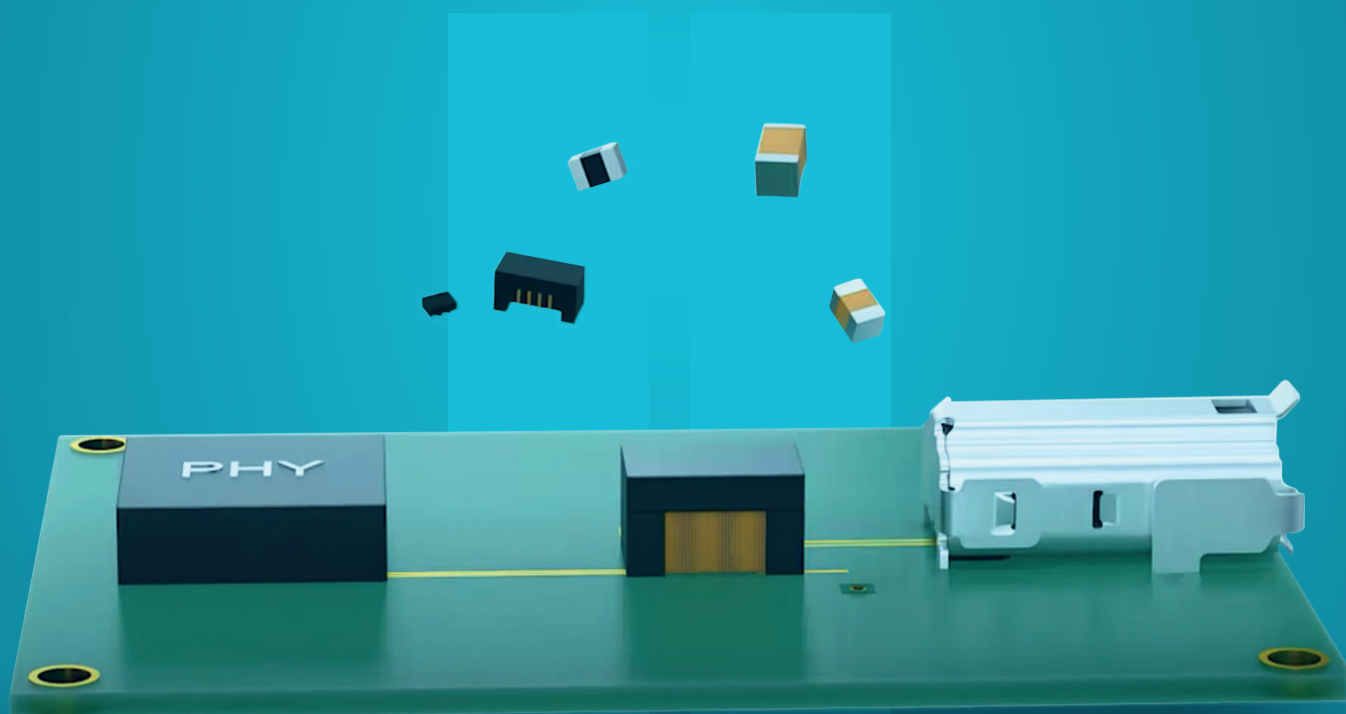


PRIEMYSELNÝ IOT

ČISTÁ VEC

Dizajn filtrov pre prípojky jednopárového ethernetu

ODBORNÝ PRÍSPEVOK

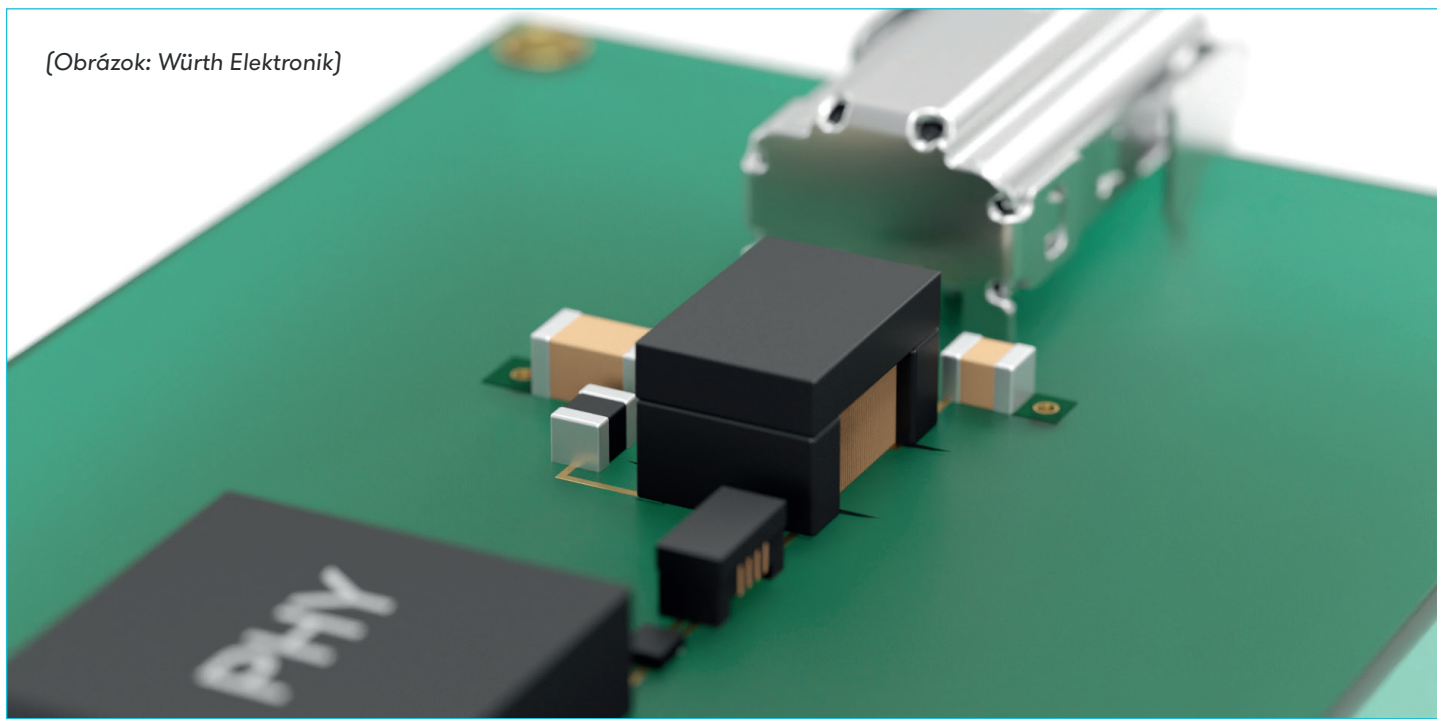


Čistá vec

Dizajn filtrov pre prípojky jednopárového ethernetu

Jednopárový ethernet je hviezdou priemyselnej spájacej techniky. Spĺňa bežné ethernetové štandardy, no pre priemyselné aplikácie ponúka dlhšie a lacnejšie vedenia. Prenos dát sa vykonáva len po jednom páre vodičov a cez dátové vedenie sa realizuje napájanie