

APPLICATION NOTE

SINGLE PAIR ETHERNET – M12 HYBRID SYSTEM



Abbildung 1: M12 Hybrid Steckverbinder, Kodierung Typ II (Quelle: TE Connectivity)

M12 SPE HYBRID LÖSUNG FÜR HIGH POWER ANWENDUNGEN

Mit IIoT stellt die Industrie immer höhere Anforderungen an die Netzwerktechnik. Künftig sollen auch kleine Geräte möglichst einfach an das Unternehmensnetzwerk angeschlossen werden. Der Trend zur Miniaturisierung sorgt dafür, dass immer weniger Platz für die Netzwerktechnik und die verwendeten Kabel zur Verfügung steht. Zugleich steigen die Anforderungen an die möglichen Datenübertragungsraten. Single Pair Ethernet (SPE) ist die Technologie, die diesen Anforderungen in hervorragender Weise gerecht wird. Sie verwendet nur ein Signalpaar im Vergleich zu vier Signalpaaren im herkömmlichen Ethernet. Dadurch werden das Gewicht und der Durchmesser der Kabel reduziert und die Steckverbinder werden auch miniaturisiert. Die Anforderungen an die Steckverbinder sind in der Normenreihe IEC 63171-x genormt. Die Anforderungen an die Kabel sind in der IEC 61156-Serie genormt.

Vergleichbar mit Power over Ethernet (PoE), das für konventionelles Ethernet verwendet wird, ist es möglich, mit Power over Data Line (PoDL) Leistung über das SPE-Signalpaar zu übertragen. Mit PoDL kann eine maximale Leistung von etwa 50 W übertragen werden. Für industrielle Anwendungen ist dies nicht immer ausreichend. Daher schlägt das SPE Industrial Partner Network die Verwendung einer



hybriden Verbindungslösung vor. Dabei haben die Kabel und Steckverbinder ein Signalpaar für SPE und separate Stromleitungen zur Leistungsübertragung. Eine Variante ist der M8-Hybrid-Steckverbinder, der in der IEC 63171-6 genormt ist und eine Leistung von über 300 W auf 40 m Übertragungslänge aufnehmen kann. Weitere Details zum M8-Hybrid-Steckverbinder finden Sie in der Application Note "Single Pair Ethernet - M8 Hybrid System". Eine weitere Variante ist der M12-Hybrid-Steckverbinder, der derzeit in der IEC 63171-7 mit mehreren Steckerkodierungen genormt ist und noch höhere Leistungen als der M8-Hybrid-Steckverbinder aufnehmen kann. Seine Fähigkeiten werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

METHODEN ZUR STROMVERSORGUNG

PoDL

PoDL ist eine Fernspeisungstechnologie, die ein SPE-Gerät über das Datenkabelpaar mit einer Leistung von bis zu 50 W bei 48 VDC versorgt. Die Technologie ist in IEEE 802.3bu und in IEEE 802.3cg mit den zusätzlichen Leistungsklassen 10 bis 15 standardisiert. PoDL kann in Verbindung mit allen SPE-Datenübertragungsstandards verwendet werden. Der Ursprung von PoDL liegt in der Automobilindustrie, wo es darum geht, viele kleine und energieeffiziente Geräte mit Datenkommunikation und Strom zu verbinden. In dieser Anwendung ist PoDL aus Sicht der Leistung für Geräte mit geringem Stromverbrauch sehr zuverlässig. In der industriellen Umgebung findet man aber auch Anwendungen, die viel mehr Leistung als die möglichen 50 W benötigen, die bei höheren (gefährlichen) Spannungspegeln arbeiten und größere Kabellängen erfordern. Ein weiterer großer Nachteil von PoDL ist die für die Implementierung erforderliche Elektronik. Dies führt zu zusätzlichen Kosten und Leiterplattenplatz in den kleinen Geräten und verbraucht zusätzliche Energie. Auch die Stromversorgung entfernter Geräte mit PoDL in einer Multidrop-Konfiguration ist nicht möglich.

