

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten



Adrian Stirn

01. EINLEITUNG

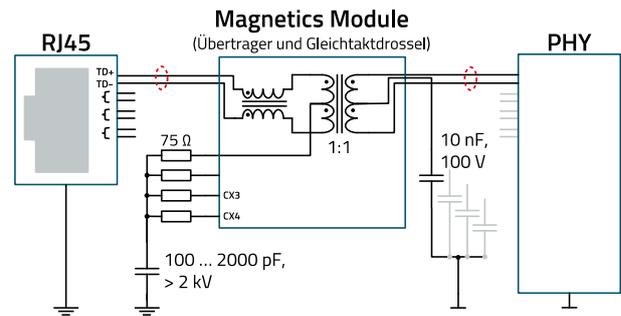
Beim Design einer Ethernet-Schnittstelle kommen oftmals Fragen zum Schirmanschluss des Kabels und dem Design des Front Ends, besonders in Hinblick auf die Masseverbindungen auf. Bei Recherchen im Internet ergeben sich verschiedene Vorschläge zum Schirmanschluss, oftmals wird ein 1 nF Y-Kondensator vorgeschlagen. Die Auswirkung auf die Performance der Schnittstelle und das EMV-Verhalten wird jedoch nicht beschrieben. In dieser App Note wird ausführlich das EMV Verhalten der Ethernet Schnittstelle bei verschiedenen Schirmanschlüssen und Konfigurationen betrachtet und es werden Designempfehlungen anhand von Hardwaretests gegeben.

02. KURZE ÜBERSICHT ÜBER DIE BEIDEN VERWENDETEN GB-ETHERNET DESIGNS

Das für die in dieser App Note zur EMV-Analyse verwendete Elektronikboard hat zwei Schnittstellen, eine USB-Type-C™ (USB 3.1) - und eine 1 Gigabit RJ45/Ethernet Schnittstelle. Der GB-Ethernet-USB Adapter ist auf Basis des EVB-LAN7800LC – Evaluation Boards von Microchip entwickelt worden. Die Schaltung ist auf einer 4-lagigen Leiterplatte aufgebaut und wird im vorliegenden Design über die USB-Schnittstelle mit Spannung versorgt. Das Board liegt in zwei verschiedenen Varianten vor, die nachfolgend kurz beschrieben werden. Eine detaillierte Beschreibung der beiden Designs kann der Reference Design Note [R0016](#) entnommen werden.

2.1 Diskreter Aufbau des Gigabit-Ethernet Boards

Zur Übersicht der relevanten Schaltungskomponenten im Ethernet Frontend, wird das diskrete Design kurz erläutert.



..... Impedanz: 100 Ω differenziell, 50 Ω gegen Masse (GND)

Abbildung 1: Prinzipschaltbild der GB-Ethernet Schnittstelle, einer von vier Kanälen dargestellt

Die Komponenten aus Abbildung 1 werden für den Betrieb der Ethernet-Schnittstelle zwischen RJ-45 Connector und PHY benötigt. Im diskreten Design aus Abbildung 2 befinden sich Übertrager und Common Mode Choke im Modul [749020310](#), der [Modular Jack](#) enthält keine weiteren Schaltungskomponenten.

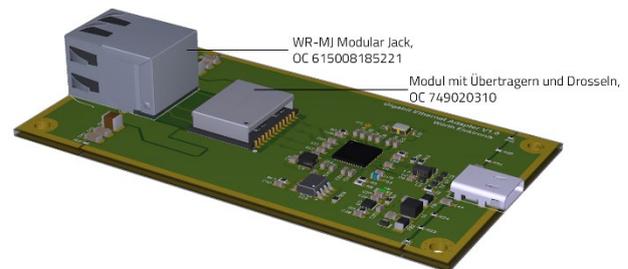


Abbildung 2: Grafische Darstellung des GB-Ethernet-USB Adapters in der diskreten Variante V1.0, das Modul mit den Übertragern und Common Mode Drosseln ist neben der RJ-45 Buchse platziert

2.2 Integrierter Aufbau des Gigabit-Ethernet Boards

Im integrierten Design sind die Schnittstellenkomponenten aus Abbildung 1 und dem diskreten Aufbau aus Abbildung 2 in der [RJ45 Buchse](#) integriert. Dadurch wird Platz auf der Platine eingespart, allerdings ist die Flexibilität im Design des Front Ends beschränkt.

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

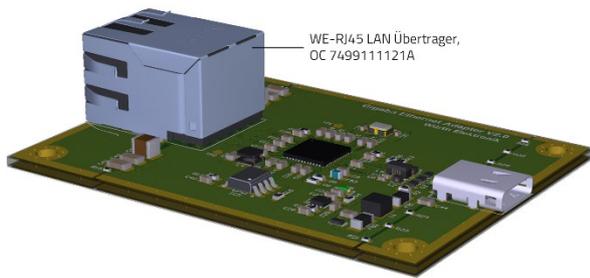


Abbildung 3: Grafische Darstellung des GB Ethernet-USB Adapters in der integrierten Variante V2.0. Das in Abbildung 2 dargestellte Modul ist in die RJ-45-Buchse mit integriert

03. MESSUNG IM ZEITBEREICH

Die Ethernet Signale werden mittels Oszilloskop im Zeitbereich gemessen. Mit dem diskreten Board werden die Signale zuerst zwischen PHY und Übertrager dargestellt. Hierzu wird ein niederkapazitiver differentieller Tastkopf mit einer Bandbreite von über 4 GHz genutzt.

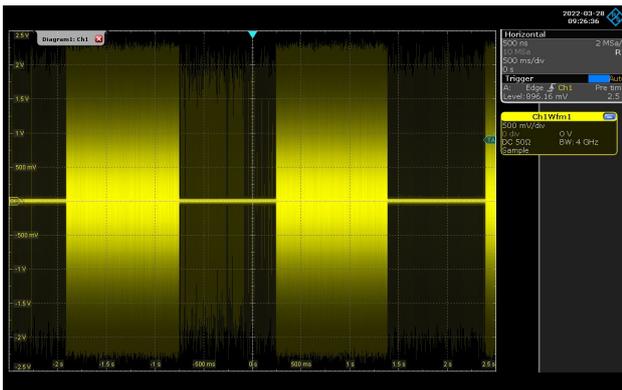


Abbildung 4: Messung der Spannung zwischen differentiellen Ethernet Signalpaaren im Zeitbereich mittels Oszilloskop und differentiell HF-Tastkopf

In Abbildung 4 ist eine Messung des Testsignals über mehrere Jumboframes aufgezeigt. Es ergibt sich eine Datenübertragung von ca. einer Sekunde mit hoher Signalintensität und einer Signalübertragung mit geringerer Intensität in gleicher Länge. Dies ergibt sich aus der Art und Weise, wie das Prüfsignal zur Analyse der EMV-Eigenschaften zusammengesetzt ist.

Reduziert man in der Prüfung die beobachtete Zeitspanne, so können die einzelnen übertragenen Codezustände gesehen werden. Allerdings ergibt sich aus der Abbildung 5, dass der erwartete PAM-5 Code nicht eindeutig identifiziert werden kann. Vielmehr scheint das gemessene Signal deutlich mehr als 5 Spannungspegel aufzuweisen. Eine eindeutige Identifikation des Leitungscodes ist an dieser Stelle messtechnisch nicht möglich. Im PHY werden

Korrekturverfahren benötigt um eine einwandfreie Kommunikation und Signalerkennung zu ermöglichen.

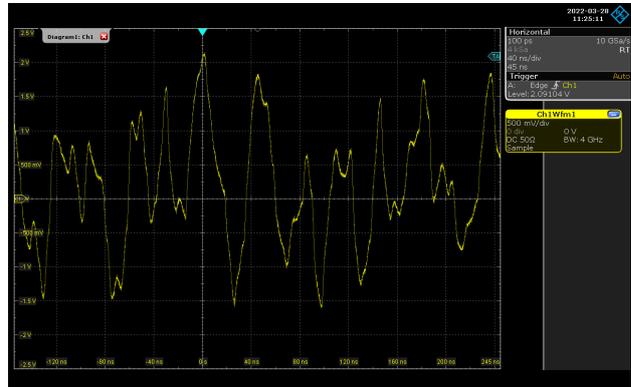


Abbildung 5: Ethernet-Signal zwischen Übertrager und PHY

Eine Analyse des Leitungscodes ist somit im Betrieb nur auf der Ethernet-Leitung nach dem Übertrager möglich. Eine kurze Interpretation des PAM-5 Codes im Betrieb zeigt die folgende Abbildung 6. Es ergeben sich deutlich weniger Reflexionen und nur noch 5 Spannungspegel.

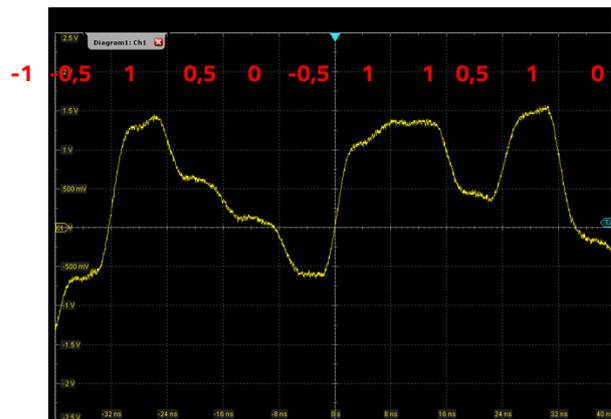


Abbildung 6: Oben: Leitungscodes Ethernet-Signal zwischen Übertrager und RJ45 Buchse; Unten: Aufbau der Messung

Eine Analyse der Rise-Time der Flanke in der Mitte des Graphs in Abbildung 6 ergibt eine Anstiegszeit vom Zustand -0,5 bis zum Zustand 1 von 3 ns. Die Abbildung 7 zeigt die FFT des Ethernet-Signals zwischen Übertrager und PHY. Es ergibt sich ein Spektrum mit Signalanteilen bis zu

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

einer Frequenz von 500 bis 600 MHz. In höheren Frequenzen ist das Signal im Grundrauschen des Oszilloskops. Das Signal fällt ab 100 MHz in seiner Amplitude deutlich ab und es zeigt sich die Korrelation aus Rise-Time und Abfall des Frequenzspektrums um 40 dB pro Dekade ab $f=1/(\pi \cdot tr)$.

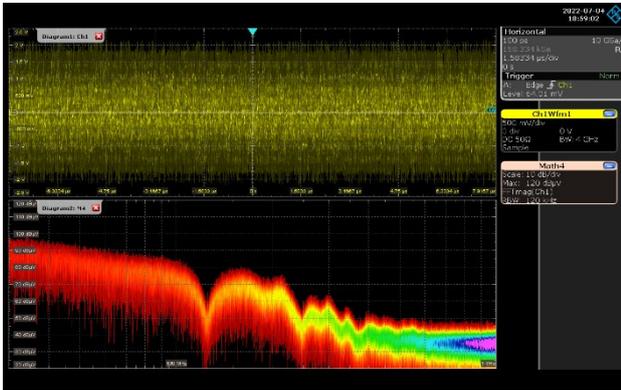


Abbildung 7: FFT Analyse des Ethernet-Signals zwischen Übertrager und PHY

04. EMV EVALUIERUNG DES REFERENCE DESIGNS

Im Folgenden wird das Referenzdesign hinsichtlich des EMV Verhaltens untersucht. Die äußerst umfangreichen, am Referenzdesign durchgeführten Prüfungen, werden teilweise komprimiert dargestellt. Die wesentlichen Erkenntnisse, Anwendungshinweise und Designempfehlungen werden nochmals in Kapitel 05 zusammengefasst.

4.1 Reduzierung des Einflusses durch benötigtes Zusatzequipment

Für den Betrieb des Prüfboards benötigte Zusatzhilfseinrichtungen (Auxiliary Equipment - AE) können während Störfestigkeitsprüfungen gestört werden oder können bei der Störausendungsmessung die Ergebnisse verfälschen. Bei der Durchführung der EMV-Prüfungen sind einige störende Effekte aufgetreten die für eine normativ aussagekräftige Messung beseitigt werden mussten. Diese Effekte und daraus resultierende Lösungen zur Beseitigung werden hier beschrieben. Dieses Unterkapitel soll auch einen Einblick in Strategien zur Optimierung von Versuchsaufbauten geben.

Gestahlte Störausendungsprüfung in einem ersten Aufbau

Für einen ersten Überblick über das EMV-Verhalten wurde der Prüfling in einer Absorberhalle in Betrieb genommen und das gestrahlte Störspektrum gemessen. Die Abbildung 8 zeigt, dass das Störpotential des Aufbaus hoch ist. Es treten Störungen auf, die nicht vom Referenz Design selbst erzeugt werden.

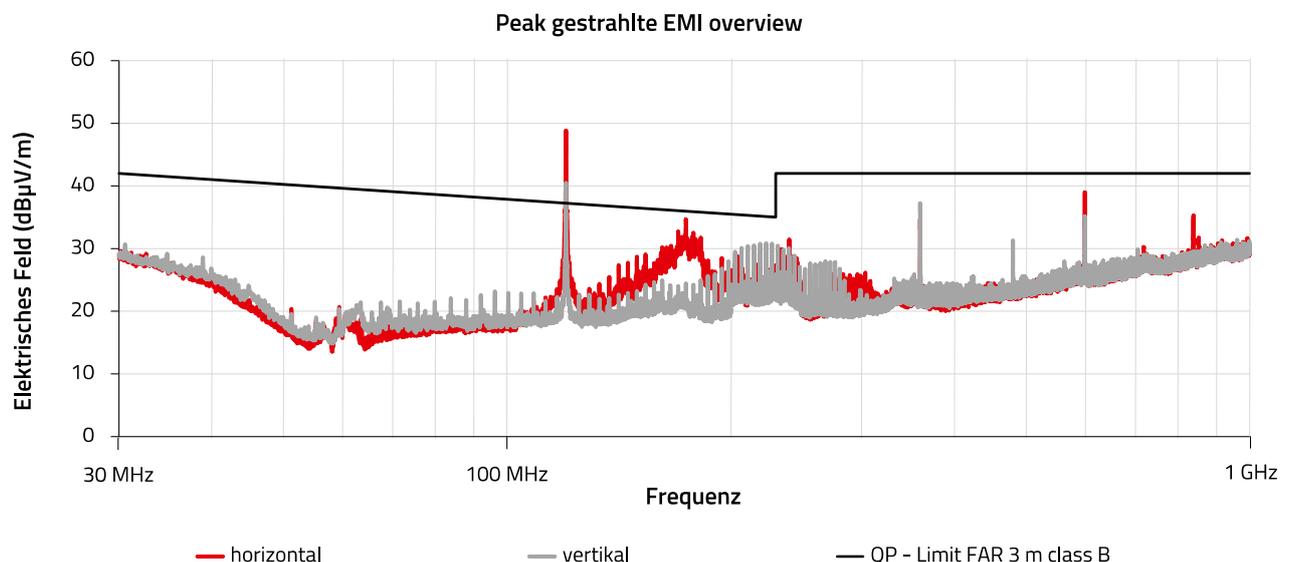


Abbildung 8: Gestrahlte Störaussendungen in einem ersten schnellen Scan

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Die Analyse bei den ersten Messungen zeigte, dass zwei Störer von den für die Versuchsdurchführung benötigten Notebooks erzeugt und über angeschlossene Leitungen abgestrahlt wurden:

1. 120 MHz Abstrahlung durch schlechte USB-Leitung: Der Leitungsschirm wird bei vorkonfektionierten USB-Leitungen oftmals nicht ausreichend an den Schirmanschluss des Steckers angeschlossen. Je nach Qualität des Leitungsschirms und der Art des Schirmanschlusses ändert sich die Störaussendung des Versuchsaufbaus.
2. 4 MHz Abstrahlung, verursacht durch ein Notebook im Versuchsaufbau: Störung scheint vom Akkuladeregler, oder einem anderen Spannungsregler erzeugt zu werden.

