升系统可靠性。

凭借在SGT MOSFET，GaN HEMT和新型封装方面的技术创新，东微半导体推出了一系列解决IBC设计挑战的功率器件产品。

东微典型的SGT MOSFET产品系列：

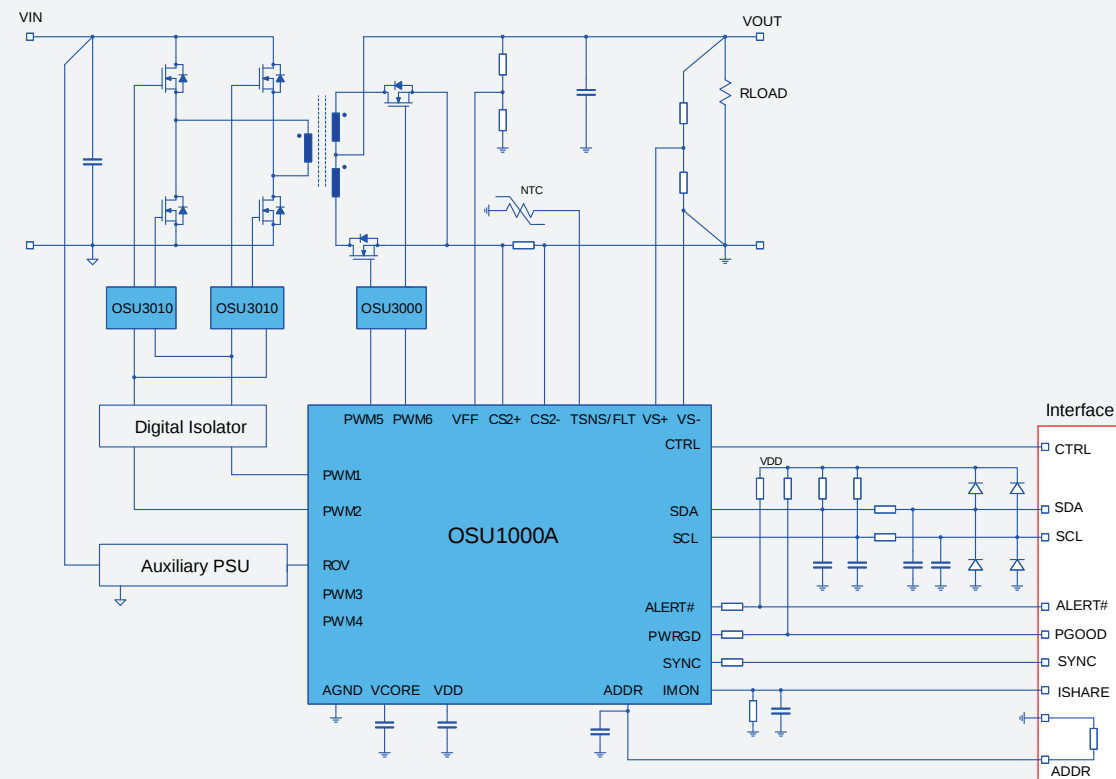
产品系列	产品型号	封装形式	产品描述
80V SGT	SFS08R046UNSCF_CG	PDFN3.3*3.3Centergate	80V/4.6mohm
60V SGT	SFS06R014UGSCNF	PDFN5*6DSC	60V/1.6mohm
40V SGT	SFS04R013UNSCF_CG	PDFN3.3*3.3Centergate	40V/1.5mohm
25V SGT	SFSE2R006UGF-A	PDFN5*6	25V/0.6mohm