koncových zariadení na diaľku. Vyžaduje si to iné riešenia pre ESD ochranu a izoláciu pripojených zariadení. Nasledujúci príspevok má byť praktickým pomocníkom pri navrhovaní príslušných obvodov.

[Obrázok: Würth Elektronik]



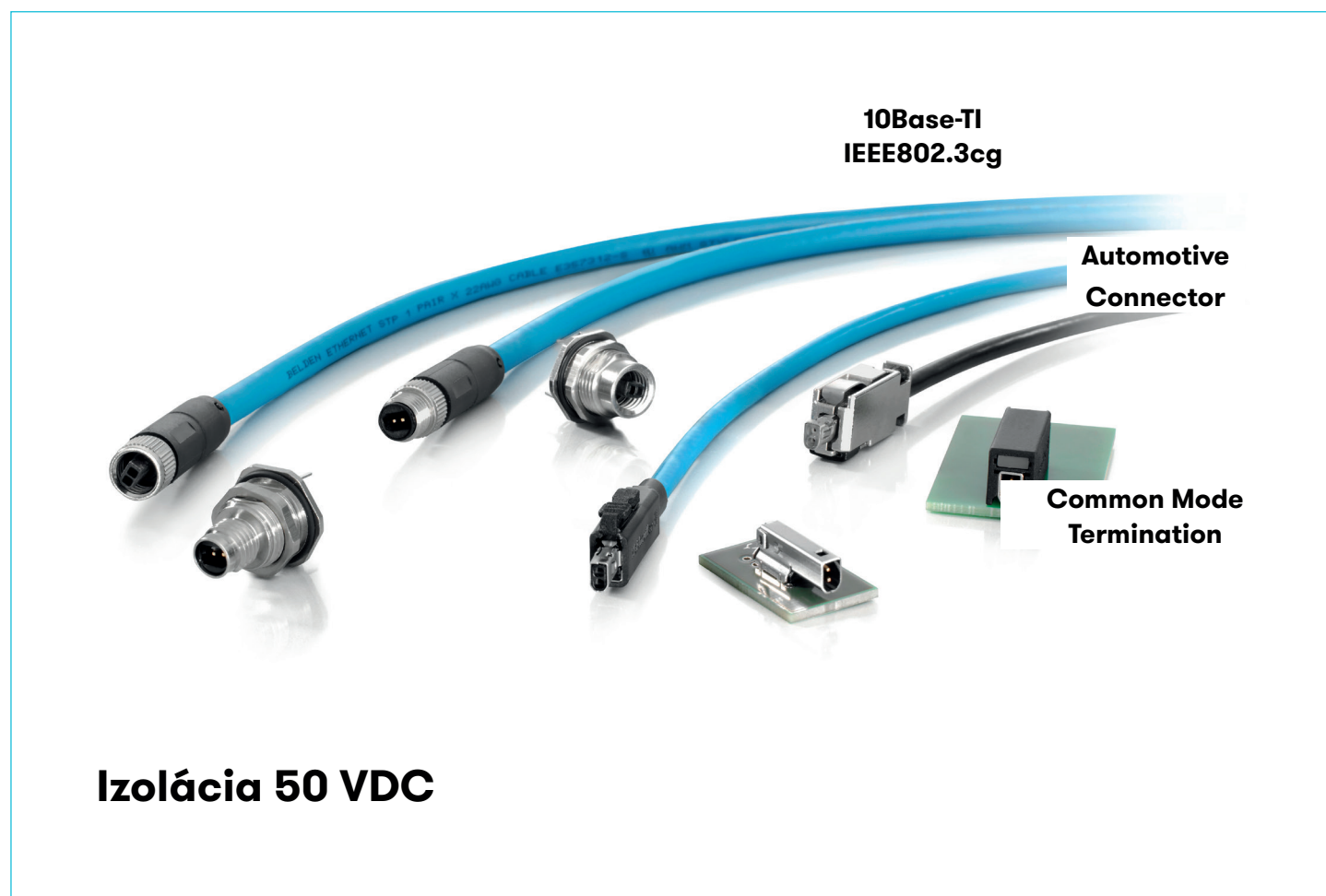
Jednopárový ethernet (SPE) dovoľuje prenášať dáta cez dvojžilový medený kábel rýchlosťami 10 Mb/s, 100 Mb/s a 1 Gb/s a zároveň napájať koncové zariadenia prúdom cez Power over Data Line (PoDL). Dátové rýchlosti a dĺžky vedení sú jednotlivo:

