

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter für industriellen Einsatz unter EMV-Gesichtspunkten



Dr. Heinz Zenkner

01. EINLEITUNG

Der „GB PoE+ - Ethernet-USB“ Adapter ist auf Basis des Referenzdesigns „GB-Ethernet-USB Adapter“ entwickelt worden, der ohne Power over Ethernet (PoE) arbeitet. Der Adapter ohne PoE ist ausführlich in der Applikationsschrift [RD016](#) beschrieben, die Prüfungen zur Elektromagnetischen Verträglichkeit sind in der Applikationsschrift [ANP116](#) zu finden.

Der Adapter „GB PoE+ - Ethernet-USB“ hat drei Schnittstellen, eine USB-Type-C™ (USB 3.1), eine RJ45/Ethernet 1 Gigabit Schnittstelle mit integrierter Power-over-Ethernet (PoE+) - Versorgung und eine Klemme zum DC/DC-Wandler, mit einer einstellbaren Ausgangsspannung von 6 – 18 V und einer maximalen Ausgangsleistung von 25 W. Das Board wurde entwickelt, um Anwender mit der PoE-Technologie vertraut zu machen. Wie schon beim Design ohne PoE, können auch bei diesem Design die Bitfehlerrate und die Übertragungsgeschwindigkeit mittels einer Windows-Applikation überprüft werden. Des Weiteren werden auch hier dem Anwender ein optimiertes Schaltungs-Design und ein optimales Layout, sowohl für die USB 3.1-Schnittstelle, als auch für die GB-PoE-Ethernet-Schnittstelle zur Verfügung gestellt.

02. DIE SCHNITTSTELLE

2.1 Gigabit-Power-over-Ethernet-Schnittstelle (PoE)

- Technologie, Signale

Die Punkte Signalübertragung, Datenrate, Bandbreite und Fehlerkorrektur bei 1000BASE-T wurde in der Applikationsschrift [RD016](#) beschrieben. Hier soll als Ergänzung das Thema Spannungsversorgung „Power over Ethernet“ ausführlich erläutert werden.

Power over Ethernet (PoE) ist grundsätzlich für Systeme mit einer maximalen Versorgungsspannung von 57 V_{DC} und einer Leistung auf der Verbraucherseite von bis zu 71 W spezifiziert. Im Einschaltmoment liegt die Spannung bei > 42 V. Im Normal-Betrieb liegt die Spannung im Bereich von 36 bis 57 V. Es gibt jedoch verschiedene Leistungsklassen, die auch unterschiedlich bezeichnet, bzw. abgekürzt werden:

- IEEE 802.3af (PoE) liefert 15 W Ausgangsleistung bzw. bis zu 12,95 W am Endgerät.
- IEEE 802.3at (PoE+) liefert 30 W Ausgangsleistung bzw. bis zu 25,5 W am Endgerät.
- IEEE 802.3bt (4PPoE) liefert 90 W Ausgangsleistung bzw. bis zu 71,3 W am Endgerät.
- IEEE 802.3bu (PoDL) für Single-Pair-Ethernet

Die folgende Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der Kenndaten.

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

Klasse	Standard	Bezeichnung	Ausgangsspannung (V)	Max. Ausgangsstrom im Betrieb (mA)	Max. Leistung am PSE (W)	Max. Leistung am PD (W)	Kabeltyp	Max. Kabelwiderstand (Ω)
0	IEEE 802.3af	PoE (2 Paare)	36 - 57	350	15,4	0,44 – 12,95	ab Cat-3	Max. 20 Ω pro Leitungspaar
1					4,0	0,44 – 3,84		
2					7,0	3,84 – 6,49		
3					15,4	6,49 – 12,95		
4	IEEE 802.3at	PoE+ (2 oder 4 Paare)	42,5 - 57	600	30	12,95 – 25,50	ab Cat-5	Max. 12,5 Ω pro Leitungspaar
5	IEEE 802.3bt	Type 3 (4 Paare)	42,5 - 57	2 · 600	45	40	ab Cat-5	Max. 12,5 Ω pro Leitungspaar oder 6,25 Ω für zwei Paare mit 4PPoE
6		60			51			
7		Type 4 (4 Paare)	42,5 - 57	2 · 960	75	62		
8		90 - 100			73			

Tabelle 1: Übersicht über die wichtigsten Kenndaten der Ethernet Standards und den zugehörigen Klassen

PoE-Systeme umfassen das Power Sourcing Equipment (PSE, Stromversorgungsquelle) und das Powered Device (PD, Verbraucher) und haben eine empfohlene maximale Kabellänge von 100 m. Durch die geringen Leiterquerschnitte, die großen Leitungslängen und die geringe Systemspannung entsteht eine nennenswerte Verlustleistung in der Leitung, was zu schlechten Systemwirkungsgraden führen kann. Zum Beispiel können bei Klasse 4 25,5 W am PD entnommen werden, die Leitung kann bei 100 m Länge bis zu 12,5 Ω Schleifenwiderstand aufweisen, und es ist ein maximaler Strom von 600 mA zulässig. Somit entstehen im Kabel bis zu 4,5 W Verlustleistung, was einem Wirkungsgrad von nur 82 % entspricht!

PoE ist in den Normen IEEE 802.3af-2003 (Abschnitt 33 in IEEE 802.3-2005) oder der Aktualisierung von 2009, IEEE 802.3at, spezifiziert. Je nach System werden unterschiedliche Versorgungs-Einspeisetechniken verwendet.

- Phantomspeisung: Die Stromübertragung erfolgt auf den signalführenden Adernpaaren.
- Spare-Pairs-Speisung: Die Stromübertragung erfolgt auf den ungenutzten Adernpaaren.

Beim herkömmlichen 10BASE-T und 100BASE-TX Ethernet werden nur zwei der vier Adernpaare für die Datenübertragung verwendet. Die anderen beiden freien Adernpaare lassen sich für PoE (Strom) verwenden. Die Daten werden über den einen Pfad übertragen, der Strom über den anderen, das entspricht der „Spare-Pairs-Speisung“. Als PoE zum ersten Mal eingeführt wurde, war dies der sicherste Weg

(Tabelle 2 oben), Daten und Stromversorgung gleichzeitig über ein Kabel zu übertragen.

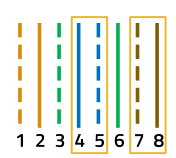

	Speed (Mbit/s)	Ethernet	PoE
	10/100	2 Paare (4 Drähte) 1, 2 3, 6	2 Paare 4, 5 7, 8
	10/100/ 1000	4 Paare (8 Drähte) 1, 2 3, 6 4, 5 7, 8	4 Paare 1, 2 3, 6 4, 5 7, 8

Tabelle 2: Adernbelegung im Ethernetkabel bei 10BASE-T, 100BASE-TX und 1000BASE-T (Gigabit Ethernet)

Beim 1000BASE-T (Gigabit Ethernet) werden alle vier Paare für die Datenübertragung verwendet. Hier erfolgt die Daten- und die Stromübertragung über die gleichen Adernpaare (Tabelle 2 unten), das entspricht also der „Phantomspeisung“. Dieses Verfahren ist hier möglich, weil bei Ethernet über Twisted-Pair-Kabel eine differentielle Datenübertragung über jedes Paar mit einer Entkopplung per Übertrager geschieht. Die Signalübertragung selbst unterscheidet sich nicht von der Übertragung ohne PoE; Datenraten und Signalamplituden sind die gleichen.

2.2 Gigabit-Ethernet-Schnittstelle mit PoE - Schnittstellen-Struktur

Der Adapter „GB PoE+ - Ethernet-USB“ arbeitet nach dem IEEE 802.3at Standard (PoE+) mit bis zu 25,5 W am PD. Abbildung 1 zeigt die Prinzipschaltung eines PoE+ Systems.

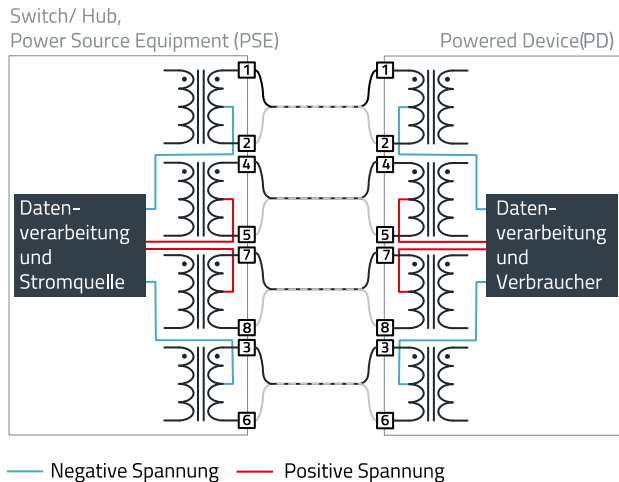


Abbildung 1: Prinzipschaltung eines Systems gemäß IEEE 802.3at, bzw. PoE+

Die Gleichstromversorgungs- und Lastanschlüsse können an den Mittelabgriffen der Übertrager sowohl auf der PSE- als auch auf der PD-Seite vorgenommen werden. Jedes Adernpaar arbeitet durch die Mittelabgriffe im Gleichtakt als eine Seite der Gleichstromversorgung (plus oder minus), so dass zwei Paare erforderlich sind, um den Stromkreis zu schließen. Die Polarität der Gleichstromversorgung ist unwesentlich, da auf der PD-Seite eine Gleichrichtung vorgesehen ist. Das gespeiste Gerät muss mit einem der beiden Paare betrieben werden: Ersatzpaare 4-5 und 7-8 oder Datenpaare 1-2 und 3-6.

2.3 Power-Up-Vorgang, PoE-Erkennung

Vor der Einspeisung durch das PSE (Power Sourcing Equipment), muss dieses zuerst eine Klassifizierung des Endgeräts vornehmen. Auf diese Weise werden Schäden an nicht PoE-fähigen Endgeräten vermieden und die vom PSE zur Verfügung gestellte Leistung wird durch die Klassifizierung des PD (Powered Device) auf die nötige Leistung begrenzt, um auch so Schäden zu begrenzen. Hierzu ermittelt die Stromquelle des PSE mit einem Klassifizierungsstrom und einer geringen Spannung, ob das Endgerät überhaupt PoE-fähig ist und danach, welcher Klasse es angehört. Je nach Endgerät ist also ein Informationsaustausch (Handshake-Verfahren) zwischen Stromquelle und Endgerät notwendig, bei dem das Endgerät seine PD-Klasse mitteilt.

