

REFERENCE DESIGN

RD016 | Gigabit-Ethernet Front End



Dr.-Ing. Heinz Zenkner

01. EINLEITUNG

Dem Schaltungsentwickler werden im Rahmen dieses Dokumentes für das Gigabit-Ethernet Front End ein optimiertes Schaltungs-Design und ein optimales Layout mit allen technischen Daten zur Verfügung gestellt.

Das 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. Im ersten Teil dieser Applikationsschrift werden technische Grundlagen dargestellt, die für das Verständnis des Referenzdesigns notwendig sind. Der zweite Teil beschreibt detailliert die 1 GB-Ethernet-Schnittstelle bis zum PHY. EMV-technische Aspekte werden in der Applikationsschrift [ANP116](#) ausführlich behandelt.

02. DIE 1 GIGABIT-ETHERNET-SCHNITTSTELLE

2.1 Datenrate, Technologie, Signale

Ethernet wurde zunächst mit 10 Mbps (Megabit pro Sekunde) über Koaxialkabel und später über ungeschirmte verdrehte Zweidrahtleitungen mit 10BASE-T weltweit verbreitet. Gegenwärtig sind 100BASE-TX (Fast Ethernet, 100 Mbit/s), Gigabit Ethernet (1 Gbit/s), 10-Gigabit Ethernet (10 Gbit/s) und 100-Gigabit Ethernet (100 Gbit/s) verfügbar geworden. Für die meisten Zwecke funktioniert Gigabit-Ethernet gut mit einem regulären Ethernet-Kabel, speziell mit den Verkabelungsstandards CAT5e, CAT6 und CAT6a. Diese Kabeltypen folgen dem 1000BASE-T-Verkabelungsstandard, auch IEEE 802.3ab genannt.

Wegen Faktoren wie dem Overhead des Netzwerkprotokolls, erneuten Übertragungen aufgrund von Kollisionen auf der Übertragungsstrecke, oder sporadischen Datenfehlern, beträgt die nutzbare Datenrate unter normalen Bedingungen maximal 900 Mbit/s. Die durchschnittliche Verbindungsgeschwindigkeit variiert aufgrund vieler Faktoren, wie z.B. die Hardwarestruktur des PCs, Anzahl der Clients am

Router und nicht zuletzt der „Qualität“ der Ethernet-Verkabelung.

Die 1 GB-Ethernet-Schnittstelle arbeitet nach dem 802.3ab-1999 (CL40) Standard und benötigt 4 Adernpaare / Kanäle zur Signalübertragung. Somit ergibt sich eine Symbolrate von 125 Megabaud (MBd) mit einer Bandbreite von 62,5 MHz pro Kanal (2 Bit pro Symbol). Das GB-Ethernet Protokoll zeichnet sich durch einige Besonderheiten aus. Der 1000BASE-T (Gigabit Ethernet) PHY führt ein Verbindungs-Konfigurations-Protokoll aus, das als Auto Negotiation bezeichnet wird. 8-Bit-Datenbytes werden in 10-Bit-Codegruppen konvertiert, der 8B/10B-Code ist robust und verfügt über hervorragende Eigenschaften wie Übergangsdichte, Lauflängenbegrenzung, Gleichstromausgleich und Fehlerrobustheit. Alle Einzel-, Doppel- und Dreifach-Bit-Fehler in einem Frame werden mit 100-prozentiger Zuverlässigkeit erkannt. Die Signalspannung bei 1000BASE-T beträgt durchschnittlich 750 mV differentiell, die Grenzen sind > 670 mV, < 820 mV bei einer Last von 100 Ω.

2.2 Schnittstellen-Struktur, notwendige Hardware

RJ45-Schnittstellen sind für Vollduplex-Übertragungen ausgelegt, d. h. eine gleichzeitige Übertragung von Sende- und Empfangsdaten. Dies ist möglich, weil der Steckverbinder vier Adernpaare besitzt, wobei immer ein Paar für eine Richtung benötigt wird (Differenzspannungsprinzip). Grundsätzlich hat UTP (unshielded twisted pair) eine Impedanz von 100 Ω und STP (shielded twisted pair) 150 Ω (1000BASE-T: IEEE 802.3, z.B. Abschnitt 39). Im Falle von Markenkabeln: 5e, 6 und 6a sind sowohl geschirmt als auch ungeschirmt erhältlich und die Kategorien 7 und 7a sind immer geschirmt. Für jeden RJ45-Anschluss wird vom IEEE-Standard eine galvanische Trennung mittels Übertrager gefordert. Dieser Übertrager schützt die Geräte vor Beschädigung durch Hochspannung auf der Leitung und verhindert Spannungsoffsets, die durch Potenzialunterschiede zwischen den Geräten auftreten können. In Abbildung 1 ist das Prinzipschaltbild der Schnittstelle dargestellt.

APPLICATION NOTE

RD016 | Gigabit-Ethernet Front End

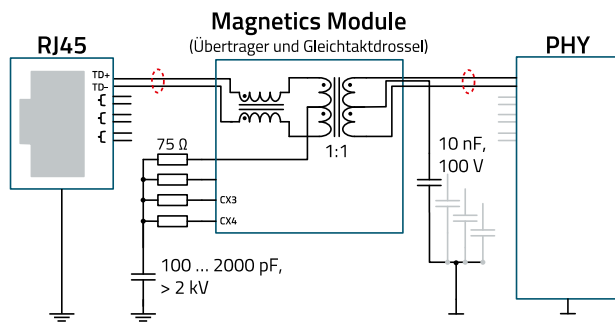


Abbildung 1: Prinzipschaltbild der GB-Ethernet-Schnittstelle, einer von vier Kanälen dargestellt

Ankommend von der RJ45-Schnittstelle gelangt das Ethernet-Signal über die Gleichtaktrossel zu den Übertragern. In Abbildung 1 ist einer von vier Kanälen dargestellt. Der Übertrager hat eine Mittelanzapfung die, signaltechnisch betrachtet, ein Nullpotenzial darstellt. Unsymmetrien wirken sich als Spannung an der Mittelanzapfung aus und werden über die 75 Ω-Widerstände, die gleichspannungsmäßig über den Kondensator entkoppelt sind, gegen Masse abgeschlossen. Der Übertrager hat ein Übersetzungsverhältnis von 1:1. Sekundärseitig gelangt das Ethernetsignal über die vier Kanäle zum PHY. Auch hier beträgt die Impedanz 100 Ω differenziell, bzw. jeweils 50 Ω gegen Masse (GND). Die Mittelanzapfung des Übertragers ist auf der sekundären Seite über Kondensatoren wechsellspannungsmäßig gegen Masse angeschlossen.