In den Umgebungsstörungen, die durch ungeeignete USB-Leitungen oder die störenden Notebooks im Messaufbau abgestrahlt werden, gehen die geringeren Störungen des Referenz Designs unter. Aus diesem Grund müssen die beiden oben festgestellten Punkte im Prüfaufbau berücksichtigt und entsprechende Maßnahmen zur Reduzierung der Fremdstörer durchgeführt werden.

Reduzierung der Störungen durch das Zusatzequipment

Zum Betrieb und der Analyse der Schnittstellendaten werden zwei Notebooks benötigt, diese Geräte müssen in einer Schirmbox betrieben werden um die HF-Abstrahlung der Notebooks zu schirmen. Hierzu wurde die Schirmbox aus Abbildung 9 aufgebaut.



Abbildung 9: Schirmbox zur Reduktion der Störungen des Zusatzequipments. Die 230 Vac Versorgung wird mittels zweistufigem Filter an der Durchführung in die Box gefiltert. Geschirmte Leitungen werden an der Schirmdurchführung an Gehäusemasse angeschlossen, der Deckel wird mittels HF-Dichtungen abgedichtet, um elektromagnetische Abstrahlung über Öffnungen zu verhindern

Mithilfe eines sog. Kammgenerators, der ein kontinuierliches Linienspektrum mit einer Frequenzschrittweite von 20 MHz abstrahlt, wurde die Schirmdämpfung der Box geprüft. Die Schirmbox reduziert die Abstrahlung des Störgenerators um bis zu 70 dB und eignet sich somit zur Reduzierung der Störaussendung der Notebooks.

Des Weiteren werden die Notebooks in der Schirmbox während Störfestigkeitsprüfungen durch die Beeinflussung von Prüfstörgrößen geschützt. Die mangelhafte Anbindung der USB Leitungsschirme an die USB-Stecker kann mittels **leitfähigem Schirmklebeband (WE-TS)** (Abbildung 10) verbessert werden.

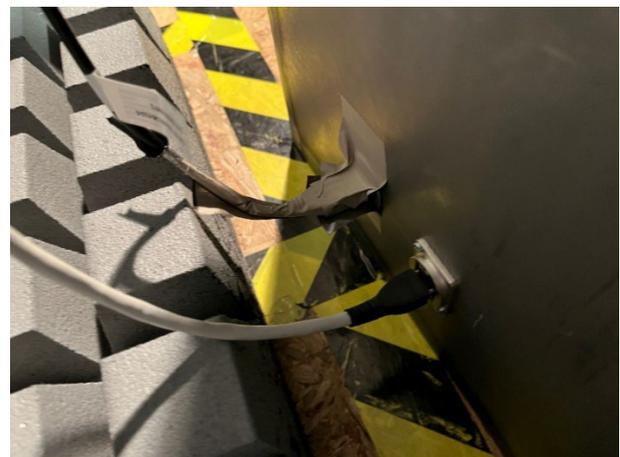
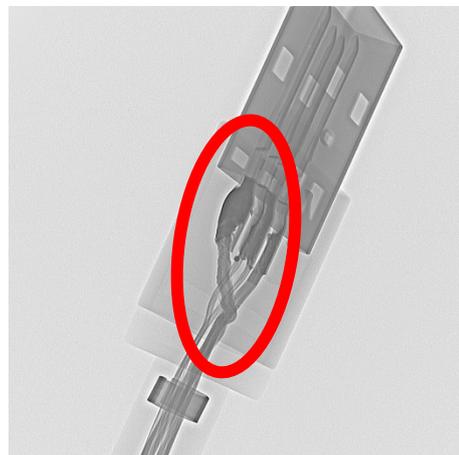


Abbildung 10: Oben: Röntgenaufnahme eines USB-Steckers mit mangelhaftem Schirmanschluss in „Pigtail Ausführung“ Diese Art von Anschluss reduziert die Wirkung des Schirmgeflechts; Unten: Anschluss des USB-Leitungsschirms mittels Schirmtape, um die Pigtail-Ausführung im USB-Stecker zu verbessern

Die Maßnahmen reduzieren die Fremdstörungen deutlich. Eine Analyse und ein Vergleich des EMV-Verhaltens der verschiedenen Prüflinge kann somit durchgeführt werden.

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

4.2 Einwirkzeit von Störgrößen, Fehlerkriterien und Beobachtungszeit bei Störaussendungsmessung

Zur reproduzierbaren Durchführung der EMV-Prüfungen müssen

1. die Messzeit des Messempfängers während der Störaussendung,
2. die Einwirkzeit von Störungen auf den Prüfling, sowie
3. die Kriterien zur Beurteilung der Prüflingsreaktion während der Störfestigkeitsprüfungen

definiert werden.

Einwirkzeit der Störgrößen und Messzeit der Störaussendungen

Um aussagekräftige Ergebnisse aus den EMV-Prüfungen zu erhalten, müssen alle Betriebszustände eines Geräts analysiert werden. Abbildung 4 zeigt, dass die Datenübertragung auf den differenziellen Paaren eine Sekunde dichter und eine Sekunde weniger dicht ist. Versuche haben außerdem gezeigt, dass die Störungen entsprechend dieser Periodizität, in einem Zeitabstand von einer Sekunde, abwechselnd höher und niedriger sind. Um beide Zustände zu messen, bzw. zu prüfen, wurden alle Emissionsmessungen und Störfestigkeitsprüfungen mit einer Mess- oder Haltezeit von mindestens drei Sekunden durchgeführt.

Kriterien zur Bewertung der Störfestigkeit

Wie schon beschrieben, wurde der Prüfling mit zwei Notebooks betrieben. Ein Notebook steuert den Prüfling mittels USB-Schnittstelle an und sendet Daten zum USB-PHY.

Diese werden im Prüfling umgewandelt und von der Ethernet Schnittstelle ausgesendet. An der Ethernet Schnittstelle des Prüflings wird ein zweites Notebook betrieben, auf welchem eine Echosoftware die empfangenen Daten zurück zum Prüfling schickt. So können der Datenverlust, die Fehlerrate und die Datenrate der Schnittstelle überprüft werden. Diese Informationen können am ersten Notebook (USB-Schnittstelle des Prüflings) mittels einer Kontrollsoftware abgelesen werden.

Hier fiel auf, dass die Datenrate massiv von äußeren Einflüssen des Hilfsequipments abhängt. Geht ein Notebook in den Energiesparmodus, so wird die Prozessortaktrate durch das Windowsbetriebssystem reduziert und die Schnittstellengeschwindigkeit reduziert sich entsprechend auch. Diese Geschwindigkeitsreduktion findet aber nicht aufgrund einer Beeinflussung durch Störungen statt, sondern durch ungeplante Softwareänderungen. Teilweise fällt die Datenübertragung auch, wenn im Betriebssystem Daten umgespeichert werden. Diese Einflüsse gilt es bei der Bewertung der Störfestigkeit zu beachten und gegebenenfalls müssen Betriebssystem begründete Einflüsse erneut geprüft werden (siehe Abbildung 11).

In Abbildung 11 ist die Überwachung der Fehler- und Datenrate über den Prüfzeitraum aufgezeigt. Bedingt durch die im Ethernetprotokoll genutzten Korrektur- und Steuerbits können im ungestörten Zustand bei maximaler Leistung der Notebooks circa 850 MBps übertragen werden. Es ergeben sich die folgenden Bewertungskriterien aus Tabelle 1.

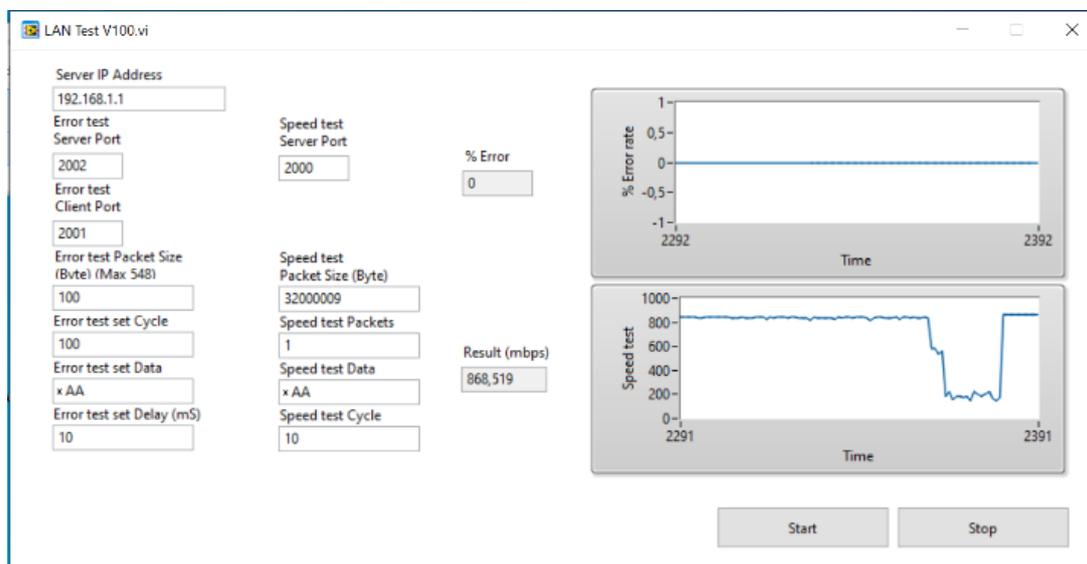


Abbildung 11: Prüflingsüberwachung mittels Applikation am Notebook

Messgröße	Performance Kriterium	Technisches Kriterium
Datenrate	A	Im Bereich 850 MBps (Fehler und Schwankungen durch Windows Betriebssystem werden nicht bewertet)
	B	Geschwindigkeitsreduktion unter 800 MBps (Beispiel in Abbildung 11)
	C	Verbindungsabbruch
Errorrate	A	0 %
	B	100 %
	C	Verbindungsabbruch mit erforderlichem Neustart durch Benutzer

Tabelle 1: Bewertungs- und Performancekriterien der Prüflinge

Während den Störfestigkeitsprüfungen hat sich gezeigt, dass die Ethernet-Schnittstelle entweder in voller Performance läuft, bei Beeinflussung direkt auf einen Wert zwischen 20 MBps und 50 MBps abfällt oder die Kommunikation komplett abbricht. Die Ursache ist hier die im Ethernet Protokoll sehr effektive, in verschiedenen Software-Layern arbeitende Fehlerkorrektur, die Mehrfachfehler bis nahezu 100 % erkennt und korrigiert. Mittels Kamera, die auf das zum Monitoring angeschlossene Notebook gerichtet ist, lässt sich die Performance des Prüflings effektiv überwachen.

4.3 Testaufbau von Prüfling und Zusatzequipment für die EMV-Analyse des Reference-Designs

Anhand der zuvor beschriebenen EMV-Anforderungen an das benötigte Zusatzequipment ergibt sich der in Abbildung 12 aufgezeigte Prüfaufbau bestehend aus zwei Notebooks in der Schirmbox, einer Ethernet-Leitung, einer USB-Leitung und dem Prüfling.

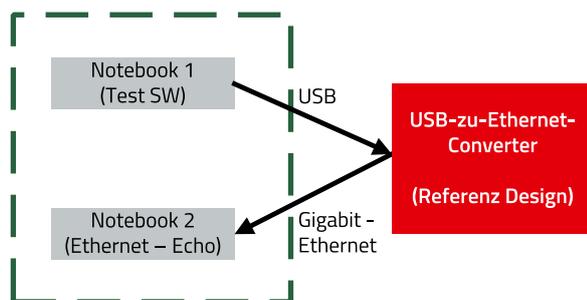


Abbildung 12: Testsetup zur Analyse des EMV-Verhaltens des Ethernet Reference Designs

In den durchgeführten Messungen und Prüfungen liegt der Fokus auf der Ethernet-Schnittstelle. Deshalb wird bei den gestrahlten Prüfungen die USB-Leitung kurzgehalten, die Ethernet-Leitung hat eine Länge von einem Meter auf dem Prüftisch. Auch bei den anderen EMV-Prüfungen liegt der Fokus auf der Ethernet-Schnittstelle, die USB-Schnittstelle wurde somit nicht geprüft. Der Aufbau der Prüfungen wird in der Applikationsschrift [ANP105](#) gezeigt.

4.4 Einfluss des Leitungstyps auf die Störaussendung

Zu Beginn der Messreihe wird der Einfluss verschiedener Leitungstypen auf die Störaussendung betrachtet. Dies ist insbesondere bei der Prüfung der gestrahlten Störaussendung einfach, da hier die Leitung einfach zwischen den Messungen getauscht werden kann und keine speziellen auf den Leitungstyp angepassten Koppelnetzwerke benötigt werden.

Es ist davon auszugehen, dass bei der Verwendung geschirmter Leitungen, ein HF-gerechter Anschluss des Kabelschirms zur Masse (GND-Plane) des Prüflings zu einer minimalen Störaussendung führt. Für den Vergleich unterschiedlicher Leitungstypen wird ein Board mit integriertem Schnittstellenaufbau (Übertrager und Drossel in der Ethernet-Buchse) und direktem Schirmanschluss (flächiger Kurzschluss zwischen Schirm und Groundplane) ausgewählt.