- 10 MB/s (duplexná) do 1000 m (10BaseT1L)
- 10 MB/s (poloduplexná) do 40 m (10BaseT1S)
- 100 MB/s (duplexná) do 40 m (100BaseT1)
- 1000 MB/s (duplexná) do 15 m (1000BaseT1)

Všetky tieto štandardy sú stanovené v IEEE803.2. Mimoriadnemu záujmu sa teší predovšetkým štandard 10BaseT1L, ktorý predpokladá maximálnu dĺžku káblov 1000 metrov, čo je zaujímavé hlavne pre náhradu prevádzkových zberníc fieldbus. Kvázi ako prídavok (niektorí to označujú za čerešničku na torte) je tu ešte Power over Data Line – doplnok k Power over Ethernet. S tým rozdielom, že prenos napájania napätím na diaľku sa vykonáva tým istým párovým zväzkom ako aj prenos dát. Doteraz je tento štandard špecifikovaný v 10 výkonových triedach max. do 50 W, neskôr sa k nim majú pridať aj vyššie výkony. Prípojné zdierky pre SPE sú dimenzované na 4 A (aktuálny maximálny prúd 1,6 A).

Vývoj obvodu

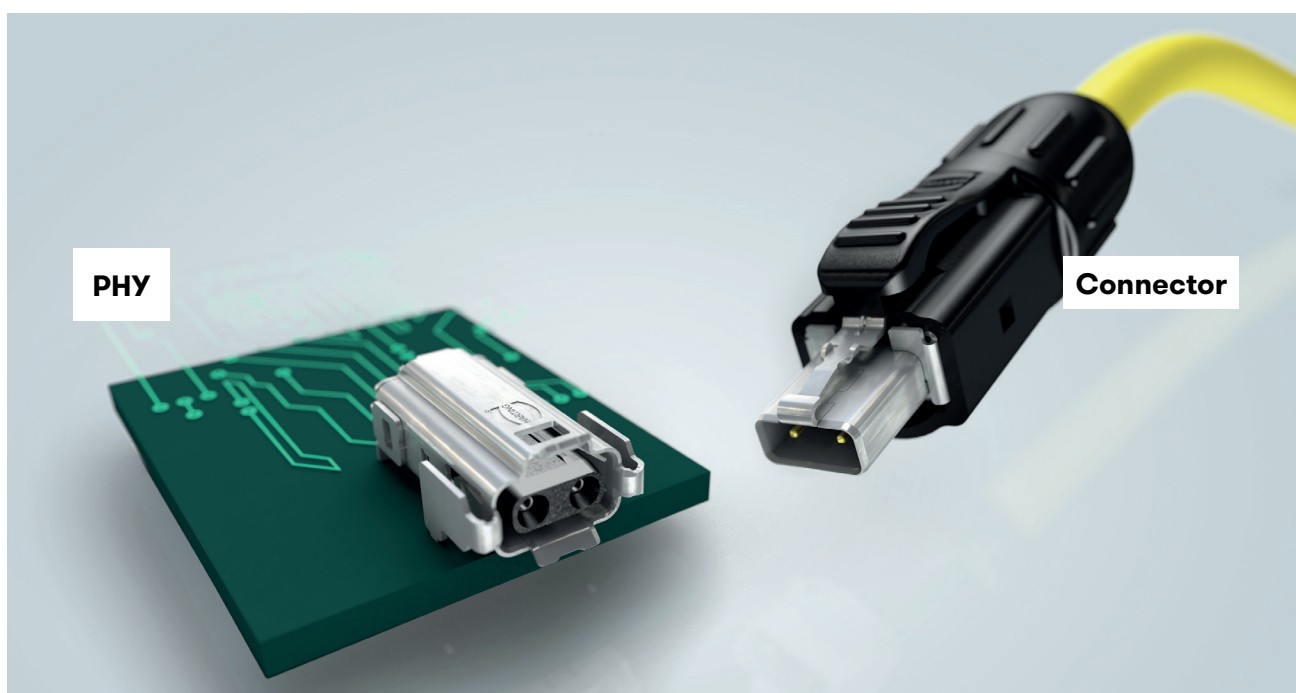
Na obrázku 1 je zobrazený referenčný dizajn pre jednopárový ethernet 100 BaseT1 z oblasti automotive. Automotive preto, lebo SPE sa v automobilovom priemysle používa už dlhšiu dobu. Na pravej strane sa nachádza konektor ku koncovému zariadeniu, na ľavej strane je PHY a medzi nimi sa nachádza obvod so súhlasnou tlmivkou, ktorá musí širokopásmovo odrušovať, pretože kondenzátory nemajú v hlbokých frekvenciách dobré odrušivé vlastnosti. Ukončenie za zemou (Ground Termination) pozostáva z dvoch paralelných odporov a pripojenia cez kondenzátor za zemou a takisto z odporu 100 k Ω na odvedenie statickej elektriny. Ústredným prvkom v tomto obvode sú dva kondenzátory 100 nF s 50 V izoláciou. Pre priemyselné aplikácie však platí norma o bezpečnosti zariadení IEC 62368-1, ktorá udáva, že diely musia po dobu 60 sekúnd odolať skúšobnému napätiu 1500 VAC, respektíve 2250 VDC.