03. ENTWURF UND AUFBAU DES ADAPTERBOARDS

Der GB-Ethernet-USB Adapter ist in zwei verschiedenen Varianten verfügbar.

Variante V1.0 beinhaltet im Bereich der Ethernet-Schnittstelle diskrete Komponenten. Das heißt, das Anpassungsnetzwerk und der Induktivitätenblock, bestehend aus Gleichtaktrosseln und Übertragern, sind einzelne Komponenten, die auf der Leiterplatte platziert sind (Abbildung 2). In der Variante V2.0 sind die genannten Komponenten mit in das Gehäuse der RJ45-Buchse integriert (Abbildung 3).

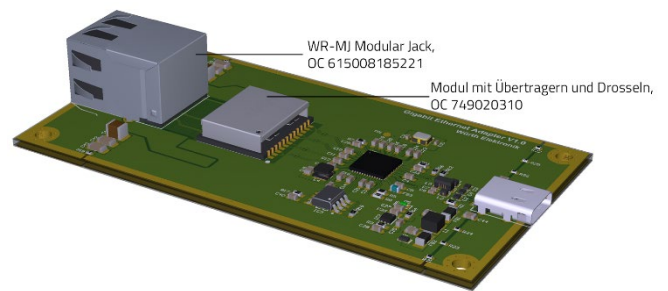


Abbildung 2: Grafische Darstellung des GB Ethernet-USB Adapters in der diskreten Variante V1.0, das Modul mit den Übertragern und Gleichtaktrosseln ist neben der RJ45-Buchse platziert.

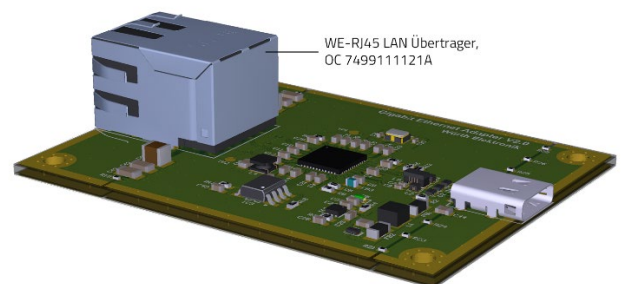


Abbildung 3: Grafische Darstellung des GB Ethernet-USB Adapters in der integrierten Variante V2.0. Das in der Abbildung 2 dargestellte Modul ist in die RJ45-Buchse mit integriert.

3.1 Blockschaltbild

Der LAN7800 USB 3.1 Gigabit Ethernet Controller verbindet die USB-Schnittstelle mit der Ethernet-Schnittstelle, als „Brücke“ (Abbildung 4). Somit sind für die Beschaltung der Schnittstellen lediglich die signaltechnischen Anpassungen und Entkopplungen zu realisieren. USB-seitig wird mit einem DC-DC Controller die für den LAN7800 notwendige 3,3 V Versorgungsspannung generiert. Der LAN7800 benötigt für die Firmware ein zusätzliches 4 Kbit EEPROM.

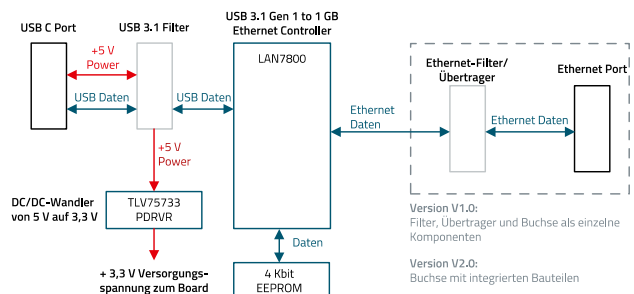
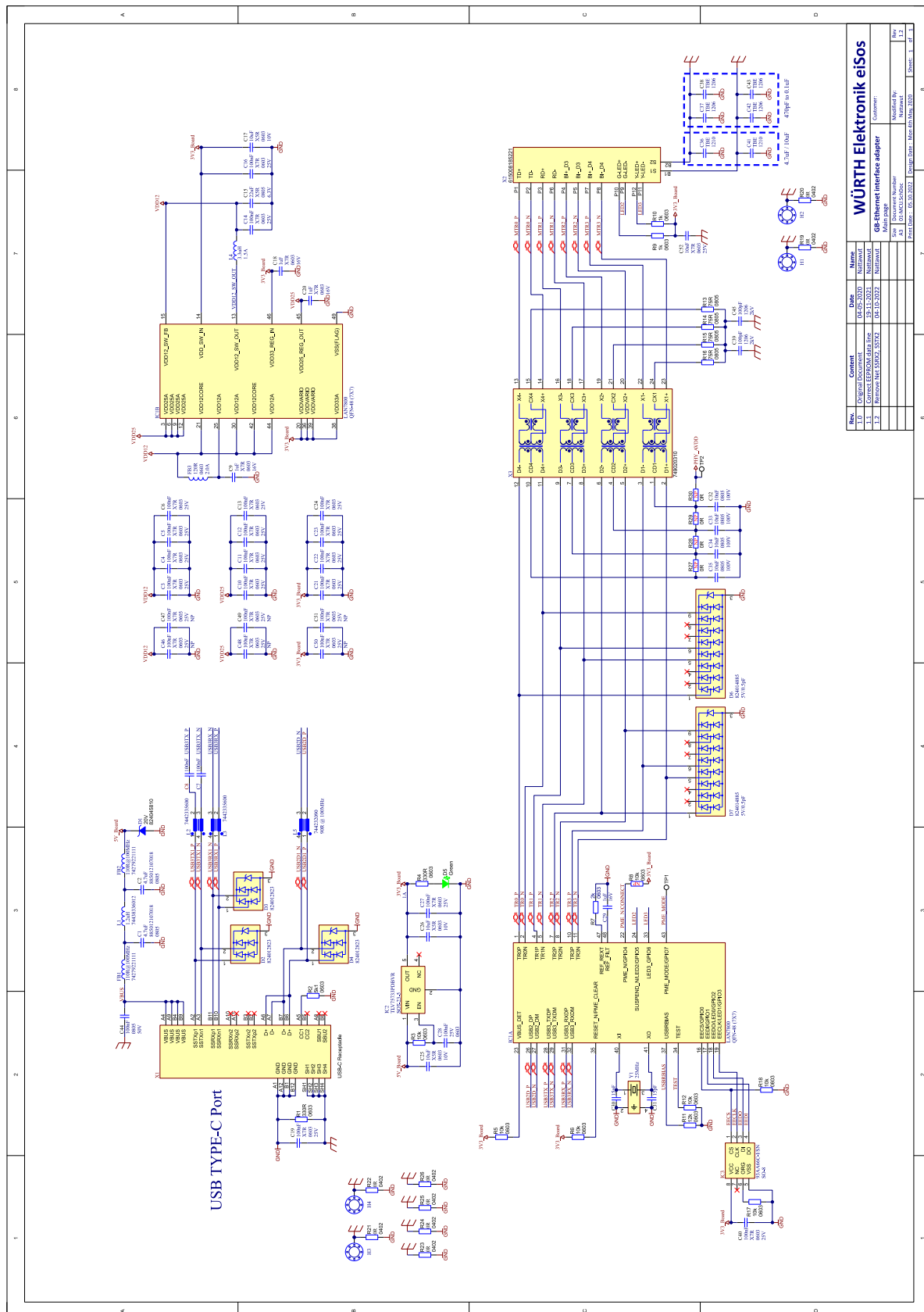