Direkte Stromversorgung

Die übliche Art, Geräte zu versorgen, ist die direkte Versorgung über das Stromnetz. Bei der direkten Versorgung wird das Gerät in der Regel an zwei getrennte Kabel angeschlossen, eines für die Stromversorgung und eines für die Kommunikation. Die übertragbare Leistung ist nicht begrenzt, aber der Verkabelungsaufwand und der erforderliche Platz für Kabel sind hoch. Diese Technologie ist nicht sehr effizient in Bezug auf Kabelplatz und Kosten, aber für Geräte mit höherer Leistung ist dies die einzige Möglichkeit neben hybriden Stromversorgungslösungen.



Hybrides Signal/Power System

Das Hybridsystem kombiniert die Vorteile von Stromversorgung und Kommunikation über ein einziges Kabel. Diese Konfiguration reduziert den Bedarf an einem separaten Stromnetz erheblich und ist dennoch in der Lage, Geräte mit höherer Leistung zu versorgen, die über die maximale Leistung von 50 W mit PoDL hinausgehen. Die Grundlage der Lösung besteht darin, zwei oder mehr Stromleitungen neben dem SPE-Paar zu verlegen. Mit dieser Kombination erhält man ein Kabel mit geringem Durchmesser, das eine Datenübertragung von 1 Gbit/s in Kombination mit hohen Stromversorgungsfähigkeiten ermöglicht.

Weitere Vorteile sind die kosten- und platzsparende Verkabelung und die im Vergleich zu PoDL deutlich verbesserten EMV-Eigenschaften mit den getrennten Daten- und Strompaaren. Außerdem können damit mehrere Geräte in einem Multidrop-Netz mit Strom versorgt werden.

M12 HYBRID SCHNITTSTELLEN

In der Norm IEC 63171-7 sind sieben verschiedene Steckerschnittstellen definiert, siehe Abbildung 1 und 2. Die verschiedenen Schnittstellen können in drei verschiedene Gruppen eingeteilt werden.

Die erste Gruppe bezieht sich auf die Typen I, II, III und VI und ist für nicht gefährliche Spannungen ($< 63 \text{ V DC}$ oder $< 50 \text{ V AC}$) definiert. Die Typen können sich hinsichtlich der maximal zulässigen Ströme und der Anordnung der Stromanschlüsse unterscheiden. Die Leistungskontakte der Typen I, II und III sind für Ströme bis zu 8 A ausgelegt und werden an Drähte von 16 AWG angeschlossen. Bei Typ I sind die beiden linken Leistungskontakte miteinander kurzgeschlossen und die beiden rechten Leistungskontakte sind miteinander kurzgeschlossen. Dadurch kann die Schnittstelle höhere Ströme bis zu 12 A verarbeiten. Hier ist jeder Leistungskontakt mit Drähten von 17 AWG verbunden. Typ VI unterstützt 16 A durch die Verwendung von zwei größeren Leistungskontakten, die mit 14 AWG-Drähten verbunden sind. Die unterschiedlichen Drahtstärken sind wichtig für die Stromübertragung über die Entfernung. Dies wird in einem späteren Abschnitt näher erläutert. Schließlich verfügen die Typen III und VI über eine Funktionserde.

Die zweite Gruppe bezieht sich auf Typ IV und VII und ist für gefährliche Spannungen ($< 600 \text{ V DC}$ oder $< 600 \text{ V AC}$) definiert. Typ IV und VII können 8 A und 16 A an ihren Leistungskontakten bewältigen und werden an Drähte von 16 AWG bzw. 14 AWG angeschlossen. Aufgrund des hohen Spannungsniveaus verfügen sie über einen Schutzleiterkontakt (PE).

Die dritte Gruppe wird durch den Typ V repräsentiert und ist für dreiphasige Anwendungen gedacht. Sie kann für Spannungen bis zu 480 V AC und Ströme bis zu 8 A verwendet werden. Auch hier ist aufgrund der hohen Spannungen ein Schutzleiterkontakt enthalten.