Obrázok 1. Referenčný dizajn pre jednopárový ethernet 100BaseT1 z oblasti automotive. Obvod nie je s izoláciou 50 VDC vhodný na priemyselné aplikácie. (Obrázok: Würth Elektronik)

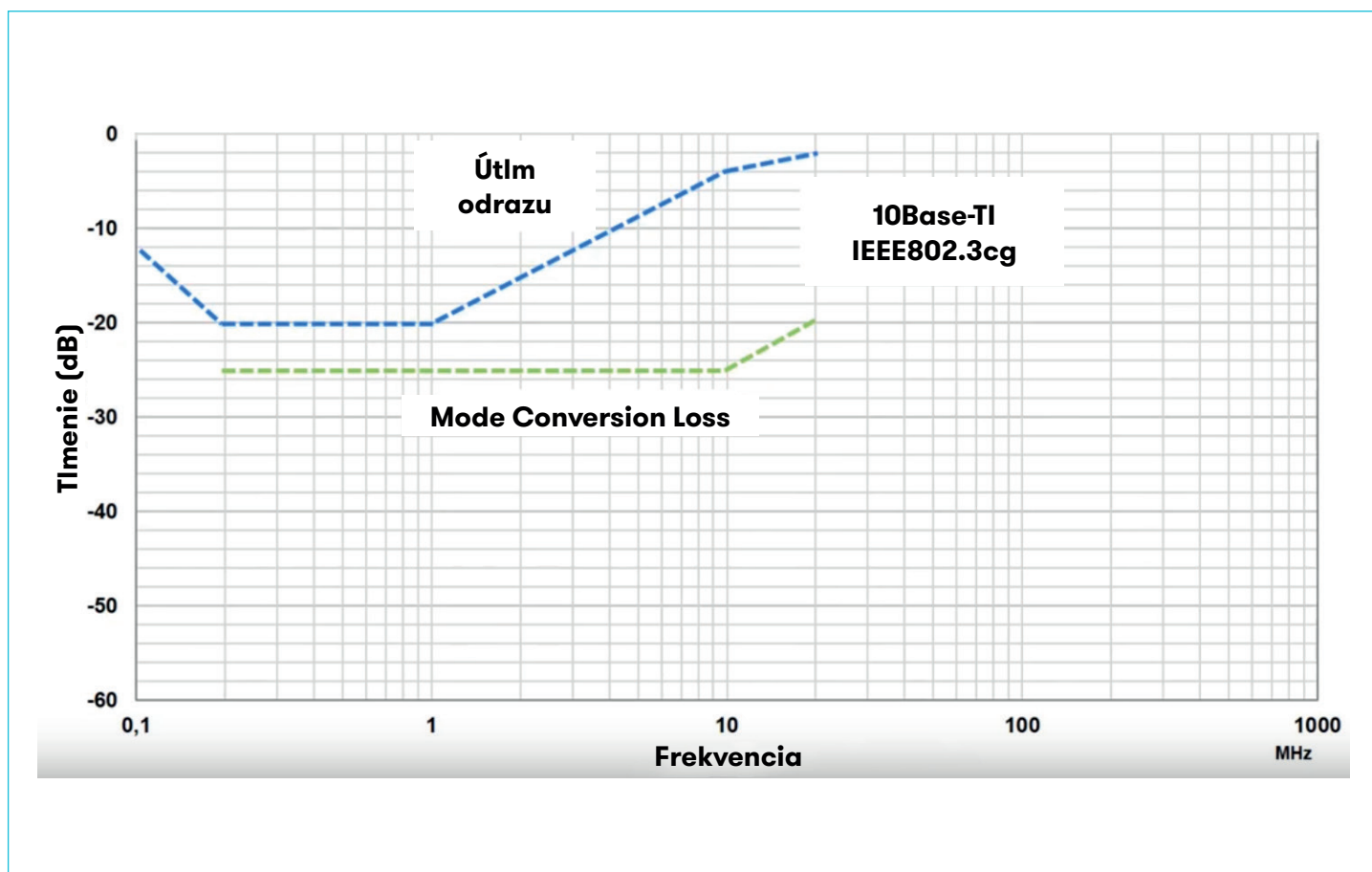
Čo príde medzi konektor a PHY?

Na zodpovedanie tejto otázky museli v laboratóriu vo Würthe dosť veľa simulovať a merať. Najprv sa vytvoril obvod pre automotive s 50 V kondenzátormi (obrázok 1) a potom ešte jeden rovnaký, ale s 2000 V kondenzátormi. Ako tretia zostava sa vytvoril variant s prenášačom (obrázok 2). Prečo s prenášačom? Prenos dát pri 100BaseT1 sa uskutočňuje pri hraničnej frekvencii 66 MHz, čo je podobné ako pri 100BaseT, kde sa používa LAN prenášač. Preto dáva zmysel použiť prenášač aj pri SPE. Riešenie s prenášačom navyše obsahuje Common Mode Choke a TVS-Dioden-Array na odrušenie ESD impulzov.



Obrázok 2. Vstupný obvod s dizajnom prenášača. (Obrázok: Würth Elektronik)

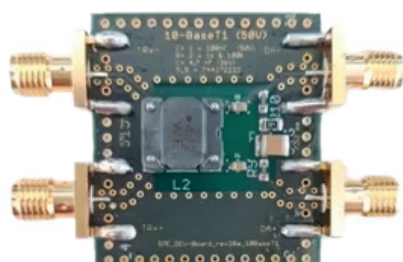
Ale najprv prejdime k vlastnostiam obvodu pre použitie pri 10BaseT1L, teda variant normy s 1000 m. Na obrázku 3 môžete vidieť požiadavky na prenosové vlastnosti z IEEE 802.3cg. Modrá čiara je útlm odrazu, tzv. Return Loss, a zelená čiara je Mode Conversion Loss. Ide o rozdielne signály, ktoré sa v obvodoch premenia na signály s rovnakým taktom.