Abbildung 4: Blockschaltbild des GB Ethernet-USB Adapters, beide Varianten

Die Gesamtschaltbilder beider Varianten, in Analogie zum Blockschaltbild, sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.

3.2 Gesamtschaltbild



Rev.	Comment	Date	Author
1.0	Original Document	04-02-2020	Notstand
1.1	Correct EPROM data line	13-11-2021	Notstand
1.2	Remove Net 33922, 33923	04-12-2022	Notstand

Doc. No.	Doc. Name	Doc. Date	Doc. Rev.
WÜTH Elektronik eiSos	GB Ethernet interface adapter	04-02-2020	1.0

Abbildung 5: Gesamtschaltbild des GB Ethernet-USB Adapters, V1.0, Variante mit diskreten Komponenten an der Ethernet-Schnittstelle

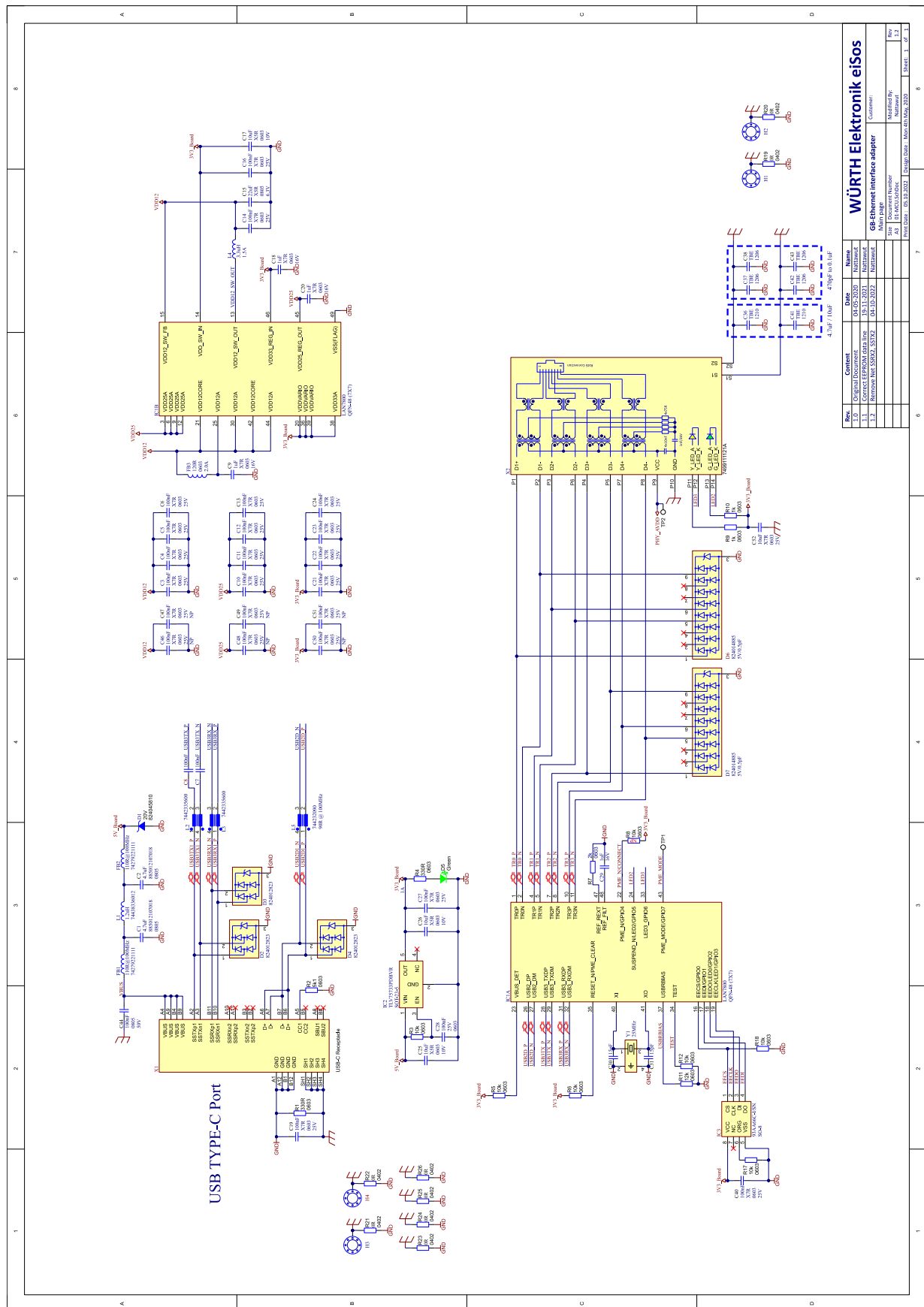


Abbildung 6: Gesamtschaltbild des GB Ethernet-USB Adapters, V2.0, Variante mit integrierten Komponenten an der Ethernet-Schnittstelle