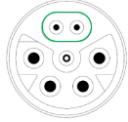

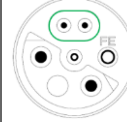
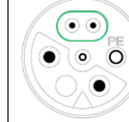
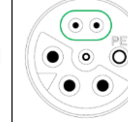
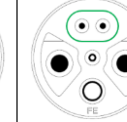
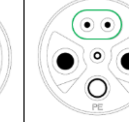
POWER	Single / Dual Phase / DC			3-Phase	Single / Dual Phase / DC		
	< 50 V AC ≤ 63 V DC			≤ 600 V AC ≤ 600 V DC	≤ 480V AC.	< 50 V AC ≤ 63 V DC	≤ 600 V AC ≤ 600 V DC
	12A Max.	2x 8A Max.	8A Max.	8A Max.	8A Max.	16A Max.	16A Max.
CODE	Type I	Type II	Type III	Type IV	Type V	Type VI	Type VII
MALE MATING FACE							

Abbildung 2: Schnittstellen Typen gemäß IEC 63171-7

VERGLEICH DER STROMVERSORGUNG ÜBER PoDL UND DEM M12 HYBRID-SYSTEM

Mit PoDL beträgt die höchste übertragbare Leistung 50 W bei einem maximalen Strom von 1,36 A für eine Datenrate von 1 Gbit/s und 52 W bei einem maximalen Strom von bis zu 1,579 A für eine Datenrate von 10 Mbit/s, wie in IEEE802.3bu bzw. IEEE802.3cg definiert. Dabei beträgt die höchste Spannung auf dem Adernpaar von der Power Supplying Equipment (PSE) Seite 60 V DC.

Der M12-Hybrid-Steckverbinder unterstützt höhere Ströme und, je nach Schnittstellentyp, höhere Spannungen. Daher sind deutlich höhere Leistungen über 52 W möglich. Um zu verstehen, wie viel Leistung der M12-Hybrid-Steckverbinder unterstützen kann, müssen wir den Spannungsabfall verstehen, der über das Kabel zum gespeisten Gerät auftritt. Dieser Spannungsabfall hängt mit dem Widerstand des Kabels zusammen. Daher sind das Design und die Länge des Kabels hier entscheidend. Um einen Einblick in die übertragbare Leistung zu erhalten, gehen wir von der in Abbildung 3 dargestellten Schaltung aus.

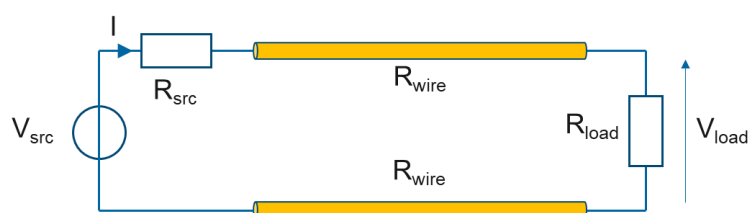


Abbildung 3: Grundsaltungen für die Energieübertragung

Auf der linken Seite befindet sich das Power Sourcing Equipment (PSE), das eine Spannungsquelle mit Innenwiderstand enthält. Der zweite Teil ist das Kabel mit Verlusten, und auf der rechten Seite befindet sich das Powered Device (PD) mit einem Lastwiderstand, der einen bestimmten Spannungsbereich benötigt. Anhand dieses vereinfachten Modells können wir sehen, wie viel Leistung bei welchem Strom über eine bestimmte Kabellänge übertragen wird. Im Folgenden wird dies für einige repräsentative Schnittstellen (Typen) des M12-Hybridsteckers durchgeführt, um die möglichen Leistungsübertragungen zu zeigen. In all diesen Beispielen vernachlässigen wir zur Vereinfachung den Quellwiderstand und die Höhe der Leistung wird durch den Aderquerschnitt der Kabel und die maximal zulässige Betriebsspannung bestimmt. Darüber hinaus wird für jede Schnittstelle eine Kabellänge von 40 m berücksichtigt, was der gleichen Distanz entspricht, die mit 1 Gbit/s SPE zurückgelegt werden kann.