Es werden die folgenden Leitungstypen miteinander verglichen:

1. Geschirmte Leitung:
 - CAT8.1 S/FTP: Geflechschirm als Außenschirm. Die einzelnen differenziellen Paare als Twisted Pair sind mit Folie geschirmt.
 - CAT5E SF/UTP: Standard Ethernet-Leitung im Gewerbe und Bürobereich. Einfache Schirmung aller Adern mit Folie und leichtem Geflecht. Die differenziellen Einzelpaare (Twisted Pair) sind nicht geschirmt, eine Kopplung zwischen den Paaren ist somit möglich.
2. Ungeschirmte Leitung:
 - CAT5E U/UTP: Keine Schirmung, die differenziellen Paare sind als Twisted Pair ausgeführt

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Die in den gestrahlten Prüfungen verwendete Leitungslänge beträgt 3 m bis 5 m und ist eventuell aus Sicht der Störfestigkeit nicht auf längere Ethernet-Leitungen zu übertragen, da die Kopplung zwischen den einzelnen Paaren in diesem Fall größer sein kann.

Vergleich der gestrahlten Störfestigkeit

Die Störfestigkeit nach IEC 61000-4-3 wird mit den verschiedenen Leitungen durchgeführt. Hierbei zeigt sich, dass die beiden geschirmten Leitungen im Frequenzbereich 80 MHz bis 3 GHz mindestens 20 V/m im Kriterium A während der Störeinwirkung betrieben werden können und die ungeschirmte Leitung mit 10 V/m. Die beiden geschirmten

Leitungen sind somit in der Performance bei der Prüfung der gestrahlten Störfestigkeit vergleichbar.

Da die Leitungslängen nur 3 m bis 5 m betragen, kann es sein, dass die Fehlerrate bei längerer Leitung durch eine stärkere Kopplung zunimmt.

Vergleich der Abstrahlung

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Störabstrahlung bei Verwendung verschiedener Ethernet-Leitungen.

Aus Abbildung 13 und Abbildung 14 geht hervor, dass die gestrahlte Störaussendung bei ungeschirmter Ethernet-Leitung teilweise um bis zu 20 dB höher ist, als bei den beiden geschirmten Varianten. Die Unterschiede zwischen CAT5E SF/UTP und CAT8.1 S/FTP fallen dagegen geringer aus.

Ethernet Kabel - QP vertikale gestrahlte Emissionen

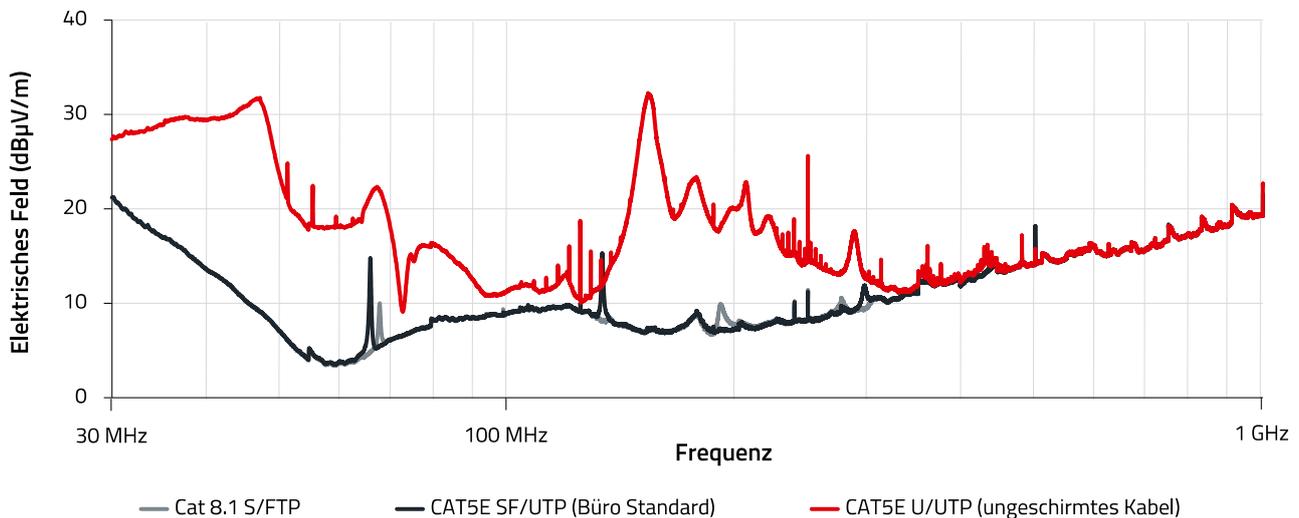


Abbildung 13: Vergleich der gestrahlten Störungen verschiedener Leitungen bei integriertem Schnittstellendesign – vertikale Polarisation

Ethernet Kabel - QP horizontal gestrahlte Emissionen

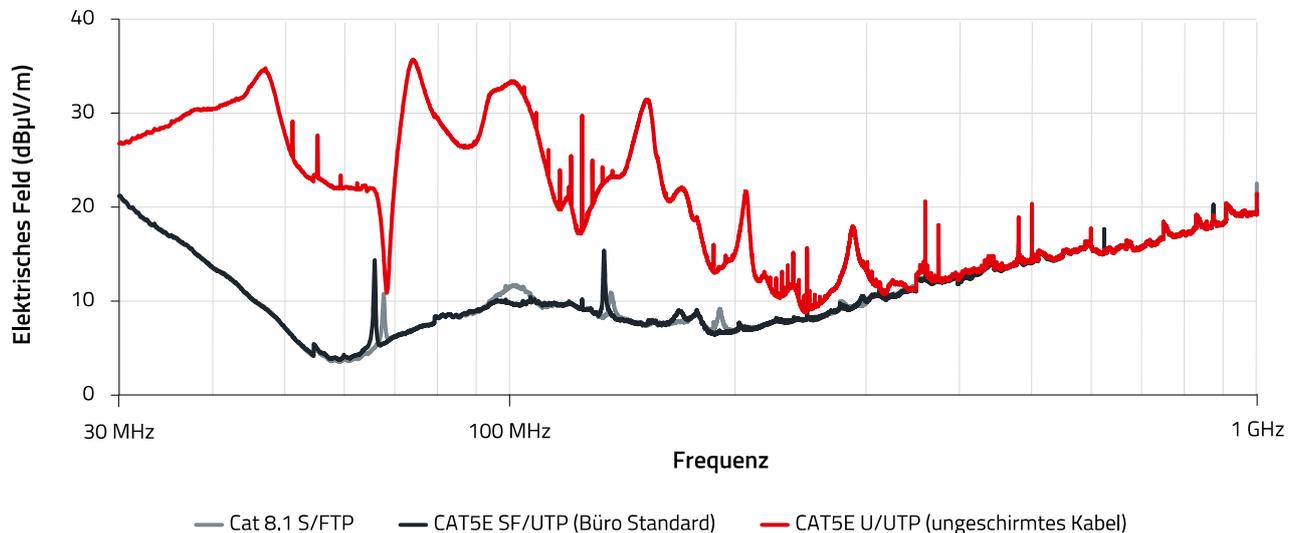


Abbildung 14: Vergleich der gestrahlten Störungen verschiedener Leitungen bei integriertem Schnittstellendesign – horizontale Polarisation

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Teilweise reduziert die Verwendung der deutlich höherwertigen CAT8.1 Leitung die Störaussendung im Fernfeld um 5 dB.

Beim Betrieb mit beiden geschirmten Leitungen befindet sich das Störspektrum nahe dem Grundrauschen.

Ethernet-Leitungen für die weitere Betrachtung

Da die Ergebnisse der beiden geschirmten Leitungen ähnlich sind, werden die weiteren Prüfungen und Messungen mit CAT5E SF/UTP (geschirmt) und CAT5E U/UTP Leitungen durchgeführt.

4.5 Schirmkontaktierung

Wie schon im Kapitel 4.4 erwähnt, können verschiedene Anschlüsse, bzw. Kontaktierungen des Schirms (Ethernet-Buchse) zur Elektronik (Groundplane) Auswirkungen auf das EMV-Verhalten haben. Hierzu werden verschiedene Kontaktierungen verglichen:

3. Volle Kontaktierung: Schirm der Buchse (Chassis) wird direkt, flächig mit der Groundplane der Platine verbunden.
4. 1 nF Y-Kondensator: Klassischer Anschluss, oftmals in Onlinequellen erwähnt und bestehend aus einem SMD Y-Kondensator und einem parallel geschalteten 1 M Ω SMD Widerstand.
5. 2 · 10 nF MLCC Kondensatoren: Kapazitiver Schirmanschluss, bestehend aus zwei 10 nF MLCCs (100 V Typ) mit einem parallelen SMD Varistor. Der Varistor schützt die Kondensatoren vor Beschädigungen transienter Überspannungen.
6. 1 · 10 nF MLCC Kondensator: Kapazitiver Schirmanschluss, bestehend aus einem 10 nF MLCC (100 V Typ) mit einem parallelen SMD Varistor. Der Varistor schützt den Kondensator vor Beschädigungen transienter Überspannungen.

Die verschiedenen Schirmanschlüsse werden im Folgenden miteinander verglichen.

Leitungsgeführte Störaussendung

Nach CISPR 32 wird die asymmetrische Störung auf der Ethernet-Leitung mittels CDN geprüft. Es wird eine ungeschirmte Leitung CAT5E U/UTP mit einer geschirmten Leitung CAT5E SF/UTP mit verschiedenen Schirmanschlüssen verglichen.

Ethernet-Netzwerke werden in zwei grundsätzlich verschiedenen Auslegungen, geschirmt und ungeschirmt, betrieben. Der Unterschied in der leitungsgeführten Störaussendung ist in Abbildung 22 aufgezeigt. Es ist, wie auch schon in der gestrahlten Betrachtung in Abbildung 13 und Abbildung 14 aufgezeigt ersichtlich, dass die Störungen auf der ungeschirmten Leitung 20 dB höher ist.

Wird eine geschirmte Ethernet-Buchse mit nur einem Kondensator an die Massefläche der Baugruppe angeschlossen, so ist diese Ausführung nicht symmetrisch. Dies kann Auswirkungen auf die EMV-Performance haben, da die Störströme ungleichmäßig in der Platinenstruktur über Kopplungseffekte verteilt werden.

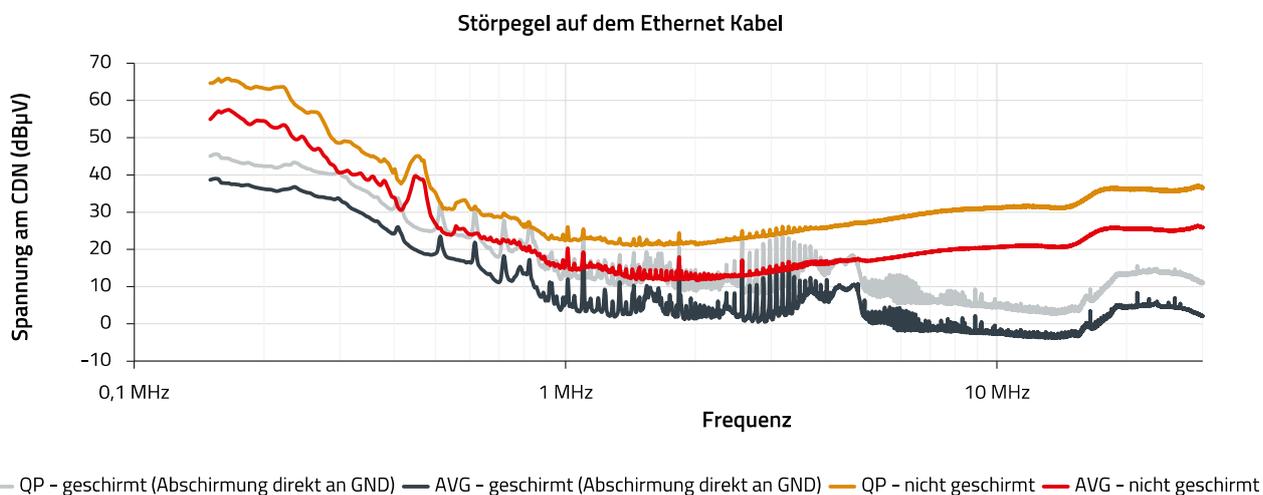


Abbildung 15: Vergleich der Störspannung mit geschirmter Leitung und ungeschirmter Leitung

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

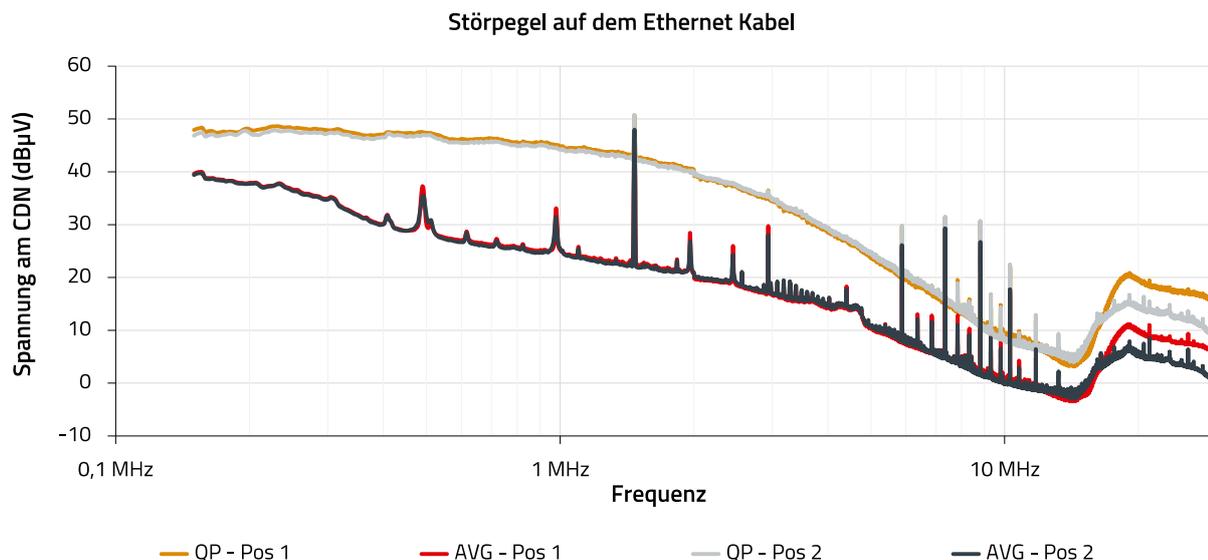


Abbildung 16: Leitungsführte Störaussendung auf dem Ethernet-Kabel. Schirmanschluss mit 10nF MLCC und einem Varistor, wobei beide Komponenten gegenüberliegend sind. Graue vs. rote Kurve: Die Position der beiden Komponenten wurde getauscht

Abbildung 16, aber auch Abbildung 18 (gestrahltes Frequenzspektrum) zeigen, dass die Position des Kondensators (rechts- oder linksseitig des Steckverbinders) einen Einfluss auf die Störaussendung haben kann. Es empfiehlt sich daher ein beidseitiger Anschluss.