APPLICATION NOTE

RD016 | Gigabit-Ethernet Front End

TVS-Diode, die ab 25 V transienter Überspannung bis zu einem Spitzenstrom von 80 A begrenzt. Da diese Diode eine parasitäre Kapazität von 240 pF hat, wird mit FB2 ein wirksamer Tiefpass Filter gegen hochfrequente Störungen gebildet.

3.4 Ethernet-Schnittstelle

Der Ethernet-Transformer (LAN-Übertrager) ist die Schnittstelle zwischen Gerät und dem Ethernet-Kabel. Der Übertrager sorgt für die sicherheitsrelevante galvanische Trennung zwischen Gerät und Kabel und gleichzeitig für die Impedanzanpassung, einerseits zur internen Logik, andererseits an die symmetrischen Adernpaare. Weiterhin schützt der Übertrager das Gerät vor transienten Störungen, unterdrückt Gleichtaktsignale zwischen dem Transceiver-IC und dem Kabel, sowohl vom Gerät nach außen, als auch vom äußeren Kabel zur Elektronik im Gerät. Jedoch muss das Bauteil auch die Daten bis zu 1 Gbit/s breitbandig übertragen ohne das Sende- und das Empfangssignal wesentlich zu dämpfen. Um die Anpassung und die EMV-Anforderungen zu erfüllen sind zusätzliche Komponenten notwendig. Es gibt zwei Ansätze, um die Schnittstelle aufzubauen:

1. Der Einsatz eines fertigen Moduls, in dem die Ethernet-Buchse, der Übertrager und die Bob-Smith Terminierung integriert sind, oben als Variante V2.0 bezeichnet.
2. Ein Aufbau mit diskreter Technik, hier Variante V1.0. Hier müssen alle Komponenten aufeinander angepasst werden, jedoch bietet die Lösung mehr Freiheitsgrade, die Auswahl der Bauelemente, die Anordnung und das Layout werden dem Entwickler überlassen. Es ist zwar etwas mehr Designarbeit erforderlich, aber die diskrete Version ist günstiger und es können, für spezielle Anforderungen, Isolationsspannungen bis 6 kV erreicht werden.

Da funktionstechnisch zwischen den beiden Varianten kein Unterschied besteht, wird die Schaltungstechnik der GB-Ethernet-Schnittstelle im Folgenden an der Variante V1.0 mit diskreten Komponenten erläutert.

3.5 Schaltungsbeschreibung des Gigabit-Ethernet Front End

Der **LAN-Übertrager** X3 in Abbildung 10 sorgt für eine DC-Trennung zwischen der Elektronik und dem Netzwerkabel. Die Prüfspannung für den Übertrager

zwischen Primär- und Sekundärseite beträgt 1.500 V_{RMS}/min.



**WE-LAN AQ Übertrager
749020310**

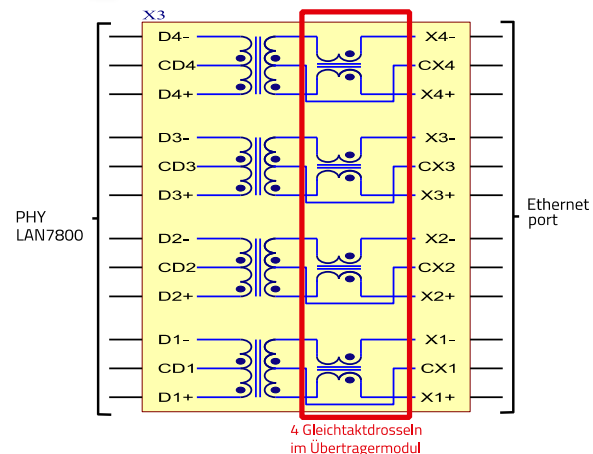


Abbildung 10: **WE-LAN AQ Übertrager** für die galvanische Trennung zwischen PHY und Ethernet-Netzwerk

Der mittlere Abgriff der primärseitigen Wicklung, also zum Ethernet Port, hat den erwähnten "Bob Smith"-Abschluss (Abbildung 11). Pro Adernpaar wird hier jeweils ein 75 Ω Widerstand zu einem „Sternpunkt“ zusammengeschaltet. Das Ganze wird dann galvanisch getrennt, mittels zwei parallel geschalteten 100 pF Kondensatoren an die Gehäusemasse angeschlossen. In der Literatur findet man häufig Kondensatoren mit einer Kapazität bis zu 2 nF, was bezogen auf den Frequenzbereich ein rel. hoher Wert ist. Die Kondensatoren sollten mindestens eine Spannungsfestigkeit von 2 kV haben.

Der "Bob-Smith"-Abschluss wird verwendet, um Störungen zu reduzieren, die durch Gleichtaktstromflüsse verursacht werden und um die Anfälligkeit für Störungen durch unbenutzte Adernpaare am RJ45-Anschluss zu reduzieren. Bob Smith bezog sich auf eine Impedanz von etwa 145 Ω pro Adernpaar. Aufgrund von Marktverfügbarkeit vieler verschiedener Kabeltypen, Unterschiede in den Basisimpedanzen der verschiedenen Kabeltypen und der Tatsache, dass die Kabel wegen der Verdrillung keine konstante Impedanz über die Länge aufweisen, wurden zusätzlich Gleichtaktdrosseln implementiert (Abbildung 10). So sind im Modul X3 jeweils ein Übertrager und eine Common-Mode Drossel pro Kanal zusammengeschaltet.