Um im ersten Schritt PoE-taugliche Endgeräte von untauglichen zu unterscheiden, kommt in der PoE-Stromquelle ein Verfahren mit dem Namen „Resistive Power Discovery“ zum Einsatz. Ein PoE-fähiges Endgerät verfügt hierzu über eine Eingangsschaltung mit passiven Bauteilen. Die Stromquelle der PSE prüft mit einer Messschaltung den Innenwiderstand dieser PD-Schaltung. Liegt der Widerstand zwischen 19 kΩ und 26,5 kΩ und hat die Leitung eine Kapazität von ≤ 150 nF, wird die Energieversorgung aktiviert. In einer zweiten Erkennungsphase wird die Leistungsklasse (Tabelle 1) ermittelt. Hierzu wird das PD mit einer ansteigenden Spannung versorgt, bis es signalisiert, zu welcher der vier in der Norm 802.3af definierten Leistungsklassen es gehört. Anschließend wird die richtige Leistung zugeführt. Insgesamt dauert diese Erkennung rund eine Sekunde. Um Schäden an Endgeräten zu vermeiden, schaltet sich am PSE die Stromversorgung des entsprechenden Ports automatisch ab, sobald ein PD vom LAN entfernt wird. Der Power-Up Vorgang ist in Abbildung 2 graphisch dargestellt, Tabelle 3 zeigt die Power-Up Schritte mit zugehörigem Vorgang und Spannungsbereich.

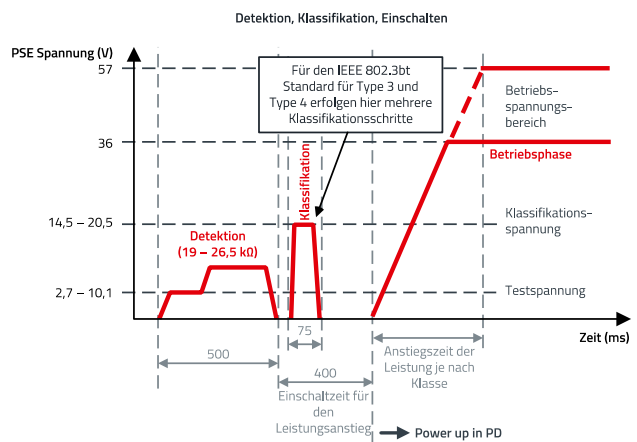


Abbildung 2: Power-Up-Vorgang für den Betrieb zwischen PSE und PD

Power-Up-Schritt	Vorgang	Spannungsbereich (V)
Detektion	Messen des Schleifwiderstands	2,7 – 10,1
Klassifikation	Messen des Klassifizierungswiderstands und Ermittlung der Leistungsklasse (0-3) anhand des Klassifizierungsstroms	14,5 - 20,5
Start-Up	Stromversorgung aktivieren	>42
Betrieb	Bei aktivierter Stromversorgung	36 - 57

Tabelle 3: Power-Up Schritte mit zugehörigen Spannungsbereichen

Tabelle 4 zeigt die Einteilung der Klassen (Klassifikation nach Tabelle 3) und die notwendigen Bereiche der Schleifenströme zwischen PSE und PD, zur Erkennung bzw. Zuweisung der Klassen. Die grauen Zeilen, d.h. die Zwischenwerte, werden vom Klassifizierungssystem ignoriert.

Klasse	Verfügbare Leistung an PD (W)	Klassifizierungsstrom durch PD (mA)
0	0,44 – 12,96	0 – 5
0 oder 1	-	>5 und <8
1	0,44 – 3,84	8 - 13
0, 1 oder 2	-	>8 und <16
2	3,84 – 6,49	16 – 21
0, 2 oder 3	-	>21 und <25
3	6,49 – 12,95	25 - 31
0, 3 oder 4	-	>31 und <35
4	12,95 – 25,50	35 - 45
0 oder 4	-	>45 und <51
0	-	≥51

Tabelle 4: Einteilung der Klassen (Klassifikation nach Tabelle 3) und die zugehörigen notwendigen Bereiche der Schleifenströme zwischen PSE und PD; Zwischenwerte werden ignoriert; Klassifizierungsstrom = definierter Lastwiderstand durch PD

Mit 802.3bt (PoE++) wurden im September 2018 zwei neue PoE-Typen (Type 3 und Type 4) und vier zusätzliche Klassen eingeführt. Der Standard ist vollständig abwärtskompatibel

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Name	PoE	PoE+	PoE++	High Power PoE
PoE-Standard	IEEE 802.3af	IEEE 802.3at	IEEE 802.3bt	IEEE 802.3bt
P _{max} am PSE-Port (W)	15,4	30	60	100
Max. Leistung am PD (W)	12,95	25,5	51	73
Verwendete Twisted Pairs	2 Paare	2 Paare	4 Paare	4 Paare
Unterstützte Kabel	Cat5e	Cat5e	Cat6A	Cat6A

Tabelle 5: Übersicht der PoE-Standards, mit zugehöriger Leistung pro Port, den verwendeten Adernpaaren und den Kabelkategorien

mit den früheren PoE-Standards, um problemlos mit älteren Typ-1- und Typ-2-Geräten zu arbeiten. Die Leistungsabgabe wurde auf 90 W – 100 W bei einem Strom von 600 mA – 960 mA erhöht. Hierzu werden alle vier Adernpaare zur Stromversorgung benötigt, um die Verluste auf den Leitungen zu begrenzen. Um die Verluste in den Leitungen zwischen PSE und PD gering zu halten und auch die hohe Datenrate zu erreichen, sind hohe Anforderungen an die Kabel gestellt, eine Übersicht zeigt Tabelle 5.

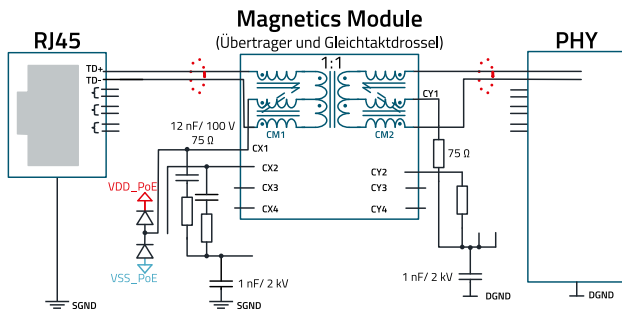
03. HARDWAREDESIGN

3.1 Blockschaltung der PD-Schnittstelle

Abbildung 3 zeigt die Blockschaltung der PD-Schnittstelle, es ist einer von vier Kanälen dargestellt. Signaltechnisch betrachtet, ist die Schaltung identisch mit der Schnittstelle ohne PoE. Um zugleich die Stromversorgung über das Ethernetkabel zur Versorgung des Gerätes zu realisieren, müssen einige schaltungstechnische Erweiterungen implementiert werden.

Hinzugefügt wird eine weitere Gleichtakt-Drossel zum PHY. Diese Drossel entkoppelt den PHY HF-technisch. Störungen, die von der Kabelseite zur Schnittstelle gelangen, sind auf der Sekundärseite des Übertragers im Gleichtakt. Bei Betrieb mit PoE werden durch den DC/DC-Wandler zusätzliche Störungen erzeugt, die die Datenübertragung beeinträchtigen können. Die Drossel CM2 in Abbildung 3 reduziert diese Störungen.

Die Drosseln CM1 und CM2 sind trifilar gewickelt; d.h. alle drei Wicklungspakete sind auf einem gemeinsamen Kern, um Gleichtakt-Störungen zu dämpfen. Primärseitig zum Kabel wird der Mittelabgriff des Übertragers zur Auskopplung des Versorgungsstroms und der Bob-Smith-Terminierung mit über die Drossel geführt, um eine Entkopplung der Stromversorgung zum Ethernetkabel zu erreichen.



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

Abbildung 3: Prinzipschaltung der GB-Ethernet Schnittstelle mit PoE, es ist einer von vier Kanälen dargestellt

Durch den trifilaren Wicklungsaufbau wird eine Magnetfeldkompensation erreicht und dadurch eine Magnetisierung des Kerns durch den Versorgungsstrom vermieden. Sekundärseitig wird durch den trifilaren Aufbau der Drossel CM2 im hochfrequenten Bereich (typ. ab 10 kHz) eine Entkopplung zum PHY erreicht. Abbildung 4 zeigt die Einfügedämpfung (S21) im Gleichtakt zwischen J7/J8 (Eingang an RJ45-Buchse) zu den Pins D4 (Ausgang an D4+/CD4/D4-). Gemessen wurde am "1 Port RJ45 Through Hole 10/100/1000 Base-T, AutoMDIX, Power-over-Ethernet+ (PoE+) Module, [WE-RJ45LAN HPLE, Order-No: 7499511002A](#).

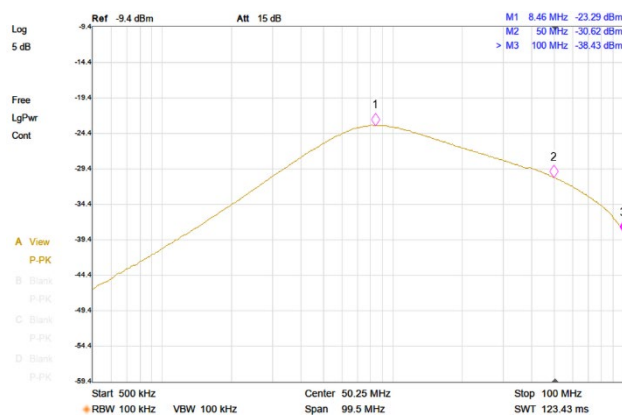


Abbildung 4: Einfügedämpfung S21 bis 500 MHz, eines Kanals nach Abbildung 3 zwischen Eingang und Ausgang, gemessen mit einem Netzwerkanalysator (Impedanz 50 Ω)

Die Einfügedämpfung beträgt im Frequenzbereich bis 100 MHz mindestens 20 dB und kann so effektiv Störungen,

die über das Ethernetkabel typischerweise im Frequenzbereich von einigen kHz bis 50 MHz liegen, wirkungsvoll dämpfen. Der Messaufbau mit Spektrum-Analysator ist in Abbildung 5 dargestellt.

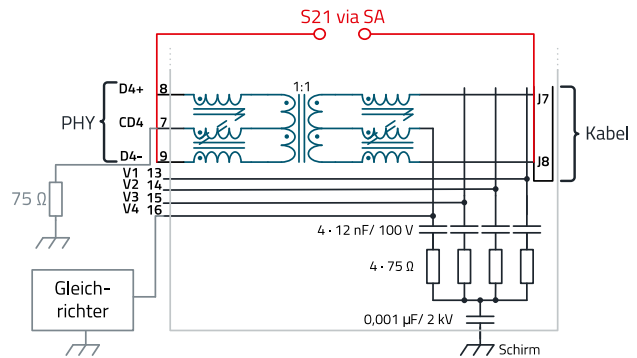


Abbildung 5: Messaufbau (schematisch) zur Messung der Einfügedämpfung S21 eines Kanals bis 100 MHz

3.2 Prinzipieller Aufbau der primärseitigen Stromversorgung

Die Stromversorgung für das PD (Powered Device) wird über die Gleichtakt-Drosseln ausgekoppelt. Die Drosseln verhindern eine Dämpfung des Nutzsignals. In Abbildung 6 ist die Prinzipschaltung dargestellt.

