

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

ANP002B VON JOCHEN BAIER

1. ESD-gerechte USB Schnittstellen

Die USB-Schnittstelle ist wohl die am weitest verbreitete PC-Schnittstelle der Welt. Auch in Industrieanwendungen ist sie mittlerweile nicht mehr wegzudenken. Zeit, dass wir uns etwas genauer den typischen Umgebungsbedingungen widmen, denen Industrieanwendungen ausgesetzt sind.

Dass es Bedenken bzgl. der Anfälligkeit von USB Schnittstellen gibt, wird sogar in Intel's "High Speed USB Platform Design Guidelines" genannt. Intel empfiehlt den Einsatz von Stromkompensierten Drosseln für EMV Entstörung und weitere Komponenten für den Schutz gegen elektrostatische Entladung.

Würth Elektronik bietet all diese Produkte.

- Die Stromkompensierten Datenleitungsdrosseln [WE-CNSW](#) sind speziell für die Gleichtaktentstörung von schnellen Datenleitungen entwickelt
- Zum Schutz vor ESD sind die TVS Dioden [WE-TVS](#) mit sehr niedrigen Kapazitäten (<2pF) sowie die keramischen ESD Suppressor Serien [WE-VE](#) (Kapazitäten bis zu 0,05pF) die perfekte Wahl.

Doch für unübertroffenes EMV-gerechtes Design ist es genauso wichtig, die Spannungsversorgung (V_{BUS}) zu befiltern. Viele Entwickler lassen diesen wichtigen Punkt außer Acht und wundern sich beim Test im EMV-Labor wenn ihr Produkt die Tests nicht besteht.

Zwei optimierte Designs von ein bzw. zwei USB-Schnittstellen werden unten gezeigt:

Mit einer TVS Diode [WE-TVS](#) können zwei USB-Leitungen geschützt werden. Alle vier Signalleitungen sowie die gemeinsame Spannungsversorgung sind gut gegen ESD geschützt.

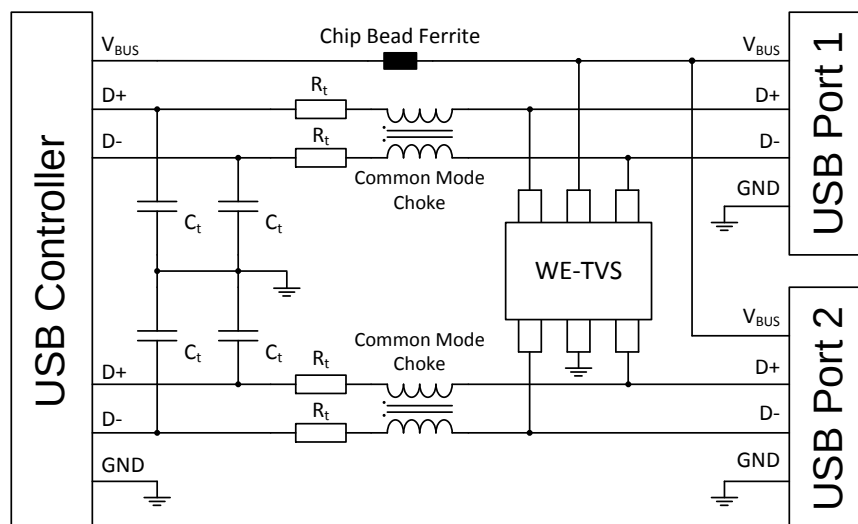


Abbildung 1: Zwei-Port-USB-Schnittstelle mit ESD-Schutz

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

Als weitere Optimierung wird mit der Strom-kompensierten Datenleitungs-drossel [WE-CNSW](#) und den Kondensatoren ein LC-Filter aufgebaut, um eingangsseitig vorliegende Gleich- und Gegentakststörungen zu filtern. Auf der Spannungsversorgung wird mit einem SMD-Ferrit der [WE-CBF](#) Serie eine hervorragende Entstörung erreicht.