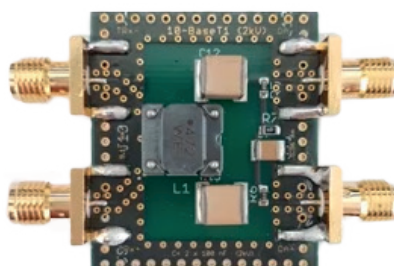
Obrázok 3. Požiadavky na prenosové vlastnosti z IEEE 802.3cg pre prenosy 10BaseT1L. (Obrázok: Würth Elektronik)

Výzvou pri 10BaseT1 sú hlboké frekvencie medzi 100 kHz a 1 MHz. To znamená, že potrebujete veľmi vysokú impedanciu. Preto sa musí použiť Common Mode Choke s veľmi veľkým počtom vinutí a veľkým množstvom materiálu na jadro. Na obrázku 4 vidíte výsledné nadstavby oboch obvodov s oddelením pomocou kondenzátora (po stranách pre 50 V a uprostred pre 2000 V). Použitá súhlasná tlmivka má indukčnosť 2200 μ H na kanál.

50 V kondenzátory



2000 V kondenzátory



Prenášač signálu

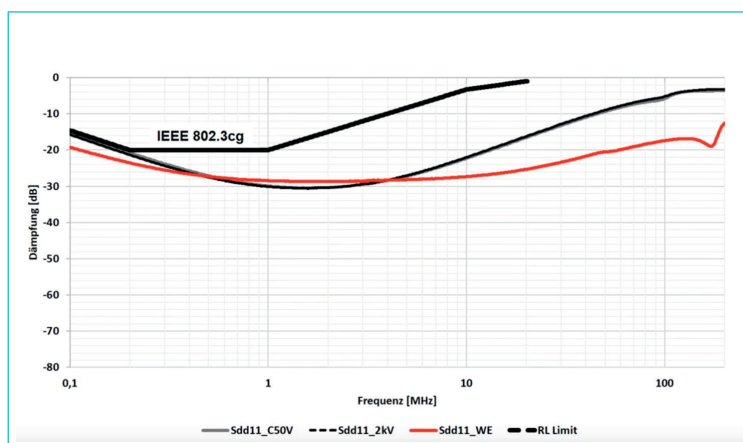


Obrázok 4. Výsledné nadstavby troch obvodov. (Obrázok: Würth Elektronik)

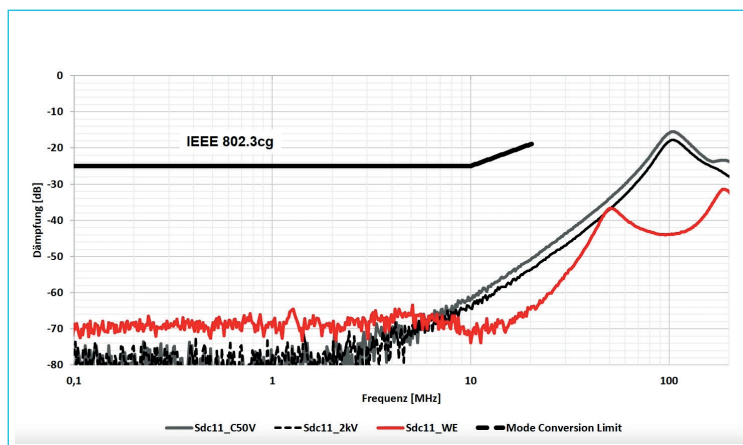
Na pravej strane obrázku 4 je znázornené riešenie s prenášačom. V porovnaní so zvyšnými dvomi nadstavbami je relatívne malé. Spočíva to v tom, že v tomto obvode sa vieme zaobiť bez súhlasnej tlmivky, pretože prenášač veľmi dobre odruší aj nízko-frekvenčné súhlasné signály. Dochádza k tomu cez stredný kolík prenášača, cez ktorého sú odvádzané signály Common-Mode. Kondenzátor C3 medzi primárnymi vinutiami prenášača sa stará o to, aby sa aj pre frekvencie do 35 kHz dali dosiahnuť dobré vlastnosti signálov.

Výsledky meraní

Na obrázku 5 vidíte výsledky meraní útlmu odrazu troch obvodov. Červená krivka predstavuje riešenie s prenášačom a sivá a čierna krivka sú riešenia s kondenzátorom. Na grafe je nakreslená aj hraničná krivka podľa IEEE802.3cg. Ako môžete vidieť, riešenie s prenášačom má v oblasti 100 kHz a 200 kHz určitý odstup od hraničnej krivky. Kondenzátorové obvody (sivé a čierne) sú na rozdiel od toho až nebezpečne blízko pri hraničnej krivke.



Obrázok 5. Výsledky meraní útlmu odrazu u troch obvodov. (Obrázok: Würth Elektronik)