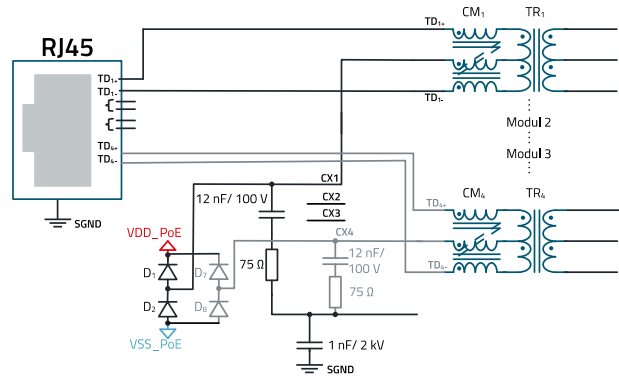


Abbildung 6: Prinzipschaltung des Netzwerkes zur Stromauskopplung (Darstellung von zwei von vier Kanälen)

Parallel zum Bob-Smith-Impedanzabschluss sind 4 Diodenpärchen angeordnet, die je nach Versorgungstopologie von mindestens zwei Leitungspaaren die Stromversorgung auskoppeln. Über die Dioden wird dann der DC/DC-Wandler versorgt.

In Abbildung 7 wird dann die Spannung von den Diodenpärchen über ein EMI-Filter zum PoE-DC/DC-Controller geführt. Der Controller ist in Sperrwandler-Topologie (Flyback) aufgebaut.

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

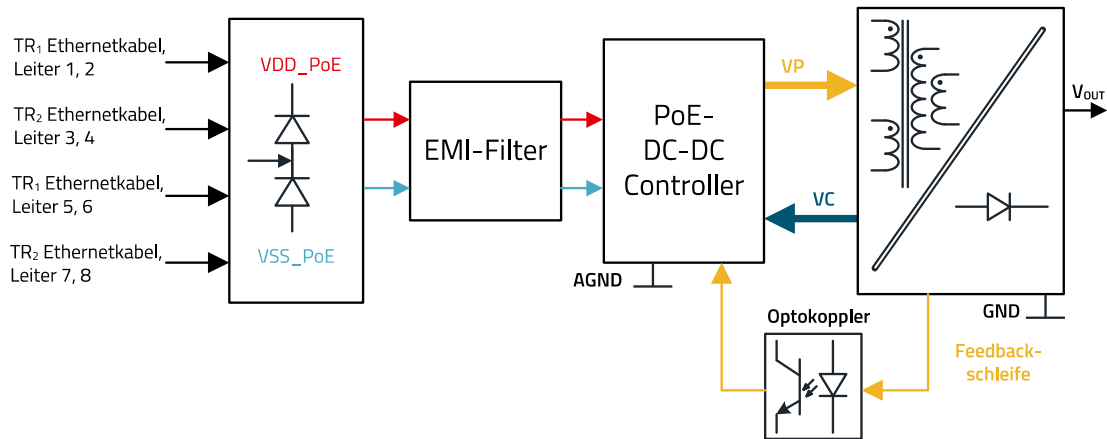


Abbildung 7: Prinzipschaltung der Stromversorgung (PoE)

Die Stromversorgung für die Controller-Elektronik muss den Isolationsanforderungen von IEEE 802.3-2005, Abschnitt 10, Verweis 4 entsprechen. Um diese Anforderung zu erfüllen, muss das sekundärseitige „V_{OUT}“-Stromversorgungssystem von der Primärseite (Ethernetkabel) mit einer Spannungsfestigkeit von mindestens 1500 V_{RMS} isoliert sein. Die unregulierte Spannung gelangt zum EMI-Filter, das hochfrequente Störungen dämpft und einen zusätzlichen Transientenschutz umfasst. Der PoE DC/DC-Controller regelt die Eingangsspannung (VDD/VSS), die über den Übertrager (Abbildung 7) galvanisch getrennt wird. Nach dem Gleichrichter steht die geregelte Ausgangsspannung (V_{OUT}) zur Verfügung. Der Massebezug wird per Übertrager getrennt, an der Primärseite des Übertragers ist der Massebezug „AGND“, auf der sekundären Seite „GND“. Der Übertrager, No. [750311320](#) hat zwischen Primär- und Sekundärseite eine Spannungsfestigkeit von 1.500 V_{RMS}. Die Feedback-Schleife zur Regelung der Ausgangsspannung wird mit einem Optokoppler galvanisch getrennt. Der hier verwendete Optokoppler WL-OCPT, No. [140356145100](#) hat eine Isolationsspannungsfestigkeit von 3.750 V_{RMS}. Abbildung 8 zeigt einen schematischen Aufbau der Leiterplatte bezüglich der galvanisch getrennten Bereiche.

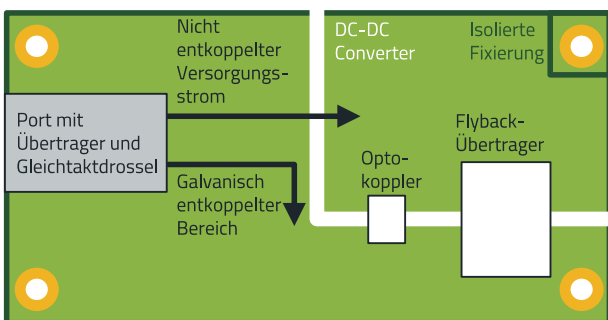


Abbildung 8: schematische Darstellung der galvanisch getrennten Bereiche auf der Leiterplatte

04. ENTWURF UND AUFBAU DES ADAPTER-BOARDS

Der GB-Ethernet-USB-Adapter mit PoE wurde als „integrierte Variante“ entwickelt, sodass im Bereich der Ethernet-Schnittstelle das Anpassungsnetzwerk und der Induktivitätenblock, bestehend aus Gleichtakt-Drosseln und -Übertragern mit in das Gehäuse der RJ-45 Buchse integriert sind (Abbildung 9).



Abbildung 9: GB-Ethernet-USB-Adapters mit PoE

4.1 Blockschtaltung

Der - Gigabit-Ethernet-Controller LAN7800 USB 3.1 verbindet die USB-Schnittstelle mit der Ethernet-Schnittstelle, als „Brücke“ (Abbildung 10). Somit sind für die Schaltung der Schnittstellen die signaltechnischen Anpassungen und Entkopplungen zu realisieren. Die Stromversorgung muss über das Ethernetkabel ausgekoppelt und mit einem DC/DC-Controller entsprechend geregelt werden. Der DC/DC-Controller übernimmt auch die Detektion und Klassifikation des Power Devices (PD). USB-seitig wird mit einem linearen DC/DC-Controller (LDO) die für den LAN7800 und das EEPROM notwendige 3,3 V-Versorgungsspannung generiert. Der LAN7800 benötigt für die Firmware ein zusätzliches 4-kbit-EEPROM.

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

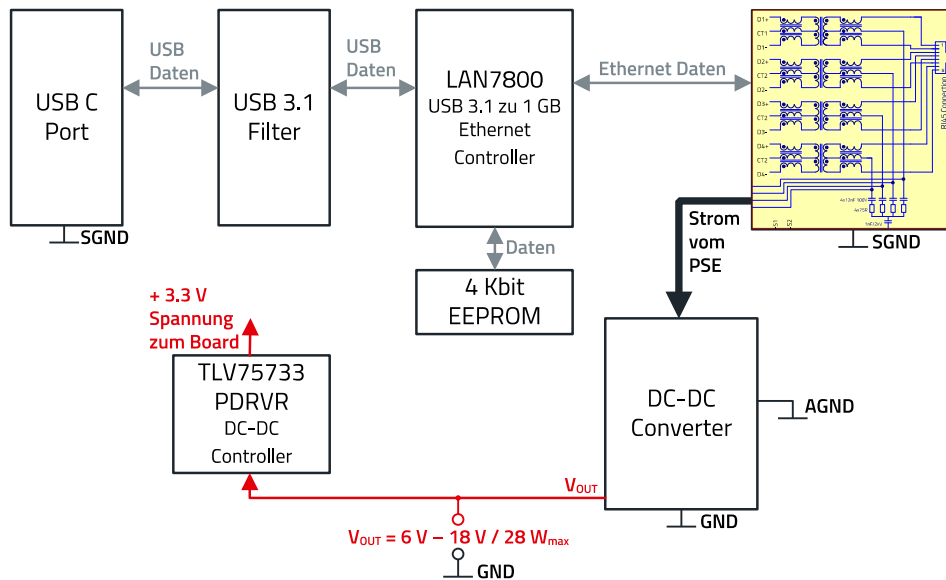


Abbildung 10: Blockschaltbild des GB-Ethernet-USB Adapters mit Power over Ethernet (PoE)

4.2 Schaltung, Stromlauf des Adapters

Die Schaltung des kompletten Adapters ist in Abbildung 11 und Abbildung 12 dargestellt. Abbildung 11 zeigt die USB- und die Ethernet-Schnittstelle mit dem PoE-Gleichrichter-

Teil, den Controller LAN7800 und den kleinen DC/DC-Regler für die 3,3-V-Versorgungsspannung. In Abbildung 12 ist der komplette DC/DC-Wandler gezeigt.