STECKVERBINDER TYP II UND III (Spannung bis zu 50 V AC rms)

Wenn wir die Verluste eines 16 AWG-Kupferdrahtes nehmen und zur Vereinfachung den Quellwiderstand vernachlässigen, erhalten wir die Ergebnisse für eine Kabellänge von 20 m und 40 m wie in der Abbildung 4 gezeigt.

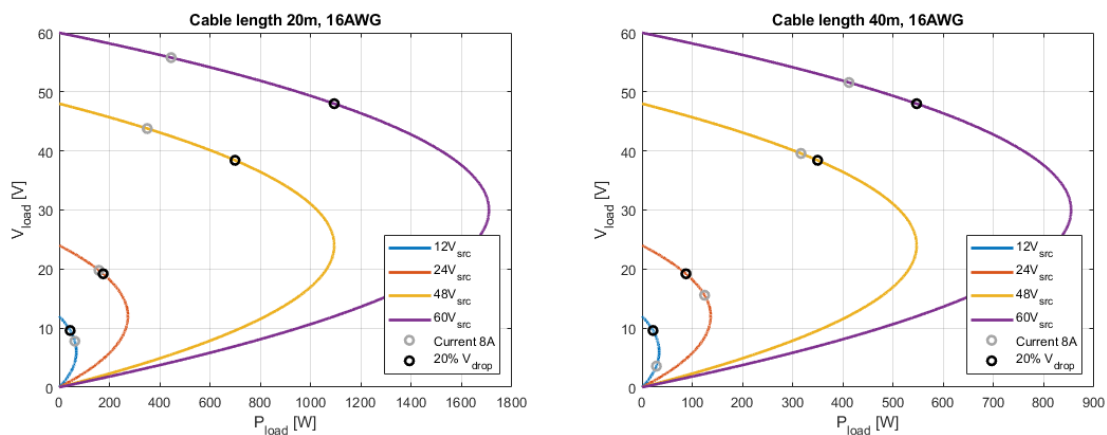


Abbildung 4: Übertragungsleistung für M12-Hybridschnittstellen Typ II und III.

Auf der linken Seite dieser Diagramme ist zu erkennen, dass bei einer Erhöhung der Leistung die Spannung der Last abfällt, was durch den Anstieg des Stroms durch das Leistungspaar verursacht wird. Wenn der Spannungsabfall 50 % beträgt, ist die übertragene Leistung maximal, aber dieses Maximum wird in der Regel nicht genutzt, da es zu Instabilitätsproblemen bei den PDs führt. Die meisten elektrischen Geräte in diesem Spannungsbereich akzeptieren einen maximalen Spannungsabfall von 10 % der Quellenspannung, was zu einer Leistungseffizienz von etwa 80 % führt. Wir vergleichen

jedoch die Leistungen bei einem Spannungsabfall von 20 %, was mit PoDL und Feldbussen vergleichbar ist. Dieser 20%ige Spannungsabfall ist durch den kleinen schwarzen Kreis gekennzeichnet. Bei einer Quellenspannung von 60 V sehen wir, dass eine Leistung von mehr als 400 W sowohl über 20 m als auch über 40 m Kabelstrecke übertragen werden kann. Bei der Schnittstelle vom Typ II haben wir zwei Stromkreise, so dass 2 mal 400 W Leistung übertragen werden können. Hier ist die maximale Leistung durch die Stromstärke begrenzt. Überprüft man die übertragene Leistung bei einer Quellenspannung von 24 V, so liegt die übertragene Leistung bei 40 m bzw. 20 m Kabellänge nahe bei 100 W bzw. 200 W. Beachten Sie, dass bei 20 m die Leistung durch die maximale Stromstärke des Steckers begrenzt ist. Bei 40 m hingegen wird die Leistung durch die Spannung begrenzt.

