

EtherCAT 协议优势及 NRES DLC24VAPBETH 应用方案

Advantages of the EtherCAT protocol and application solutions for NRES DLC24VAPBETH



实时性
微秒级同步

高性能
高速通信，低延迟

拓扑灵活
线型拓扑，易扩展

高可靠性
冗余机制，稳定运行

标准以太网
兼容性强，成本优化

第一部分：EtherCAT 是什么及协议优势

1.1 EtherCAT 是什么

EtherCAT 全称 Ethernet for Control Automation Technology，是面向工业自动化、运动控制、机器人、多轴伺服和分布式 I/O 的实时工业以太网现场总线，经典 EtherCAT 以 IEEE 802.3 以太网物理层为基础，常见线缆形态为 100BASE-TX、100Mbit/s、全双工、RJ45 或 M12 接口，它与普通以太网最本质的不同在于 EtherCAT 不是让每个节点单独收发一帧，而是由主站发出一个或少量 EtherCAT 帧，帧经过每个从站时，从站在硬件中边转发、边读取自己的数据、边写入反馈数据，也就是常说的 on-the-fly processing

EtherCAT 不是“普通网口加一个工业协议”，而是为实时控制优化过的以太网现场总线，它把多节点周期性控制数据放在一帧或少量帧中高效率交换，特别适合多轴同步和伺服控制

1.2 EtherCAT 的核心协议优势

序号	优势	原理说明	对机器人/伺服的价值
1	飞速穿越式处理	数据帧经过从站时由 ESC 硬件直接读写，减少每个节点独立收包、拆包、再发送的延迟	多关节机器人、多轴伺服可以在一个周期内完成命令下发与状态回传
2	强实时与确定性	通信路径固定、周期可控、抖动小，适合周期性过程数据交换	运动控制不只要快，更要求每一周期稳定到达
3	分布式时钟	Distributed Clocks 让多个从站同步到统一时间基准	多关节在同一时间点执行动作，提升轨迹平滑性和协同精度
4	高带宽	经典 EtherCAT 使用 100Mbit/s 全双工以太网物理层	比 CAN/CANopen 更适合多轴、大量状态数据、高刷新率控制
5	拓扑灵活	支持线型、树型、星型、环型、冗余等多种拓扑	机器人本体、控制柜、分布式 I/O 和末端执行器布线更灵活
6	伺服生态成熟	可结合 CoE/CiA402 等驱动器设备协议	伺服驱动器、关节模组、运动控制器更容易标准化适配

1.3 与 CAN、RS485、普通以太网的差异

序号	通信方式	特点
1	CAN/CANopen	成熟、低成本、抗干扰好，但带宽通常较低，多轴高频刷新压力较大，适合低成本、低轴数、低数据量关节或底盘控制
2	RS485 /自定义总线	实现简单，成本低，但协议生态、同步能力和诊断能力受限;适合传感器、低速执行器、简单部件通信
3	普通 TCP/IP 以太网	带宽高但实时性和确定性依赖交换机、操作系统和协议栈，适合上位机、数据、视觉、非强实时通信
4	EtherCAT	标准以太网物理层+实时现场总线机制+ ESC 硬件处理+分布式时钟，适合多轴同步、机器人关节、伺服驱动和高实时 I/O

第二部分：EtherCAT 适用产品与理由

EtherCAT 的典型价值集中在“实时、多轴、同步、分布式控制”；因此它不是所有电子产品都必须使用，但凡产品中存在多轴协同、周期性控制、强实时反馈、长线缆工业现场、伺服驱动或分布式 I/O，EtherCAT 的价值就会明显提升。