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

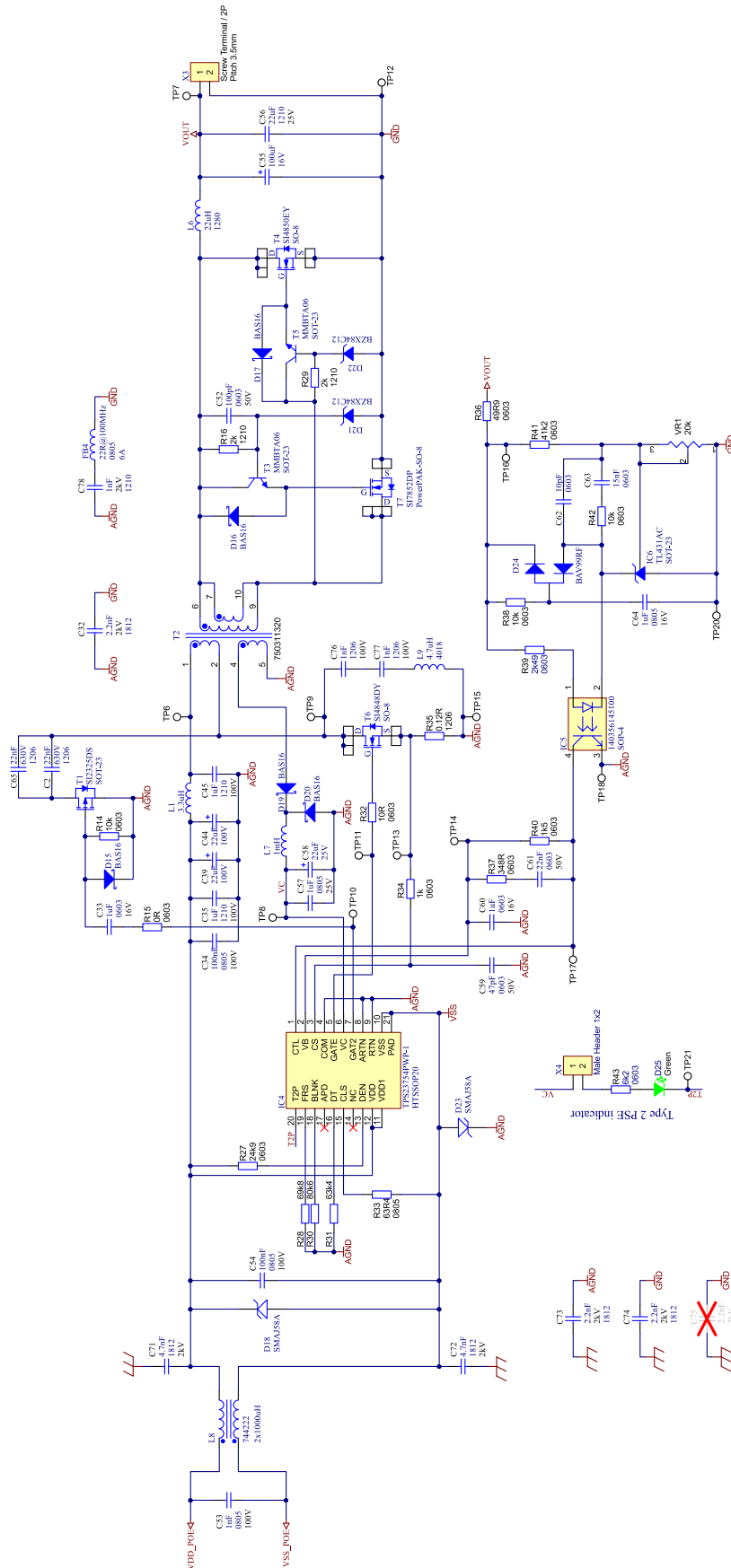


Abbildung 12: Schaltung des GB-Ethernet-Adapters mit PoE (DC/DC-Wandler)

4.3 USB-Ethernet-Controller

Der LAN7800 ist ein hochleistungsfähiger USB 3.1-nach-GB-Ethernet-Controller mit integriertem Ethernet-PHY. Für die Onboard-Software wurde ein externes 4-kbit-EEPROM angeschlossen. Die Schaltung ist in Abbildung 13 dargestellt. Der obere Teil des Controllers in der Abbildung ist der Signalteil, getaktet mit einem 25-MHz-Quarz, der untere Teil ist die relativ komplexe chipinterne Stromversorgung des Controllers.

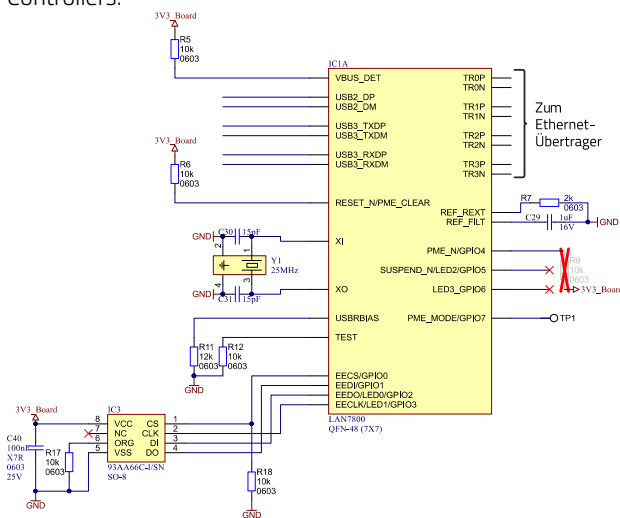


Abbildung 13a: Schaltung des Controllers: Signalteil

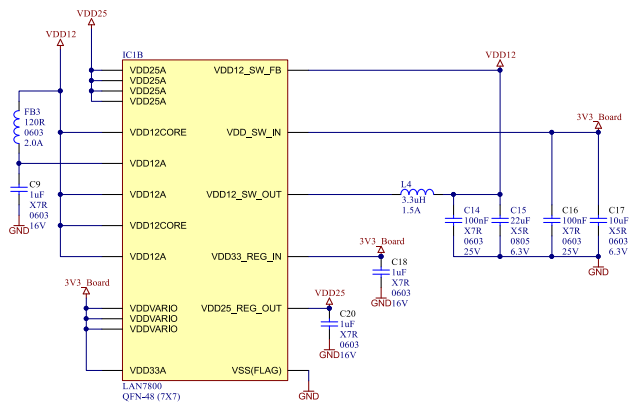


Abbildung 13b: Schaltung des Controllers: On-board-Stromversorgung. L4: [74404032033](#), WE-LQS SMT Semi-geschirmte Speicherdrossel, FB3: [742792625](#), WE-CBF SMT-Ferrit

4.4 USB 3.1-Schnittstelle

Der LAN7800-Chip integriert einen USB-3.1-SuperSpeed-Controller mit USB-PHY. Den Schaltplan der USB 3.1-Schnittstelle mit zugehörigem Signal-Filter zeigt Abbildung 14. Die Stromversorgung über die USB-Schnittstelle wird hier nicht benutzt, da die Versorgung über die Ethernet-Schnittstelle erfolgt (PoE).

Die Schaltung der USB-Schnittstelle ist in der Applikationsschrift [RD016](#) ausführlich beschrieben. Folgend eine Zusammenfassung.

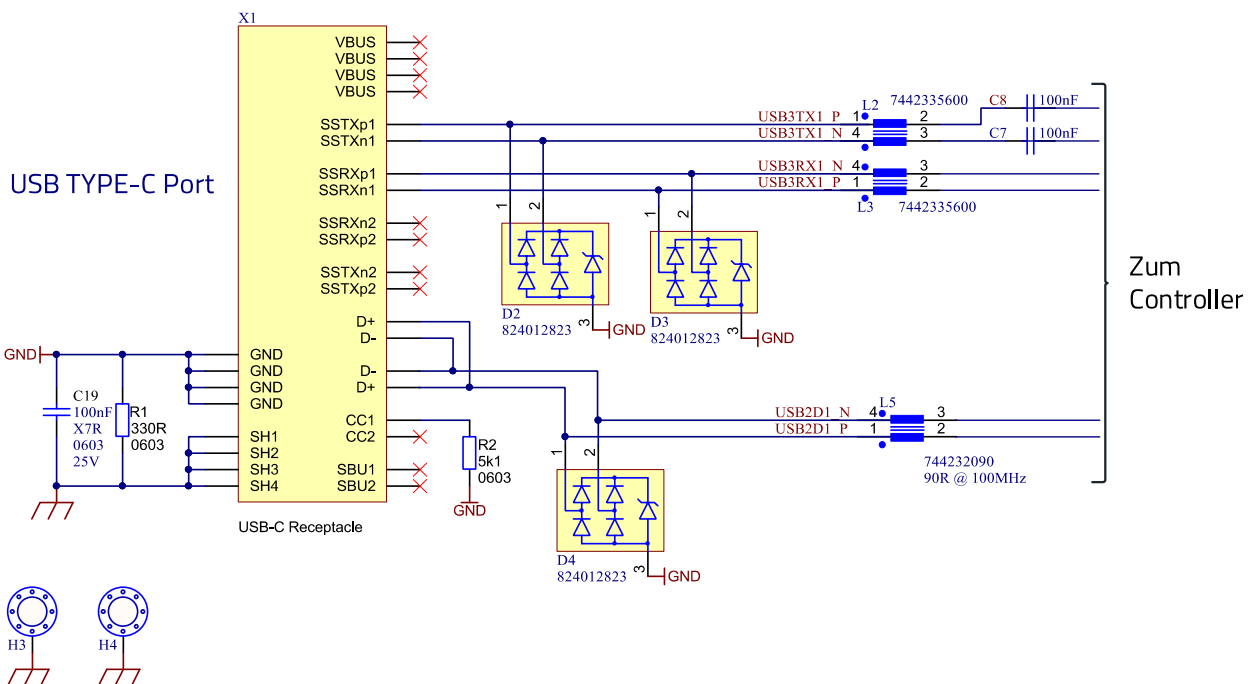


Abbildung 14: Schaltplan der USB 3.1-Schnittstelle

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

Die Datenleitungen im Schaltplan nach Abbildung 14 sind mit stromkompensierten Drosseln gegen Funkstörungen und mit TVS-Diodenarrays gegen transiente Überspannungen beschaltet. Die Masse der Leiterplatte (GND) wird am Baustein X1 an die GND-Anschlüsse des Kabels angeschlossen, zum Gehäuse jedoch ist der Anschluss über einen Kondensator (C19) und einen Widerstand (R1) hergestellt. Ist der Kondensator C19 bestückt, ist auch die Verbindung zwischen GND und dem Gehäuse/Schirm-Anschluss hochfrequent niederimpedant verbunden. Wird die Schaltung in ein Metallgehäuse eingebaut, kann es sich für eine Verbesserung der EMV (Emission und Störfestigkeit) als günstig erweisen, an Stelle von C19 einen SMD-Ferrit (z.B. [742792642](#)) zu bestücken. R1 entfällt dann. Über das Gehäuse und die Leiterplatten-Befestigungslöcher bleibt die Verbindung galvanisch bestehen.

Die Auswahl der Filterbauteile für die USB 3.1-Signale ist kritisch, folgende Bauelemente wurden für die Schaltung nach Abbildung 14 ausgewählt:

- L2, L3: WE-CNSW-HF Stromkompensierter SMT Line Filter (High Frequency), [7442335600](#)
- L5: WE-CNSW Stromkompensierter SMT Line Filter, [744232090](#)
- D2, D3, D4: WE-TVS TVS-Diode - Super Speed, [824012823](#)
- C7, C8: WCAP-CSGP Keramik Kondensator 100V, [885012207128](#)

Die stromkompensierte Drossel in den USB 3.1-Datenleitungen darf das Nutzsignal möglichst nicht beeinflussen. Die hier eingesetzte Drossel hat eine Gegentakt-Impedanz von ca. 10 Ω bei 500 MHz, sodass die Beeinflussung bei der Super-Speed-Datenrate noch nicht zu hoch ist. Die für die Störsignaldämpfung wirkende Gleichtakt-Impedanz beträgt bei 100 MHz 60 Ω und steigt bis 1000 MHz auf 140 Ω an.