STECKVERBINDER TYP V (Gefährliche Spannung und Drehstrom)

Bei einem dreiphasigen System mit 16 AWG-Drähten und einer Phasenspannung von 480 V_{rms} können wir Leistungen von über 6 kW über 40 m übertragen. Bei einem maximalen Spannungsabfall von 5 % sehen wir, dass der maximale Strom von 8 A hier die Leistung begrenzt. Wenn die Leistung aufgrund des Maximalstroms begrenzt ist, bedeutet dies auch, dass über eine längere Strecke hohe Leistungen übertragen werden können. Auf der rechten Seite sehen wir das Diagramm für eine Kabellänge von 100 m, bei der wir immer noch mehr als 6 kW Leistung übertragen können.

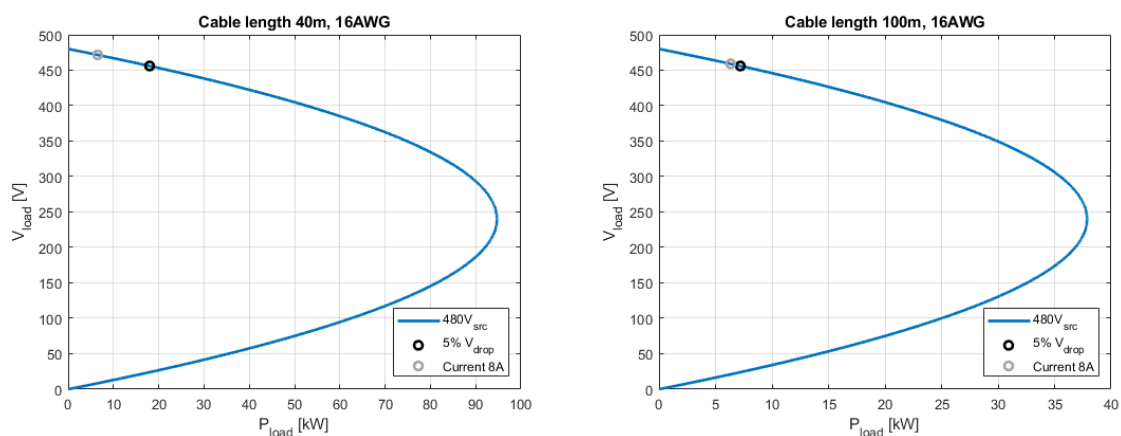


Abbildung 5: Übertragene Leistung für M12-Hybridschnittstelle Typ V.

STROMÜBERTRAGUNG MIT STECKVERBINDER TYP VII (Gefährliche Spannung)

Wenn wir von einem 14 AWG Kupferdraht ausgehen und zur Vereinfachung den Quellwiderstand vernachlässigen, erhalten wir die in Abbildung 4 dargestellten Ergebnisse. Bei einer Quellenspannung von 600 V und einem angenommenen Spannungsabfall von maximal 5 % können wir sehen, dass eine Leistung von mehr als 9 kW sogar bis zu einer Kabellänge von 100 m übertragen werden kann.