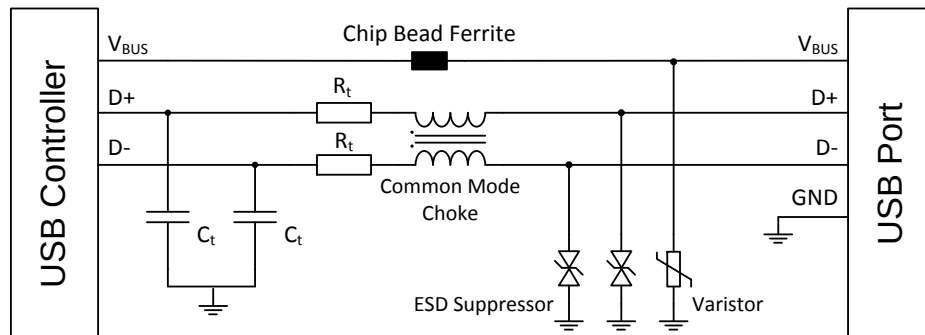


Abbildung 2: Im Gegensatz zur Abschirmung der Datenleitung ist bei der Stromversorgung kein niederkapazitiver ESD-Suppressor nötig.

Einkanal-Schutzbausteine wie die ESD Suppressor Serie [WE-VE](#) müssen immer von der Signalleitung gegen Masse geschaltet werden. Zum Schutz der Spannungs-versorgung muss kein niederkapazitiver ESD Suppressor verwendet werden, hier reicht ein normaler SMD Varistor völlig aus. Dieser kann sogar höhere Energien und höhere Spitzenströme absorbieren und ist somit zu bevorzugen.

2. TVS Dioden

Würth Elektronik entwickelte die TVS Dioden Array Serie [WE-TVS](#). Diese TVS Dioden Arrays beinhalten drei Hauptfunktionen:

- Schutz gegen ESD Impulse gemäß EN 61000-4-2
- Schutz gegen Surge Impulse gemäß EN 61000-4-5
- Schutz gegen Burst Impulse gemäß EN 61000-4-4

Die WE-TVS sind hoch entwickelte TVS Dioden mit speziell entwickelter niedriger Kapazität. Sie sind die erste Wahl, um schnelle Datenleitungen wie USB 2.0, DVI oder Ethernet von Überspannungen zu schützen. Die [WE-TVS](#) Serie übertrifft die Anforderungen der EN 61000-4-2. Wegen der sehr geringen Kapazität (< 2,0pF) sind sie auf den Datenleitungen quasi unsichtbar.

3. ESD Suppressor

Die ESD Suppressor sind speziell entwickelte Varistoren mit niedriger und definierter Kapazität. Würth Elektronik bietet drei verschiedene Serien an:

- [WE-VE](#) Standard Serie: Kapazitäten von 1pF bis 120pF und Betriebsspannungen von 5V bis 24V
- [WE-VE](#) "ULC" Serie: Kapazität von 0,2pF, geeignet für Signalleitungen bis zu 12V
- [WE-VE](#) femtoF Serie: Kapazität von 0,05pF und Betriebsspannungen von 6V, 14V und 26V

Für die ersten beiden Serien sind auch vierfach Arrays erhältlich.

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

3.1. Warum ESD Schutz?

Seit es Elektronik gibt, ist sie elektrostatischer Entladung ausgesetzt. ESD Impulse haben Spannungen bis zu 30kV und sind damit sehr gefährlich für alle Arten von integrierten Schaltkreisen. Manche aktuellen ICs sind gegen ESD „sicher“, jedoch suggerieren sie falsche Sicherheit. Die tägliche Praxis zeigt, dass ein zusätzlicher Schutz unverzichtbar ist. Zum einen hat man nur so die komplette Platine ESD-frei, und zum anderen ist das der einzige Weg, hochzuverlässige Produkte zu entwickeln, um die Bedürfnisse der eigenen Kunden zufrieden stellen zu können.

3.2. Warum Entstörung?

Mit Zunahme elektronischer Artikel im täglichen Leben wird der Bedarf nach drahtlosen Produkten immer größer. Genau deshalb ist es wichtig, dass die eigenen Produkte immun gegen fremde Störeinstrahlungen sind. Nur wenn man bereits jetzt die erwarteten Störeinflüsse berücksichtigt, kann man die erforderlichen Entstörbauteile eindesignen und die Entwicklungszeit reduzieren.

Zusätzlich darf die Störausstrahlung des eigenen Produktes einen gewissen Pegel nicht überschreiten. Dies wird von den EMV-Testlaboren sehr genau bewertet. Wenn das Produkt bei diesem Test durchfällt, werden die Kosten für die Überarbeitung die Kosten der Entstörbauteile sehr schnell um ein Vielfaches übersteigen.