Die verschiedenen Schirmkontaktierungen werden durch die Messung der asymmetrischen leitungsführten Störaussendung auf dem Kabelschirm geprüft.

Aus Abbildung 17 ergibt sich, dass eine direkte, d. h. niederimpedante galvanische Verbindung (dunkelblaue Kurve in Abb. 17) aus EMV-Sicht zu bevorzugen ist. Die häufig erwähnte Kontaktierung mit einem 1 nF Y-Kondensator hat

im Frequenzbereich bis 30 MHz die höchste Störemission. Falls eine kapazitive Trennung zwischen Schirm und Groundplane, d.h. Masse benötigt wird, empfiehlt sich aus EMV-Sicht die Konfiguration mit zwei 10 nF Kondensatoren und einem Varistor.

Gestrahlte Störaussendung

Die leitungsführt gemessenen Konfigurationen wurden nun auch in der Funkstörfeldstärke überprüft. Die Ergebnisse sind bereits in Abbildung 13 und Abbildung 14 aufgezeigt.

Die Störaussendung ungeschirmter Leitungen sind 20 dB höher, als die von geschirmten Leitungen.

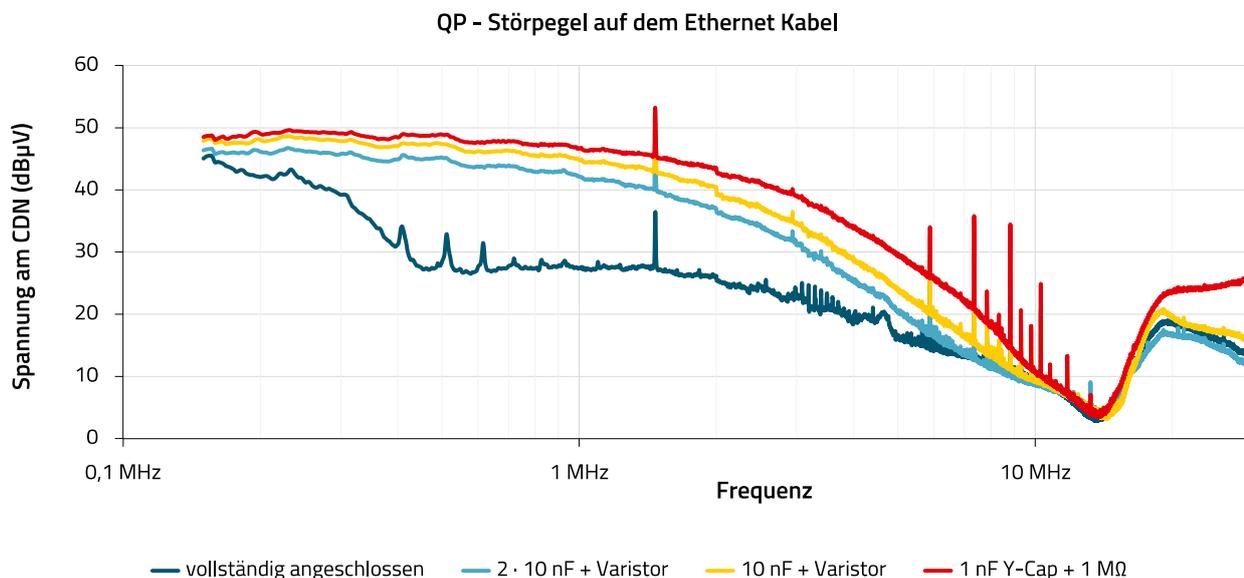


Abbildung 17: Leitungsführte Störungen (Quasipeak Detektor) bei verschiedenen Schirmanschlüssen

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

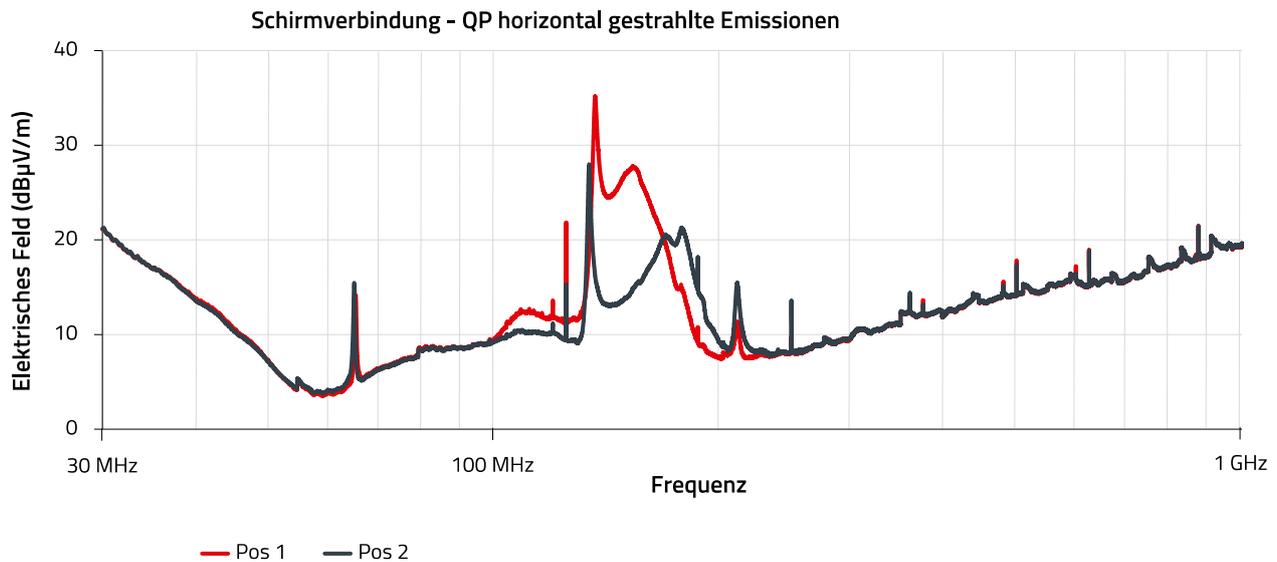


Abbildung 18: Gestrahlte Störaussendung in horizontaler Polarisation mit Kontaktierung des Ethernet-Leitungsschirms mit einem 10nF MLCC-Kondensator und einem Varistor, wobei beide Komponenten gegenüberliegend sind. Die Position der beiden Komponenten wird getauscht (rot vs. grau)

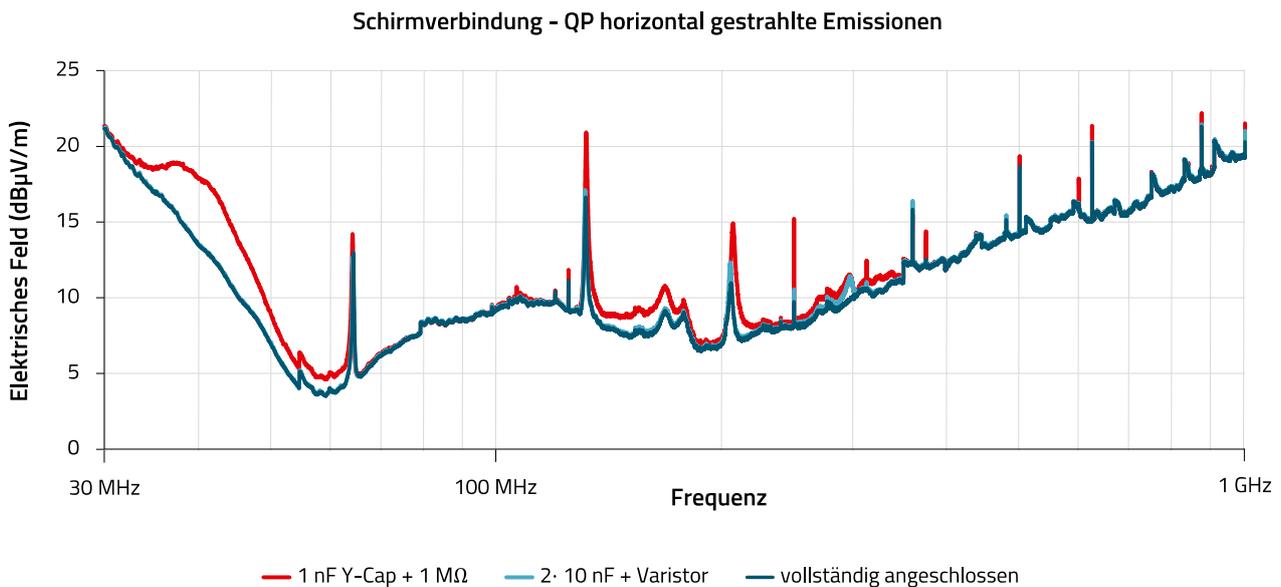


Abbildung 19: Gestrahlte Störaussendung bei verschiedenen Schirmkontaktierungen in horizontaler Antennenpolarisation

Auch in der Funkstörfeldstärke wurde der Vergleich der Position des einzelnen Kondensators geprüft. Der Unterschied ist in der gestrahlten Störaussendung in Abbildung 18 im Vergleich zur leitungsgeführten Störaussendung in Abbildung 18 deutlicher zu erkennen. Je nach Position des Kondensators kann sich die Aussendung um 10 dB ändern. Wenn dies im PCB Layoutprozess nicht, z.B. durch vorherige Versuche, vorherbestimmt werden kann, ist die Effektivität des Schirmanschlusses in der Applikation Glückssache.

Wie auch schon zuvor leitungsgeführt geprüft, sollen auch bei der gestrahlten Störaussendungsprüfung verschiedene

Schirmkontaktierungen verglichen werden. Es wurde in der Messung zuvor gezeigt, dass bei der Verwendung eines Kondensators die Position relevant sein kann. Dies wurde in Abbildung 19 bereits beachtet. Hier werden die direkte, galvanische Schirmkontaktierung, die zwei 10 nF-Kondensator-Verbindungen und die Kontaktierung mit nur einem 1 nF Y-Kondensator verglichen.

Es ergibt sich aus Abbildung 19, dass die Störaussendung bei einem Schirmanschluss mit zwei 10 nF-Kondensatoren vergleichbar ist mit der direkten, galvanischen Schirmanbindung zur Grundplane.

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Die Schirmkontaktierung mit einem 1 nF Y-Kondensator ist bis zu 5 dB schlechter im Vergleich mit den beiden anderen Varianten.

4.6 Gestrahlte Störaussendung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der gestrahlten Störaussendung aufgezeigt und die Ergebnisse zwischen diskretem und integriertem Aufbau verglichen.

In den Kapiteln 4.4 und 4.5 wurden bereits viele Ergebnisse des Referenz Designs mit integriertem Ethernet Übertrager aufgezeigt. In den folgenden Unterpunkten wird an entsprechenden Stellen auf diese bereits aufgezeigten Ergebnisse verwiesen.

Messergebnisse bei integriertem Aufbau der Ethernet-Schnittstelle

Die Ergebnisse sind in Abbildung 7, Abbildung 8, Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellt.

Messergebnisse bei diskretem Aufbau der Ethernet Schnittstelle

Im diskreten Aufbau wird das Reference Design mit ungeschirmter Leitung und geschirmter CAT5E SF/UTP Leitung mit den beiden Schirmkontaktierungen 2 · 10 nF Kondensatoren, Varistor und mit 1 nF Y-Kondensator geprüft. Wie die folgenden Abbildungen zeigen, ist wie auch beim diskreten Aufbau, die Schirmkontaktierung mit 2 · 10 nF zu bevorzugen, falls eine direkte Schirmkontaktierung nicht möglich ist.

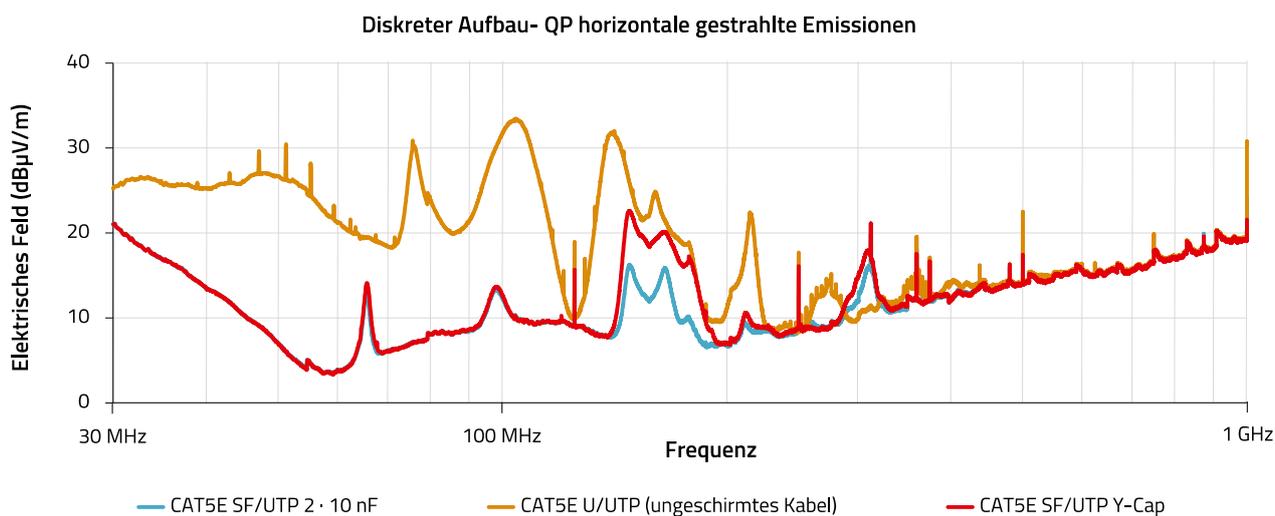


Abbildung 20: Gestrahlte Störaussendung bei verschiedenen Schirmkontaktierungen in horizontaler Antennenpolarisation

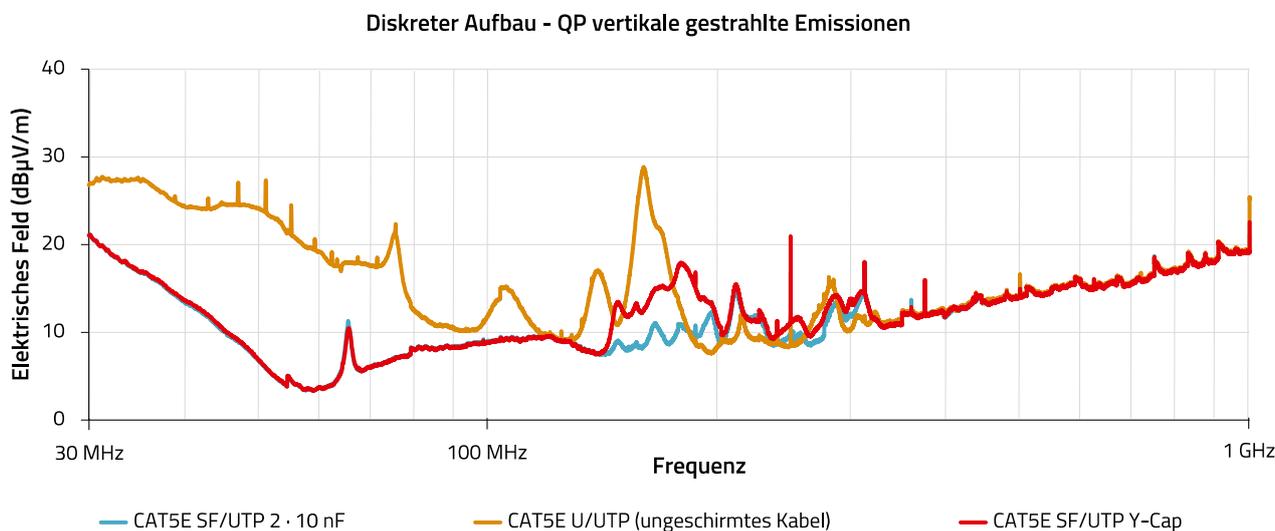


Abbildung 21: Gestrahlte Störaussendung bei verschiedenen Schirmkontaktierungen in vertikaler Antennenpolarisation

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Direkter Vergleich des integrierten und des diskreten Schnittstellendesigns

Folgend werden die beiden Designs bei verschiedenen Schirmkontaktierungen direkt verglichen.