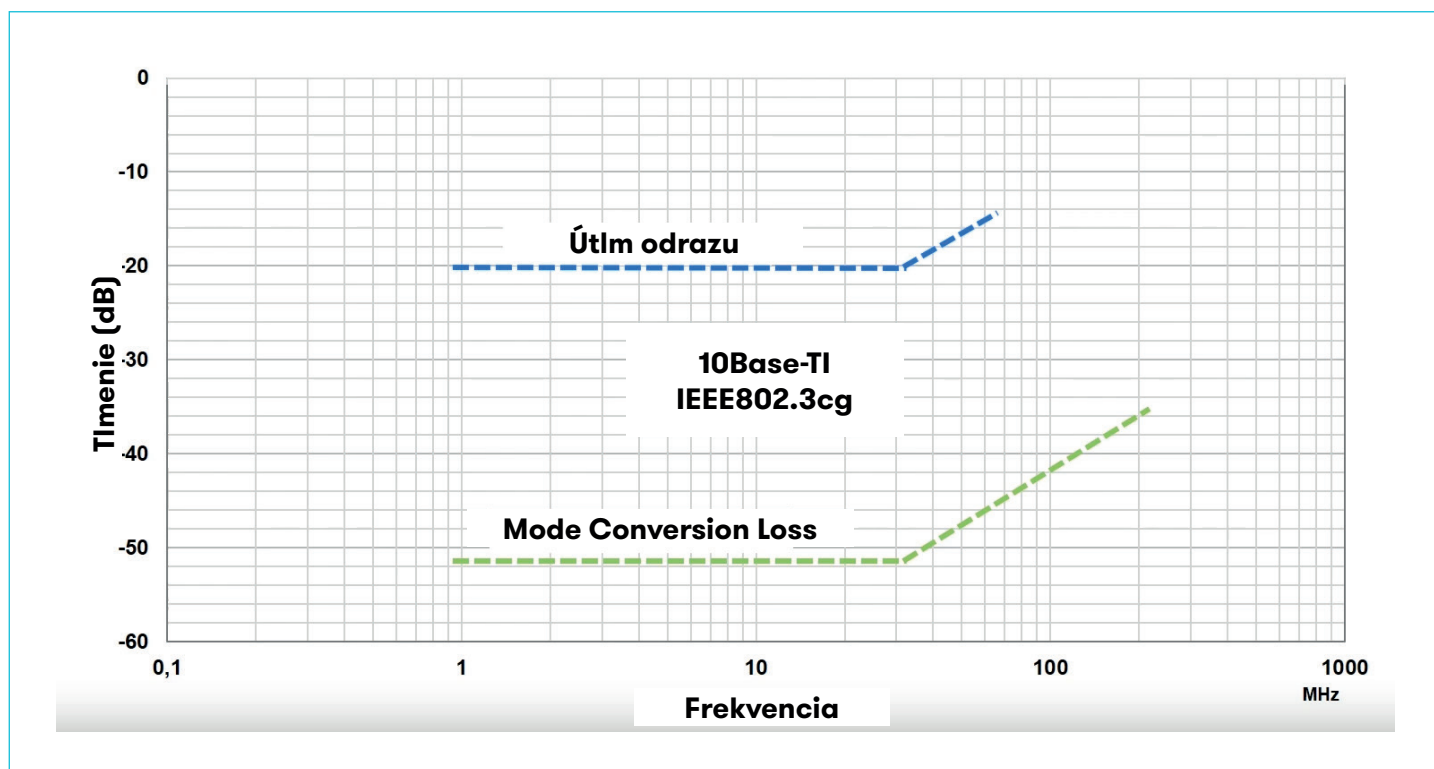


Obrázok 6. Namerané krivky pre Mode Conversion Loss. (Obrázok: Würth Elektronik)

Krivky namerané pre Mode Conversion Loss (obrázok 6) vyzerajú „priaznivejšie“. Tu sa dá rozpoznať mierna výhoda riešení s kondenzátorom. Rozdiel medzi požadovanou a skutočnou krivkou je však aj tak približne 30 dB.

Obvody a merania pre 100 Mb/s SPE

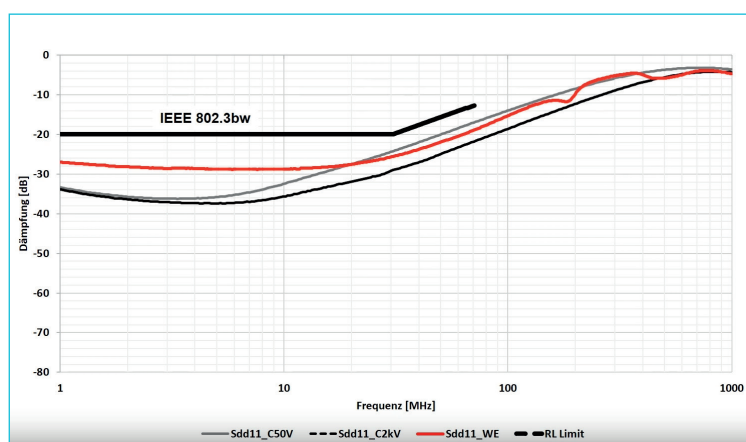
Pre 100BaseT1 sú na obrázku 7 zobrazené limity pre útlm odrazu a Mode Conversion Loss podľa IEEE 802.3bw. V Mode Conversion Loss tu vzniká výzva od -50 dB do 30 MHz, no systém potrebuje dobré signály až do 200 MHz.



Obrázok 7. Limity pre útlm odrazu a Mode Conversion Loss podľa IEEE 802.3bw pre 100BaseT1. (Obrázok: Würth Elektronik)

Návrh obvodov sa podľa toho príslušne zmení. Variant s 50 V kondenzátorom tu môže prejsť svoje výhody: veľmi malé kondenzátory a stredne veľká súhlasná tlmivka. Použitý Common Mode Choke má 200 μ H. Variant s 2 kV kondenzátorom je však stále príliš veľký. Dizajn s prenášačom je z dôvodu vyšších frekvencií vybavený malou súhlasnou tlmivkou.

Výsledky merania útlmu odrazu (obrázok 8) ukazujú, že kondenzátorové obvody majú až do frekvencie 20 MHz výhody oproti variantom s prenášačom. Pričom aj tu má toto riešenie dobrú vzdialenosť od cieľovej krivky.