Für das USB 2.0 kompatible Signalpaar, D- und D+ wurde eine Gleichtakt-Drossel mit höherer Impedanz gewählt. Die Drossel L5, ein [WE-CNSW](#) Stromkompensierter SMT Line Filter, hat bei 500 MHz eine Gegentakt-Impedanz von 30 Ω . Die Gleichtakt-Impedanz beträgt bei 100 MHz 100 Ω und bei 1000 MHz bereits 350 Ω . Als TVS-Dioden-Array wird das „[WE-TVS TVS-Diode - Super Speed](#)“ Array mit der No. [824012823](#) eingesetzt.

Die Koppelkondensatoren C7 und C8 in Abbildung 14 sollen eine Kapazität zwischen 75 nF und 200 nF haben. Es sollte weiterhin darauf geachtet werden, dass diese Koppelkondensatoren eine ausreichende

Spannungsfestigkeit haben, um ggf. transiente Überspannungen von der Schnittstelle kommend, unbeschadet an das nachfolgende TVS-Dioden-Array zu übertragen.

Die symmetrischen USB-Signal-Leiterbahnen haben eine Impedanz von 90 Ω (+/- 15 %). Typisch sollte eine Leiterbahnbreite von 0,11 mm und ein Abstand zwischen den Leiterpaaren von 0,13 mm angesetzt werden. Alle USB 3.1-Leiterbahnen müssen auf einer Ebene der Platine geführt werden und müssen eine durchgehende Masseebene als Bezug haben. Durchkontaktierungen und scharfe Winkel sollten, wo immer möglich, vermieden werden. Für die USB-Buchse sollte eine SMD-Variante gewählt werden, um auf Durchkontaktierungen der USB 3.1-Signalleitungen, verzichten zu können. Das Layout für diesen Bereich ist in Abbildung 15 gezeigt.

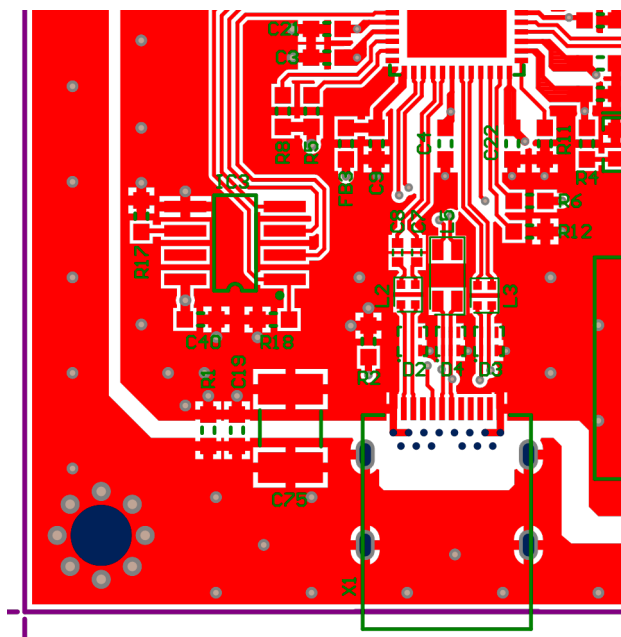


Abbildung 15: Layout, schematische Darstellung vom USB 3.1-Bereich

4.5 Ethernet-Schnittstelle

Die Ethernet-Buchse umfasst die Übertrager, die ein- und ausgangsseitigen Gleichtakt-Drosseln und die Bob-Smith-Abschlüsse. Abbildung 16 zeigt einen Ausschnitt des Schaltplans.

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

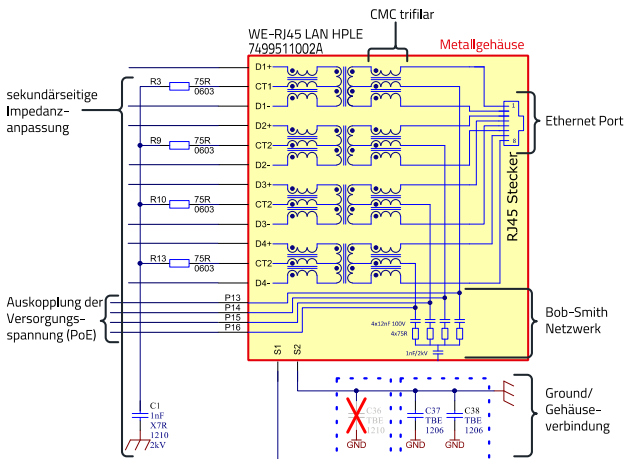


Abbildung 16: Schaltplanausschnitt des Ethernet-Front-Ends

Der Übertrager sorgt für die funktionale galvanische Trennung zwischen Gerät und Kabel, die notwendige Isolationsspannung beträgt 1.500 V_{rms}. Primärseitig ist die Impedanzanpassung über das sog. Bob-Smith-Netzwerk realisiert, sekundärseitig über 75-Ω-Widerstände. C1 sorgt für eine galvanische Trennung, um Ausgleichsströme zwischen Geräten zu verhindern. Primärseitig wird über die Mittelabgriffe der Übertrager die Versorgungsspannung ausgekoppelt. Über die Lötanschlüsse S1 und S2 ist das Ethernetmodul an „Masse“ angeschlossen. Je nach Massekonzept kann das direkt zu einem Metallgehäuse, oder zur Leiterplattenmasse (GND) geschehen. Für eine ausführliche Erklärung sei hier auf die Applikationsschriften [RD016](#) und [ANP116](#) verwiesen. Das Layout des Ethernet-Schnittstellenbereichs ist in Abbildung 17 gezeigt.

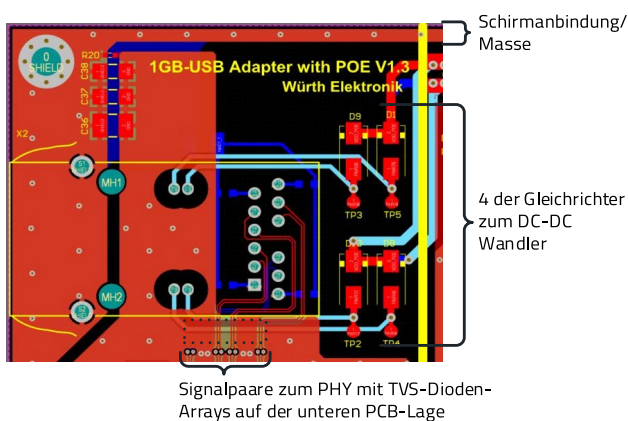


Abbildung 17: Layout des Bereichs um die Ethernet-Schnittstelle

Die Gehäuse-/Buchsenmasse zum Elektronik-GND ist in allen vier Lagen getrennt, die Flächen der Gehäusemasse überlappen sich nicht mit anderen Lagen. Die Masseflächen sind im Raster ca. alle 4 mm miteinander mit Durchkontaktierungen verbunden. Die Ethernet-Signalleitungen haben eine Leiterbahnbreite von 0,154 mm und zueinander einen Abstand von 0,125 mm. Die TVS-Arrays müssen

unmittelbar in den Signalpfad und gegen GND angeschlossen werden, um einen Spannungsabfall durch parasitäre Induktivitäten zu vermeiden. Das ist der Grund, weshalb hier zwei Arrays benutzt wurden, die nicht vollständig beschaltet sind. Einen Ausschnitt aus dem Schaltplan zeigt Abbildung 18. Abbildung 19 zeigt den Layout-Ausschnitt und die Komponentenplatzierung.

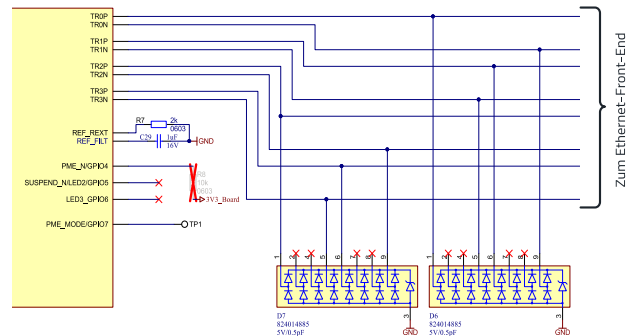


Abbildung 18: Schaltplanauszug der Ethernet-Signalführung mit den TVS-Dioden-Arrays WE-TVS TVS Diode – Super Speed Series, No. [824014885](#)

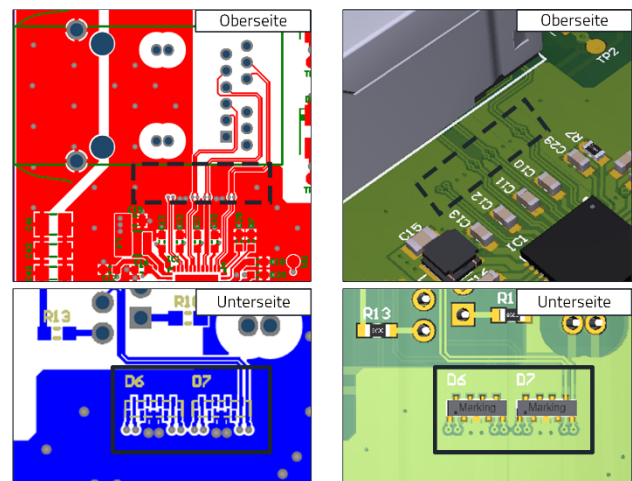


Abbildung 19: Layoutausschnitt und die Komponentenplatzierung des Signalpfades zwischen Ethernet-Front-End und PHY

4.6 Netzteil, Power-over-Ethernet (PoE)

Der Stromversorgungsteil des Boards ist auf Basis des Evaluierungsmoduls TPS23754EVM-383 von Texas Instruments aufgebaut. Die Schaltung ist in Abbildung 20 gezeigt.

Das Controller-IC TPS23754 ist ein IEEE 802.3at-konformer PD- und Stromversorgungs-Controller. Der isolierte Durchflusswandler hat eine maximale Ausgangsleistung von 25 W. Die Schaltung zeichnet sich durch einen aktiven Snubber (T1) und einen synchronen Gleichrichter (T3, 4, 5, 7) aus.