东微半导体还将推出耐压100V，导通电阻1~10毫欧的GaN HEMT，有效地支持MHz级操作频率，将48V快速、精准地转换为VRM所需的12V或更低电压。

IBC数字控制器和半桥驱动器

数字控制器是算力服务器系统中功率转换的核心。针对高性能数字电源系统，慧能泰布局了多款数模混合的开关电源控制芯片产品，以自有专利的数字化开关电源控制技术为核心，辅以高精度、低时延的模拟外设电路，针对服务器电源常见的多个先进拓扑推出专用控制器，产品的关键技术指标达到了与国际领先厂商可比的水平。同时，在DCDC数字控制器产品方面，首次推出了算力服务器48V供电环节下覆盖硬开关全桥、开环LLC、多相Buck等主流拓扑的数字控制器产品，并向部分行业领先客户送样测试。慧能泰的数字控制IC产品系列包含多功能DC–DC数字电源控制器OSU1000A。该控制器采用融合ASIC数字电源专用算法与高性能模拟前端的数模混合架构，搭载符合PMBus™1.2标准的数字电源通讯接口，其采用业界极具竞争力的4mm*4mm QFN–24小型封装，旨在为高功率密度电源应用提供紧凑且高性能的解决方案。该器件主要面向典型输入为48V的隔离式与非隔离式DC–DC次级侧应用，涵盖多种拓扑结构，包括闭环隔离拓扑（如全桥、半桥、有源钳位正激、推挽等）、开环隔离拓扑（如开环LLC）、多相交错降压转换器以及近年来流行的新型混合开关电容转换器等。目前，OSU系列数字控制IC已通过全球顶尖电源客户的技术与质量验证并实现出货。

结合MOSFET驱动器系列（OSU30x0），东微半导体与慧能泰的深度合作打通了IBC系统中“控制–驱动–执行”的关键功率转换链路，为客户提供优质可靠的系统解决方案。图表7展示了一种基于OSU1000A控制器、OSU30x0驱动器及东微半导体SGT MOSFET的高性能IBC系统方案，该方案对标了市场占有率较高的国际主流厂商产品。

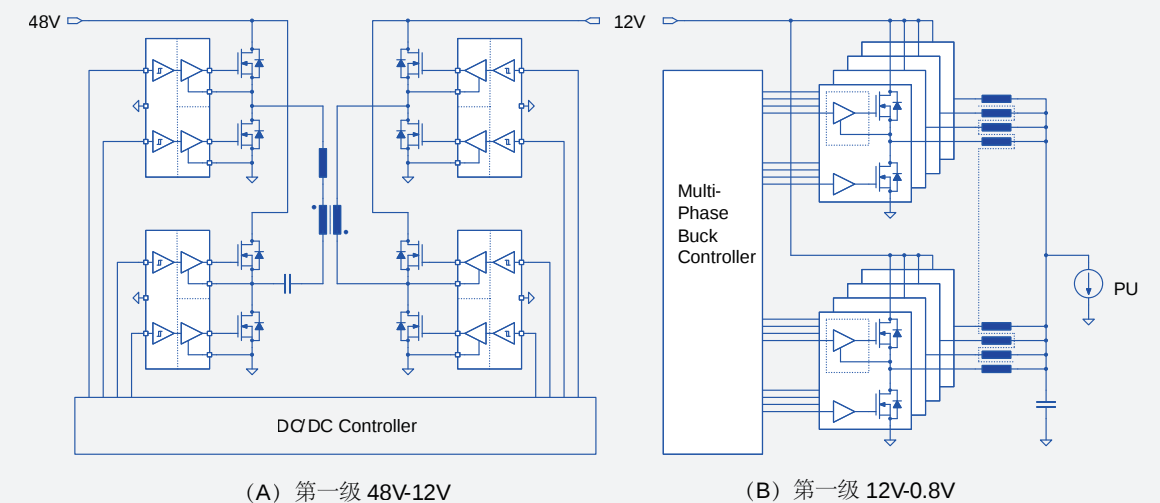


图表7一种基于OSU1000A，OSU30x0MOS驱动和东微SGT MOSFET的IBC方案

04 VRM (电压调节模块)

VRM (Voltage Regulator Module, 电压调节模块) 是xPU供电的核心组件，承担着将12V/6V电压转换为xPU运算单元所需低电压、大电流的关键任务。随着算力大模型训练对算力需求的指数级增长，GPU功耗从传统的300W级跃升至700W-2kW+，核心电压降至0.6-1.2V、电流突破1500A，这给系统电流路径布局、VRM的设计、效率、散热和可靠性带来了严峻挑战。此外，GPU供电电压纹波的严格要求和对间歇高动态负载（2.5A/ μ s级别）的响应速度要求，也为VRM的控制带来难题。

