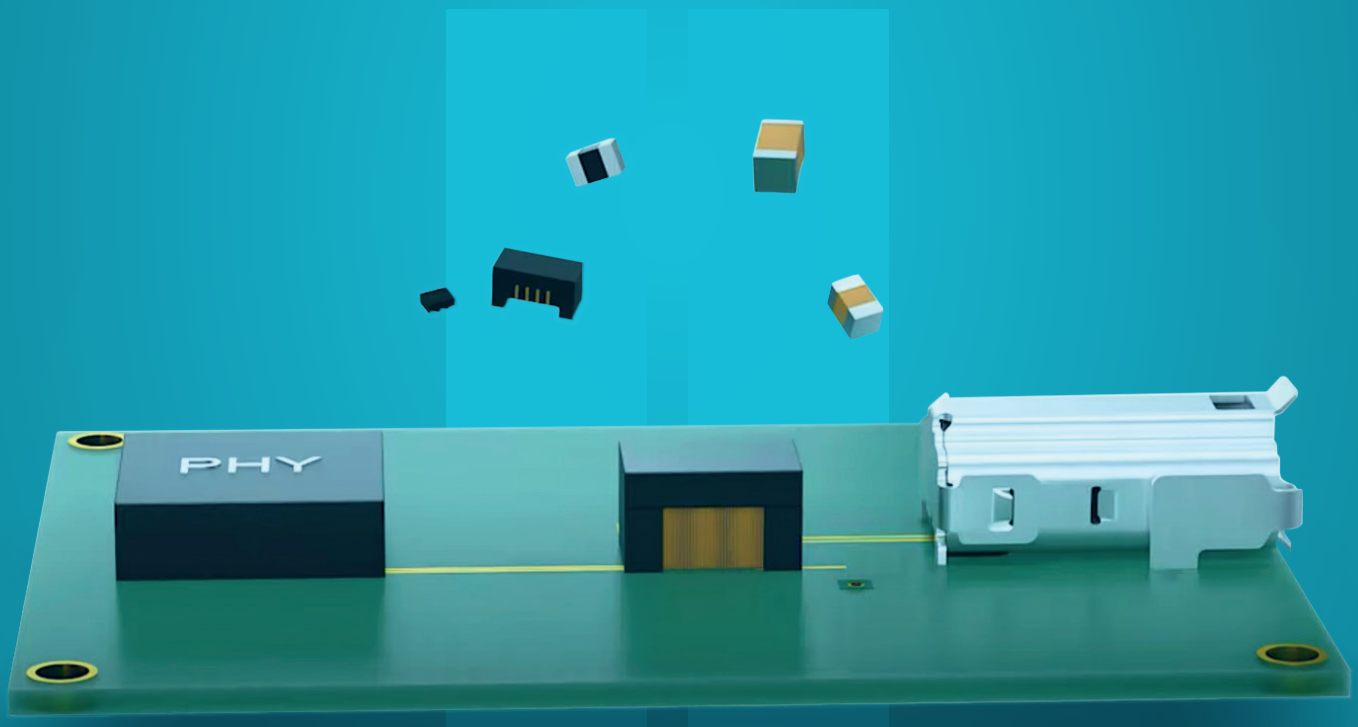
INDUSTRIËLE IOT

SCHONE ZAAK

Filterontwerp voor Single Pair Ethernet-verbindingen

VAKBIJDRAGE



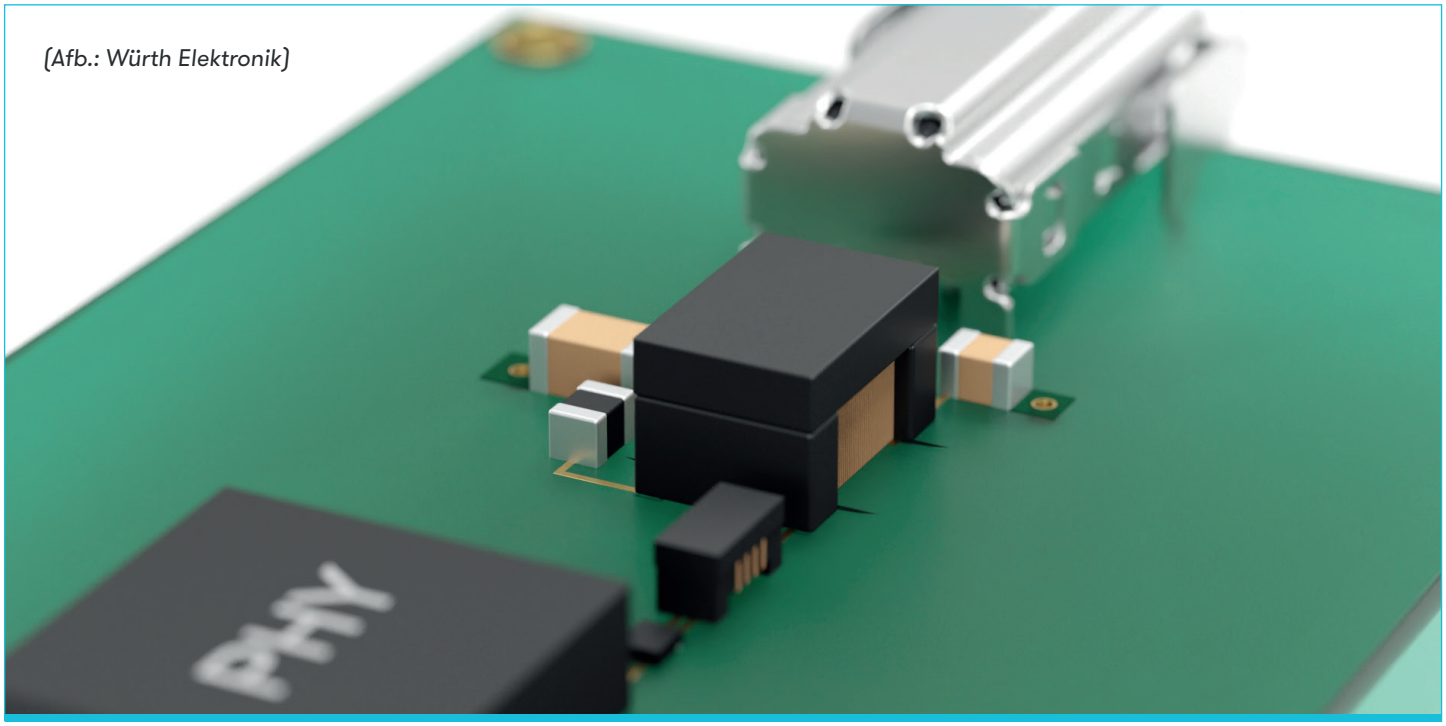
nl.rs-online.com

Coverfoto: Würth Elektronik

Schone zaak

Filterontwerp voor Single Pair Ethernet-verbindingen

Single Pair Ethernet is de “rijzende ster” binnen de industriële verbindingstechnologie. Deze variant voldoet aan de gangbare ethernet-standaarden, maar biedt langere en goedkopere kabels voor industriële toepassingen. De gegevensoverdracht vindt plaats via slechts één draadpaar en de stroomvoorziening op afstand