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

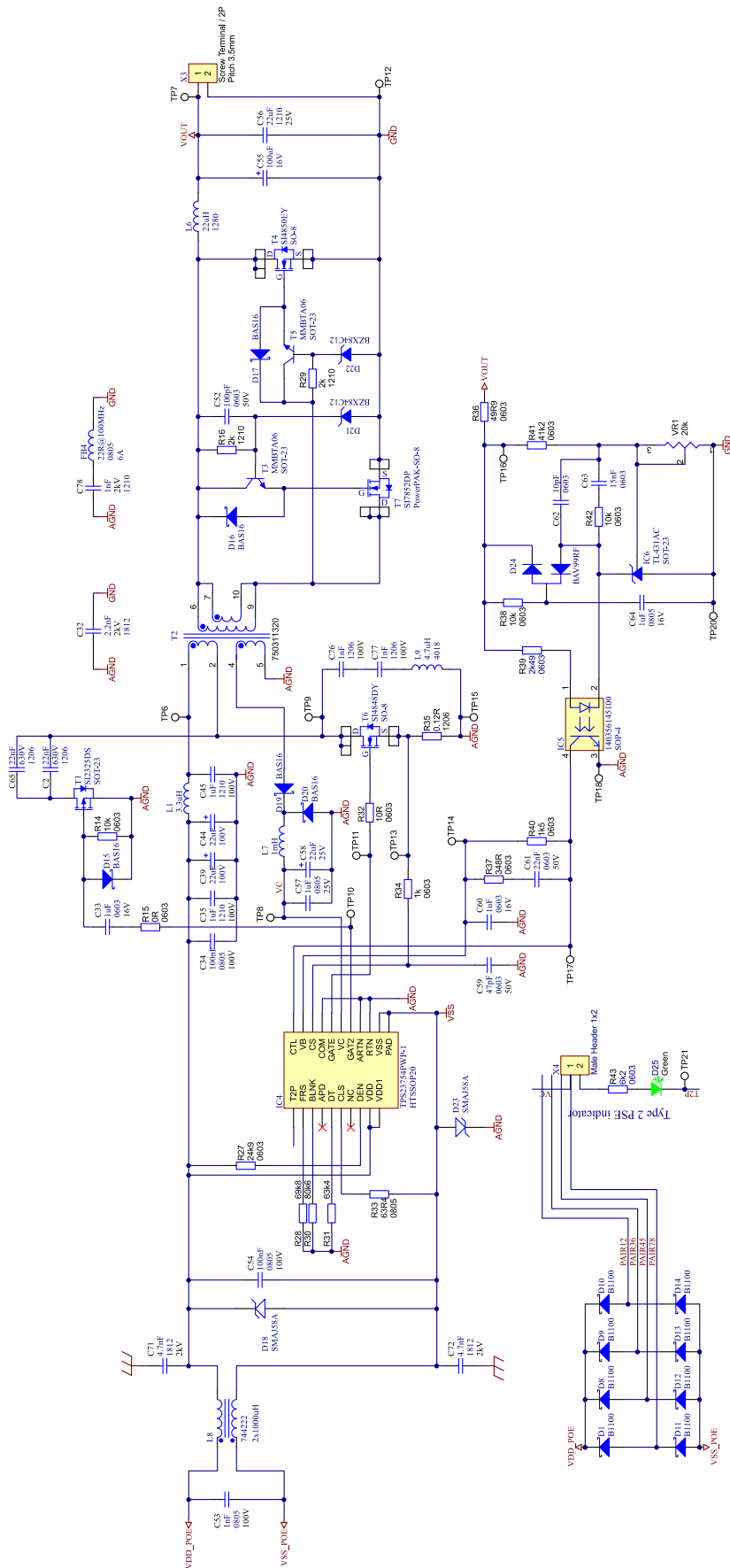


Abbildung 20: Schaltung des PoE-Stromversorgungsteils

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

Die nach Norm vorgesehene galvanische Trennung erfolgt mittels T2 (Übertrager, No. WE [750311320](#)) und IC5 (Optokoppler, WL-OCPT No. [140356145100](#)). Mit dem Trimmwiderstand VR1 kann die Ausgangsspannung an X3 zwischen 6 V und 18 V eingestellt werden. Die Versorgungsspannung kommt von den Ethernet-Kabelpaaren, ausgekoppelt über die Übertrager-Mittelanzapfungen, und die trifilaren Gleichtaktrosseln (Abbildung 16) und gelangt zu den 8 Dioden (Abbildung 20 links unten). Über die Dioden wird dann die Gleichspannung zu der Filterstufe und zum Controller geleitet. Das zur Schaltung zugehörige Layout ist in Abbildung 21 gezeigt.

Die grüne Linie in Abbildung 21 trennt den primären- von dem sekundären Stromversorgungsbereich galvanisch. Hier sind die Luft- und Kriechstrecken einzuhalten, die den Sicherheitsstandards wie der IEC 62368 entsprechen. Die beiden Bereiche sind durch alle 4 Lagen der Leiterplatte mit einem Kupferlagen- / Leiterbahn-Abstand von 1,5 mm getrennt. Der notwendige Mindestabstand ermittelt sich nach den in der IEC 62368 angegebenen Luft- und Kriechstrecken, die in Abhängigkeit von

- Spitzenspannung (peak voltage, d.h. $1.500 V_{\text{eff}} \approx 2.120 V_{\text{peak}}$)
- Isolationsgrad („basic or supplementary insulation“)

- ggf. Verunreinigungsgrad gewählt werden müssen.

Sollten aufgrund der Applikation höhere Anforderungen an die Isolation notwendig sein, müssen die Komponenten und die Isolationsabstände entsprechend angepasst werden!

Um die Störemission des DC/DC-Wandlers gering zu halten sind einige Voraussetzungen für das Layout zu beachten:

- Signalleitungen generell von Leiterbahnen des Wandlers, mindestens 5 mm entfernt halten.
- Im Leistungspfad breite Leiterbahnen oder Overlay-Kupferfüllungen verwenden.
- Minimieren der Leiterbahnlänge im kompletten Leistungspfad. Leiterbahnen des Leistungspfads, incl. L1, T2, L6, fern von Schaltungen mit niedrigem Pegel halten.
- Den Schaltknoten um T6, T2 (Pins 1/2), C45, inkl. von wärmeableitenden Flächen so klein wie möglich halten (Minimierung der Fläche der Abstrahlungsschleife).
- Um die Gleichtaktstörungen vom Controller IC4 zum Ethernet-Frontend gering zu halten, ist ein umfangreicher Filter mit C53, L8, C71, C72 und C54 vorgesehen (Abb. 27). SMD-Ferrite, wie ursprünglich vorgesehen, genügen an dieser Stelle nicht.

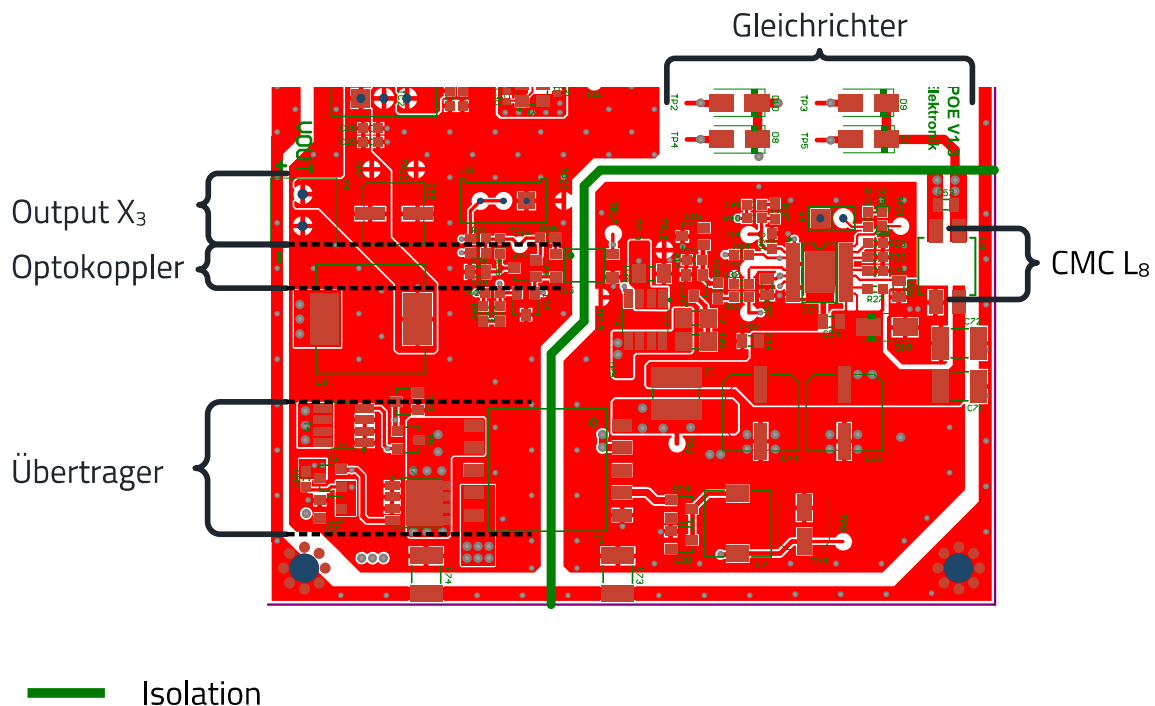


Abbildung 21: Layout des PoE-Stromversorgungsteils zur Schaltung nach Abbildung 19

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

4.7 EMV-Design für die Evaluierung

Dieses Versuchsboard hat, wie schon das Board ohne PoE (RD016), die Möglichkeit über verschiedene Bestückungsplätze für Komponenten, das Masse-System zu verändern. So kann beispielsweise ein Anschluss des Kabelschirms auf der Ethernet-Seite über Drahtbrücken, Kondensatoren, oder SMD-Ferrite durchgeführt werden, um die Auswirkung auf die Kabelschirmdämpfung und die Bitfehlerrate zu evaluieren. In Abbildung 22 sind die Positionen der „EMV-Komponenten“ dargestellt. Auf der Oberseite sind Bestückungsplätze für Bauelemente, die die „digitale Masse“ (GND) mit dem Gehäuse / der Schirmmasse verbinden können. Die Bauteile sind C36, C37, C38, C41, C42, C43, C73, C74, R1, C19, C75 entsprechend dem Schaltplan in Abbildung 23.