4. Unterschiedliche Schutzbausteine für unterschiedliche Anwendungen

Es sind vier verschiedene TVS Dioden Arrays und fünf verschiedene ESD Suppressor erhältlich:

Artikel Nr.	Gehäuse	Pin Konf.	I/O / VDD Leitungen	V _{RWM}	C _{IN}	I _{PP}	V _{ESD}	V _{CI ESD}	VDD kann floaten
824 011	SOT23-5L	1	2 / 1	5 V	2,0 pF	12 A	20 kV	13 V	Nein
824 002 74	SC70-6L	2	4 / 1	5 V					Nein
824 015	SOT23-6L	2	4 / 1	5 V	2,0 pF	12 A	20 kV	13 V	Nein
824 001	SOT23-6L	2	4 / 1	5 V	1,0 pF	5 A	15 kV	14 V	Nein
824 014	SOT23-6L	3	4 / 1	5 V	0,5 pF	4 A	16 kV	12 V	Ja
824 014 44	MSOP-10L								Ja
823 07 050 029	0402	4	1	5 V	0,2 pF	-	8 kV	17 V	-
823 06 050 029	0603	4	1	5 V	0,2 pF	-	8 kV	30 V	-

APPLICATION NOTE

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

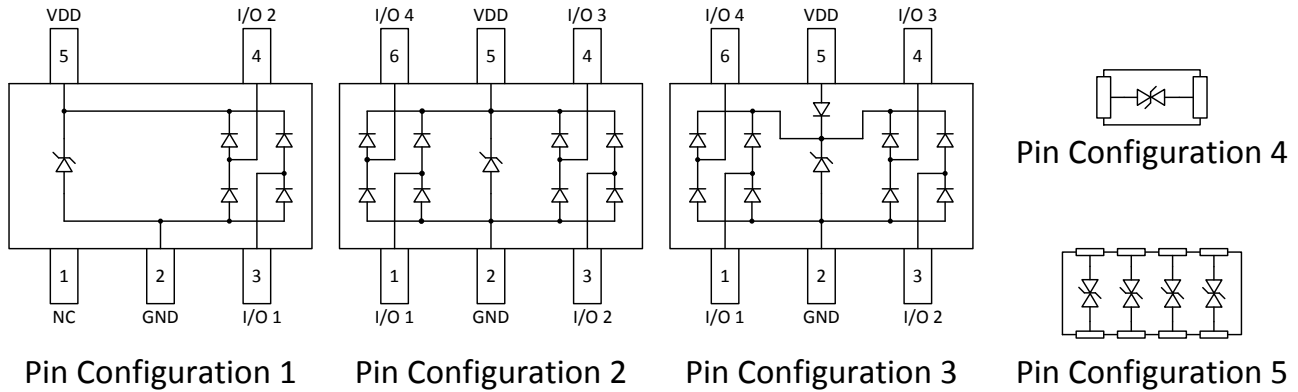


Abbildung 3: Unterschiedliche Pin-Konfigurationen der WE-TV S-Serie

4.1. Wie findet man das passende Bauteil?

- Es gibt eine Versorgungsspannung für „Rail to Rail“ Verschaltung ($GND < I/O \text{ Signal} < V_{cc}$)
→ TVS Diode auswählen
- Es gibt keine Versorgungsspannung oder keramische Bauteile werden bevorzugt
→ TVS Diode auswählen, bei der VDD Pin floaten kann oder WE-VE ESD Suppressor einsetzen
- Welche maximale Kapazität kann die Datenleitung zusätzlich vertragen damit der Augentest noch bestanden wird?
→ Für USB 2.0 sollten Kapazitäten bis zu 5pF keine nennenswerten Verzerrungen verursachen
- Welche maximale ESD Spannung wird erwartet?
- Sollen ein oder zwei USB Schnittstellen geschützt werden? Wird eine USB Datenleitung an zwei I/O Pins der TVS Diode angeschlossen, ergibt dies immer einen besseren Schutz
→ Array auswählen

Wir empfehlen für eine USB 2.0 Schnittstelle WE-TV S [824 011](#) und für zwei [824 015](#). Entwickler, welche Einkanal-Schutzelemente bevorzugen, können die Artikel WE-VE ULC [823 07 050 029](#) bzw. [823 06 050 029](#) verwenden.