Die Messergebnisse der gestrahlten Störaussendung werden mit den zutreffenden Klasse B Grenzwerten aus der Norm CISPR32 verglichen.

Die Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen, dass die Störaussendungen der beiden Designs beim Einsatz einer ungeschirmten Leitung vergleichbar sind. Das Board mit integrierter Ethernet-Buchse zeigt tendenziell in manchen Frequenzbereichen eine etwas höhere Emission.

Beide Designs sind im Betrieb mit ungeschirmter Leitung unterhalb des Klasse B Grenzwerts für den Wohnbereich und bestehen die Prüfung.

Beim Einsatz ungeschirmter Leitungen ist der Abstand zum Grenzwert allerdings gering. Der Einsatz geschirmter Leitungen reduziert das gestrahlte Störspektrum deutlich.

Die geringere Emission des Aufbaus mit diskreten Komponenten hat verschiedene Ursachen. Die Verwendung eines maschinell gewickelten Übertragers ermöglicht eine höhere Symmetrie der symmetrischen Schnittstelle. Hingegen führt die Integration der Komponenten zur integrierten Ethernet-Buchse zu einer hohen Packungsdichte der Bauelemente und so zu höheren Kopplungen von elektrischen und magnetischen Feldern zwischen den Bauelementen, wodurch die Abstrahlung über das Ethernet-Kabel steigt.

Durch den Einsatz einer geschirmten Leitung wird in beiden Designs das gestrahlte Störspektrum in seiner Amplitude gesenkt.

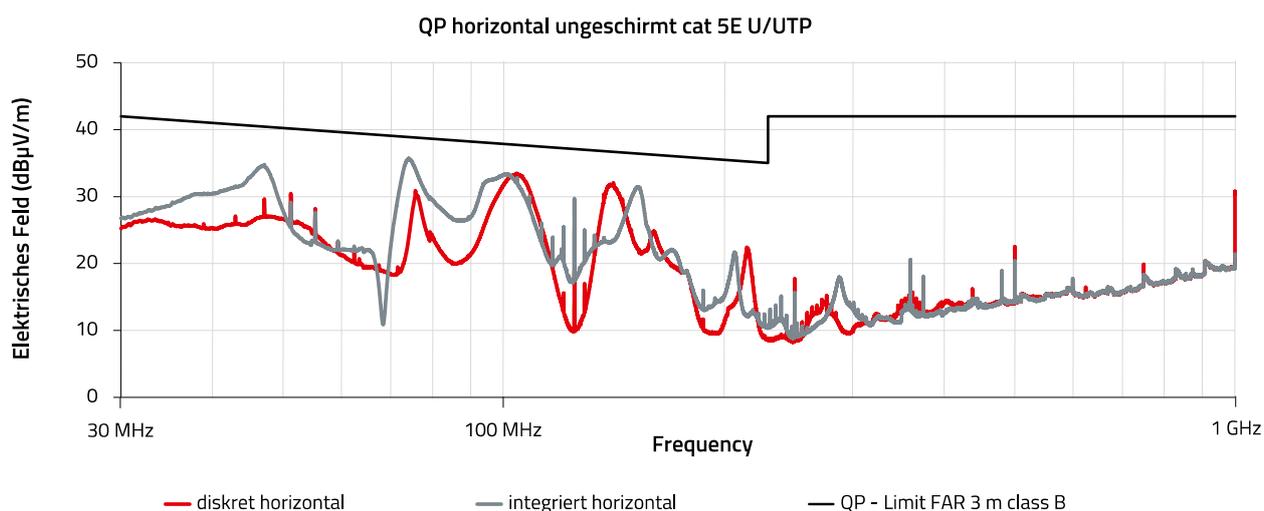


Abbildung 22: Gestrahlte Störaussendung bei ungeschirmten Leitungen in horizontaler Antennenpolarisation

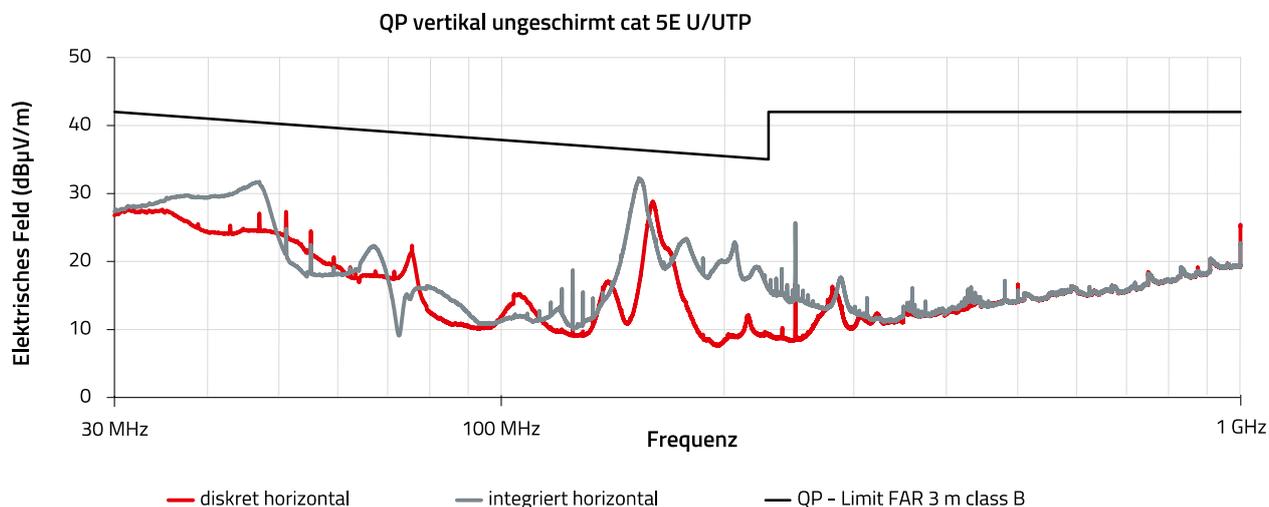


Abbildung 23: Gestrahlte Störaussendung bei ungeschirmten Leitungen in vertikaler Antennenpolarisation

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

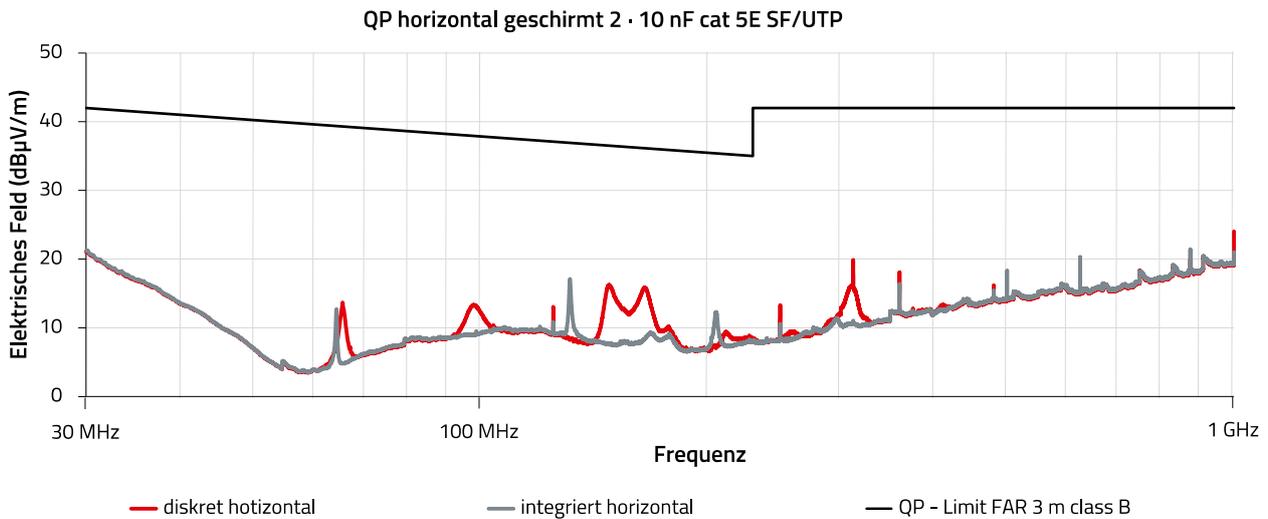


Abbildung 24: Gestrahlte Störaussendung bei der Schirmkontaktierung mit zwei 10 nF-Kondensatoren in horizontaler Antennenpolarisation

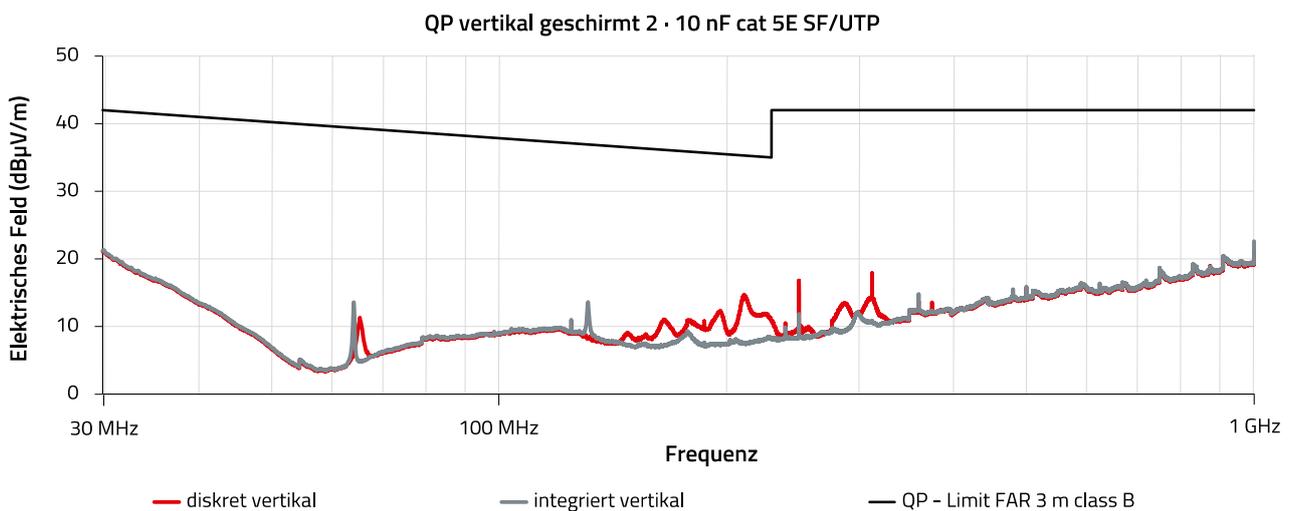


Abbildung 25: Gestrahlte Störaussendung bei der Schirmkontaktierung mit zwei 10 nF-Kondensatoren in vertikaler Antennenpolarisation

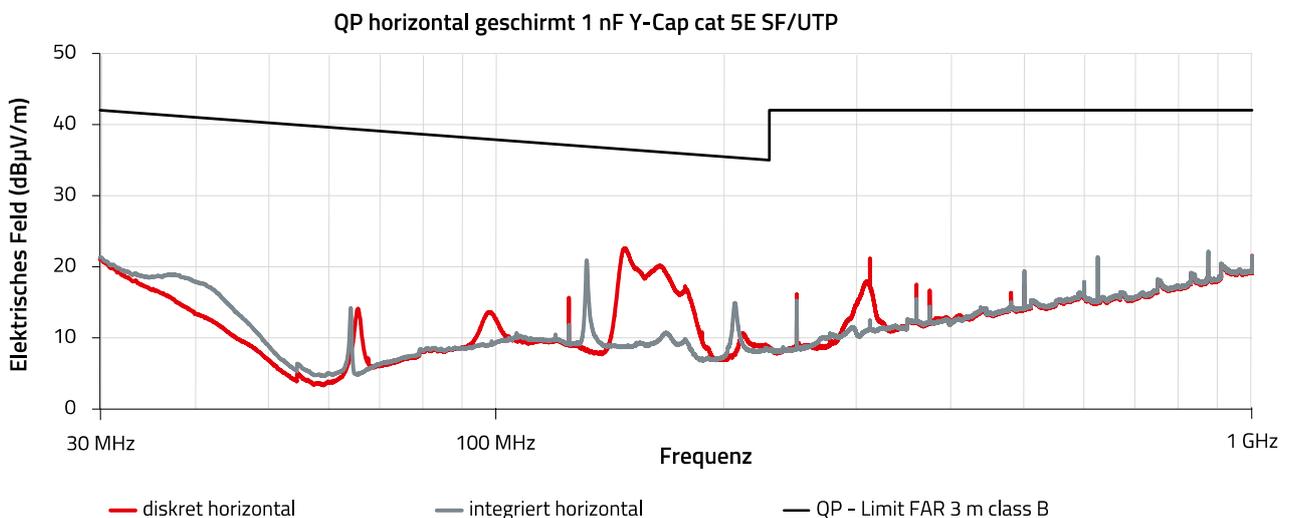


Abbildung 26: Gestrahlte Störaussendung, Schirmanschluss über einen 1 nF Y-Kondensator in horizontaler Antennenpolarisation.