van de eindapparaten vindt plaats via de datakabel. Dit vereist andere oplossingen voor ESD-bescherming en isolatie van de aangesloten apparaten. Het volgende artikel is bedoeld als praktisch hulpmiddel bij het ontwerpen van dergelijke circuits.



(Afb.: Würth Elektronik)

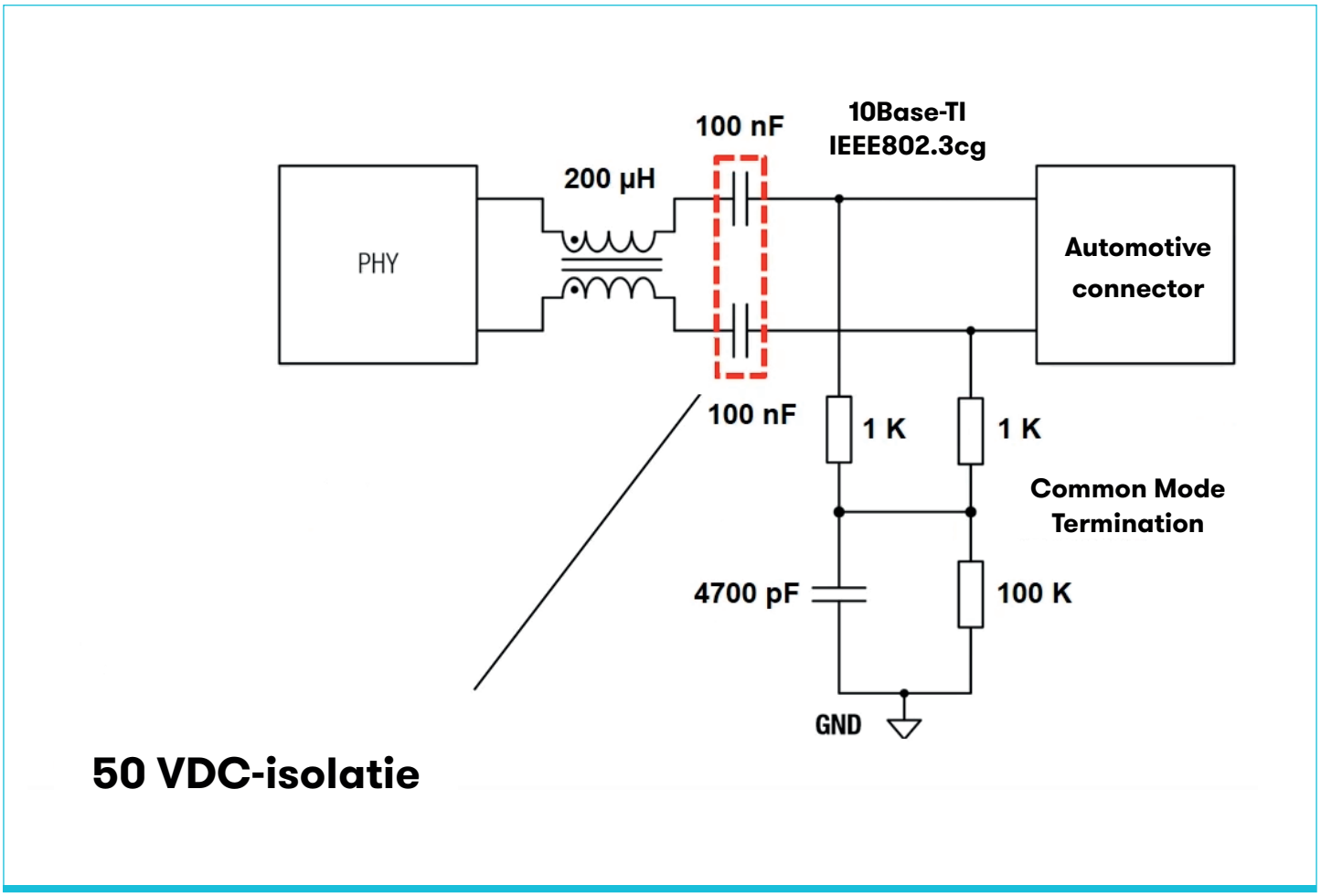
Single Pair Ethernet (SPE) maakt het nu mogelijk om via een tweeaderige koperkabel gegevens te transporteren met snelheden van 10 Mbps, 100 Mbps en 1 Gbps en om tegelijkertijd stroom te leveren aan eindapparaten via PoDL (Power over Data Line). De gegevenssnelheden en de kabellengtes in detail:

- 10 MB/s (duplex) tot 1000 m (10Base-T1L)
- 10 MB/s (halfduplex) tot 40 m (10Base-T1S)
- 100 MB/s (duplex) tot 40 m (100Base-T1)
- 1000 MB/s (duplex) tot 15 m (1000Base-T1)

Al deze normen zijn gedefinieerd in IEEE803.2. Bijzonder interessant is de 10Base-T1L-standaard, die voorziet in een maximale kabellengte van 1000 meter, wat vooral interessant is voor het vervangen van veldbussen. Als een soort bonus is er “Power over Data Line” – de tegenhanger van “Power over Ethernet”. Het verschil is dat de stroomvoorziening op afstand samen met de gegevens via hetzelfde draadpaar wordt getransporteerd. Tot nu toe is deze norm gespecificeerd in 10 vermogensklassen tot een maximum van 50 W; hogere vermogensniveaus worden later toegevoegd. Aansluitbussen voor SPE zijn ontworpen voor 4 A (maximale stroomsterkte 1,6 A).

Circuitontwerp

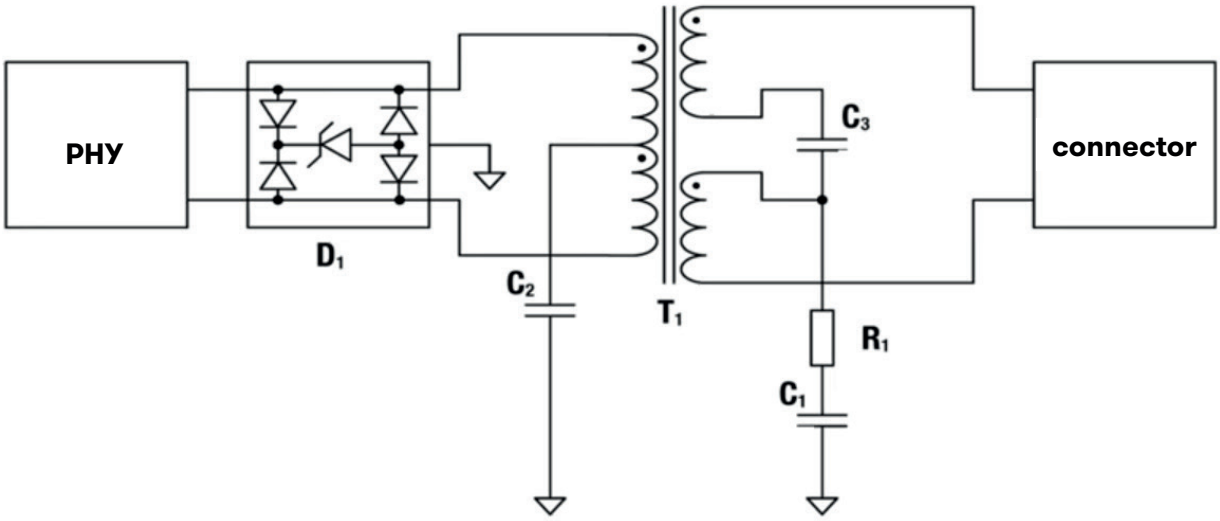
Afb. 1 toont een ontwerp voor Single Pair Ethernet 100 BaseT1 uit de automotive branche. We gebruiken automotive in dit voorbeeld, omdat SPE al geruime tijd in de automotive industrie wordt gebruikt. Aan de rechterzijde bevindt zich een connector naar het eindapparaat, aan de linkerzijde staat de PHY. (Een PHY: een afkorting van “fysieke laag”, is een elektronisch circuit, gewoonlijk geïmplementeerd als een geïntegreerd circuit, dat nodig is om fysieke laagfuncties van het OSI-model in een netwerkinterfacecontroller te implementeren.) Daartussenin bevindt zich de schakeling met een zogenaamde “common-mode smoorspoel”, die breedbandinterferentie moet onderdrukken omdat de condensatoren geen goede onderdrukkingseigenschappen hebben in de lage frequenties. De massa-aansluiting bestaat uit twee parallelle weerstanden en een verbinding via een condensator naar massa en een weerstand van 100 kΩ om statische elektriciteit af te voeren. Het centrale element in deze schakeling zijn de twee 100-nF condensatoren met 50-V-isolatie. Voor industriële toepassingen geldt echter de apparaatveiligheidsnorm IEC 62368-1, die bepaalt dat de componenten gedurende 60 seconden bestand moeten zijn tegen een testspanning van 1500 VAC of 2250 VDC.