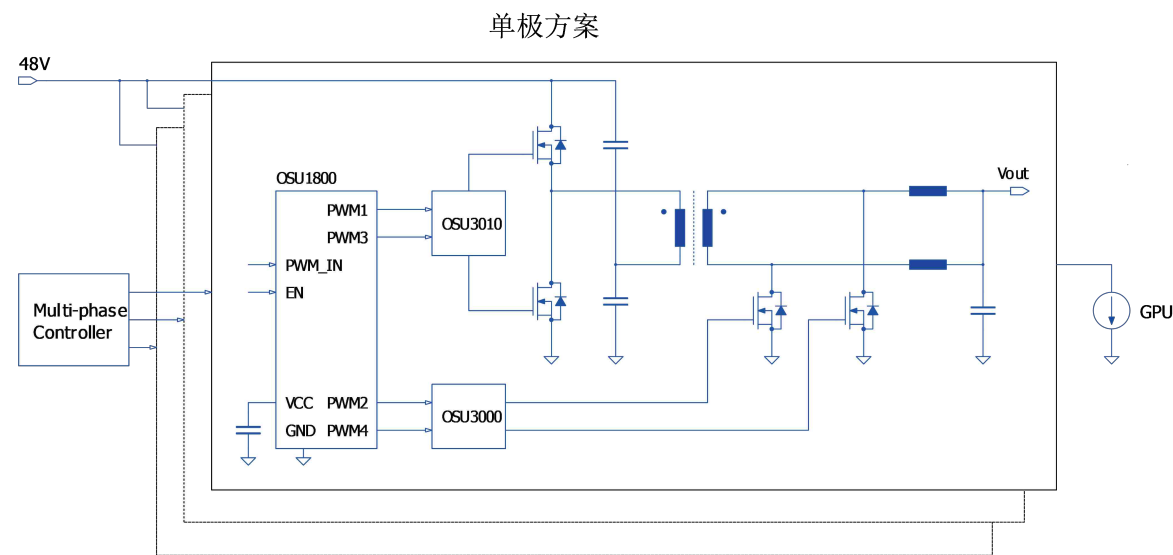
在48V供电架构中，传统主流方案采用两级转换拓扑：首先通过IBC（中间总线转换器）将48V降压至12V中间总线电压，再由VRM（电压调节模块）将12V转换为xPU所需的0.8V至1.8V超低电压。尽管单个转换阶段的效率可达96%，但由于累积损耗效应，两级系统的整体效率会降至约87%。此外，该架构需配置两个独立的功率转换模块及相应的磁性元件，这不仅增加了系统总体积与物料成本，也因功率路径延长而引入更大寄生阻抗，进而影响动态响应性能。



图表8传统的两级拓扑48V到1V转换方案

相比之下，单级直接转换架构将48V输入电压直接一步转换为目标低电压。该方案通过消除中间转换环节，可将典型整体效率提升至90%以上。在物理布局上，单级转换节省了中间总线电路所需的PCB面积与铜箔用量，显著提高了功率密度。更短的功率路径也有助于降低环路电感，从而优化负载瞬态响应性能。

慧能泰推出的PWM倍相控制器OSU1800，采用2mm*2mm DFN-8紧凑型封装，可将一路三态输入PWM信号扩展为两相交错180°互补的四路PWM输出，专为高密度、高效率DC-DC电源设计。OSU1800能够基于传统的12V转1V多相控制器，直接驱动48V转1V的多相交错半桥倍流整流功率级，无需增加额外的PWM控制信号，从而显著降低VRM方案从两级拓扑迁移至单级拓扑的设计难度与系统成本。该器件可广泛应用于单级VRM电源、隔离/非隔离DC-DC砖模块电源等场景。



图表9应用OSU1800实现48V到1V的单级拓扑转换方案

05 eFuse和固态断路器 (SSCB)