序号	产品/模块	典型场景及采用理由
1	PLC/工业控制器	作为 EtherCAT Master 控制远程 I/O、伺服轴、传感器和执行器，PLC 需要周期性扫描、稳定控制和分布式扩展，EtherCAT 能降低通信延迟并提升系统扩展能力
2	远程 I/O 模块	数字量 I/O、模拟量 I/O、温度采集、编码器输入、安全 I/O，I/O 点数多、分布广，EtherCAT 可用少量帧完成大量过程数据交换
3	伺服驱动器	单轴或多轴伺服驱动、伺服放大器、运动控制模块，伺服需要短周期位置/速度/电流命令和状态反馈，EtherCAT 的确定性与分布式时钟非常适合
4	机器人关节控制	工业机器人、协作机器人、人形机器人关节模组、末端执行器；多关节需要同步执行，EtherCAT 让每个关节在统一时间基准下接收命令并回传状态
5	运动控制平台	CNC、半导体平台、激光加工、包装、印刷、注塑、装配线，多轴插补、高速触发、同步采样和精准定位对通信抖动敏感
6	机器人部件控制	夹爪、升降机构、旋转台、力控模块、传感器模块，模块化机器人需要高速、可诊断、可扩展的统一总线
7	AGV / AMR 上装机构	移动机器人上的机械臂、输送线、举升机构、对接机构，底盘可继续用 CAN，但上装多轴机构可用 EtherCAT 提升控制性能
8	伺服电机一体化模组	电机、驱动器、编码器、刹车、温度传感器集成，关节模组化后，每个关节成为 EtherCAT 从站，便于串接和维护
9	工业网关	EtherCAT 与 PROFINET、EtherNet/IP、CANopen、RS485 的协议转换，现场设备多协议并存，网关需要稳定通信和可靠 EMC 设计
10	半导体/锂电设备	晶圆搬运、叠片机、卷绕机、化成分容、检测设备，设备轴数多、节拍快、同步要求高，EtherCAT 使用较多
11	测量与数据采集系统	多通道采样、同步采样、分布式测量模块，Distributed Clocks 可提升多点采样的时间一致性
12	安全控制系统	安全 I/O、安全门、安全急停、FSOE 设备，Safety over EtherCAT 可在同一通信系统中传输安全与非安全数据

2.1 机器人关节控制中的典型结构

机器人主控制器通常作为 EtherCAT Master，关节驱动器或关节模组作为 EtherCAT Slave，每个从站内部一般包含 Ethernet PHY、EtherCAT Slave Controller (ESC)、MCU/DSP/FPGA、电机驱动、编码器和温度/电流/位置反馈，主控制器在一个控制周期内给多个关节下发目标位置、目标速度或目标转矩，每个关节同时回传实际位置、速度、电流、温度、状态字和故障码，EtherCAT 的优势不是单点通信快，而是多节点同步交换效率高

第三部分：EtherCAT 协议与 OPEN Alliance

3.1 EtherCAT 协议与物理层要求

序号	项目	说明
1	协议属性	实时工业以太网现场总线，用于周期性过程数据和非周期性诊断/配置数据
2	维护组织	EtherCAT Technology Group, ETG
3	国际标准	已纳入 IEC61158、IEC 61784 等现场总线标准体系，在驱动器侧还可关联 IEC61800-7/ CiA402 设备协议
4	经典物理层	100BASE-TX, 100Mbit/s, 全双工, IEEE 802.3 以太网物理层
5	典型连接器	工业 RJ45、M12 等
6	关键芯片	Ethernet PHY + EtherCAT Slave Controller (ESC) 或带 EtherCAT 从站接口的 MCU/SoC
7	同步机制	Distributed Clocks 分布式时钟
8	应用验证重点	链路稳定性、误码率、眼图/回损/插损、ESD、EFT、Surge、辐射/传导 EMC、屏蔽层与 PE 处理

3.2 EtherCAT 与 100BASE-TX 差分信号

经典 EtherCAT 在铜缆侧通常继承 100BASE-TX 的电气特性，需要注意 EtherCAT 不单独定义一个“EtherCAT 差分电压”，而是沿用以太网 PHY 的电气规范，100BASE-TX 使用 MLT-3 三电平差分波形，保护器件选型不能按低速 RS485/CAN 的思路选择大电容 TVS

ESD 器件要低电容、低寄生、低钳位，优先高速以太网专用 ESD

共模电感要适配 100BASE-TX 的差分插损、回波损耗和共模阻抗

高能 GDT/TSS 更适合 Shield-to-PE 或粗保护路径，不建议未经验证直接并在高速差分线上

3.3 EtherCAT EMC 与绝缘/接地关注点

EtherCAT 设备常处于强干扰工业现场伺服电机、变频器、继电器、DC/DC、电源地弹和长线缆都会把共模噪声耦合到通信链路，实际 EMC 设计中，除了 TX/RX 差分线的 ESD 与 CMC，还要处理 Shield 到 PE/机壳地的泄放路径

序号	对象	工程要求
1	差分信号线	低电容 ESD、100BASE-TX CMC、阻抗连续、短回流路径
2	Shield / 金属壳	优先通过机壳地/PE 泄放共模干扰，可用直连、电容、RC、GDT 等方式，取决于整机接地和绝缘要求
3	Signal GND 与 PE	根据整机安规和 EMC 需求决定是否电容耦合、RC 耦合或隔离
4	绝缘/耐压测试	500VDC 常见于绝缘电阻测试，但不是 EtherCAT 协议本身规定，需确认测试点是信号线-屏蔽层、信号地-PE，还是屏蔽层-PE
5	以太网隔离	经典以太网端口通常通过网络变压器满足更高隔离要求，需按 PHY/磁性器件/整机标准确认