Afb. 1. Ontwerp voor Single Pair Ethernet 100BaseT1 uit de automotive branche. Deze schakeling is niet geschikt voor industriële toepassingen met 50 VDC-isolatie. (Afb.: Würth Elektronik)

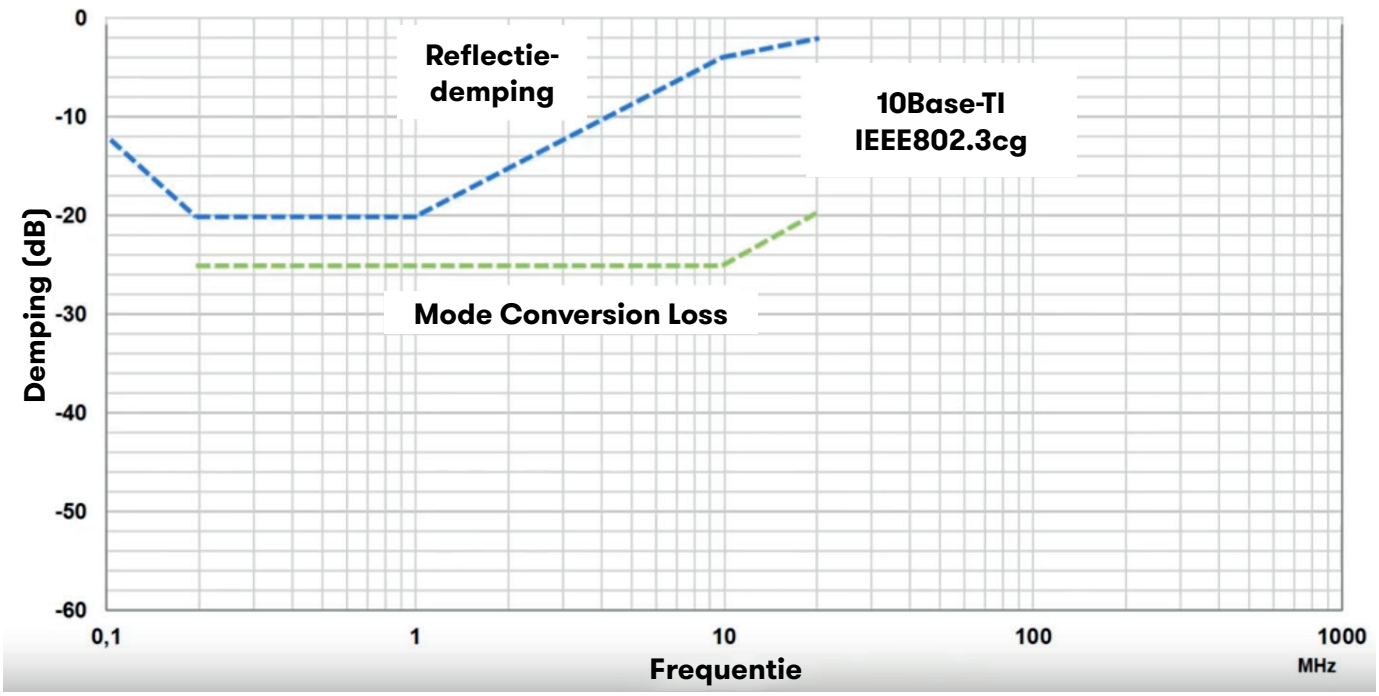
Wat zit er tussen de stekker en PHY?

Om deze vraag te beantwoorden is er in het Würth-laboratorium heel wat gesimuleerd en gemeten. Eerst werd de automotive schakeling gebouwd met de 50 V-condensatoren (afb. 1), daarna nog een keer met 2000 V condensatoren. Als derde opstelling werd een variant met transformator gemaakt (afb. 2). Waarom een transformator? De gegevensoverdracht op 100Base-T1 gebeurt met een afsnijfrequentie van 66 MHz, vergelijkbaar met 100BaseT – waarbij LAN-transformatoren worden gebruikt. Het ligt dus voor de hand om ook bij SPE transformatoren te gebruiken. Daarnaast bevat de transformatoroplossing een common-mode smoorspoel en een TVS-diode-array om ESD-pulsen te onderdrukken.



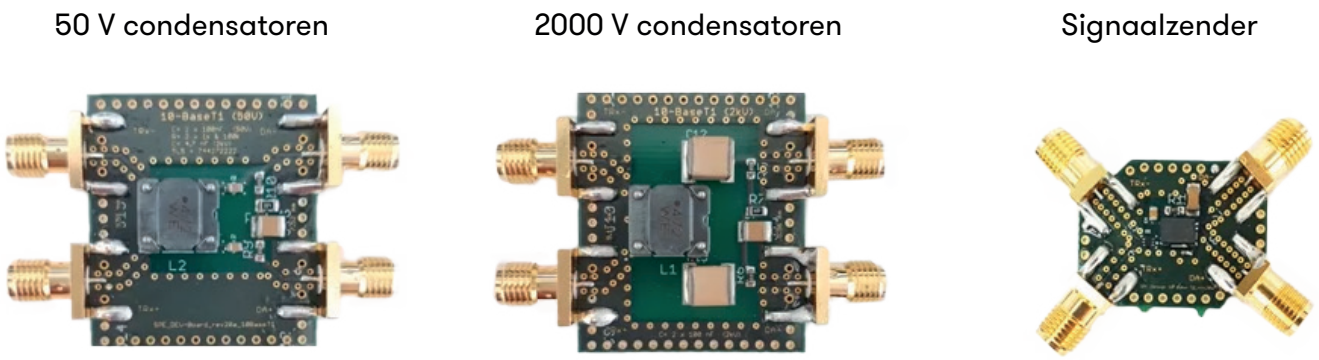
Afb. 2. Ingangscircuit met transformatorontwerp. (Afb.: Würth Elektronik)

Laten we eerst de kenmerken van de circuits voor gebruik met 10Base-T1L bespreken – d.w.z. de 1000 m versie van de norm. Afb. 3 toont de vereisten voor de overdrachtseigenschappen van IEEE 802.3cg. De blauwe lijn is de reflectiedemping (return loss) en de groene lijn is de Mode Conversion Loss. Dit zijn differentiële signalen die omgezet worden in common-mode signalen in de circuits.