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

5. Augendiagrammtest

Nachdem das Schutzelement ausgewählt wurde muss sichergestellt werden, dass die komplette Schaltung der USB Spezifikation entspricht. Gerade deswegen sollte man die TVS Dioden verwenden, da diese unsichtbar für die Datenleitungen sind.

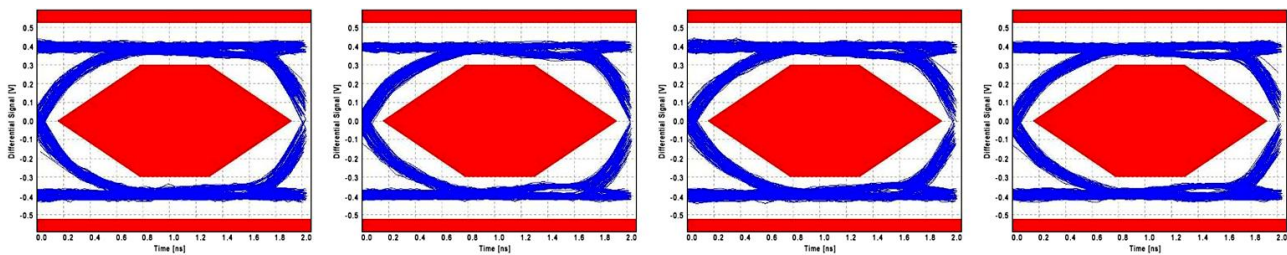


Abbildung 4: Augendiagrammtest zweier USB 2.0 Schnittstellen ohne eine Schutzelement an den Signalleitungen

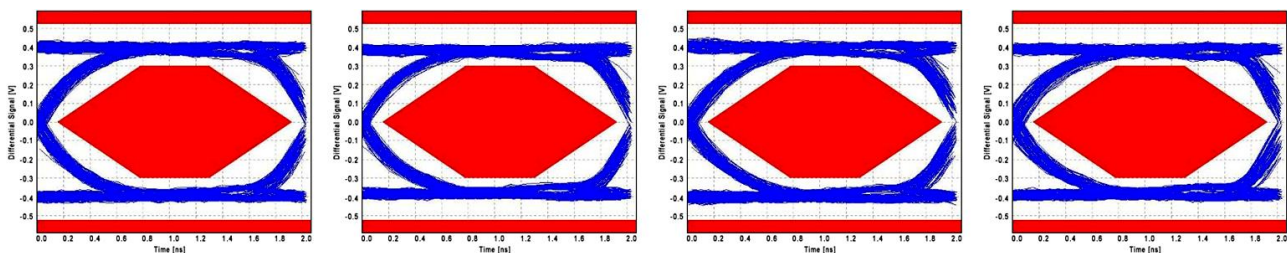


Abbildung 5: Augendiagrammtest mit TVS Diode WE-TV S Art-Nr. [824 015](#)

Der Augendiagrammtest zeigt deutlich, dass die [WE-TV S](#) das USB Signal nicht verzerrt. Ein sehr ähnliches Ergebnis erhält man mit den anderen hier gelisteten TVS Dioden und ESD Suppressor.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die sehr niedrige Kapazität von Leitung zu Leitung der TVS Dioden von Würth Elektronik. Diese neue Technologie ermöglicht TVS Dioden, die auf der Datenleitung unsichtbar sind und somit keinen Ausgleich der aufgetragenen Kapazitäten erfordern.

Artikel Nr.	Bauform	I/O	V_{RWM}	C_{IN}	C_X
824 015	SOT23-6L	4	5	2 pF	0.1 pF
Wettbewerber S	SOT23-6L	4	5	3 pF	1.5 pF
824 001	SOT23-6L	4	5	1 pF	0.1 pF
Wettbewerber P	SOT23-6L	4	5	3 pF	1.5 pF
I/O Anzahl I/O Leitungen, welche die TVS-Diode schützen kann V_{RWM} Max. Betriebsspannung in Rückwärtsrichtung C_{IN} Eingangskapazität I/O zu GND ($V_{IN} = 2,5V$, $V_{DD} = 5V$) C_X Eingangskapazität I/O zu I/O ($V_{IN} = 2,5V$, $V_{DD} = 5V$)					



Tabelle 1: Vergleich der Kapazitäten von verschiedenen Herstellern

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

6. Ermittlung des Schutzlevels von ESD Schutzelementen

Die einfachste Möglichkeit ist ohne Zweifel, einen ESD Impuls auf die elektronische Schaltung zu geben und diesen vor und nach dem Schutzbauteil aufzuzeichnen. Doch dieser Weg bringt einige Probleme mit sich.