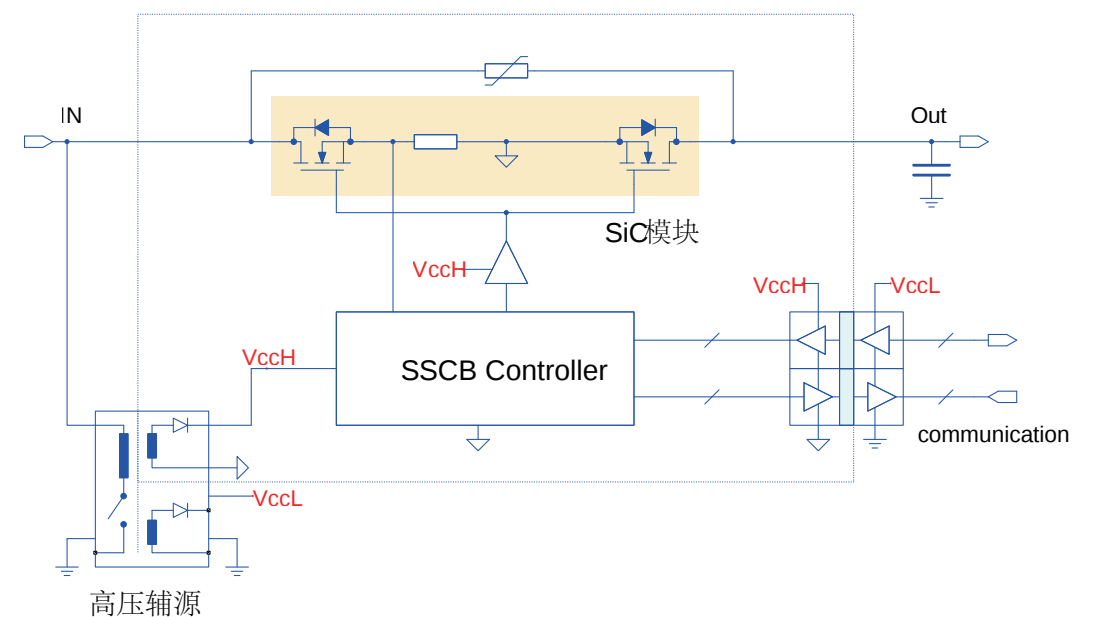
在成本高昂的算力服务器中，需要用10 μ s级别的反应速度来迅速隔离故障，以确保系统整体安全可靠运行。传统的机械断路系统无法进行这么快速的断路保护，因此基于功率半导体的高压固态断路器或者低压电子熔丝eFuse成为必然方式。这种固态断路方式还可以实现很多其他系统需要的价值：

- **电路软启动：**降低热插拔产生的巨大电压和电流应力；
- **检测和诊断：**监测电流，电压和功率信息，诊断可能的故障原因；
- **器件保护：**将VI应力控制在器件的安全操作区间内（SOA）；
- **通讯：**将固态断路器或eFuse的状态告知系统主控MCU，并执行MCU的指令；
- **重启系统：**当故障排除时，固态断路系统可以允许系统重新运作。

东微为这种固态断路器和低压eFuse开发了坚固且具有更宽SOA的功率器件，涵盖800V、48V和12V不同电压等级，满足算力服务器全场景供电保护需求。

800V固态断路器 (SSCB)：

东微针对此方案推出了SiC MOSFET如OSQ120R025K7T2AF，耐压达1200V，导通电阻25m Ω ，支持微秒级故障保护。由于比SiC MOSFET更小的单位面积导通电阻、更加简单可靠的结构和更加稳健的线性区能力，SiC-JFET成为未来固态断路器中的热门选择，目前东微也在积极布局开发。图表10示意了一种基于SiC的高压固态断路器的系统方案架构。其中SiC模块，数字断路器的控制器和高压辅源是系统关键器件。



图表10一种基于SiC的高压固态断路器方案

48V eFuse

针对算力服务器电源入口的48V级的热插拔需求，东微半导体开发了基于PDFN5*6 SGT MOSFET的Hotswap保护方案。该方案采用SFS10R017TNAF等SGT MOSFET产品，耐压100V，导通电阻1.7m Ω ，支持高达4.3kA的浪涌电流保护。东微的48V Hotswap方案通过分立式或集成控制器设计，可精确控制电源启动过程中的电流爬升率，避免对系统造成冲击。该方案显著提高了系统的可靠性和可用性。与传统方案相比，东微的48V Hotswap保护电路体积缩小30%，效率提升5%，为算力服务器提供了更紧凑、更高效的供电保护解决方案。