Afb. 3. Vereisten voor overdrachtseigenschappen van IEEE 802.3cg voor 10Base-T1L-overdrachten. (Afb.: Würth Elektronik)

De uitdaging bij 10Base-T1 zijn de lage frequenties tussen 100 kHz en 1 MHz. Dit betekent dat er een zeer hoge impedantie nodig is. Hiervoor is een common-mode smoorspoel met veel wikkelingen en veel kernmateriaal nodig. Afb. 4 toont links de resulterende opstellingen van de twee circuits met condensatorisolatie (elk voor 50 V en in het midden voor 2000 V). De gebruikte common-mode smoorspoel heeft een inductiviteit van 2200 µH per kanaal.

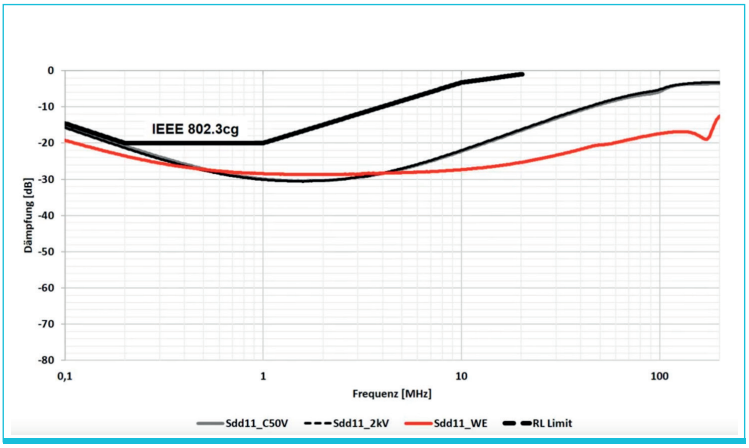


Afb. 4. De resulterende opstellingen van de drie circuits. (Afb.: Würth Elektronik)

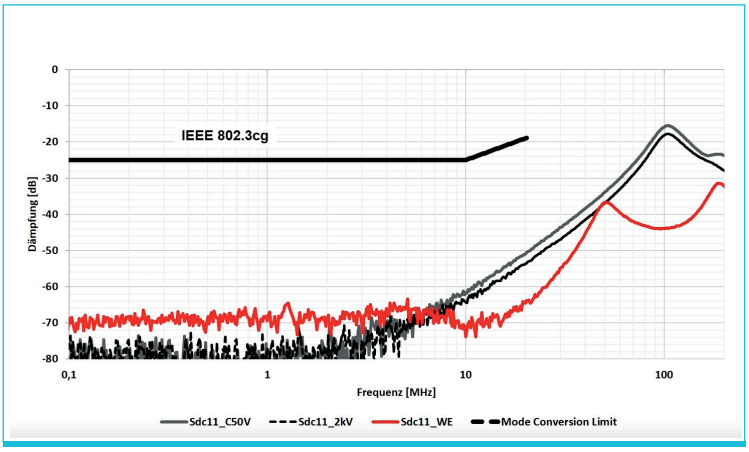
Rechts in afb. 4 wordt de transformatoroplossing getoond. Vergeleken met de andere twee opstellingen is deze relatief klein. Dit komt omdat de common-mode smoorspoel in dit circuit overbodig is, omdat de transformator ook de common-mode signalen in de lage frequenties zeer goed onderdrukt. Dit gebeurt via de middelste pin van de transformator, die wordt gebruikt om de common-mode signalen af te leiden. De condensator C3 tussen de primaire wikkelingen van de transformator zorgt ervoor dat ook voor frequenties tot 35 kHz goede signaaleigenschappen worden bereikt.

Meetresultaten

Afb. 5 toont de meetresultaten van de drie circuits voor de reflectiedemping. De rode lijn staat voor de transformatoroplossing en de grijze en zwarte lijnen zijn de desbetreffende condensatoroplossing. Bovendien wordt ook de grenslijn uit de norm IEEE802.3cg getoond. Zoals te zien is, heeft de transformatoroplossing een bepaalde afstand ten opzichte van de grenslijn in het bereik van 100 kHz en 200 kHz. De condensatorcircuits (grijs en zwart) komen echter gevaarlijk dicht in de buurt van de grenslijn.