Wegen der hohen Frequenz und dem großen Frequenzspektrum des ESD Impulses (einige MHz bis einige GHz) entstehen Hochfrequenzstörungen während der Messung. Die gemessene Spitzenspannung ist ein Hinweis, ob ein Schutzbauteil besser oder schlechter ist. Sie kann jedoch nicht die absolut anliegende Klemmspannung wiedergeben. Außerdem ist dies weder eine zuverlässige noch eine wiederholbare Messung!

Entwickler, welche sich näher mit Halbleitern beschäftigen, sind mit der TLP Messmethode vertraut.

Bei der TLP (transmission line pulsing) Messmethode erfolgen alle Messungen in einem 50Ω-System, welche zum einen wiederholbar und zum anderen sehr genau sind.

Ein definierter Stromimpuls (links) wird in das Schutzbauteil gepulst und die sich ergebende Spannung darüber gemessen (mitte). Dies wird mit steigenden Stromimpulsen wiederholt. Als Ergebnis erhält man die TLP Kurve (rechts).

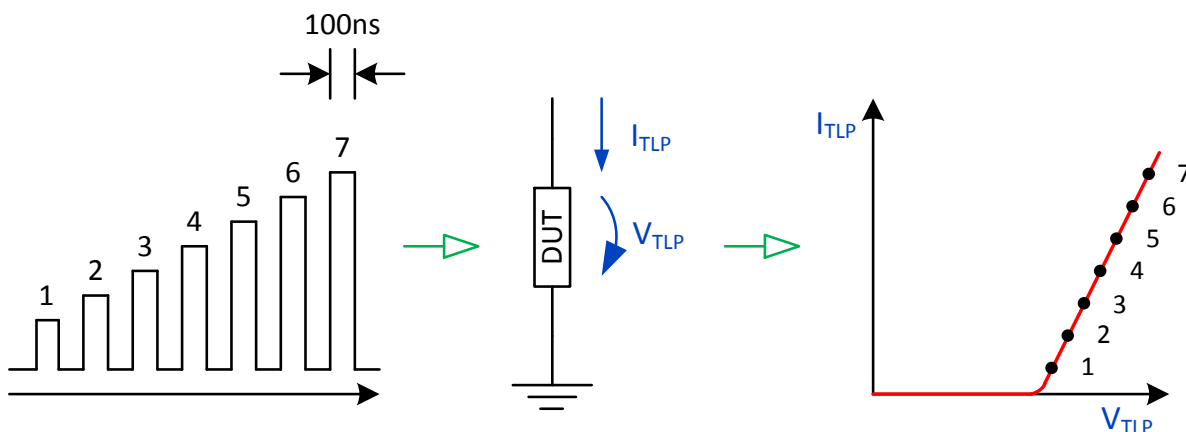


Abbildung 6: TLP Messmethode mit TLP Kurve als Ergebnis der Messung

Diese Messung kann sowohl für VDD als auch für die I/O Pins erfolgen. Je niedriger die gemessene Spannung ist, desto besser ist das Schutzbauelement und damit die Zuverlässigkeit der elektronischen Schaltung.

Dank der eingebauten Snap-Back Technologie haben die TVS Dioden von Würth Elektronik die niedrigste am Markt erhältliche ESD Klemmspannung. Damit stellen die [WE-TVS](#) die Produkte der Wettbewerber eindeutig in den Schatten. Dies ist mit einem Blick auf die TLP Kurven ersichtlich.

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

Artikel Nr.	Bauform	I/O	V_{RWM}	$V_{CI,IO}$	$V_{CI,VDD}$	V_{ESD}	C_{IN}	I_{PP}
824 015	SOT23-6L	4	5	12	7,5	12 kV	2 pF	12 A
Wettbewerber S	SOT23-6L	4	5	22	15,5	15 kV	3 pF	12 A
824 001	SOT23-6L	4	5	14	9	8 kV	1 pF	5 A
Wettbewerber P	SOT23-6L	4	5	28	19	8 kV	3 pF	6 A