APPLICATION NOTE

RD016 | Gigabit-Ethernet Front End

Diese Drosseln können zwar nicht die Abweichungen der Impedanz Anpassung korrigieren, verbessern aber die EMV deutlich.

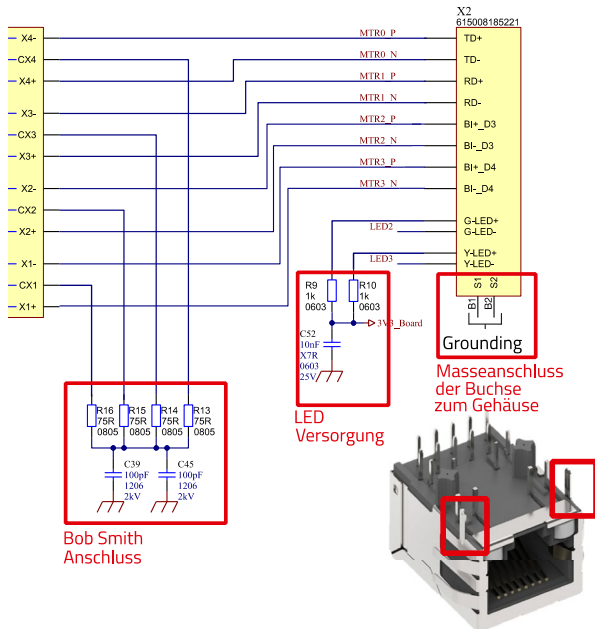


Abbildung 11: Primärer Schnittstellenbereich zwischen Ethernet-Buchse und Übertrager

R9, R10 und C52 in Abbildung 11 sind für die Stromversorgung der in der Anschlussbuchse integrierten LEDs vorgesehen. Die beiden Anschlüsse B1 und B2 an der Ethernetbuchse X2 müssen direkt, d.h. niederimpedant (!) an die Gehäusemasse angeschlossen werden. Diese Verbindung ist entscheidend für den Schirmanschluss des Kabels und damit für die „Qualität“ der Schirmdämpfung. Mit C36 bis C38 und C41 bis C43 Abbildung 12 kann die Schirmung der Ethernet-Buchse und damit des Kabelschirms mit der Platinenmasse (GND) verbunden werden.

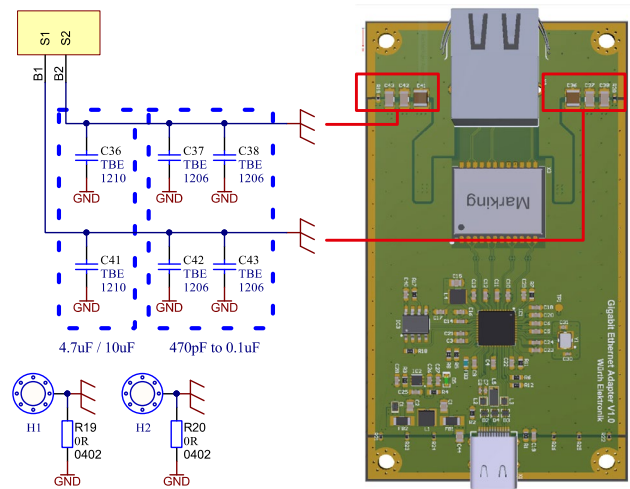


Abbildung 12: Kondensatoren zur Verbindung zwischen Platinen-GND und Schirmmasse bzw. Gehäuse

Bei Blechgehäusen ist es sinnvoll diese Kondensatoren nicht zu bestücken und den GND der Elektronik direkt über Verschraubungen an das Gehäuse anzuschließen. Bei Gehäusen aus Kunststoff sollten die Kondensatoren bestückt werden, um den Schirm des Ethernet-Kabels an die Bezugsmasse anzuschließen. Den gleichen Zweck haben die $0\ \Omega$ -Widerstände R19 und R20, hier erfolgt jedoch keine galvanische Trennung, wie sie mit den Kondensatoren realisiert wird. Die Alternativen Bestückungen sind hier zu „experimentellen“ Zwecken vorgesehen, in der Applikationsschrift **ANP116** wird näher darauf eingegangen. Die Kondensatoren C32 bis C35 in Abbildung 13, auf der Sekundärseite der Übertrager, verbinden die Mittellanzapfungen der Übertrager HF-technisch mit der Masse (GND).

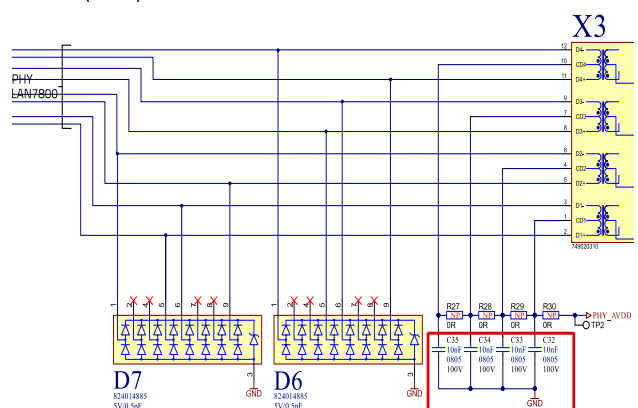


Abbildung 13: Sekundärer Schnittstellenbereich zwischen Übertrager und PHY

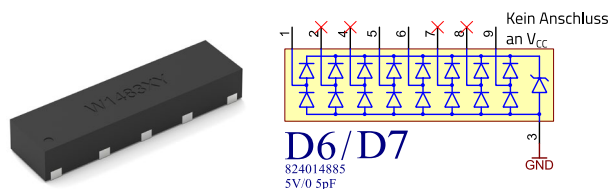
Um Gleichstrom-Ausgleichsströme vom PHY zu vermeiden ist eine galvanische Trennung über Kondensatoren notwendig. Die Widerstände R27 bis R30 sind aufgrund von

APPLICATION NOTE

RD016 | Gigabit-Ethernet Front End

Anforderungen mancher PHY-Hersteller vorgesehen (Current Mode Line Driver-Option), werden aber in der Regel nicht benötigt, wenn der PHY im Standard Voltage Mode arbeitet.