Afb. 5. De meetresultaten van de drie circuits voor de reflectiedemping. (Afb.: Würth Elektronik)

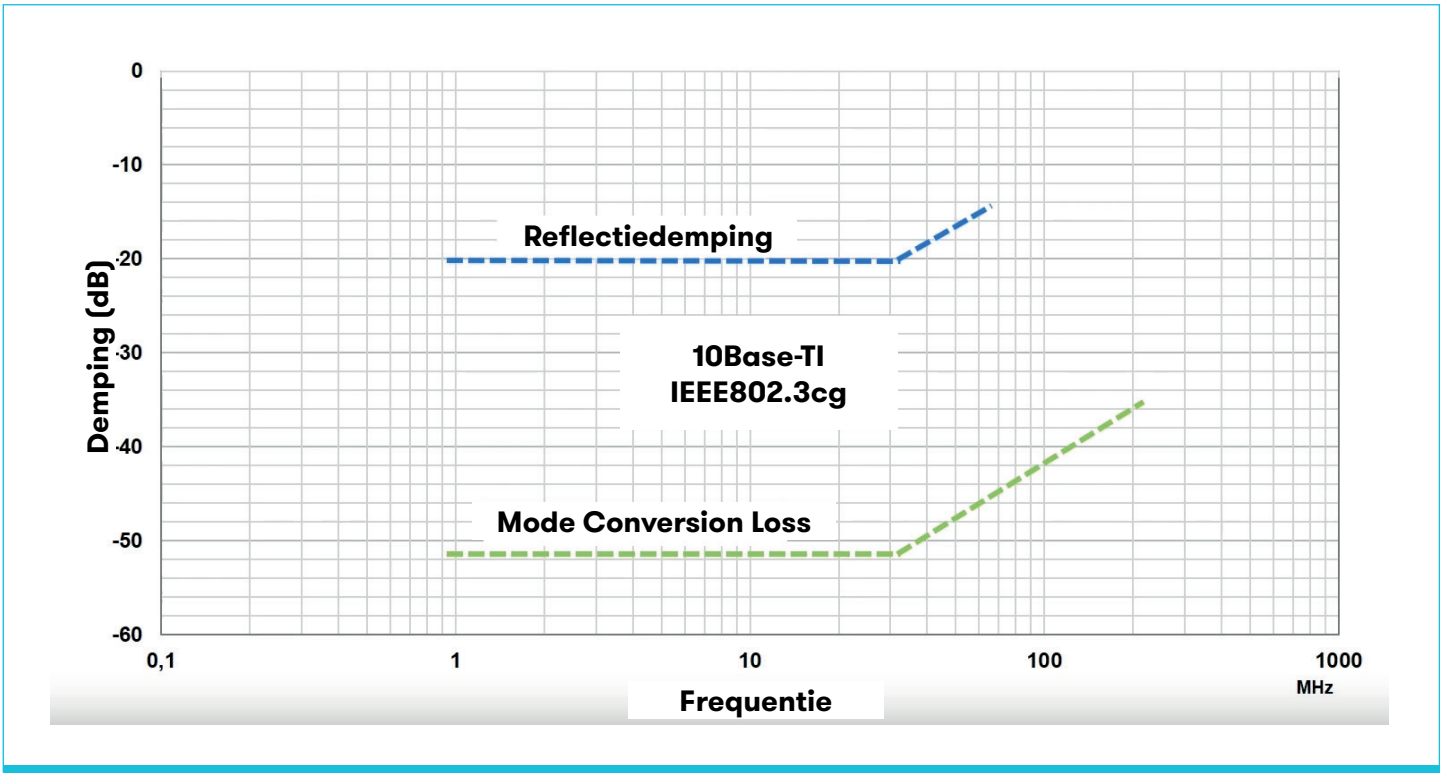


Afb. 6. De meetlijnen voor de Mode Conversion Loss. (Afb.: Würth Elektronik)

De meetlijnen voor de Mode Conversion Loss (afb. 6) zien er “ietwat gunstiger” uit. Hier is een klein voordeel ten opzichte van de condensatoroplossingen te zien. Desalniettemin is de afstand tussen de gewenste en de feitelijke lijn ongeveer 30dB.

Circuits en metingen voor 100-Mbps-SPE

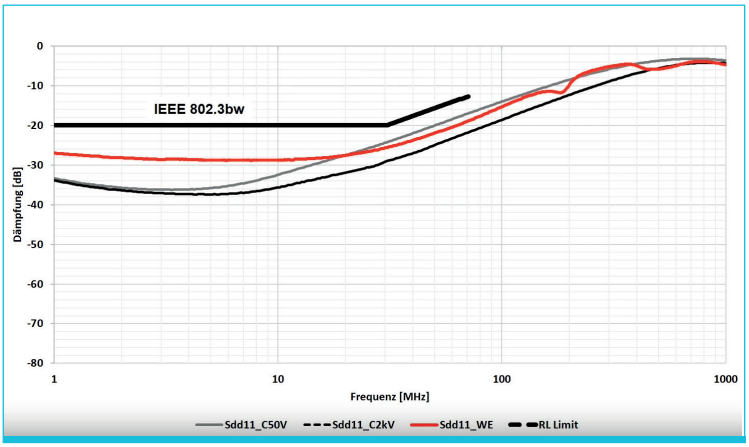
Voor 100Base-T1 toont afb. 7 de limieten voor de reflectiedemping en de Mode Conversion Loss volgens IEEE 802.3bw. De uitdaging is hier de Mode Conversion Loss van -50 dB tot 30 MHz – maar tot 200 MHz heeft het systeem goede signalen nodig.



Afb. 7. De limieten voor de reflectiedemping en de Mode Conversion Loss volgens IEEE 802.3bw voor 100Base-T1. (Afb.: Würth Elektronik)

De opstelling van het circuit verandert dienovereenkomstig. Hier kan de 50 V-condensatorvariant zijn voordelen tonen: zeer kleine condensatoren en een common-mode smoorspoel van matige grootte. De gebruikte common-mode smoorspoel heeft 200 µH. De 2 kV-condensatorvariant is nog steeds erg groot. Het ontwerp van de transformator is uitgerust met een kleine common-mode smoorspoel vanwege de hogere frequenties.