12V级热插拔保护

面向服务器内部板载设备的供电保护需求，东微半导体开发了基于PDFN5*6封装SGT MOSFET的12V Hotswap保护方案的功率器件产品。方案可采用SFS04R007UGSCNF等产品，体积小，热阻低至0.5K/W，适合空间受限的服务器内部环境。该方案通过优化驱动电路设计，实现了<5μs的快速响应时间，可有效保护VRM和芯片供电模块免受过流、过压和短路等故障的损害。东微的12V Hotswap保护电路已通过多家头部服务器厂商的质量认证，预计2026年将实现大规模量产。与传统方案相比，该方案不仅提高了保护速度，还降低了系统成本，为算力服务器内部供电提供了高性价比的保护解决方案。

06

东微产品在算力服务器的战略价值

东微半导体的算力服务器供电系统解决方案，通过技术创新与产业链协同，为数据中心运营商带来了显著的战略价值。

技术领先性与市场竞争力：东微半导体在PSU、HVDC、IBC、VRM和eFuse等关键环节的技术创新，使其产品在效率、功率密度和可靠性方面达到国际先进水平。例如，其SiC MOSFET导通电阻已降至 $7\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ ，与英飞凌的CoolSiC™系列相当；650V GaN HEMT的开关频率可达2MHz。这些技术突破使东微产品在算力服务器供电系统中具有显著的竞争力，能够满足高功率密度、高效率和高可靠性的需求。东微计划推出针对算力服务器的AIMOS，它是一种超薄衬底器件，主打低导通电阻+低热阻+高频特性，可直接对标英飞凌OptiMOS™ 7，实现大电流场景下更高效率的电压转换。