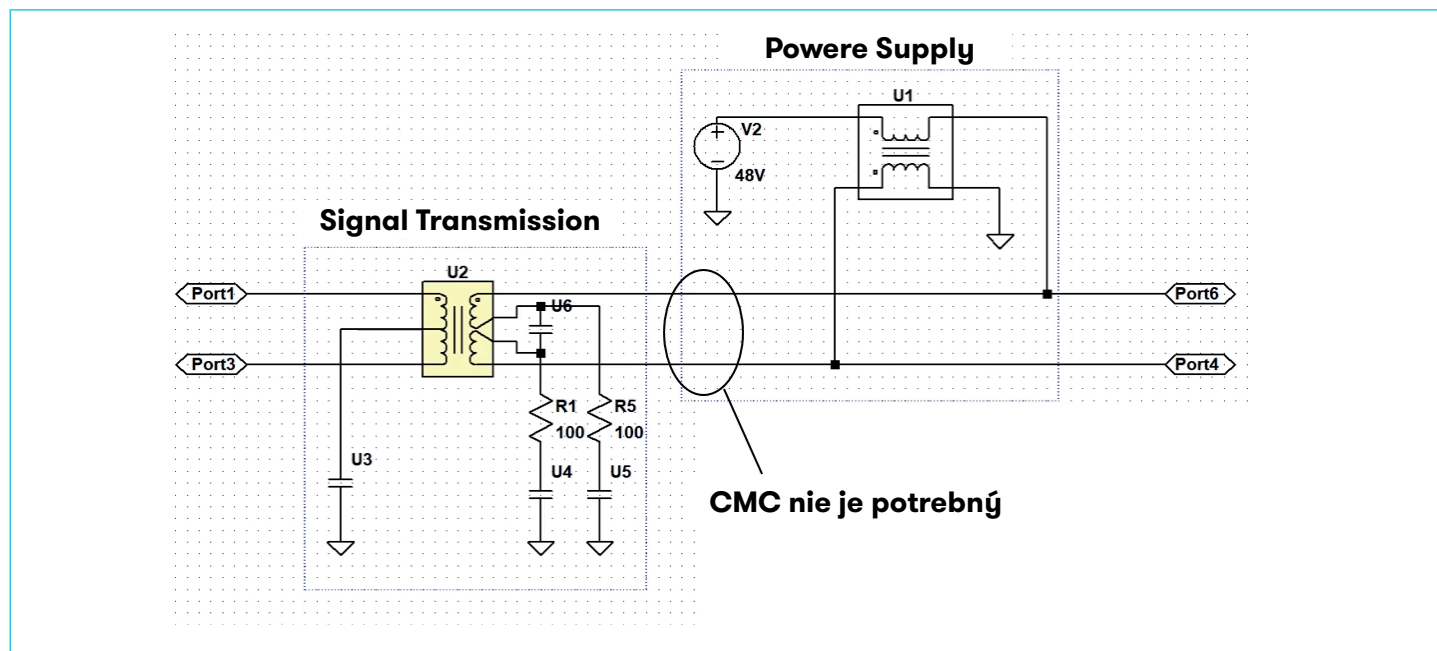


Obrázok 8. Výsledky merania útlmu odrazu v systéme 100BaseT1. (Obrázok: Würth Elektronik)

Pri Mode Conversion Loss (obrázok 9) sa sivá krivka riešenia s 50 V kondenzátorom nebezpečne približuje k požadovanej krivke. Červená krivka, teda variant s prenášačom, má znova dobrý odstup od požadovaných hodnôt.

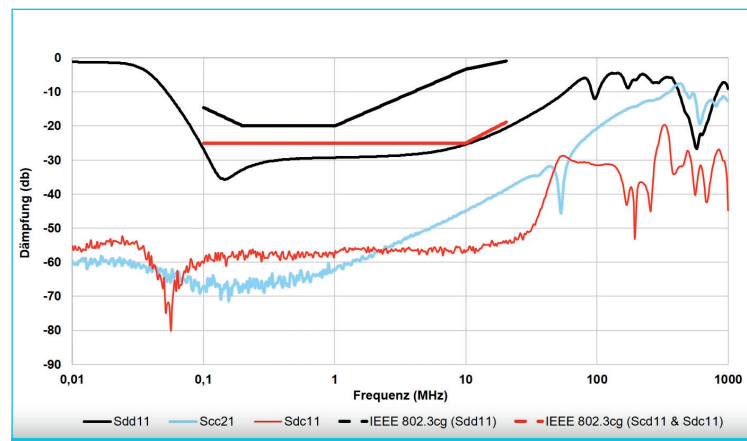
Jadro PoDLs

Pre znázornenie toho, ako sa riešenie s prenášačom s napájaním prúdom cez dátové vedenie správa pri poruche, boli vykonané simulácie na základe hodnôt z vymeraných dielov. Prenášačový obvod pre systém 10BaseT1L plus PoDL (obrázok 9) bol rozšírený o diel napájania prúdom s diferenciálnym útlmom. Útlm je relatívne veľký, pretože tu je potrebná vysoká indukčnosť a kvôli relatívne vysokým prúdom (1,5 A) aj drôt s veľkým priemerom.



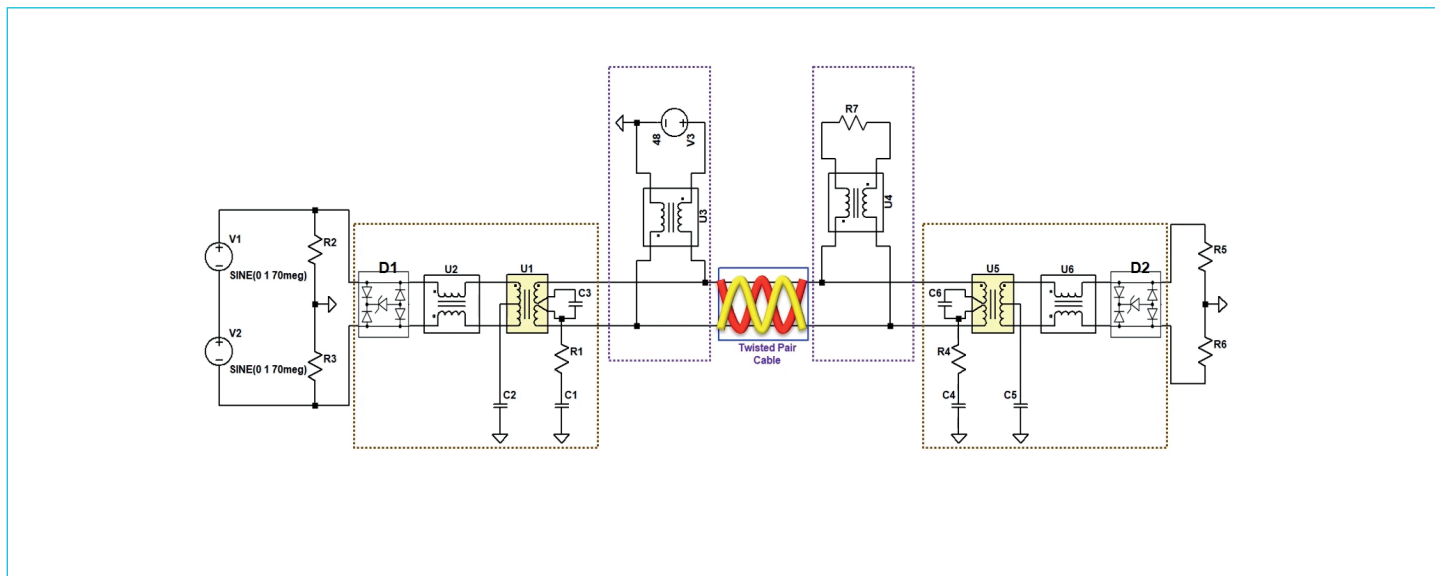
Obrázok 9. Prenášačový obvod 10BaseT1L plus PoDL. (Obrázok: Würth Elektronik)