De meetresultaten voor de reflectiedemping (afb. 8) laten zien dat de condensatorcircuits tot een frequentie van 20 MHz gunstiger zijn ten opzichte van de transformatorvariant. Maar zelfs deze oplossing heeft een goede afstand ten opzichte van de doellijn.

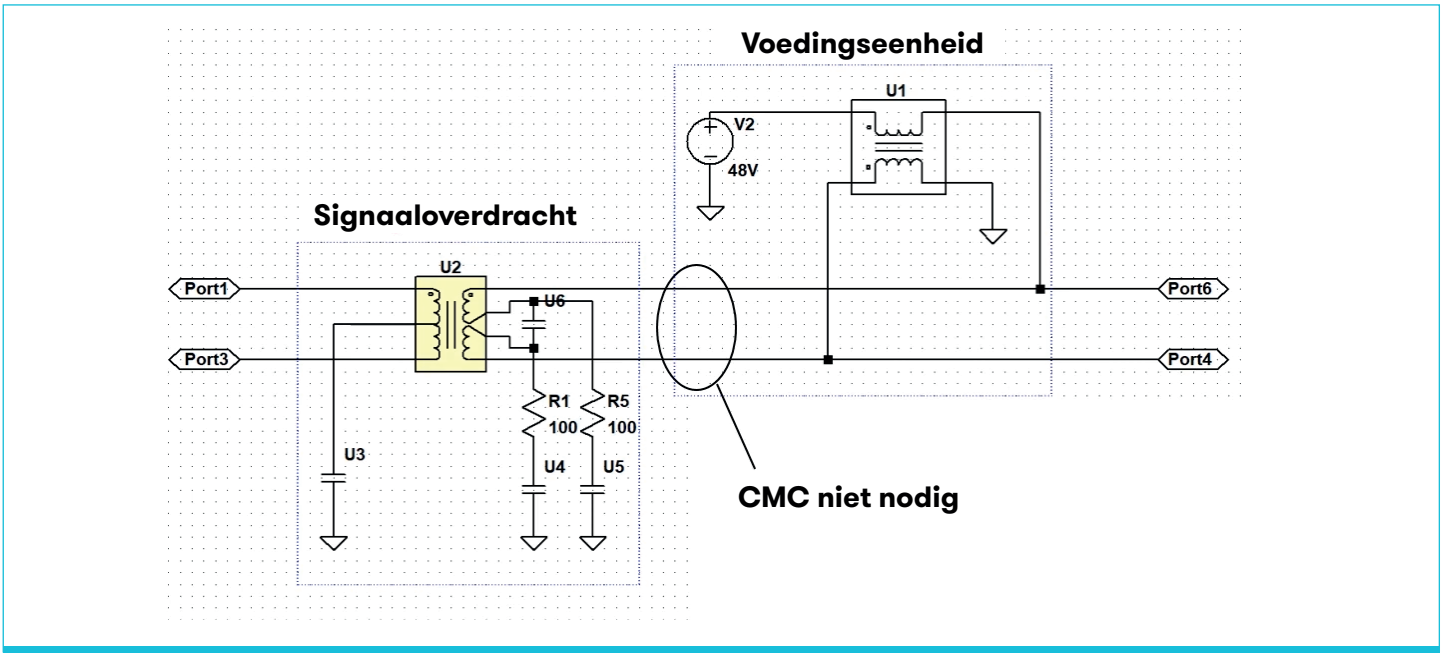


Afb. 8. De meetresultaten voor de reflectiedemping in het 100Base-T1-systeem (Afb.: Würth Elektronik)

Bij Mode Conversion Loss (afb. 9) komt de grijze curve van de 50 V-condensatoroplossing gevaarlijk dicht bij de gewenste lijn. De rode lijn, d.w.z. de transformatorvariant, heeft weer een goede afstand ten opzichte van de gewenste waarden.

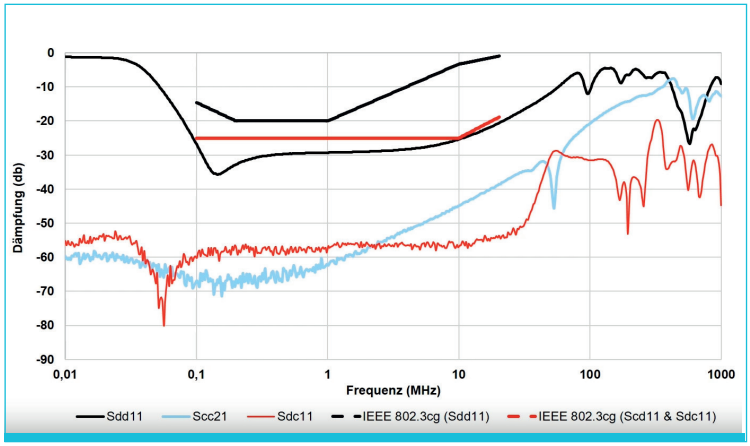
De kern van PoDL

Om het storingsgedrag van de transformatoroplossingen bij voeding via de gegevenskabel aan te tonen, zijn simulaties uitgevoerd op basis van de waarden van de gemeten componenten. Het transformatorcircuit voor 10Base-T1L plus PoDL (afb. 9) werd uitgebreid met een voedingseenheid met een differentieelsmoorspoel. De smoorspoel is relatief groot, omdat hier een hoge inductiviteit nodig is. Vanwege de relatief hoge stromen (1,5 A) zijn er ook grote draaddiameters nodig.