Unverzichtbar sind hingegen die TVS-Dioden Arrays D6 und D7, die schnittstellenseitig auftretende transiente Störungen zum PHY gegen die Schaltungsmasse (GND) begrenzen. Sekundärseitig, d. h. nach den Übertragern des X3-Moduls, treten die transienten Störungen im Common-Mode auf, deshalb muss an jeden Anschluss der Übertrager jeweils eine TVS-Diode gegen die Bezugsmasse geschaltet werden. Die Störpegel sind auf der Sekundärseite des Übertragers aber geringer, als auf der Primärseite. Wichtig für die Funktion der TVS-Dioden ist ein niederimpedanter Anschluss der Dioden, einerseits in die Signalleitungen eingeschleift und andererseits zur Masse. Die hier verwendeten TVS-Dioden Arrays **WE-TVS 824014885** zeichnen sich durch eine besonders geringe parasitäre Kapazität aus. Neben den speziellen Schottkydioden des Arrays, hilft auch der „fehlende“ Anschluss zur positiven Versorgungsspannung für eine geringe parasitäre Kapazität (Abbildung 14). Der Wert „ C_{cross} “, mit 0,08 pF ist die Kapazität, mit der das Ethernetsignal belastet wird. Dennoch sollte nicht vergessen werden, dass die parasitären Kapazitäten des gesamten Designs addiert werden müssen: Löt pads, Durchkontaktierungen, Kapazitäten zwischen Bauteilen und dem Gehäuse.



Properties		Test conditions	Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Channel Operating Voltage	V_{Ch}	I/O to GND			5	V
(Reverse) Breakdown Voltage	V_{BR}	I/O to GND; $I_{BR}=1mA$	6		9	V
Channel (Reverse) Leakage Current	$I_{Ch Leak}$	I/O to GND; $V_{Ch}=V_{I/O}=0V$			1	μA
Forward Voltage	V_F	GND to I/O; $I_F=15mA$		0.9	1.2	V
(Channel) Input Capacitance	C_{Ch}	I/O to GND; $V_{I/O}=2.5V$; $V_{GND}=0V$; $f=1MHz$		0.5	0.65	pF
Channel to Channel Input Capacitance	C_{Cross}	between I/O pins; $V_{I/O}=2.5V$; $V_{GND}=0V$; $f=1MHz$		0.03	0.08	pF
Channel ESD Clamping Voltage	$V_{Ch Clamp ESD}$	IEC 61000-4-2 +8kV (TLP=16A) Contact Mode; I/O to GND		10.5		V
Polarity	Unidirectional					

Abbildung 14: TVS-Dioden Array WE-TVS 824014885 mit seiner sehr geringen parasitären Kapazität

3.6 Bauteilplatzierung und Layout des 1 GB-Ethernet Front End

Ein wesentlicher Faktor beim Design von Schaltungen mit hochfrequenten Signalen, oder Signalen mit sehr kurzen Anstiegszeiten ist das Layout. Auch beim GB-Ethernet Design muss das Layout HF-gerecht ausgeführt werden.

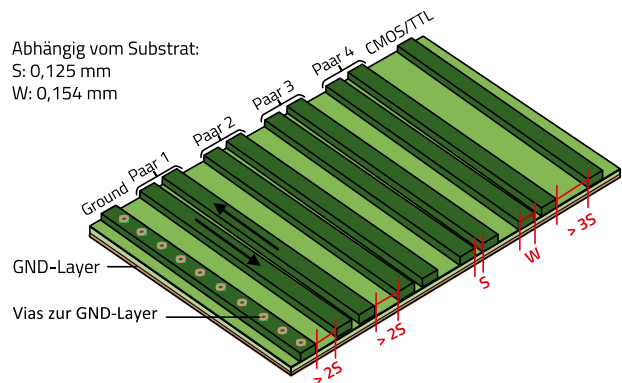


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Abmaße für das Layout der Leiterbahnen

Bezugnehmend auf Abbildung 15 sind folgende Punkte zu beachten:

1. Es versteht sich von selbst, dass eine mindestens 4-lagige Leiterplatte verwendet werden muss.
2. Die VCC- und die GND-Lage sind auf den Innenseiten.
3. Abstand von anderen Leiterbahnen zu Ethernet Leiterbahnen, um Kopplungen zu vermeiden: > 35
4. Abstand zwischen den Ethernet-Signal-Leiterbahnen und den GND-Inseln in der gleichen Ebene: > 25
5. Abstand zwischen benachbarten Ethernet-Differenzpaaren: > 25

Zusätzlich zu beachtende Punkte:

1. Die Abblockkondensatoren für den PHY müssen direkt an dem IC platziert werden.
2. 4,7 μF / 0,1 μF / 1 nF Kondensatoren an jedem VCC-Pin.
3. Induktivität der Leiterbahnen zu den Bauteilen $L < 1,5 nH - 2 nH$, d.h. Anschlüsse pauschal kürzer als 2 mm zwischen Kondensator und IC-PIN.

Ein wesentlicher Punkt ist der maximale zeitliche Versatz der Signallaufzeit (skew, propagation delay time) der Adern innerhalb eines Leitungspaares (intra-pair) und der zwischen den Leitungspaares (inter-pair).

APPLICATION NOTE

RD016 | Gigabit-Ethernet Front End

Die maximalen „Skew“-Werte sind in der Ethernet Spezifikation (IEEE Std 802.3-2008) zu finden, allgemeine Richtwerte sind:

1. Maximaler Längenversatz zwischen den Adernpaaren (inter-pair): 50 mm (< 330 ps)
2. Maximaler zeitlicher Versatz innerhalb eines Adernpaares (intra-pair): < 1,6 ps, entsprechend < 250 µm

Die Umrechnung zwischen zeitlichem und Wegeversatz erfolgt über folgenden Zusammenhang:

$$V_P = \frac{C}{\sqrt{\epsilon_r}} \rightarrow V_P (FR4) = \frac{299.792.458 \text{ mm}}{\sqrt{4,2}} \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 146,28 \frac{\text{mm}}{\text{ns}}$$

V_P : Ausbreitungsgeschwindigkeit (mm/ns)

C : Lichtgeschwindigkeit

ϵ_r : Dielektrische Permittivität des Leiterplattenmaterials

Die folgenden Abbildungen 16 bis 19 zeigen den Layoutbereich der Ethernetschnittstelle, nach den Abbildungen erfolgt die Erklärung.