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

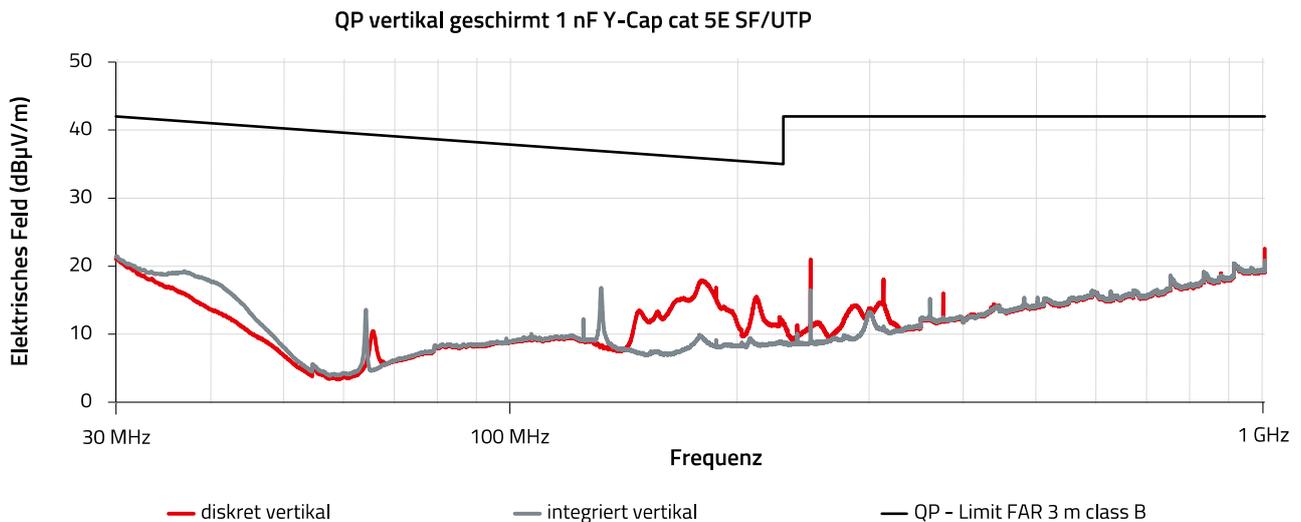


Abbildung 27: Gestrahlte Störaussendung, Schirmanschluss über einen 1 nF Y-Kondensator in vertikaler Antennenpolarisation

Wie schon zuvor festgestellt ist die Schirmkontaktierung mit zwei 10 nF-Kondensatoren bevorzugt zu nutzen.

Die Designs unterscheiden sich in der Abstrahlung, sind aber im Abstand zum Grenzwert vergleichbar. Das diskrete Design sendet etwas breitbandigere Störungen aus.

4.7 Leitungsgeführte Störaussendung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der leitungsgeführten Störaussendung aufgezeigt und die Ergebnisse zwischen diskretem und integriertem Aufbau verglichen.

In den Kapiteln 4.4 und 4.5 wurden bereits viele Ergebnisse des Referenz Designs mit integriertem Ethernet-Übertrager aufgezeigt. In den folgenden Unterpunkten wird gegebenenfalls auf diese bereits aufgezeigten Ergebnisse verwiesen.

Messergebnisse bei integriertem Aufbau der Ethernet Schnittstelle

Die Ergebnisse sind in Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 dargestellt.

Messergebnisse bei diskretem Aufbau der Ethernet Schnittstelle

Wie aus den vorherigen Ergebnissen zu erwarten ist, ist auch beim diskreten Design die Störaussendung bei geschirmter Leitung geringer. In Abbildung 28 werden eine Schnittstelle mit galvanischer, direkter Schirmkontaktierung und CAT5E SF/UTP Leitung mit einer Schnittstelle mit ungeschirmter CAT5E U/UTP Leitung verglichen. Es zeigt sich deutlich, dass der Störpegel bei einer Schnittstelle mit geschirmten und galvanisch direkt angeschlossenen Kabelschirm über das gesamte Frequenzband niedriger ist.

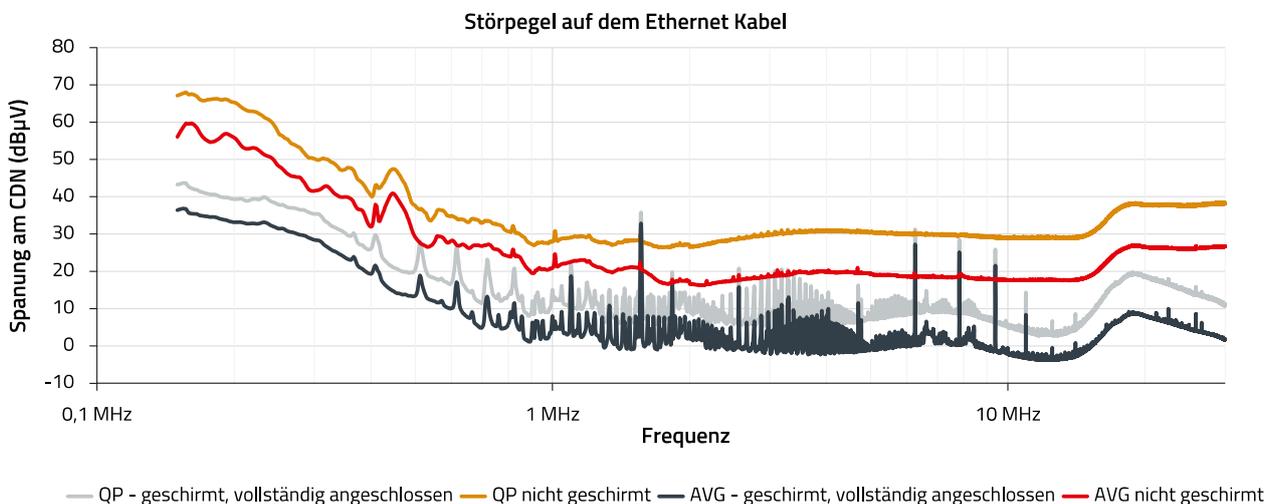


Abbildung 28: Vergleich zwischen geschirmter und galvanisch direkt kontaktierter und ungeschirmter Leitung

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Die leitungsgeführte Störausendung der beiden zuvor vorgeschlagenen Schirmanschlüsse werden in Abbildung 29 verglichen.

Auch im diskreten Aufbau hat die Schirmkontaktierung mit einem 1 nF Y-Kondensator eine höhere Störausendung und die Kontaktierung mit zwei 10 nF-Kondensatoren und einem Varistor ist zu bevorzugen.

Vergleich integriertes und diskretes Schnittstellendesign

Die beiden Designs werden nun in den verschiedenen Schirmankontaktierungen verglichen.

Die Messergebnisse der leitungsgeführten Störausendung auf Netzwerkleitungen werden mit den zutreffenden Class B Grenzwerten verglichen.

Bei der Verwendung ungeschirmter Leitungen sind die beiden Designs Großteils ähnlich in ihrer Emission (Abbildung 24). Die Störausendung im diskreten Aufbau ist teilweise geringfügig höher.

Beide Designs sind durchgängig mindestens 10 dB unter den Klasse B Grenzwerten.

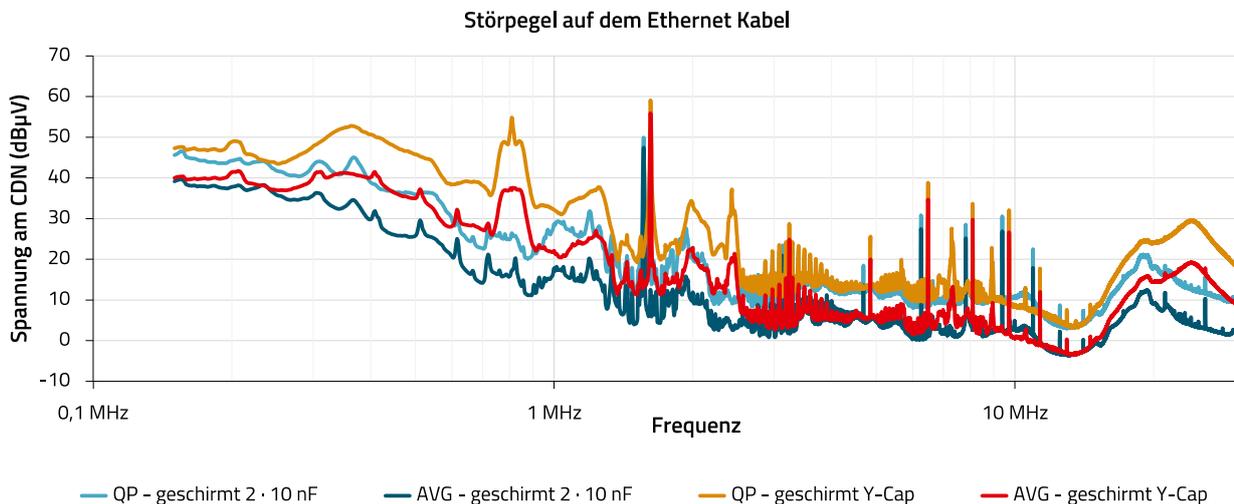


Abbildung 29: Leitungsgeführte Störungen bei verschiedenen Schirmkontaktierungen

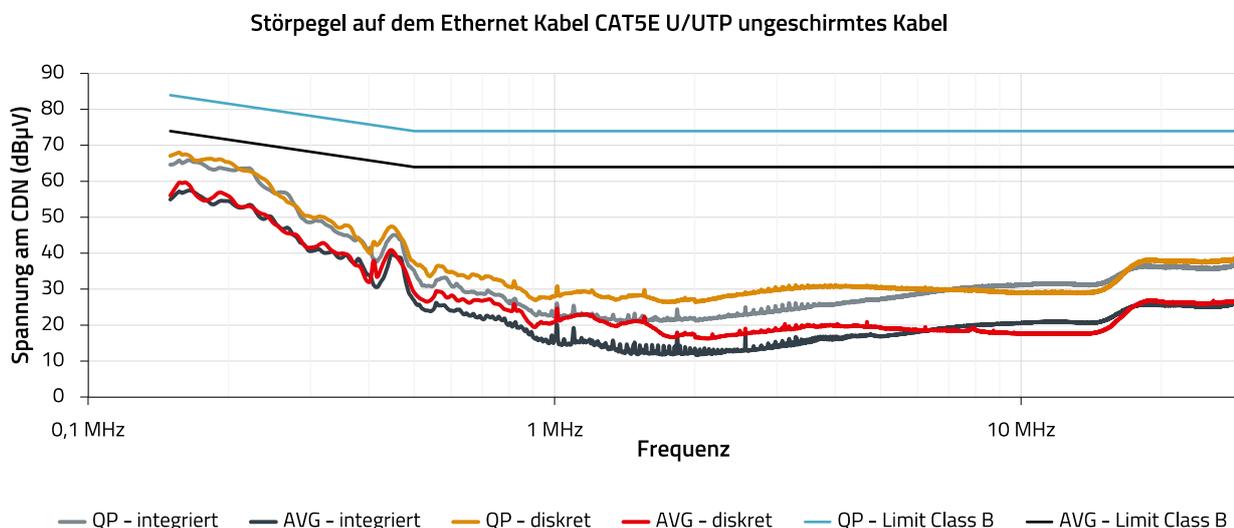


Abbildung 30: Leitungsgeführte Störausendung bei ungeschirmten Leitungen, Vergleich zwischen diskretem und integriertem Design

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

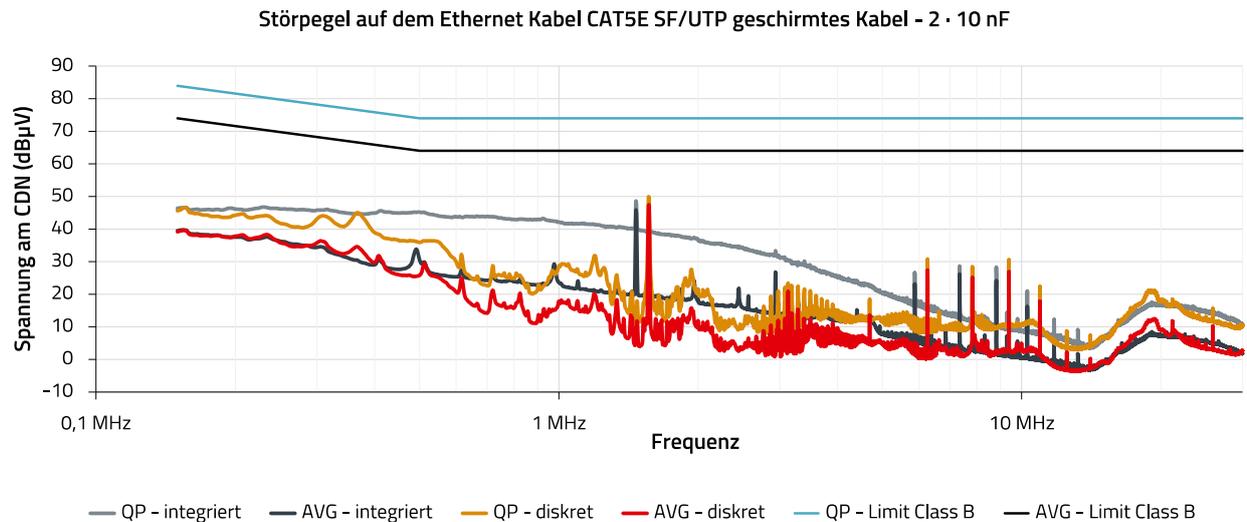


Abbildung 31: Leitungsführte Störaussendung mit geschirmter CAT5E SF/UTP Leitung. Schirmkontaktierung mit zwei 10nF Kondensatoren und einem Varistor

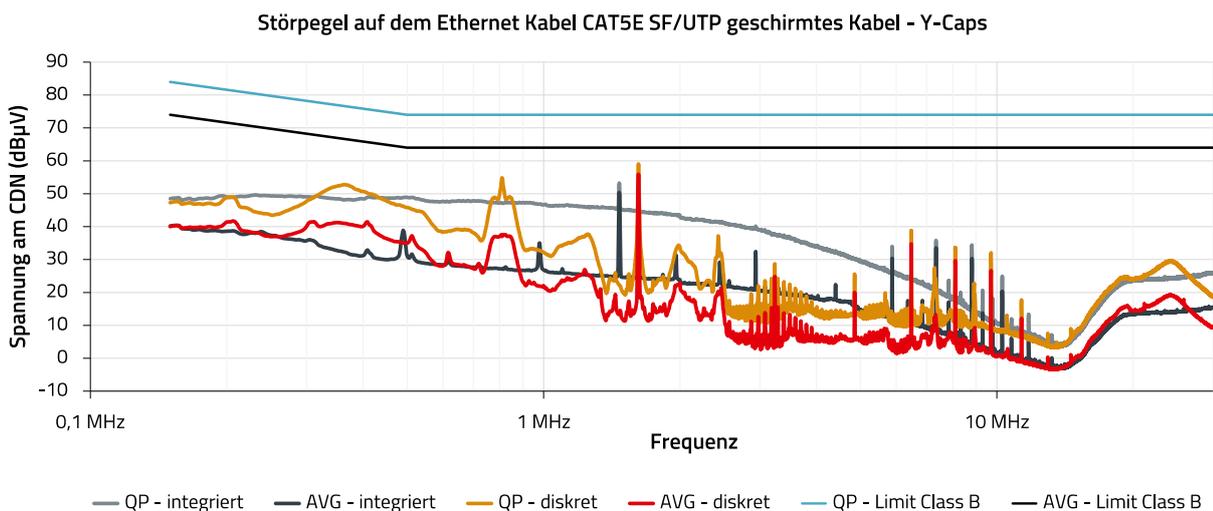


Abbildung 32: Leitungsführte Störaussendung mit geschirmter CAT5E SF/UTP Leitung. Schirmkontaktierung mit einem 1 nF Y-Kondensator und einem 1 MΩ Widerstand

Die in Abbildung 31 verglichenen Schirmkontaktierungen unterscheiden sich im leitungsführten Störspektrum. Der Pegel der einzelnen Peaks ist ähnlich.