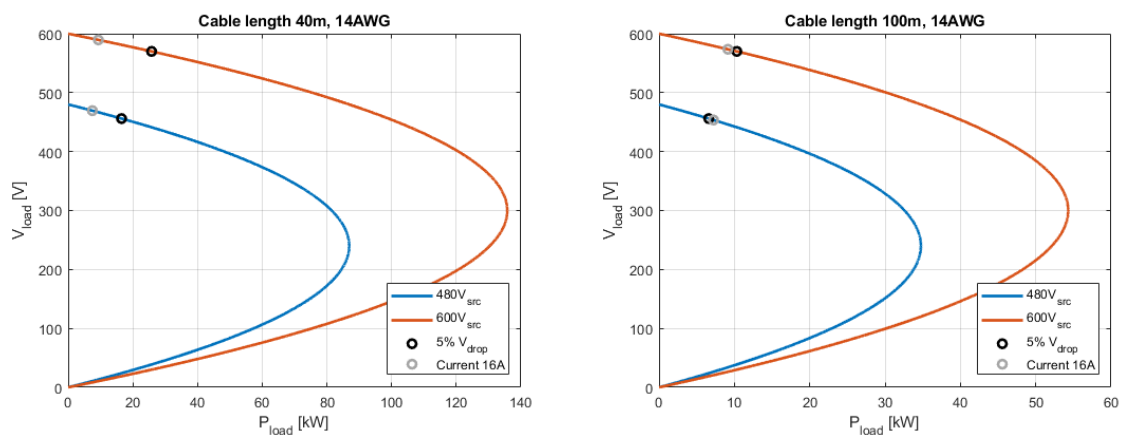


Abbildung 6: Übertragene Leistung für M12-Hybridschnittstellen Typ VII.

Die folgende Tabelle fasst die Merkmale und Vor- und Nachteile der verschiedenen SPE-Fernspeiselinösungen zusammen.

Merkmals	PoDL (40 m)	M12 Hybrid System (40 m)	Direkte Stromversorgung
Leistung am PD bei gegebener Quellenspannung	Bis zu 50W @ 60V	rund 150 W (2x) @24 V rund 350 W @ 48 V rund 400 W (2x) @ 60 V rund 7 kW @ 480 V rund 9 kW @ 600 V	nicht begrenzt
Kabelabmessungen	Ein dünnes Kabel	Ein (hybrides) Kabel	Zwei separate Kabel
Größe Steckverbinder	klein	mittel	groß
Verbindungsstruktur	nur P2P	P2P und PTMP	P2P und PTMP
EMV	Strom und Daten in einem Kabelpaar	galvanische Isolierung	galvanische Isolierung

Table 1: Vergleich der verschiedenen Stromversorgungsmethoden

ENERGIEVERTEILUNGSSTRUKTUR

Mit PoDL-Designs ist nur eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung möglich. In der Arbeitsgruppe IEEE 802.3da wird an der Erweiterung von PoDL zur Versorgung mehrerer PDs mit einem PSE gearbeitet. Hier liegt der Fokus nur auf 10 Mbit/s Geschwindigkeiten. Durch die Aufteilung der Signal- und Stromleitungen mit Hilfe der Hybridverkabelungslösung erhalten wir mehr Freiheit bei der Implementierung der Stromversorgung. Mit den zusätzlichen Stromversorgungsleitungen des M12-Hybridsteckers kann mehr als ein PD mit Strom versorgt werden und natürlich kann alternativ auch PoDL gleichzeitig verwendet werden. Beispiele für mögliche Topologien zur Versorgung von Geräten (in der Abbildung durch Knoten dargestellt) in einem Netzwerk sind in Abbildung 7 dargestellt.