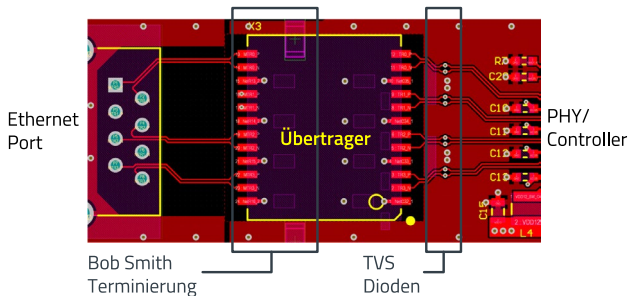


Abbildung 16: Top-Layer mit Positionierung der Bob Smith Bauelemente und der TVS Dioden

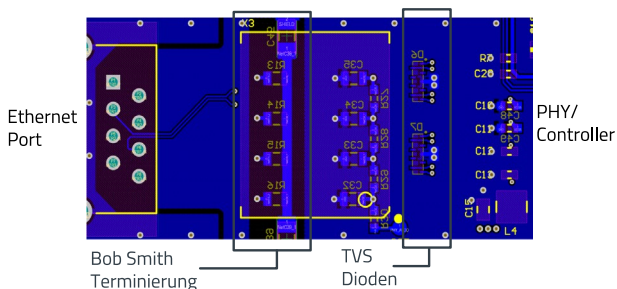


Abbildung 17: Bottom-Layer mit Positionierung der Bob Smith Bauelemente und der TVS Dioden

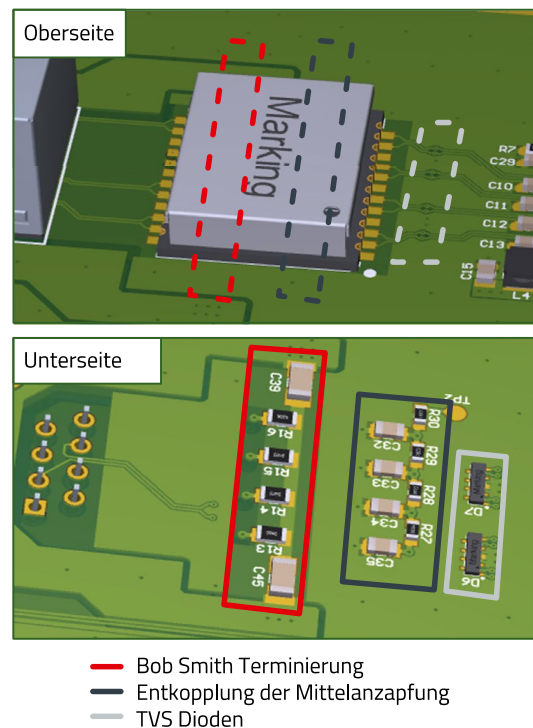


Abbildung 18: 3D-Ansicht mit Positionierung der Bob Smith Bauelemente und der TVS Dioden

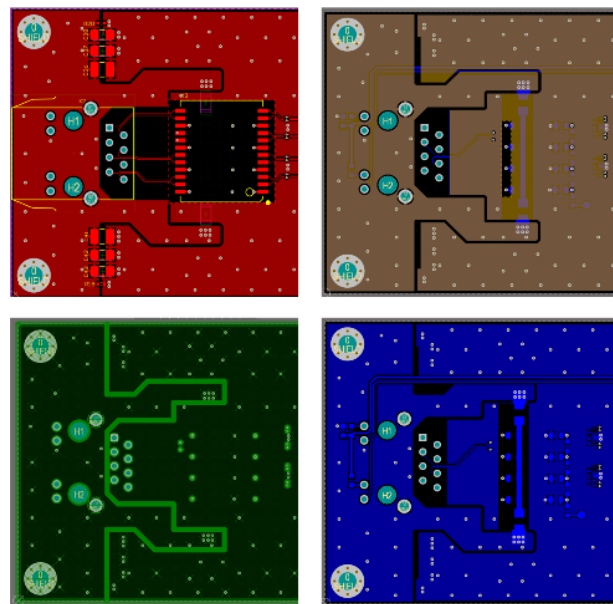


Abbildung 19: Die vier Lagen des Schnittstellenbereichs im gleichen Ausschnitt

Überlegungen zum Layout, beziehend auf die Abbildungen 16 bis 19:

1. Die TVS-Dioden Arrays müssen unmittelbar in den Signalpfad und gegen GND angeschlossen werden, um einen Spannungsabfall durch parasitäre Induktivitäten zu vermeiden. Einen Ausschnitt aus dem Layout Abbildung 16 zeigt Abbildung 20.

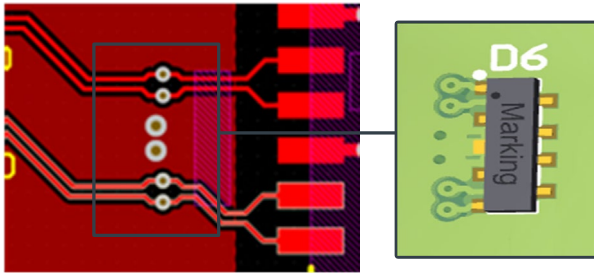


Abbildung 20: Layout-Ausschnitt, Via-Pads des TVS-Dioden-Arrays in den Signalpfad geroutet