Beide Designs sind mehr als 10 dB unter dem Klasse B Grenzwert. Das Emissionsspektrum beider Schnittstellen ist mit der Schirmkontaktierung mit zwei 10 nF Kondensatoren aus Abbildung 31 niedriger als mit der Schirmkontaktierung über den Y-Kondensator in Abbildung 32.

Abbildung 32 zeigt, dass bei der Schirmkontaktierung mit einem Y-Kondensator das integrierte Design vorteilhafter ist. Allerdings steigt der Störpegel beider Designs im Vergleich zu Abbildung 31. Der Abstand zum Grenzwert ist dadurch reduziert und der Vorteil der Schirmung entfällt durch die zu

kleine Kapazität des Kondensators und der höheren parasitären Induktivität zwischen Schirm und Masse. Besonders im Bereich der leitungsführten Störungen sind die Nachteile der Schirmkontaktierung mit Y-Kondensator ersichtlich. Das diskrete Design ist bei 1,6 MHz nur noch 8 dB unter dem Mittelwertgrenzwert.

4.8 Gestrahlte Störfestigkeit

Die gestrahlte Störfestigkeit wird nach der Norm IEC 61000-4-3 geprüft. Die Einwirkzeit des Feldes wird mit drei Sekunden gewählt, um einen kompletten Kommunikationszyklus zu prüfen. Die Bewertungskriterien aus Tabelle 1 werden angewandt. Da die IEC 61000-4-3

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

kontinuierliche Störgrößen modelliert, die durch Rundfunksender und andere Funkanlagen ausgesendet werden, wird das Bewertungskriterium A angewandt. Hintergrund ist, dass diese Funksender kontinuierlich senden. Sollte also ein Funktionsfehler bei der Einwirkung dieser Störgrößen auftreten, könnte dieser Umstand später im Feld zur Unbenutzbarkeit der Applikation führen.

Die Designs verhalten sich bei der Prüfung gleich, weshalb nachfolgend nur nach geschirmten und ungeschirmten Ethernet-Kabeln unterschieden wird.

Ungeschirmte Ethernet-Leitung

Beide Designs bestehen die Prüfung mit den Pegeln nach Tabelle 2 und bestehen damit die Anforderungen an die Störfestigkeit des industriellen Anwendungsbereichs.

Frequenzbereich (MHz)	Störfestigkeitspegel (V/m)
80 - 1000	10
1000 - 3000	20

Tabelle 2: Störfestigkeitspegel der gestrahlten Störfestigkeit bei ungeschirmten CAT5E U/UTP Leitungen

Bei höheren Prüfpegeln bricht die Datenrate ein und es kommt teilweise zu Verbindungsabbrüchen. Da im industriellen Bereich ungeschirmte Ethernet-Leitungen unüblich sind, ist ein guter Sicherheitsabstand für den Wohnbereich, in dem üblicherweise ungeschirmte Ethernet-Leitungen verwendet werden, gegeben.

Geschirmte Ethernet-Leitung

Die mit zwei 10 nF Kondensatoren oder einem 1 nF Y-Kondensator kontaktierten Kabelschirme können bei der maximal zur Verfügung stehenden Prüffeldstärke (siehe Abbildung 33) im Bewertungskriterium A betrieben werden.

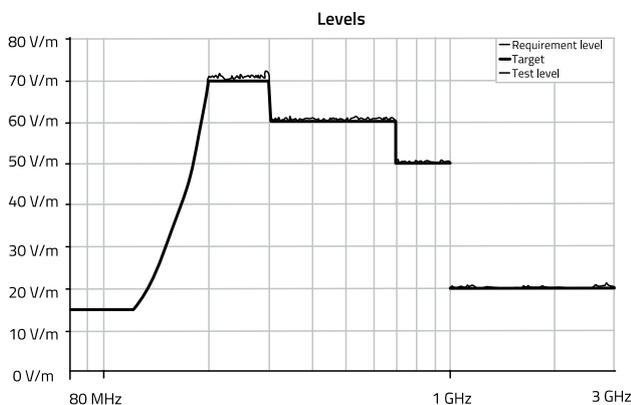


Abbildung 33: Maximal zur Verfügung stehende Feldstärke im EMV-Labor

Da im industriellen Umfeld im Frequenzbereich bis 1 GHz nur 10 V/m an Störfestigkeitspegel gefordert ist, ist bei den

geschirmten Designs eine deutlich höhere Störfestigkeit als gefordert gegeben.

4.9 Leitungsgeführte Störfestigkeit

Die leitungsgeführte Störfestigkeit wird nach der Norm IEC 61000-4-6 durchgeführt. Die leitungsgeführte Störfestigkeit erweitert die Prüfungen kontinuierlicher Störgrößen im Frequenzbereich unter 80 MHz und stellt eine Kopplung durch angeschlossene Leitungen in das Gerät nach. Hierbei geht man davon aus, dass Störungen im Frequenzbereich von 150 kHz bis 80 MHz vorwiegend durch als Antenne dienende angeschlossene Leitungen eingekoppelt werden. Da eine direkte Kopplung in die Schnittstelle physikalisch einfacher ist als die Erzeugung eines großen elektrischen Homogenfeldes, wird hierfür das CDN-Verfahren genutzt. Da die Störungen als kontinuierlich angenommen werden, gelten die gleichen Bewertungskriterien wie im vorherigen Kapitel 4.8. Auch wenn die USB-Leitung länger als 3 m sein kann, wird die Störfestigkeitsprüfung an dieser Schnittstelle hier nicht durchgeführt, da der Fokus dieser App Note auf der Ethernet-Schnittstelle liegt.

Ungeschirmte Ethernet-Leitungen

Bei der leitungsgeführten Störfestigkeitsprüfung unterscheiden sich die möglichen Prüfpegel der beiden Designs.

Design	Prüfpegel 150 kHz – 80 MHz
Integrierte Ethernet-Buchse	10 V
Diskreter Ethernet Aufbau	3 V

Tabelle 3: Leitungsgeführte Störfestigkeitspegel bei ungeschirmten Leitungen im Bewertungskriterium A

Der integrierte Aufbau kann mit dem höheren Prüfpegel für industrielle Applikationen das Performancekriterium A erfüllen. Das diskrete Referenzdesign erfüllt die Anforderungen an den Wohnbereich. Da ungeschirmte Ethernet-Leitungen im industriellen Umfeld unüblich sind, ist die Performance ausreichend.

Geschirmte Ethernet-Leitungen

Beide Designs verhalten sich bei einer Schirmkontaktierung mit zwei 10 nF Kondensatoren und einem Varistor ähnlich. Die Störfestigkeitsprüfungen wurden mit einem Pegel von 20 V durchgeführt, beide Designs konnten das Performancekriterium A erfüllen. Bei der Schirmkontaktierung mit einem 1 nF Y-Kondensator besteht das integrierte Designs das Performancekriterium A mit einem Pegel von 10 V. Das diskrete Board besteht das Kriterium A mit 20 V. In

allen Konfigurationen wird somit mindestens die industrielle Störfestigkeitsanforderung von 10 V erfüllt.

Design	Prüfpegel 150 kHz – 80 MHz	
	Schirmanbindung 1 nF Y-Kondensator	Schirmanbindung 2 · 10 nF MLCC
Integrierte Ethernet-Buchse	10 V	20 V
Diskreter Ethernet Aufbau	20 V	20 V

Tabelle 4: Leitungsgeführte Störfestigkeitspegel bei geschirmten CAT5E SF/UTP Leitungen im Bewertungskriterium A

4.10 Transiente Störfestigkeit, Burst

Burst Pakete entstehen beim Schalten induktiver Stromkreise am Schaltkontakt, da beim Öffnen des induktiven Stromkreises die Spannung am Schaltkontakt bis zur Funkenbildung ansteigt. Die Burststörungen koppeln dabei stark in die Leitungsstruktur, z. B. parallel liegende Leiter. Da die Burstpulse beim Schalten induktiver Lasten auftreten und nicht als Dauerstörgröße, wird das Bewertungskriterium B angewandt. An dieser Stelle soll aber darauf hingewiesen werden, dass das Kriterium B vielleicht aus normativer Sicht ausreichend ist, aber im realen, täglichen Betrieb eventuell zu größeren Problemen führt. Hierzu dient das Beispiel eines Sensors, der bei der Burstbeeinflussung kurzzeitig ausfällt (beispielsweise eine Lichtschranke) und nach Beendigung des Tests wieder voll funktionsfähig ist. Dies mag für den Sensor als Bewertungskriterium B in Ordnung sein, aber wenn der Sensor in einer übergeordneten Anlage eingebaut wird, kann dies zu einem Anlagen-Nothalt führen (Bewertungskriterium C + Bandstillstand). Hier gilt es bei Subsystemen sicherzustellen, dass diese später auch die Anforderungen der Gesamtanlage erfüllen. Dies gilt es auch beim Ethernet Design zu beachten und der Anwender des Reference Designs muss entscheiden, ob das Kriterium B ausreichend ist. Eine EMV Risikoanalyse kann hier Aufschluss geben. Beachtet werden muss hierbei, dass Bursts in der Praxis ein sehr häufiges Phänomen darstellen.

Die Norm IEC 61000-4-4 beschreibt zwei verschiedene Prüfsignale mit jeweils unterschiedlicher Wiederholrate der einzelnen Burstpulse:

1. 5 kHz Wiederholrate: Historisch gewachsenes Prüfsignal, welches in den meisten Produktstandards immer noch bevorzugt wird.
2. 100 kHz Wiederholrate: Realistischere Signalform

Aus den Erfahrungen im EMV-Laborbetrieb zeigt sich, dass Prüflinge in seltenen Fällen nur bei einem Signaltyp eine

Reaktion zeigen. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, mit beiden Signalen zu prüfen. Die folgenden Prüfungen werden sowohl mit einer Wiederholrate von 5 kHz als auch mit 100 kHz durchgeführt.

Auch wenn die USB-Leitung länger als 3 m sein kann, wird die Störfestigkeitsprüfung hier nicht durchgeführt, da der Fokus dieser App Note auf der Ethernet Schnittstelle liegt.

Ungeschirmte Ethernet-Leitung

Beide Referenz Designs haben beim Betrieb mit einer ungeschirmten CAT5E U/UTP Leitung während der Störfestigkeitsprüfung ein vergleichbares Verhalten. Ein Betrieb im Bewertungskriterium A ist während der Burst Einkopplung mittels kapazitiver Koppelzange bei ungeschirmten Leitungen nicht möglich. Allerdings können beide Designs bis 5,5 kV das Bewertungskriterium B erfüllen. Somit erfüllen die Designs bei der Benutzung ungeschirmter Leitungen zwar die Anforderungen der Produktstörfestigkeitsnormen, allerdings ist fraglich ob dies im späteren Einsatzbereich ausreichend ist. Im Wohnbereich, wo meistens ungeschirmte Ethernet-Leitungen eingesetzt werden, ist das Bewertungskriterium B ausreichend, da im Wohnbereich Bursts seltener auftreten und hier nur kurzzeitig die Datenrate im Heimnetzwerk reduziert wird.

Geschirmte Ethernet-Leitung

Beim Einsatz geschirmter Ethernet-Leitungen zeigen sich deutliche Performanceunterschiede in den beiden Schnittstellendesigns. Aus Tabelle 5 geht hervor, dass das diskrete Design deutlich höhere Prüfpegel im Bewertungskriterium A zulässt. Die Fachgrundnorm IEC 61000-6-2 für die Störfestigkeit im industriellen Umfeld fordert ein Prüfpegel von +/- 1 kV im Bewertungskriterium B auf Signal- und Steueranschlüssen.

Design	Burst Prüfpegel mit „Pass“ im Bewertungskriterium A		
	Schirmanbindung 1 nF Y-Kondensator	Schirmanbindung 2 · 10 nF MLCC	Galvanischer Schirmkontakt
Integrierte Ethernet-Buchse	Fail	1 kV	2 kV
Diskreter Ethernet Aufbau	1 kV	5 kV	5 kV

Tabelle 5: Performance bei der Störfestigkeitsprüfung mit 5 kHz und 100 kHz Burstpaketen

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Die Ergebnisse zeigen auf, dass die Schirmkontaktierung mit einem Y-Kondensator in beiden Designs im Vergleich zu einer direkten Kontaktierung oder einer Kontaktierung mit zwei Kondensatoren und einem Varistor nachteilhaft ist.

Der Aufbau einer diskreten Schnittstelle mit direkter, galvanischer Schirmanbindung lässt hohe Burstprüfpegel ohne Performanceverlust zu. Somit empfiehlt sich der Aufbau dieser Schnittstelle in EMV-Umgebungen mit hohen transienten Umgebungsstörungen. Die bessere Performance begründet sich, wie schon bei der Störemission erläutert, durch die Verwendung eines maschinell gewickelten Übertragers **749020310**. Dieser ermöglicht eine höhere Symmetrie der Schnittstelle und durch den diskreten Aufbau werden niedrigere Kopplungen von elektrischen und magnetischen Feldern zwischen den Bauelementen ermöglicht. Bei der Verwendung von Übertragern mit Ringkern im identischen diskreten Design muss somit nicht unbedingt das gleiche Immunity Level erreicht werden.

Das bedeutet, dass für Anwendungen mit hohem Performancelevel und hoher Burstbelastung ein diskreter Aufbau zu bevorzugen ist. Nichts desto trotz bestehen beide Designs die Anforderungen an die industrielle Störfestigkeit im Bewertungskriterium A – somit können für Standardapplikationen beide Designs bei der Wahl der richtigen Schirmanbindung verwendet werden.