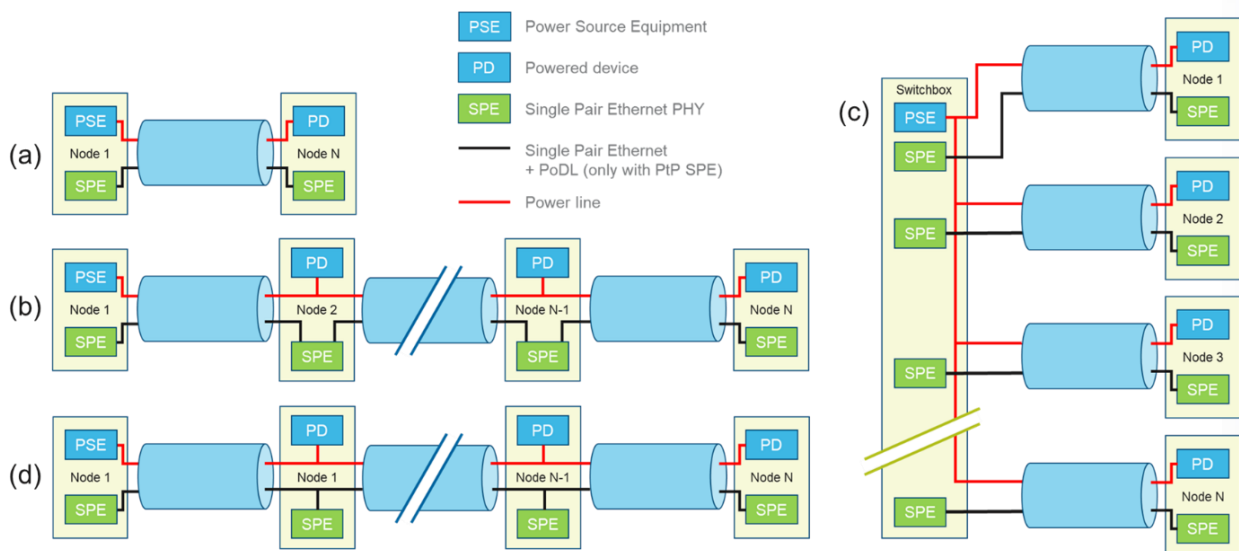


Abbildung 7: Netzwerktopologien Hybrides Steckverbindersystem: (a) Punkt-zu-Punkt, (b) SPE in Reihe geschaltet und Stromversorgung über einen Bus, (c) Switch mit hybrider Stromquelle, (d) SPE und Stromversorgung über einen Bus, (Quelle: TE Connectivity)

- **Punkt zu Punkt (PtP) Verkabelung (a)**

Dies ist ähnlich wie bei den meisten Ethernet-Kommunikationskonfigurationen. Hier wird der Strom über die separaten Stromleitungen Punkt-zu-Punkt übertragen, falls wir eine große Menge an Strom für ein PD benötigen. Wenn PoDL zusätzlich verwendet wird, können wir die Stromleitungen nutzen, um Geräte wie Aktoren zu versorgen, die EMV-Störungen erzeugen, und empfindliche Geräte wie die SPE PHY-Chips separat über PoDL mit Strom zu versorgen.

- **SPE Linien- bzw. Bustopologie (b)**

In Automatisierungsnetzwerken werden die Geräte oft in einer Linien-Topologie installiert, bei der jedes Gerät einen Netzwerk-Switch enthält. Mit der M12-Hybrid-Verkabelungslösung kann die Stromversorgung aller Geräte direkt über eine Stromquelle erfolgen.

- Hybride Ethernetswitching Lösung (c)**
 Von einem Switch mit hybrider Stromquelle kann die Stromversorgung mehrerer Geräte über eine Stromquelle erfolgen.
- SPE und Stromversorgung als Bus- bzw. Multidrop-Topologie (d)**
 Bei SPE Multidrop gibt es keine Möglichkeit, PoDL hinzuzufügen. Mit der M12-Hybridlösung kann die Stromversorgung über die zusätzlichen Stromleitungen erfolgen. Dies ermöglicht Optionen wie die Überprüfung des Stromverbrauchs der angeschlossenen Geräte oder das Versetzen nicht benötigter Geräte in den Schlafmodus und das Aufwecken der Geräte bei Bedarf.

Die M12 Hybrid SPE Lösung ist eine hervorragende Kabel- und Steckverbinderlösung für eine Vielzahl von rauen industriellen Anwendungsfällen. Im Vergleich zu PoDL sind mehr Varianten von Stromnetzen möglich.

Technischer Überblick für den M12 Hybrid Steckverbinder Typ II und Kabel

Hybrid Systemeigenschaften:

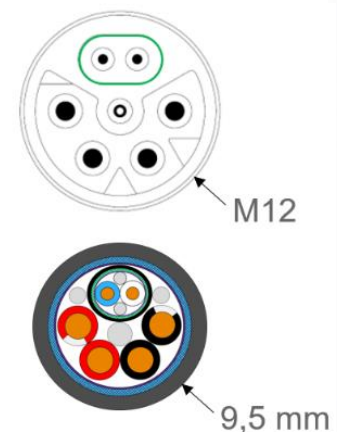
- Übertragungsraten bis zu 1 Gbit/s bei 600 MHz Bandbreite
- Bis zu 40 m Entfernung bei 1 Gbit/s (1000BASE-T1)
- Leistung über separates Adernpaar bis zu 2 x 400 W
- Wahlweise: Power over Data Line (PoDL) mit bis zu 50 W @ 48 V DC

Die Kompatibilität der Kabel mit den M12-Hybrid-Steckverbindern muss bei der Auslegung der Kabel berücksichtigt werden. Das derzeit entwickelte Steckverbinderpaar mit Steckgesicht nach IEC 63171-7 Typ II unterstützt 26 AWG-Drähte für die SPE und 16 AWG-Drähte für die Stromversorgung.