- Die Gehäuse-/Stecker-Masse SGND (Shield-GND) ist in allen vier Lagen von dem Elektronik-GND getrennt.
- Die SGND-Lagen dürfen sich mit anderen Lagen nicht überlappen, da sonst kapazitive Kopplung entsteht.
- Masseflächen im Raster von ca. 4 mm durchkontaktiert (Vias).
- Signalleitungen symmetrisch, Differenzimpedanz von $100\ \Omega$ gegen Bezugsmasse.
- Symmetrische Signalleitungen:
 - Breite der Leiterbahnen: 0,154 mm
 - Abstand zwischen den Leiterbahnen: 0,125 mm.
 - Abstand der Signal- zur Referenzlage (Prepreg-Stärke): 0,2 mm.
- Wie primärseitig, ist auch auf der Sekundärseite des Übertragermoduls bei den Leiterbahnen eine differentielle Impedanz von $100\ \Omega$ gegen die Bezugsmasse einzuhalten. Die TVS-Arrays müssen unmittelbar in den Signalpfad und gegen GND angeschlossen werden, um einen Spannungsabfall durch parasitäre Induktivitäten zu vermeiden.
- Jede TRxP/TRxN-Signalgruppe sollte als differentielles Leiterbahn-Paar verlegt werden. Dies umfasst die gesamte Länge der Leiterbahnen vom RJ45-Stecker bis zum PHY. Die differentiellen Paare sollten so kurz wie möglich sein und haben eine differentielle Impedanz von $100\ \Omega$, d.h. jeweils $50\ \Omega$ gegen Masse.
- Ein einzelnes differentielles Paar sollte so nah wie möglich aneinander verlegt werden. Typischerweise wird zu Beginn der Impedanzberechnung der kleinste Leiterbahnabstand (0,1 – 0,13 mm) gewählt. Danach wird die Leiterbahnbreite angepasst, um die erforderliche Impedanz zu erreichen. So ist eine hohe Kopplung zwischen den Signalaaren gewährleistet.
- Differentielle Paare sollten von allen anderen Leiterbahnen entfernt verlegt werden, um eine Kopplung zu anderen Leiterbahnen und so eine Unsymmetrie zu vermeiden. Der Abstand sollte mindestens 4 mm betragen. Der Intra-Pair- und Inter-Pair-Versatz zwischen den Signalaaren sollte über die gesamte Länge weniger als 1,3 mm betragen. Um eine optimale Störfestigkeit zu erreichen, sollte jedes Paar so weit wie möglich voneinander entfernt verlegt werden.

04. ZUSAMMENFASSUNG, LISTE DER WESENTLICHEN PUNKTE FÜR DAS DESIGN

- Gehäuse-/Buchsenmasse zum Elektronik-GND ist in allen vier Lagen getrennt. Die Flächen der Gehäusemasse überlappen sich somit nicht mit anderen Lagen, um die kapazitive Kopplung so gering wie möglich zu halten.
- Die Masseflächen sind im Raster ca. alle 4 mm miteinander mittels Durchkontaktierungen verbunden.
- Die von der Ethernet-Buchse kommenden Signalleitungen sind symmetrisch, mit einer differentiellen Impedanz von $100\ \Omega$ gegen die Bezugsmasse geroutet. Die Leiterpaare haben eine Leiterbahnbreite von 0,154 mm und haben einen Abstand von 0,125 mm. Abstand der Signal- zur Referenzlage (Prepreg-Stärke): 0,2 mm.
- Die Ethernet-Buchse wird an der Kante der Leiterplatte positioniert, damit ggf. eine niederimpedante Verbindung zu einem Metallgehäuse gewährleistet werden kann. Der Übertrager (X3) ist in unmittelbarer Nähe platziert, um die elektrischen Kopeleinflüsse, bzw. Beeinträchtigungen durch lange Leiterbahnen gering zu halten.
- Für eine optimale Trennung können GND-Planes zwischen den differentiellen Paaren eingefügt werden. Von dieser Masseebene bis zu einer der Leiterbahnen sollte ein Abstand vom 3-5-fachen des dielektrischen Abstands (Abstand der Kupferlagen innerhalb der Leiterplatte) eingehalten werden.
- Die Verwendung von Durchkontaktierungen im Signalpfad ist zu minimieren. Wenn Durchkontaktierungen verwendet werden, müssen sie angepasst werden, damit die differentiellen Paare symmetrisch bleiben. Lagenwechsel sind zu minimieren. Die differentiellen Paare müssen auf dieselbe Stromversorgungs/Masse- Ebene bezogen werden. Es darf niemals über verschiedene Planes geroutet werden!
- Wenn die vier differentiellen Paare vom PHY zur RJ45-Buchse geroutet werden, benötigt im Allgemeinen mindestens ein Paar ein Via zur gegenüberliegenden externen Ebene. In diesem Fall muss sichergestellt

werden, dass das Routing auf der anderen Seite der Platine (in der Regel Layer 4) über eine zusammenhängende Bezugsebene verläuft, die eine niedrige Impedanz zur Masse aufweist.

12. Alle Impedanz Abschlüsse müssen immer auf dieselbe Bezugsebene wie die differentiellen Leitungen bezogen werden. Die resistiven Abschlüsse, d.h. Widerstände, sollten Werte mit 1,0 % Toleranz haben. Alle kapazitiven Abschlüsse, d.h. Kondensatoren im Ethernet-Frontend sollten enge Toleranzen und hochwertige Dielektrika haben.

05. SCHLUSSWORT

Das 1 GB USB 3.1 – Interface Board ist in seiner Funktion ursprünglich als EMV-Testboard entstanden, um die Performance von verschiedenen EMV-Konzepten zu überprüfen. Die Ergebnisse dazu sind in der Application Note [**ANP116**](#) zu finden. Zahlreiche Nachfragen zu den Designdetails einer 1 GB-Ethernet Schnittstelle haben dazu beigetragen dieses Dokument unseren Kunden als Referenzdesign zur Verfügung zu stellen. Anhand der hier beschriebenen Details sollte ein Nachbau einer 1 GB-Ethernet Schnittstelle problemlos möglich sein. Die Daten für den Altium Designer® sowie die Gerberdaten sind auf unserer Homepage zur freien Verwendung zur Verfügung gestellt.

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.de/app-notes



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



Toolbox
www.we-online.de/toolbox



Produkt Katalog
www.we-online.de/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.de