3.4 OPEN Alliance 与 EtherCAT 理解

OPEN Alliance 主要面向车载以太网，尤其是 100BASE-T1、1000BASE-T1 等 Automotive Ethernet，它不是 EtherCAT 的认证体系，普通工业 EtherCAT (RJ45/M12、100BASE-TX、两对线) 通常不会要求器件必须通过 OPEN Alliance 测试

对于 ESD suppression device 和 Common Mode Choke, OPEN Alliance 提供了针对 100BASE-T1 的 EMC 测试规范，用于评价车载以太网 MDI 网络中的插入损耗、回波损耗、模式转换、ESD 应力后的性能和与 PHY/CMC/CMT 网络的匹配

Ty	场景	特点与测试
A	工业 EtherCAT	经典 100BASE-TX, RJ45/M12, 两对线, 工业自动化, 通常不要求 OPEN Alliance, 重点看 IEEE 802.3 物理层、IEC EMC、整机安规和客户规范
B	车载以太网 100BASE-T1	单对双绞线, 汽车应用, OPEN Alliance 体系成熟, 建议提供 OPEN Alliance ESD/CMC/S 参数/系统实现相关报告
C	车载以太网 1000BASE-T1	更高速的单对车载以太网, 信号完整性要求更高, 更需要关注 S 参数、插损、回损、模式转换和器件电容

第四部分：NRES DLC24VAPBETH 优势与器件特点

4.1 器件定位

NRES DLC24VAPBETH 是面向高速差分数据网络的低电容 TVS Diode Array，该器件适用于 Open Alliance 100/1000BASE-T1 Ethernet 和 High Speed Data Networks，并适合放置在收发器 PHY 的连接器侧做 ESD 保护

序号	参数/特性	规格	设计价值
1	封装	SOT-23	小封装，适合靠近连接器布局
2	VRWM	24V	适合车载以太网 ESD 器件常见高工作电压方向，降低正常信号误触发风险
3	触发电压 Vt1	Min 100V, Typ 140V	高触发电压，适合 OPEN Alliance 车载以太网 ESD 保护思路
4	保持电压 Vh	28V	高于正常高速信号电平，减少误导通风险
5	动态电阻 Rdyn	Typ 0.6Ω	导通后动态阻抗低，有利于降低残余能量
6	结电容 CD	Typ/Max 2pF	适合高速差分线，但 1000BASE-T1 与 100BASE-TX 仍需 S 参数/眼图验证
7	响应时间	典型 < 1ns	适合 ESD 快速瞬态防护
8	IEC 61000-4-2	空气 ±30kV, 接触 ±30kV	ESD 防护等级高，适合插拔、人体接触和接口暴露场景
9	IEC 61000-4-5	2A, 8/20μs	具备一定浪涌能力，但不应被定义为大功率浪涌主保护器件
10	AEC-Q101	Qualified	有利于车载项目导入

4.2 用于车载以太网的优势

面向 OPEN Alliance 100/1000BASE-T1 Ethernet，适合做车载以太网 ESD 保护

24V VRWM、高触发电压和低电容组合，符合车载以太网 ESD 器件常见技术方向

AEC-Q101 qualification 有利于进入汽车 OEM、Tier1、域控、摄像头、雷达、网关等项目

建议补齐或持续完善 OPEN Alliance 100BASE-T1 / 1000BASE-T1 ESD suppression device 测试报告、mixed-mode S-parameter、插损、回损、模式转换和 ESD 后性能漂移报告