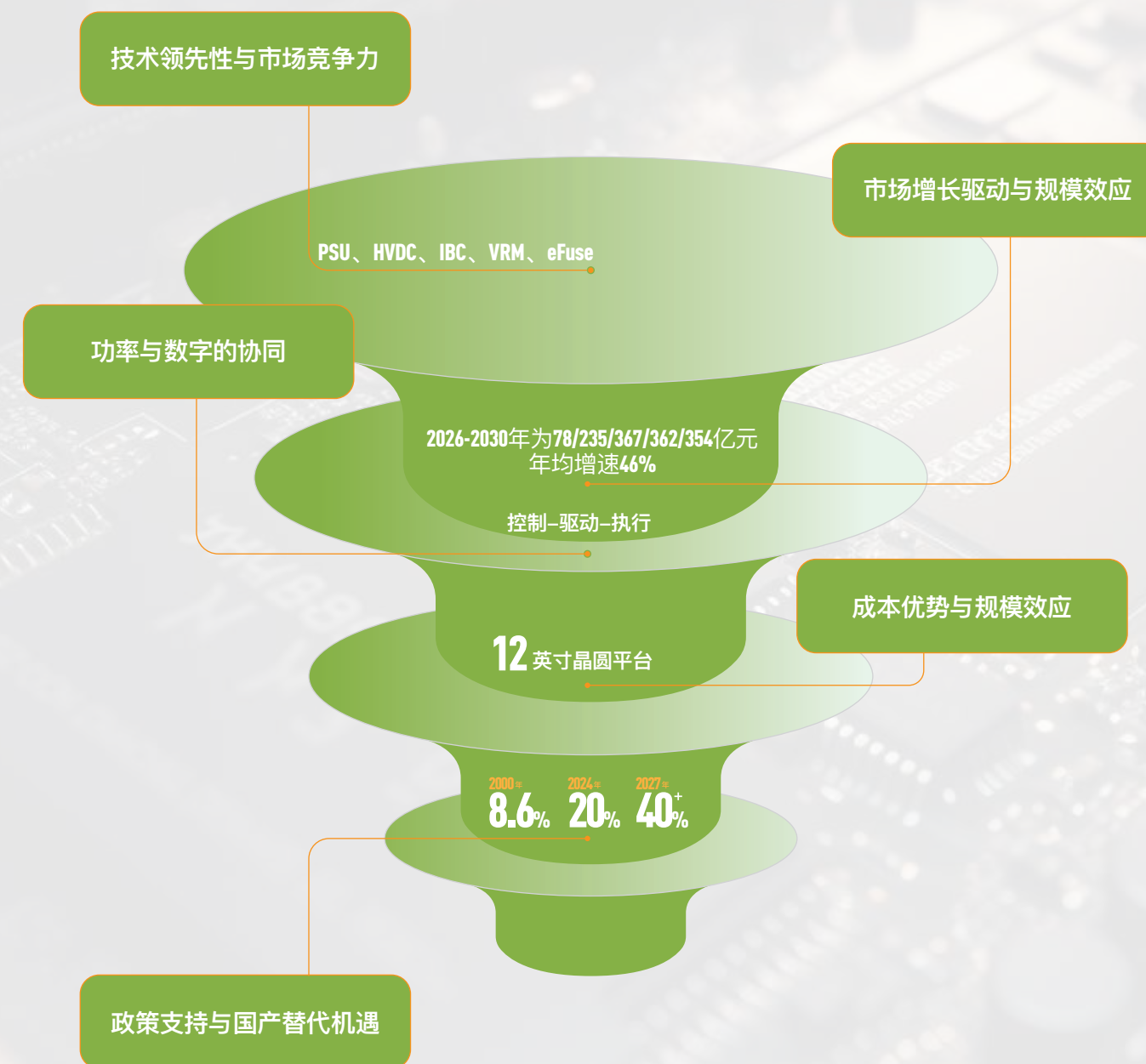
WHITE PAPER ON POWER SUPPLY SYSTEMS FOR Ai DATA CENTERS

市场增长驱动与规模效应：根据国信证券《AIDC电力设备专题之二：高压直流技术（HVDC）为国产设备带来广阔市场机遇》，随着算力需求的持续增长，全球800V HVDC市场规模预计2026—2030年为78/235/367/362/354亿元，年均增速46%。东微半导体凭借其在服务器电源领域的技术积累和市场拓展，已成为该领域的核心供应商。根据最新财报数据，2025年东微半导体工业通信电源领域（含数据中心算力服务器电源）收入占比约38%，同比增长约53%。其中，超级结MOSFET塑封模块在液冷式算力服务器电源领域取得了量产突破，成为客户主力供应商。

功率与数字的协同：在整合慧能泰半导体的数字控制IC产品后，东微半导体已构建起“控制—驱动—执行”的完整功率变换链路，具备对高端数字电力电子系统进行全局优化的能力，可实现更优的系统可靠性。这包括功率器件与驱动芯片的深度匹配、控制算法与固件的定制化开发等关键环节。全链路的打通也方便为客户提供一站式的系统方案设计服务，加速市场落地时间。

成本优势与规模效应：东微半导体通过12英寸晶圆平台迭代和先进封装技术，大幅提升了产品性能和降低了产品成本。与国际厂商相比，东微的超级结MOSFET极具成本优势，而性能接近GaN，为算力服务器供电系统提供了更具成本效益的解决方案。同时，东微的SiC MOSFET产品已批量供货一线厂商，成本优势明显，预计有望在800V平台和算力服务器电源领域实现更大规模的替代。这种成本优势与规模效应的结合，使东微半导体能够在算力服务器供电系统市场中实现持续增长。

政策支持与国产替代机遇：中国“东数西算”工程要求数据中心PUE值不得高于1.3，部分节点要求PUE需低于1.25，这为HVDC等高效供电技术创造了广阔的应用空间。东微半导体作为国内功率半导体技术创新者，通过与晶湛半导体的战略合作，共同推进12英寸氮化镓技术与产品的研发与应用，力争打破国际巨头在高端功率半导体领域的垄断。目前，数据中心功率半导体市场的国产化率已从2020年的8.6%提升至2024年的20%，预计到2027年将提升至40%以上。这一国产替代进程不仅降低了数据中心的建设和运营成本，还提高了供应链的安全性和稳定性。数字控制器方面，慧能泰相关产品已获得头部电源厂商的广泛认可，是算力服务器数字电源控制器领域中为数不多实现国产替代的标杆方案。