Aktuelle Kabelparameterwerte für Steckverbinder Typ II:

Funktion	Aderquerschnitt	Leiterdurchmesser (mm)	Kabel Außendurchmesser (mm)
SPE	26 AWG	0,5 max.	9,5 max.
Power	16 AWG	1,5 max.	

Table 2: Vorgeschlagene Kabelparameter für M12 Hybrid SPE Steckverbinder Typ II nach IEC 63171-7



Zukünftige Kabelparameter (alle Steckertypen)

Funktion	Aderquerschnitt	Leiterdurchmesser (mm)	Kabel Außendurchmesser (mm)
SPE	22 ~ 26 AWG	0,8 max.	11,5 max.
Power	14 ~ 16 AWG	1,8 max.	

Table 3: Vorgeschlagene allgemeine Kabelparameter für M12 Hybrid SPE Steckverbinder nach IEC 63171-7

Die Farbe des Kabelmantels kann nach DESINA-Vorgaben in grün RAL 6018 gewählt werden. Außenkabel werden aufgrund der technischen Gegebenheiten in der Regel mit einem schwarzen Kabelmantel versehen.

Anschlussbelegung Typ 2 und bevorzugte Aderfarben:

Kontakt	Signal	Optional PoDL	Aderfarbe
1	BI_DA+	PoDL+	Blau
2	BI_DA-	PoDL-	Weiß
3	U1	-	Rot
4	GND1	-	Schwarz
5	U2	-	Rot/Weiß
6	GND2	-	Schwarz/Weiß
7	Schirmung	-	N/A (SPE-Geflecht)

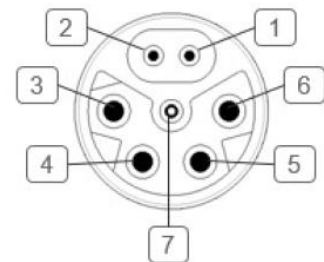


Table 4: Anschlussbelegung Hybrid M12 SPE-Stecker nach IEC 63171-7

LISTE DER ABKÜRZUNGEN

- IIoT Industrial Internet of Things
- PoDL Power over Data Line
- P2P Point to point
- PTMP Point to multi point
- PD Powered device
- PSE Power sourcing equipment



DOKUMENT INFORMATION

Dokument: 2022-08_SPE-APPNOTE_M12-HYBRID_V10-EN.DOCX
Datum: 2022-08-15 **Version:** 1.0
Autoren: Fabian Vornhagen – BizLink Special Cables GmbH
Horst Messerer – Helukabel GmbH
Ruud van den Brink; Peter Jaeger and
Wijnand van Gils – TE Connectivity BV
Matthias Fritsche – HARTING Technology Group

URHEBERRECHTSHINWEIS

Dieses Dokument ist geistiges Eigentum des SPE Industrial Partner Network e.V., welchem auch das ausschließliche Urheberrecht daran zusteht. Inhaltliche Änderungen, die Vervielfältigung oder der Nachdruck dieses Dokumentes ist nur mit der ausdrücklichen Erlaubnis des SPE Industrial Partner Network e.V. gestattet.

Der SPE Industrial Partner Network e.V. behält sich das Recht vor, dieses Dokument vollständig oder teilweise zu ändern. Alle Marken- und Produktnamen sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen der jeweiligen Titelhalter.

KONTAKT

SPE Industrial Partner Network e.V.

Weher Straße 151

D-32369 Rahden

Germany

info@single-pair-ethernet.com

www.single-pair-ethernet.com/en