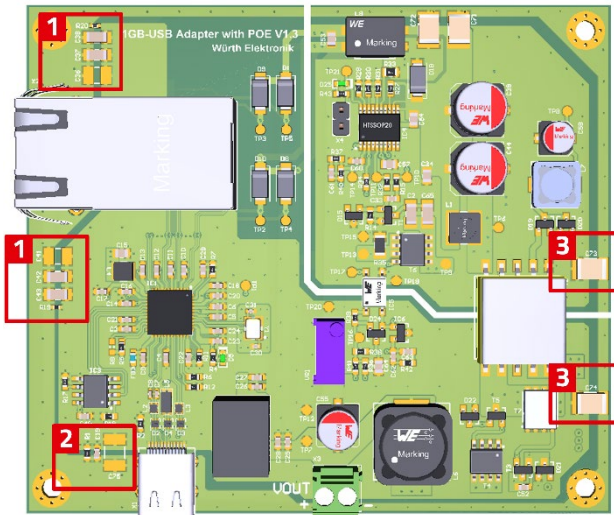


Abbildung 22: GB-Adapter, Position der „EMV-Komponenten“ auf der Oberseite. C36, C37, C38, C41, C42, C43, C73, C74, R1, C19, C75 entsprechend dem Schaltplan in Abbildung 23

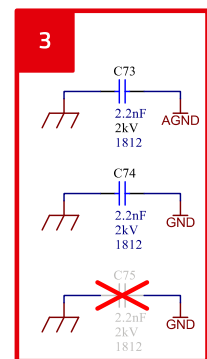
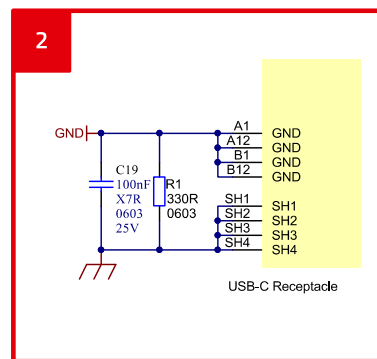
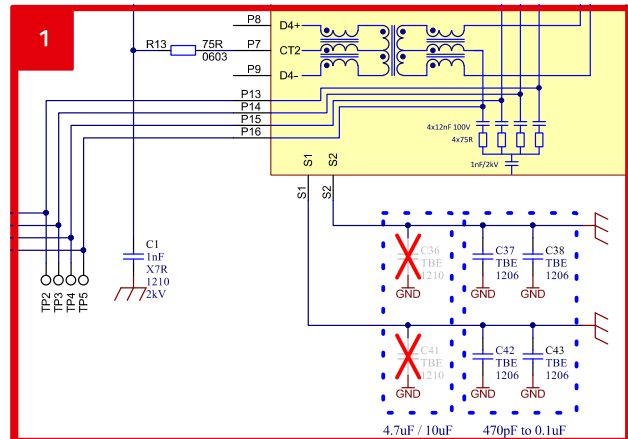


Abbildung 23: Schaltplanauszug der „EMV-Komponenten“ auf der Oberseite nach Abbildung 22

Die Kondensatoren und der Widerstand sind als „Bestückungsplätze“ zu verstehen, die alternativ mit Kondensatoren, SMD-Varistoren, 0-Ω-Widerständen, oder Kombinationen assembliert werden können. Auch ein Nichtbestücken ist möglich. Für eine ausführliche Erklärung sei auf die Applikationsschrift ANP116 verwiesen.

In Abbildung 24 ist die Unterseite der Baugruppe gezeigt, auch hier sind die entsprechenden „EMV-Komponenten“ markiert.

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

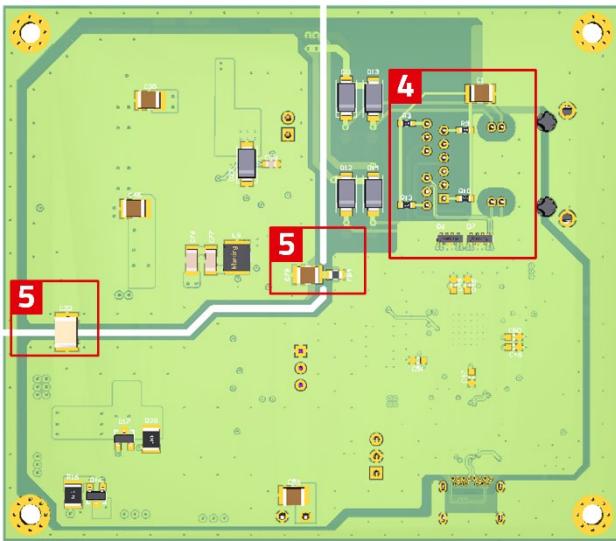


Abbildung 24: GB-Adapter, Position der „EMV-Komponenten“ auf der Unterseite

Abbildung 25 und Abbildung 26 zeigen die Schaltplanauszüge für die Komponenten nach Abbildung 24. Die 75-Ω-Widerstände R3, R9, R10 und R13 mit dem Kondensator C1 (Abbildung 24) sind der sekundärseitige Impedanzabschluss zum PHY, der Kondensator ermöglicht eine Blockung für DC-Ströme, die ggf. durch einen Offset des PHY-Signals entstehen. Der Kondensator muss eine Spannungsfestigkeit von 2 kV haben. Die TVS-Dioden-Arrays D6 und D7 schützen den PHY vor transienten Gleichtaktstörungen. Der Massebezug ist hier der PHY (GND)! Der Kondensator C32 (Abbildung 25) verbindet am DC/DC-Wandler die Masse der Primärseite (AGND) mit der Masse der Sekundärseite (GND). Dieser Kondensator bietet einen niederimpedanten Rückweg für Ströme, die von den Schaltspannungen zwischen den Primär- und Sekundärwicklungen des Übertragers T2 erzeugt werden. Ohne diesen niederimpedanten Pfad kehren die Ströme über

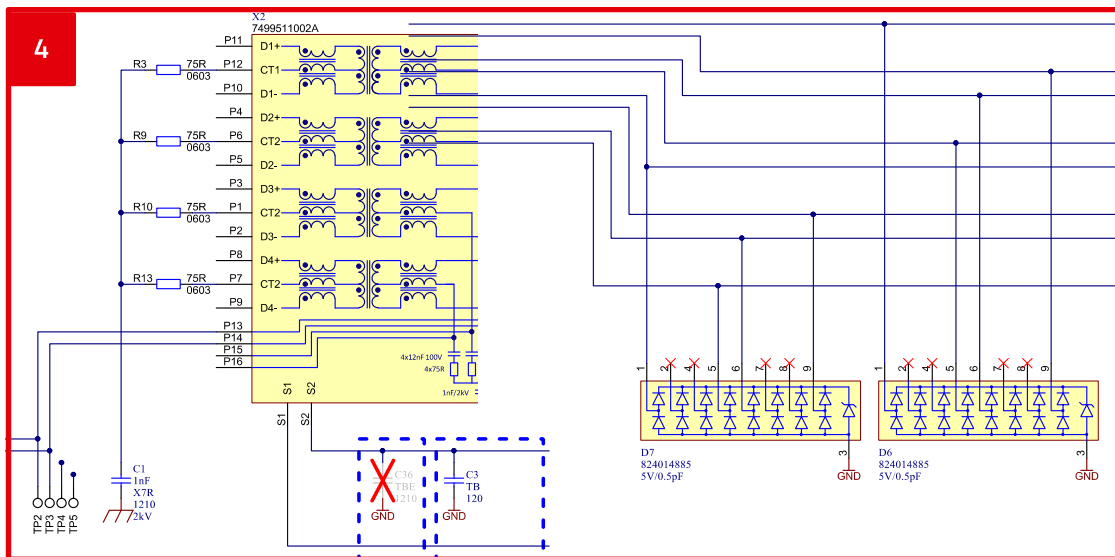


Abbildung 25: Schaltplanauszug, Teil 1 der „EMV-Komponenten“ auf der Unterseite nach Abbildung 24

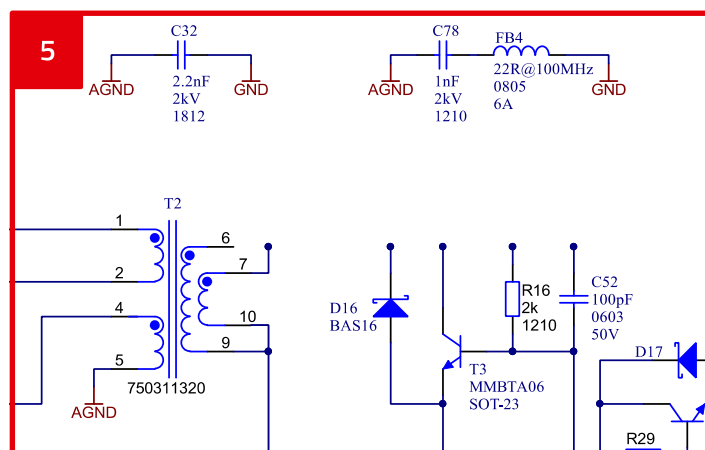


Abbildung 26: Schaltplanauszug, Teil 2 der „EMV-Komponenten“ auf der Unterseite nach Abbildung 24

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

Streukapazitäten von der Sekundärseite zur Masse zurück und führen so zu einer erhöhten leitungsgebundenen Störspannung. Die Nennspannung des Kondensators muss mindestens gleich der Isolationsspannung des Übertragers sein. Es wird typisch eine Kapazität von etwa 2200 pF gewählt. Auch C78 verbindet kapazitiv AGND mit GND. Hier ist jedoch ein zusätzlicher SMD-Ferrit in Reihe geschaltet, um ein im Bereich zwischen 20 MHz und 30 MHz resonantes Störemissionsspektrum zu dämpfen. Der **SMD-Ferrit WE-CBF 742792021** hat in diesem Frequenzbereich eine Impedanz von ca. 4 Ω. Diese Impedanz beeinträchtigt die Ableitung des Störstroms nicht, dämpft jedoch wirksam die Resonanz.

Mit C76, C77 und L9 in Abbildung 27 wurde zusätzlich zum aktiven Snubber (Schaltung um T1) ein gedämpfter Resonanzkreis zwischen T6/Drain und T6/Source (AGND) geschaltet. Diese Schaltung reduziert ein Störspektrum im Bereich von ca. 23 MHz. Die Störenergie am MOSFET T6 ist nicht hoch, so dass der Transistor sich nicht merkbar erwärmt, die Störemission wird jedoch deutlich um ca. 6 dB reduziert. In Abbildung 27 sind der Schaltplanauszug und die entsprechende Position der Bauelemente auf der Leiterplatte gezeigt.

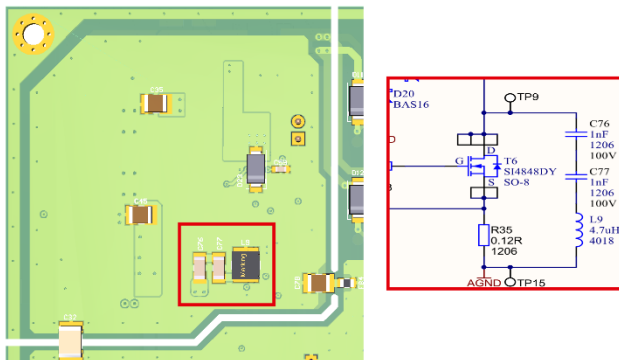


Abbildung 27: Passiver Resonanz-Snubber am Schalttransistor T6. Schaltplan und Position auf der Leiterplatte. L9: **WE-LQS, 74404042047**. C76, C77: **WCAP-CSGP, 885 0122 08 106**

Zur Reduktion von Gleichtakt-Störungen wurde zwischen DC/DC-Wandler und Dioden-Array ein hoch wirksamer Filter integriert. Abbildung 28 zeigt den Schaltplan, mit dem entsprechenden Bildausschnitt auf der Leiterplatte. C53 und C54 reduzieren die Gegentakt-Störungen, C71 und C72 die Gleichtakt-Störungen. Wichtig ist hier jedoch die Gleichtakt-Drossel WE-SL2 mit einer Induktivität von 1 mH pro Wicklung. Die breit ausgeprägte Resonanzfrequenz der Drossel liegt

zwischen 2 MHz und 8 MHz, die Impedanz beträgt bei 100 MHz noch 600 Ω; genügend für eine hohe Filter-Einfügedämpfung. Durch die Verwendung einer Gleichtakt-Drossel wird im Stromversorgungszweig eine Stromkompensation erreicht, so dass der Ferritkern der Induktivität nicht in eine magnetische Sättigung gerät und so die Impedanz hoch bleibt und die Bauteilgröße im Vergleich zu zwei separaten Induktivitäten klein ist.