07 未来产品路线图

7.1 电压等级演进

短期：完善48V架构生态系统

48V架构作为当前数据中心的主流供电标准，已形成完整的产业生态。短期内东微半导体将重点完善48V架构生态系统，通过优化现有产品线（如超级结MOSFET塑封模块、SGT MOS-FET、GaN HEMT和数字控制IC）提升其在目前算力服务器供电系统的适用性，同时为向更高电压等级过渡奠定基础。

中期：推进800V架构商业化落地

800V架构将成为算力服务器电源系统演进的重要里程碑。东微半导体已实现SiC MOSFET和SiC SBD的规模化量产，其第四代SiC MOSFET产品技术平台已完成研发，性能达到国际领先水平，得到顶级客户的认可，为800V架构提供关键器件支持。开发计划中不只包括电源系统所需的高速高压功率器件，也涵盖高压固态断路器所需的宽SOA功率器件和数字控制器等关键器件。

长期：研究1500V及以上电压等级技术

随着算力需求的持续增长，数据中心将进入300kW-1MW的整柜时代，对电源系统提出更高要求，其中固态变压器SST方案是未来5年内大概率发生的演进方向。但是目前基于1200V SiC器件的SST级联方案在中压交流输入的每一相间都还有较高的串联模块个数，这损害了系统的可靠性和功率密度。更高电压等级的功率器件可以降低串联模块个数，提升系统可靠性。东微未来会布局1500V以上电压等级的SiC器件研发，以应对中长期算力服务器电源架构的高压需求。

7.2 器件技术发展

器件创新：开发新一代SiC和GaN器件

第三代半导体材料是算力服务器电源系统的技术基石。东微半导体将持续推进SiC和GaN器件的创新，提升器件性能，降低制造成本，为算力服务器提供更高效率的功率解决方案。

在SiC领域，东微半导体已实现SiC MOSFET、SiC SBD的规模化量产，相关产品的性能指标与国际竞品相比具有明显优势。公司第四代SiC MOSFET产品技术平台已完成研发，通过优化漂移区掺杂浓度和厚度，实现了在保持高击穿电压的同时降低导通电阻。公司1400V 及更高电压系列产品已通过客户测试并获得订单，该系列产品是工业高压电源、固态变压器、储能变流器等高端场景的核心器件。

在GaN领域，东微半导体与晶湛半导体的战略合作将重点突破12英寸硅基GaN外延技术，解决大尺寸GaN外延材料在器件制造过程中的关键技术难题。晶湛半导体已率先在全球发布商用8英寸硅基氮化镓外延片产品，并正在向12英寸过渡，这为东微半导体开发更高性能的GaN功率器件提供了材料基础。

未来，东微半导体将探索SiC与GaN的协同应用方案，开发混合模式功率器件，结合SiC的高耐压特性和GaN的高频特性，为算力服务器电源系统提供更全面的解决方案。同时，公司将加强与产业链上下游企业的协同创新，推动第三代半导体材料在算力服务器领域的规模化应用。

集成化：推动功率器件与控制电路的单片集成

功率器件集成化是提升算力服务器电源系统效率和可靠性的关键路径。东微半导体将推动功率器件与控制电路的共封装集成，减少寄生电感，提高系统集成度，降低整体功耗。

在GaN单片集成方面，东微半导体将探索全GaN单片集成电路技术，公司已布局GaN集成电路产品，包括增强型p-GaN HEMT器件集成高性能的肖特基二极管以及电阻电容等被动元件，并集成电流采样和过压过流保护电路。

通过功率器件与控制电路的单片集成，东微半导体将为算力服务器提供更紧凑、更高效的电源解决方案，减少系统体积，提高电路集成度，同时增加可靠性，减少不同模块之间的延迟，提高系统工作速度。