4.11 Transiente Störfestigkeit Surge

Die Surgeprüfung wird nach der Norm IEC 61000-4-5 auf der Ethernet-Schnittstelle durchgeführt. Hier muss zwischen der Kopplung in geschirmte und ungeschirmte Leitungen unterschieden werden. Die IEC 61000-4-5 versteht unter geschirmter Leitung, dass der Schirm beidseitig an Erde angeschlossen ist. Somit müssen beide Geräte in der Endapplikation eine Schirmerdung aufweisen. Ist dies nicht der Fall, gilt die Schnittstelle als ungeschirmt und die Störung wird asymmetrisch in die Leitung eingekoppelt. Da der Gerätehersteller nicht sicherstellen kann, dass dieser Punkt in allen Konfigurationen in der späteren Anwendung abgedeckt ist, empfiehlt es sich, beide Konfigurationen zu testen.

Die USB-Schnittstelle ist eine lokale Punkt-zu-Punkt Schnittstelle, mit einer Leitungslänge deutlich unter 30 m. Aus diesem Grund wird die USB-Schnittstelle nicht geprüft.

Ungeschirmte Ethernet-Leitung

Die Surgeprüfung auf ungeschirmten Leitungen erfolgt bei beiden Designs mit Pegeln bis 3 kV. Das Notebook, das an der USB-Schnittstelle angeschlossen ist, wird mit Akku betrieben.

Der Surge wird mittels Highspeed CDN asymmetrisch eingekoppelt.

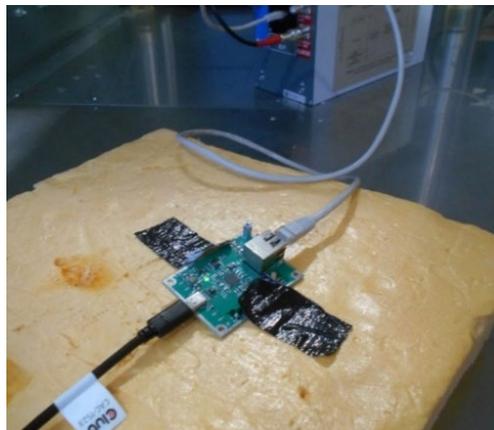


Abbildung 34: Surgeeinkopplung auf ungeschirmter Ethernet-Leitung mittels CNI 508N2 CDN

Das CDN koppelt den Surge in Richtung Prüfling ein und bietet eine Entkopplung auf der Ethernet-Leitung in Richtung des Notebooks. Die Prüfung kann bedingt durch die CDN Grenze bis maximal 3 kV erfolgen. Der Prüfaufbau soll den Aufbau der Schnittstelle eines ungeschirmten Gerätes ohne PE Anschluss nachstellen so, wie der Aufbau auch typischerweise bei IP-Telefonen oder kommerziellen für den Privatbereich ausgelegten Routern ist.

Geschirmte Ethernet-Leitung

Die Surgeimmunität wurde mit der Konfiguration aus Abbildung 35 geprüft. Beide Designs bestehen die Prüfung im Bewertungskriterium A mit geschirmter, 20 m langer CAT5E SF/UTP Leitung mit einem Prüfpegel von 5 kV und mit folgenden Schirmkontaktierungen:

1. 2 · 10 nF Kondensator und ein Varistor
2. Direkte galvanische Schirmanbindung
3. 1 nF Y-Kondensator



Abbildung 35: Prüfaufbau zur direkten Surgeeinkopplung auf den Leitungsschirm mit 2 Ω Generatorimpedanz. Surgeauskopplung mittels Krokodilklemme und Metallbolzen auf Höhe der Ethernet-Buchse – im Bild oben links

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

Der Aufbau aus Abbildung 35 geht davon aus, dass die spätere Endapplikation ein metallisches Chassis hat, das mit Erde verbunden wird. Aus diesem Grund wird der Surge nicht auf dem PCB Ground entkoppelt, sondern auf der Schirm GND-Plane. Somit fließt der hohe Prüfstrom nicht durch die Platine, sondern wird an der Verbindungstelle zum Chassis entkoppelt.

05. FAZIT

Die Referenz Designs zeichnen sich durch eine sehr hohe Störfestigkeit, eine geringe Störaussendung und hohe Datenübertragungsrate aus. Die Tabelle 6 gibt eine Übersicht über alle durchgeführten Prüfungen und die EMV-Performance der Gigabit-Ethernet Designs. Im Folgenden werden die wichtigsten Erkenntnisse der umfangreichen Prüfreihe kurz zusammengefasst.

Es wurde gezeigt, dass der Leitungstyp nicht zwangsläufig Auswirkungen auf das EMV-Verhalten hat. Vor allem der Unterschied zwischen geschirmter und ungeschirmter Ethernet-Schnittstelle sticht hervor. Die verschiedenen geschirmten Leitungen hatten bei Leitungslängen zwischen 3 m und 5 m keinen deutlichen Einfluss auf das EMV-Verhalten. Bei Prüfungen mit ungeschirmten Leitungen sind die gemessenen Störpegel in der Störaussendung deutlich höher und die Immunitätslevel geringer.

Eine direkte Schirmanbindung und unmittelbare, kurze und niederimpedante Verbindung zwischen Ethernet-Buchse und Groundplane ist aus EMV-Sicht ideal. Da diese Konstruktion jedoch teilweise den Anforderungen der elektrischen Sicherheit oder den funktionalen Aspekten (50 Hz Ausgleichsströme) widerspricht, kann eine kapazitive Kontaktierung erforderlich sein.

Bei kapazitiver Schirmkontaktierung mit einem Kondensator kann die Änderung der Seite, rechts oder links der Ethernet-Buchse, einen Unterschied im EMV-Verhalten machen. Wenn schon eine kapazitive Kontaktierung benötigt wird, empfiehlt sich daher eine Beidseitige. Empfohlen wird eine Kontaktierung mit zwei 10 nF Kondensatoren, um auch im niedrigeren Frequenzbereich eine niedrige Impedanz und somit Kontaktierung zu ermöglichen. Diese Schaltung kommt einer direkten Kontaktierung am Nächsten. Zum Schutz der Kondensatoren vor Beschädigung durch transiente Störungen wird ein paralleler SMD Varistor empfohlen.

Für eine hohe Störfestigkeit gegen kontinuierliche Störgrößen wird die Verwendung einer geschirmten Leitung empfohlen. Hierbei hat sich eine CAT5E SF/UTP Leitung bei kurzer Länge von 3 m bis 5 m als ausreichend gezeigt. Trotz hoher Störeinkopplung ist eine fehlerfreie und schnelle Datenübertragung möglich.

Die beiden Referenzdesigns unterscheiden sich im EMV-Verhalten vor allem in der Toleranz hoher Burstpegel. Bei erhöhter Performanceanforderung in EMV-Umgebungen mit sehr hohen Burstpegeln empfiehlt sich der Aufbau einer diskreten Ethernet-Schnittstelle, da hier die Störeinkopplung geringer ist. Ansonsten ist das EMV-Verhalten beider Boards größtenteils vergleichbar.

06. WEITERE INFORMATIONEN

Die für diese App Note genutzten Designs werden detailliert in der Reference Design Note [RDO16](#) beschrieben. Die Design Daten sind auf der Homepage der Würth Elektronik zur freien Verwendung zur Verfügung gestellt.

HW-Version	cable	radiated immunity 61000-4-3														conducted immunity 61000-4-6					Burst 61000-4-4					Surge 61000-4-5										
		emission class B		80 MHz - 1 GHz						1 GHz - 3 GHz		3 V		20 V			1 kV					2 kV					5,5 kV					crit. B lvl				
		radiated	conducted	3 V/m	10 V/m	20 V/m	30 V/m	max	10 V/m	20 V/m	3 V	10 V	20 V	1 kV	2 kV	4kV	5,5 kV	crit. B lvl	1	2	3	5 kV														
integrated V2.1 4 caps	cat5E U/UTP	pass	pass	nt	pass	fail	fail	nt	pass	pass	nt	pass	fail	nt	nt	200		nt	nt	nt	nt	nt														
	cat5E SF/UTP	pass	pass	nt	nt	nt	pass	pass	nt	pass	nt	nt	pass					nt	nt	nt	nt	nt														
	cat8.1 S/FTP	pass	nt	nt	nt	nt	pass	nt	nt	pass	nt	nt	nt					nt	nt	nt	nt	nt														
integrated V2.1 - 10 nF cap	cat5E SF/UTP	pass	pass	nt	nt	nt	nt	pass	nt	pass	nt	nt	pass	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt														
integrated V2.1 - 10 nF cap (2 Stück)	cat5E SF/UTP	pass	pass	nt	nt	nt	nt	pass	nt	pass	nt	nt	pass	pass	nt	nt	1700																			
	cat5E SF/UTP	pass	pass	nt	nt	nt	nt	pass	nt	pass	nt	nt	pass	nt	pass	nt	2300																			
integrated V2.1 shorted	cat5E SF/UTP	pass	pass	nt	nt	nt	nt	pass	nt	pass	nt	nt	pass	nt	pass	nt	2300																			
integrated V2.1 1nF y-Cap	cat5E SF/UTP	pass	pass	nt	nt	nt	nt	pass	nt	pass	nt	pass	fail	nt	nt	200																				
	cat5E U/UTP	pass	pass	nt	x	x	nt	nt	nt	pass	pass	fail	fail	na	na	300																				
	cat5E SF/UTP (2 x 10 nF)	pass	pass				nt	pass	nt	pass	nt	nt	pass	nt	pass	pass	pass	na			nt															
	cat5E SF/UTP (full connection)	nt	pass	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	pass	na				nt															
discrete	cat5E SF/UTP (Y-Cap 2 pcs)													pass	nt	nt	2 kV				nt															
	cat5E SF/UTP (Y-Cap)	pass	pass				nt	pass	nt	pass	nt	nt	pass	pass	nt	1,5 kV					nt															

Tabelle 6: Übersicht über die EMV-Performance der geprüften Referenz Designs

APPLICATION NOTE

ANP116 | Gigabit-Ethernet-Schnittstelle unter EMV Gesichtspunkten

WICHTIGER HINWEIS

Der Anwendungshinweis basiert auf unserem aktuellen Wissens- und Erfahrungsstand, dient als allgemeine Information und ist keine Zusicherung der Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG zur Eignung des Produktes für Kundenanwendungen. Der Anwendungshinweis kann ohne Bekanntgabe verändert werden. Dieses Dokument und Teile hiervon dürfen nicht ohne schriftliche Genehmigung vervielfältigt oder kopiert werden. Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG und seine Partner- und Tochtergesellschaften (nachfolgend gemeinsam als „WE“ genannt) sind für eine anwendungsbezogene Unterstützung jeglicher Art nicht haftbar. Kunden sind berechtigt, die Unterstützung und Produktempfehlungen von WE für eigene Anwendungen und Entwürfe zu nutzen. Die Verantwortung für die Anwendbarkeit und die Verwendung von WE-Produkten in einem bestimmten Entwurf trägt in jedem Fall ausschließlich der Kunde. Aufgrund dieser Tatsache ist es Aufgabe des Kunden, erforderlichenfalls Untersuchungen anzustellen und zu entscheiden, ob das Gerät mit den in der Produktspezifikation beschriebenen spezifischen Produktmerkmalen für die jeweilige Kundenanwendung zulässig und geeignet ist oder nicht. Die technischen Daten sind im aktuellen Datenblatt zum Produkt angegeben. Aus diesem Grund muss der Kunde die Datenblätter verwenden und wird ausdrücklich auf die Tatsache hingewiesen, dass er dafür Sorge zu tragen hat, die Datenblätter auf Aktualität zu prüfen. Die aktuellen Datenblätter können von www.we-online.com heruntergeladen werden. Der Kunde muss produktspezifische Anmerkungen und Warnhinweise strikt beachten. WE behält sich das Recht vor, an seinen Produkten und Dienstleistungen Korrekturen, Modifikationen, Erweiterungen, Verbesserungen und sonstige Änderungen vorzunehmen. Lizenzen oder sonstige Rechte, gleich welcher Art, insbesondere an Patenten, Gebrauchsmustern, Marken, Urheber- oder sonstigen gewerblichen Schutzrechten

werden hierdurch weder eingeräumt noch ergibt sich hieraus eine entsprechende Pflicht, derartige Rechte einzuräumen. Durch Veröffentlichung von Informationen zu Produkten oder Dienstleistungen Dritter gewährt WE weder eine Lizenz zur Verwendung solcher Produkte oder Dienstleistungen noch eine Garantie oder Billigung derselben.

Die Verwendung von WE-Produkten in sicherheitskritischen oder solchen Anwendungen, bei denen aufgrund eines Produktausfalls sich schwere Personenschäden oder Todesfällen ergeben können, sind unzulässig. Des Weiteren sind WE-Produkte für den Einsatz in Bereichen wie Militärtechnik, Luft- und Raumfahrt, Nuklearsteuerung, Marine, Verkehrswesen (Steuerung von Kfz, Zügen oder Schiffen), Verkehrssignalanlagen, Katastrophenschutz, Medizintechnik, öffentlichen Informationsnetzwerken usw. weder ausgelegt noch vorgesehen. Der Kunde muss WE über die Absicht eines solchen Einsatzes vor Beginn der Planungsphase (Design-In-Phase) informieren. Bei Kundenanwendungen, die ein Höchstmaß an Sicherheit erfordern und die bei Fehlfunktionen oder Ausfall eines elektronischen Bauteils Leib und Leben gefährden können, muss der Kunde sicherstellen, dass er über das erforderliche Fachwissen zu sicherheitstechnischen und rechtlichen Auswirkungen seiner Anwendungen verfügt. Der Kunde bestätigt und erklärt sich damit einverstanden, dass er ungeachtet aller anwendungsbezogenen Informationen und Unterstützung, die ihm durch WE gewährt wird, die Gesamtverantwortung für alle rechtlichen, gesetzlichen und sicherheitsbezogenen Anforderungen im Zusammenhang mit seinen Produkten und der Verwendung von WE-Produkten in solchen sicherheitskritischen Anwendungen trägt. Der Kunde hält WE schad- und klaglos bei allen Schadensansprüchen, die durch derartige sicherheitskritische Kundenanwendungen entstanden sind.

NÜTZLICHE LINKS



Application Notes
www.we-online.com/app-notes



REDEXPERT Design Plattform
www.we-online.com/redexpert



Toolbox
www.we-online.com/toolbox



Produkt Katalog
www.we-online.com/produkte

KONTAKTINFORMATION



appnotes@we-online.de
Tel. +49 7942 945 - 0



Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG
Max-Eyth-Str. 1 · 74638 Waldenburg
Germany
www.we-online.com