4.3 用于 EtherCAT/工业以太网的优势

低电容高速接口保护器件，可作为 EtherCAT 100BASE-TX RJ45/M12 端口的 ESD 保护候选

高触发电压可降低正常 100BASE-TX MLT-3 差分信号误触发风险

适合与工业以太网共模电感、网络隔离变压器、Shield-to-PE 泄放器件和 24V/48V 电源 TVS 组成完整

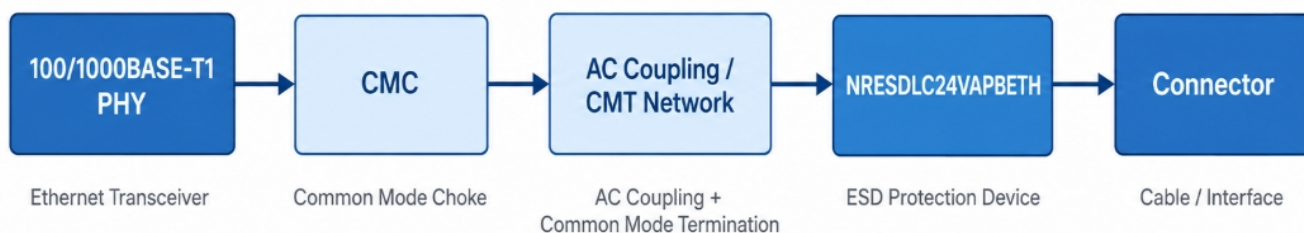
EtherCAT EMC 方案

工业 EtherCAT 侧必须补做或向客户说明：100BASE-TX 眼图、误码率、插损/回损、100m 链路、

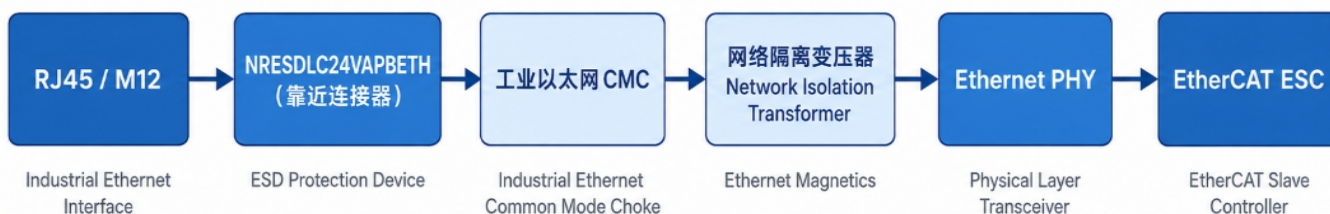
ESD/EFT/Surge、通信掉站测试

4.4 推荐应用结构

车载以太网 100/1000BASE-T1:



工业 EtherCAT / 100BASE-TX:



第五部分：总结

5.1 技术总结

EtherCAT 是实时工业以太网协议，适合 PLC、伺服驱动、机器人关节、运动控制、远程 I/O、半导体设备、锂电设备和高端自动化产线

它的核心优势是 on-the-fly 处理、确定性通信、100Mbit/s 带宽、Distributed Clocks 多节点同步和成熟伺服生态

机器人关节控制采用 EtherCAT 的根本原因是多个关节可以在同一通信周期内同步接收命令、同步执行动作、同步回传状态

OPEN Alliance 不是 EtherCAT 标准，而是车载以太网 100/100BASE-T1 相关测试体系，两者可以共用器件，但验证报告和客户话术要分开

NRES DLC24VAPBETH 适合作为车载以太网主推 ESD 保护器件，同时可扩展到 EtherCAT/100BASE-TX 工业以太网接口

参考资料

[1] EtherCAT Technology Group: EtherCAT Technology overview

<https://www.ethercat.org/en/technology.html>

[2] Beckhoff: EtherCAT utilizes standard frames and IEEE 802.3 physical layer

<https://www.beckhoff.com/en-us/products/i-o/ethercat/>

[3] Beckhoff Infosys: EtherCAT Distributed Clocks

<https://infosys.beckhoff.com/content/1033/ethercatsystem/2469118347.html>

[4] OPEN Alliance: Automotive Ethernet Specifications

<https://opensig.org/automotive-ethernet-specifications/>

[5] OPEN Alliance: 100BASE-T1 EMC Test Specification for ESD Suppression Devices v2.0

https://opensig.org/wp-content/uploads/2024/01/OA-100Base-T1_ESD-device-Test-Specification-v2.0.pdf

[6] OPEN Alliance: 100BASE-T1 EMC Test Specification for Common Mode Chokes v2.0

https://opensig.org/wp-content/uploads/2024/01/OA-100Base-T1_CMC-Test-Specification-v2.0.pdf

[7] 音特电子 NRES DLC24VAPBETH Datasheet Rev.24.3

<https://www.yint.com.cn/upload/file/20260512/c9b8f8a4ef6f4aa830f17df5bbaca583.pdf>

免责声明：

本文内容系基于音特电子在特定应用场景下的工程实践经验、测试数据及历史客户案例进行整理与总结，主要用于技术交流、方案参考与设计思路说明，鉴于不同项目在系统架构、应用环境、器件选型、PCB 布局、接地方式、线缆条件、EMC 等级要求及整机约束等方面存在差异，本文所述方案、参数及建议不构成对任何具体项目性能、合规结果或最终适配性的直接承诺。

在实际导入过程中，建议使用方结合项目的真实工况与客观条件，开展二次评估、参数校核及针对性优化，并以样机测试、边界工况验证及相关标准测试结果作为最终判定依据。