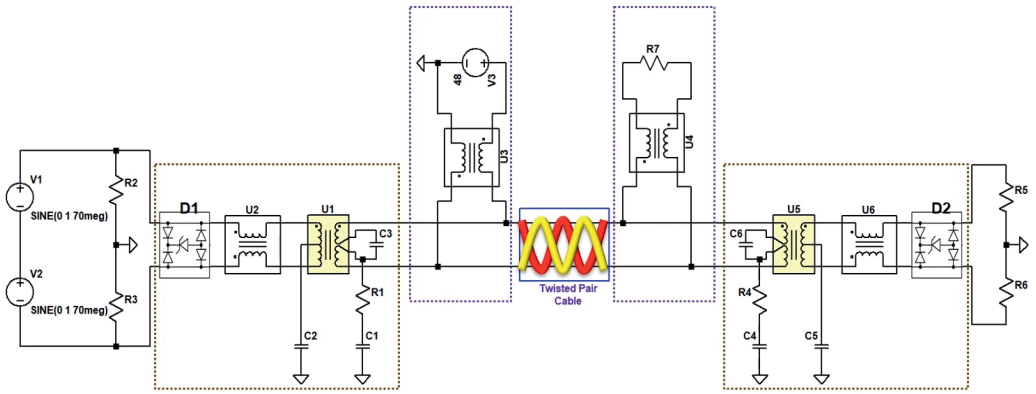
Afb. 9. Transformatorcircuit voor 10Base-T1L plus PoDL. (Afb.: Würth Elektronik)

Afb. 10 toont de resultaten van de simulatie van de reflectiedemping en de Mode Conversion Loss voor 10Base-T1 plus PoDL. De simulaties, die gebaseerd zijn op metingen van de componenten, veroorzaken schommelingen in de lage frequenties. De zwarte lijnen (bovenaan in de afbeelding is de limiet te zien) voor de reflectiedemping hebben een zeer goede afstand tot elkaar. Datzelfde geldt voor de Mode Conversion Loss (rode lijn).

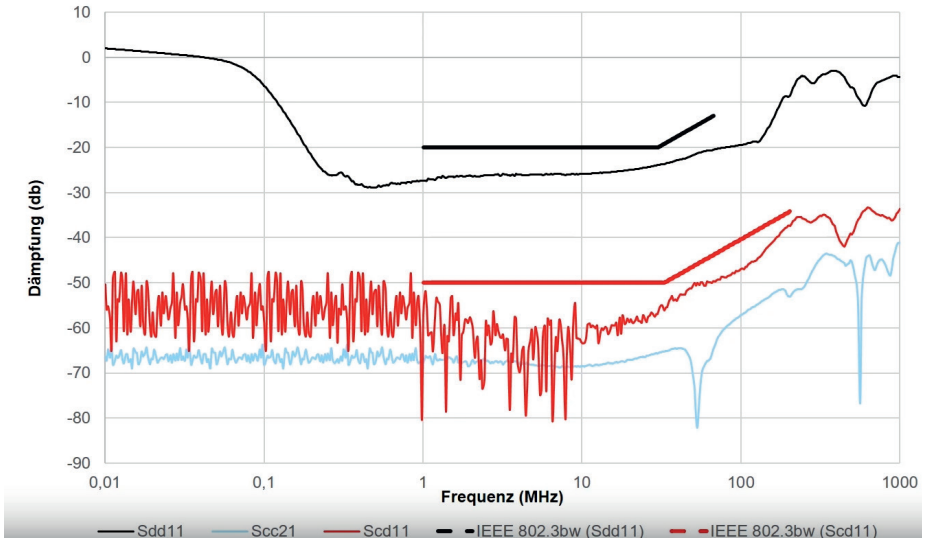


Afb. 10. Reflectiedemping en Mode Conversion Loss voor 10BaseT1 plus PoDL. (Afb.: Würth Elektronik)

Het circuit voor 100Base-T1 en de Power over Data Line is te zien op afb. 11. Ook hier zien de metingen (afb. 12) voor de reflectiedemping er goed uit. De gemeten waarden liggen ver weg van de gewenste lijn. Met Mode Conversion Loss kunnen de lage frequenties een beetje kritiek worden. Hier moet het resultaat opnieuw gecontroleerd worden met “echte” metingen.



Afb. 11. Het circuit voor 100Base-T1 en de Power over Data Line. (Afb.: Würth Elektronik)



Afb. 12. Reflectiedemping en Mode Conversion Loss voor 100BaseT1 plus PoDL. (Afb.: Würth Elektronik)

Samenvatting

Condensatoroplossingen kunnen niet garanderen dat aan de reflectiedempingvereisten voor 10Base-T1 wordt voldaan. Hoewel men iets in de tegenovergestelde richting neigt: de transformatoroplossing heeft eigenlijk de kleinste voetafdruk.

Bij 100Base-T1 voldoet de isolatie van de 50 V-condensator slechts gedeeltelijk aan de vereisten voor Mode Conversion Loss. Ook hier biedt de transformatoroplossing een compacte voetafdruk.

Conform documenten van Würth Elektronik (http://www.we-online.de)