Na obrázku 10 môžete vidieť výsledky simulácie útlmu odrazu a Mode Conversion Loss pre 10BaseT1 plus PoDL. Následkom týchto simulácií, ktoré sú založené na meraniach dielov, dochádza k výkyvom pri hlbokých frekvenciách. Čierne krivky (v hornej časti obrázku je vidieť limit) pre Return Loss sú od seba veľmi dobre vzdialené. To isté platí pre Mode Conversion Loss (červená krivka).

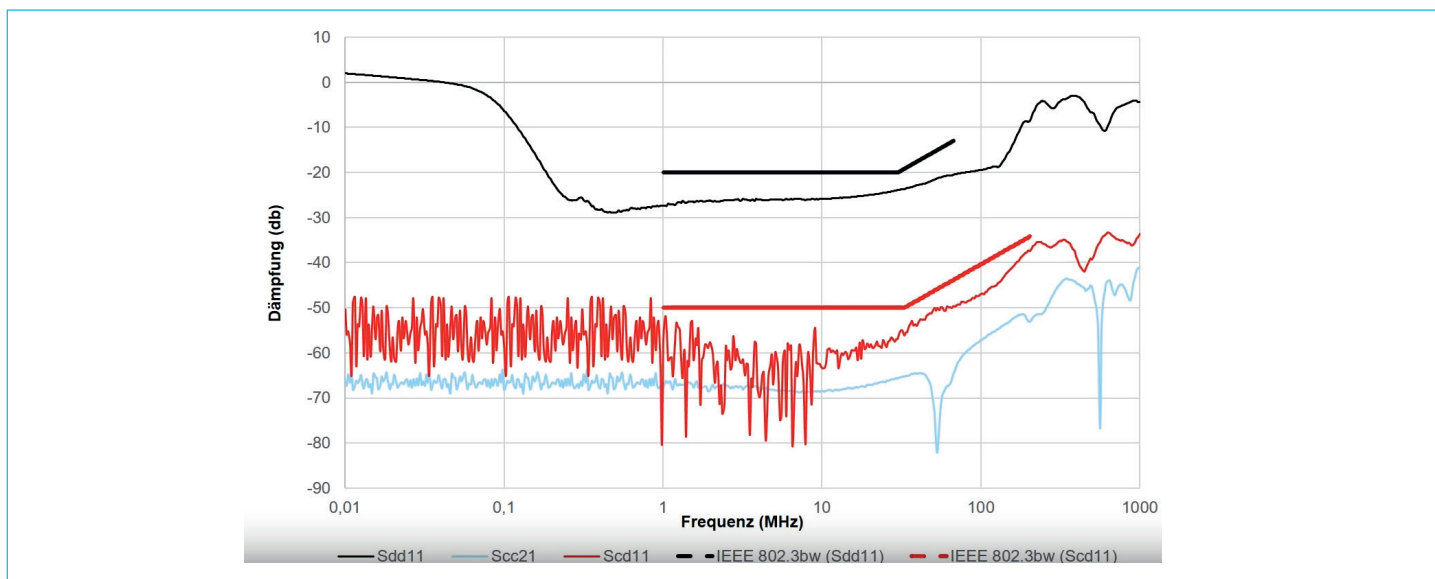


Obrázok 10. Útlm odrazu a Mode Conversion Loss pre 10BaseT1 plus PoDL. (Obrázok: Würth Elektronik)

Obvod pre 100BaseT1 a Power over Data Line vidíte na obrázku 11. Aj tu vyzerajú merania (Bild 12) Return Loss celkom dobre. Namerané krivky sú ďaleko od požadovanej krivky. Pri Mode Conversion Loss by to mohlo byť pri hlbokých frekvenciách trochu kritické. Výsledok sa tu musí ešte raz preveriť so „skutočnými“ meraniami.



Obrázok 11. Obvod pre 100BaseT1 a Power over Data Line. (Obrázok: Würth Elektronik)



Obrázok 12. Útlm odrazu a Mode Conversion Loss pre 100BaseT1 plus PoDL. (Obrázok: Würth Elektronik)

Zhrnutie

Kondenzátorové riešenia nevedia zaručiť splnenie požiadaviek na Return Loss pre 10BaseT1. Aj keď to človeka ťahá do opačného smeru: riešenie s prenášačom má skutočne najmenšiu stopu.

Pri systéme 100BaseT1 platí, že oddelenie s 50 V kondenzátorom spĺňa požiadavky na Mode Conversion Loss len podmienene. Aj tu nám riešenie s prenášačom ponúka kompaktnú plochu na rozmiestnenie.

Podľa podkladov firmy Würth Elektronik (<http://www.we-online.de>)