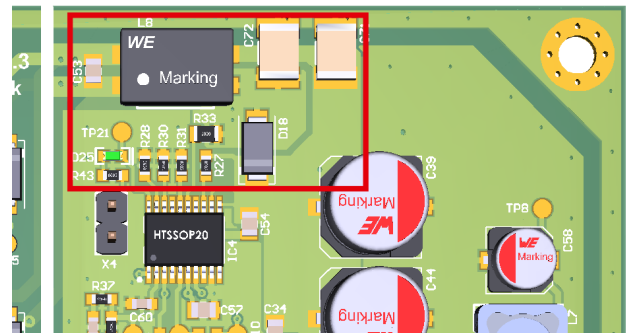


Abbildung 28: Filter zwischen DC/DC-Wandler und Gleichrichter, Stromlauf und Position auf der Leiterplatte

4.8 Software

Die Funktionen der Software sind identisch mit der Software im Board ohne PoE, deshalb sei hier auf die Beschreibung im Dokument **RD016** verwiesen.

4.9 EMV

Das Referenzdesign wurde umfassend im werkseigenen EMV-Labor geprüft. Die Ergebnisse und eine ausführliche Beschreibung zum Aufbau und zu Entstör-Tipps sind in der Applikationsschrift **ANP122** zu finden.

A Anhang

A.1 Stückliste

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

Index	Beschreibung	Größe	Elektrische Eigenschaften	Artikelnummer
C1, C78	Keramikkondensator	1210	1 nF, 2 kV, +/- 10 %, X7R	885342209009
C2, C65	Keramikkondensator	1206	22 nF, 630 V, +/- 10 %, X7R	885342208014
C3, C4, C5, C6, C10 - C14 C16, C19, C21 - C24, C27, C28, C40	Keramikkondensator	0603	100 nF, 25 V, +/- 10 %, X7R	885012206071
C7, C8	Keramikkondensator	0402	100 nF, 25 V, +/- 20 %, X5R	885012105018
C9, C18, C20, C29, C33, C60	Keramikkondensator	0603	1 µF, 16 V, +/- 10 %, X7R	885012206052
C15	Keramikkondensator	0805	22 µF, 6,3V, +/- 20 %, X5R	885012107005
C17, C26	Keramikkondensator	0603	10 µF, 6,3 V, +/- 20 %, X5R	885012106006
C25	Keramikkondensator	0603	2,2 µF, 16 V, +/- 20 %, X5R	885012106018
C30, C31	Keramikkondensator	0402	15 pF, 50 V, +/- 5 %, COG	885012005056
C32, C73, C74	Keramikkondensator	1812	2,2 nF, 2 kV, +/- 10 %, X7R	885342210002
C34, C54	Keramikkondensator	0805	100 nF, 100 V, +/- 10 %	885012207128
C35, C45	Keramikkondensator	1210	1 µF, 100V, +/- 10 %, X7R	885012209069
C37, C38, C42, C43	Keramikkondensator	1206	TBE	
C39, C44	Keramikkondensator	8 mm · 10,5 mm	22 µF, 100 V, +/- 20 %	865080853006
C52	Keramikkondensator	0603	100 pF, 50 V, +/- 10 %, X7R	885012206077
C53	Keramikkondensator	0805	1 nF, 100 V, +/- 10 %, X7R	885012207116
C55	Elektrolythkondensator	6,3 mm · 7,7 mm	100 µF, 16 V, +/- 20 %	865230345005
C56	Keramikkondensator	1210	22 µF, 25 V, +/- 20 %, X5R	885012109014
C57	Keramikkondensator	0805	1 µF, 25 V, +/- 10 %, X7R	885382207003
C58	Elektrolythkondensator	5,0 mm · 5,5 mm	22 µF, 25 V, +/- 20 %	865060442002
C59	Keramikkondensator	0603	47 pF, 50 V, +/- 5 %	885012006055
C61	Keramikkondensator	0603	22 nF, 50 V, +/- 10 %, X7R	885012206091
C62	Keramikkondensator	0603	10 pF, 100 V, +/- 5 %, COG	885012006073
C63	Keramikkondensator	0603	15 nF, 50 V, +/- 10 %, X7R	885012206090
C64	Keramikkondensator	0805	1 µF, 16 V, +/- 10 %, X7R	885382207001
C71, C72	Keramikkondensator	1812	4,7 nF, 2 kV, +/- 10 %, X7R	885342211008
C76, C77	Keramikkondensator	1206	1 nF, 100 V, +/- 10 %, X7R	885012208106
D1, D8 -D14	Diode, Schottky	SMA	100 V, 1 A	
D2 -D4	Diode, TVS Super Speed	DFN1210-6L	3,3 V	824012823
D5, D25	LED 572NM GREEN SMD	0603		150060VS75020
D6, D7	Diode, TVS Super Speed	DFN1210-6L	5 V, 8CH	824014885

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

D15 - D17, D19, D20	Diode, Switching,	SOT-23	75 V, 0,2 A	BAS16LT1G Onsemi
D18, D23	Diode, TVS	SMA	58 V, 400 W, Unidirectional	
D21, D22	Diode, ZENER,	SOT-23	12 V, 300 mW	
D24	Diode, Dual,	SOT-23	70 V, 0,2 A	
FB3	Ferrite Bead	0603	120R @ 100 MHz / 2,0 A	742792625
FB4	Ferrite Bead	0805	22R @ 100MHz / 6,0 A	742792021
IC1	IC USB3.1 zur 1G Ethernet Bridge	QFN-48 (7X7)	3,3 V	LAN7800/Y9X Microchip
IC2	DC/DC Converters, Non-Isolated	SIP-3	7 - 28 V _{in} , 3,3 V _{out} , 3,3 W	173010378
IC3	IC EEPROM, SPI	SO-8	4 kb, 16 MHz, 1,8 - 5,5 V	93AA66C-I/SN Microchip
IC4	IC IEEE 802.3at POE/DC-DC	HTSSOP20		TPS23754PWP-1 Texas Instruments
IC5	Optokoppler, WL-OCPT	SOP-4	3.75kV, 50mA	140356145100
IC6	IC VREF SERIES	SOT-23	2.495V	TL431ACDBZR Texas Instruments
L1	Induktivität	4828	3.3 µH / 2,15 A	744043003
L2, L3	Gleichtakt-drossel	1 · 1,2 mm	60R @ 100 MHz/ 600 mA	7442335600
L4	Induktivität	3015	3,3 µH / 1,5 A	74404032033
L5	Gleichtakt-drossel	1206	90R @ 100 MHz / 370 mA	744232090
L6	Induktivität	1280	22 µH / 4,1 A	744770122
L7	Induktivität	7332	1 mH / 0,2 A	74477830
L8	Gleichtakt-drossel	9,2 · 6 · 5 mm	2 · 1000 µH / 9,2 · 6 mm / 800 mA	744222
L9	Induktivität	4018	4,7 µH / 1,7 A	74404042047
R1, R4	Widerstand	0603	330 Ω, 1 %, 0,1 W	
R2	Widerstand	0603	5,1 kΩ, 1 %, 0,1 W	
R3, R9, R10, R13	Widerstand	0603	75 Ω, 1 %, 0,1 W	
R5, R6, R12, R14, R17, R18, R38, R42	Widerstand	0603	10 kΩ, 1 %, 0,1 W	
R7	Widerstand	0603	2 kΩ, 1 %, 0,1 W	
R11	Widerstand	0603	12 kΩ, 1 %, 0,1 W	
R15	Widerstand	0603	0 Ω, 1 %, 0,1 W	
R16, R29	Widerstand	1210	2 kΩ, 1 %, 0,5W	
R19, R20	Widerstand	0402	0 Ω, 1 %, 0,063 W	
R27	Widerstand	0603	24,9 kΩ, 1 %, 0,1 W	
R28	Widerstand	0603	69,8 kΩ, 1 %, 0,1 W	
R30	Widerstand	0603	80,6 kΩ, 1 %, 0,1 W	

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

R31	Widerstand	0603	63,4 k Ω , 1 %, 0,1 W	
R32	Widerstand	0603	10 Ω , 1 %, 0,1 W	
R33	Widerstand	0805	63,4 Ω , 1 %, 0,125 W	
R34	Widerstand	0603	1 k Ω , 1 %, 0,1 W	
R35	Widerstand	1206	0,12 Ω , 1 %, 1 W	
R36	Widerstand	0603	49,9 Ω , 1 %, 0,1 W	
R37	Widerstand	0603	348 Ω , 1 %, 0,1 W	
R39	Widerstand	0603	2,49 k Ω , 1 %, 0,1 W	
R40	Widerstand	0603	1,5 k Ω , 1 %, 0,1 W	
R41	Widerstand	0603	41,2 k Ω , 1 %, 0,1 W	
R43	Widerstand	0603	6,2 k Ω , 1 %, 0,1 W	
T1	Mosfet	SOT-23	20 V, 0,69 A	
T2	Transistor, POE, SMT		30 W	750311320
T3, T5	Transistor	SOT-23	80 V, 0,5 A	MMBTA06LT1G Onsemi
T4	MOSFET, N-CH	SO-8	60 V, 8,5 A	
T6	MOSFET, N-CH	SO-8	150 V, 3,7 A	
T7	MOSFET, N-CH	PowerPAK-SO-8	80 V, 12,5 A	
VR1	Trimmer	4,83 · 9,53 · 10,03 mm	20 k Ω , 10 %, 0,5 W	
X1	CON, USB, Type C, Female, 24P, Hor, SMT			632723300011
X2	CON, Ethernet, Int Magnetics, POE+, 8P, 1x1 Tab-Up, INS			7499511002A
X3	CON, Terminal Block, Screw, 2P, 10A, INS	Pitch 3,5 mm		691214110002S
X4	CON, Header, Male, 2P, Straight, INS	Pitch 2,54 mm		61300211121
Y1	Quarz		25 MHz / 18 pF / 30 ppm	830055299

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

REFERENCE DESIGN

RD022 | „GB PoE+ - Ethernet-USB“-Adapter

REVISIONSHISTORIE

Dokument Version	Veröffentlichungsdatum	Änderungen
RD022a	2023/06/30	Ursprüngliche Version der Application Note
RD022b	2026/04/07	Korrektur "Ausgangsspannung" zu "Ausgangsstrom" (s. Tabelle 1 Spalte 5)

Hinweis: Die aktuelle Version des Dokuments und das Veröffentlichungsdatum sind in der Fußzeile jeder Seite dieses Dokuments angegeben.