先进封装：与先进散热技术深度结合

液冷集成技术是解决算力服务器高功率密度散热问题的关键。东微半导体在液冷服务器电源领域已取得量产突破，超级结MOSFET塑封模块在液冷式算力服务器电源中广泛应用。公司将继续推进Hybrid FET等新型功率器件在液冷环境下的应用，通过优化器件结构和封装工艺，提高散热效率，降低系统温升，提升功率器件的可靠性和寿命。

在液冷集成技术方面，东微半导体将探索以下创新方向：

- 开发适配液冷环境的功率器件，提高耐腐蚀性和热稳定性，确保在液冷条件下的长期可靠运行。
- 优化功率器件与液冷散热器的协同设计，提高热传导效率，降低系统温升。公司已量产的超级结MOSFET和SiC MOSFET产品具有优异的热性能，适配液冷散热环境。
- 推动液冷技术与数字电源管理的融合，实现散热与供电的协同优化，提高系统整体效率。公司已与多家头部电源产品公司建立合作关系，共同开发具有液冷集成功能的算力服务器电源系统。通过液冷集成技术的创新，东微半导体将为算力服务器提供更高效、更可靠的散热解决方案，支持算力服务器的高功率密度需求，降低系统能耗，提高能源利用率。

7.3 技术演进时间表与产业化路径

基于上述技术路线图，东微半导体将按照以下时间表推进算力服务器电源技术的产业化：

时间节点	技术重点	产业化目标
2026—2028年	完善48V架构生态系统，推进800V架构商业化落地液冷电源模块量产数字电源管理技术应用	在数据中心、算力服务器电源等领域的业务保持增长，并稳步推进超级结MOSFET塑封模块在液冷式算力服务器电源领域取得量产突破
2028—2030年	研究1500V及以上电压等级功率器件，以及功率器件—控制电路的单封装集成技术	建立起完整的12英寸氮化镓技术生态系统，实现算力服务器电源系统的智能化管理
2030年以后	第四代半导体技术、应用垂直供电架构普及、液冷与算力供电优化深度融合	推动中国第三代半导体产业的高质量发展，为全球算力服务器市场提供完整的功率解决方案

东微半导体将通过以下产业化路径实现技术路线图的目标：

首先，加强与产业链上下游企业的协同创新，包括晶湛半导体（氮化镓外延材料）、头部电源产品公司和算力芯片厂商等，形成完整的技术生态系统，持续优化功率器件性能，降低制造成本。

其次，加大研发投入，持续优化功率器件性能，降低制造成本，提升产品竞争力。公司已拥有179项专利，涵盖半导体器件核心专利技术，为技术路线图的实施提供知识产权支持。

最后，推动产品在算力服务器领域的规模化应用，通过客户验证和技术迭代，不断提升产品性能和可靠性。公司已与多家头部电源产品公司建立合作关系，共同开发算力服务器电源解决方案。

通过上述技术路线图和产业化路径的实施，东微半导体将为算力服务器提供更高效、更可靠、更智能的电源解决方案，支持算力的持续增长，推动中国第三代半导体产业的高质量发展。

总 结

聚焦算力服务器供电系统是东微半导体的核心战略。凭借覆盖全电压范围、全应用场景的完整功率半导体产品矩阵，以及新近整合的慧能泰数字产品能力，东微半导体致力于为高算力服务器提供从电网到xPU芯片的全链路、高性能、高可靠的解决方案。

未来公司会坚决地以不断精进的高压超级结MOSFET、中低压屏蔽栅MOSFET及第三代半导体（SiC MOSFET、JFET和GaN HEMT）等先进功率器件技术为基础，结合模拟和数字控制器、智能功率模块集成等系统级创新的布局，构建起服务48V及更高压总线架构的高效供电平台。该平台着力于帮助算力服务器电源客户有效应对在效率、功率密度、动态性能和可靠性等方面日益严苛的要求与挑战，实现从电网到负载点的整体能效优化，降低算力服务器总体拥有成本。

公司以引领下一代电源技术创新为使命，通过持续的研发投入，为未来数字基础设施的低碳化、高效化与稳定运行提供坚实的技术保障与产品支撑。