I/O	Anzahl I/O Leitungen, welche die TVS-Diode schützen kann
V_{RWM}	Max. Betriebsspannung in Rückwärtsrichtung
$V_{CI,IO}$	ESD Klemmspannung am I/O Pin (IEC 61000-4-2, Kontaktentladung mit 6kV)
$V_{CI,VDD}$	ESD Klemmspannung am VDD Pin (IEC 61000-4-2, Kontaktentladung mit 6kV)
V_{ESD}	Max. erlaubter ESD Impuls (IEC 61000-4-2, Kontaktentladung)
C_{IN}	Eingangskapazität der I/O Pins zu GND ($V_{IN} = 2,5V$, $V_{DD}=5V$)
I_{PP}	Max. erlaubter Impulsstrom (8/20 μ s)

Tabelle 2: Vergleich von VDD von verschiedenen Herstellern

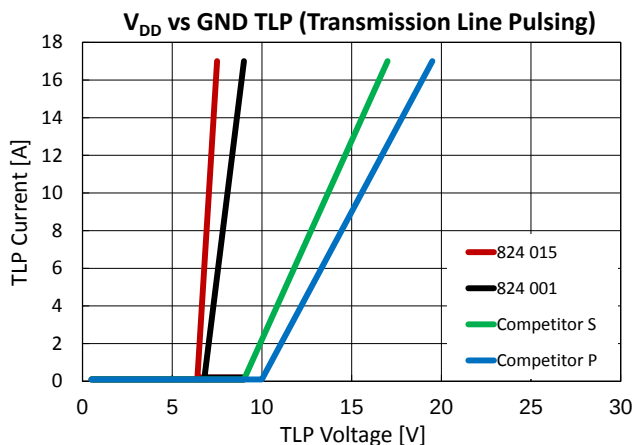
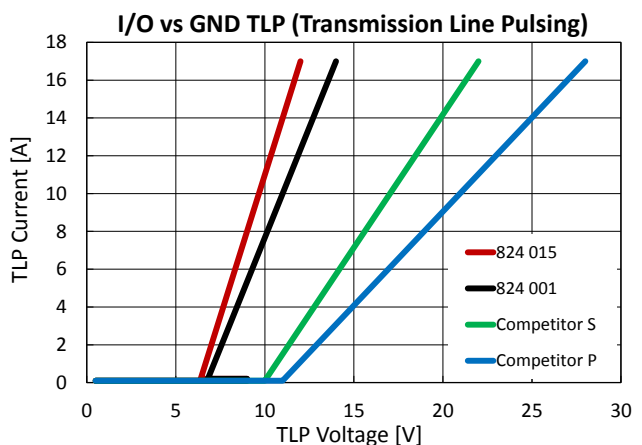
Abbildung 7: TLP Kurve verschiedener Bauteile an V_{DD} 

Abbildung 8: TLP Kurve verschiedener Bauteile an I/O

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

7. Empfohlenes Layout für eine USB Schnittstelle

Die zwei Differenzsignalleitungen (D+ und D-) werden vom Steckverbinder zur TVS-Diode (WE-TVS [824 011](#)) geführt und weiter über die Stromkompensierte Datenleitungsdrossel (WE-CNSW [744 232 090](#)) zum USB Controller, wie es auf dem linken Bild zu sehen ist. Als Ergebnis erhält man einen hervorragenden ESD Schutz sowie eine gute Entstörung des Datenleitungspaares.

VBUS wird über die TVS Diode zum SMD-Ferrit (WE-CBF [742 792 641](#)) geführt. Nach dem SMD-Ferrit kann ein zusätzlicher Kondensator sowie ein weiterer SMD-Ferrit eingesetzt werden, um die höchstmögliche Dämpfungswirkung eines PI-Filters zu erzielen.

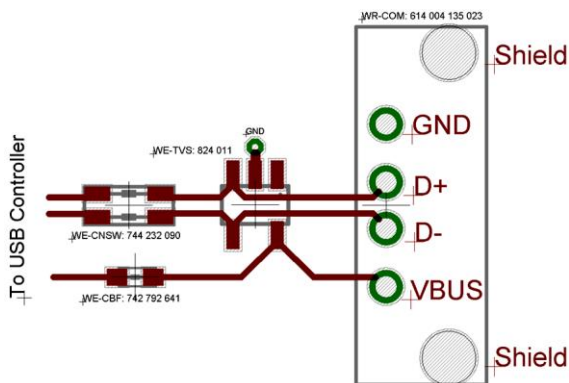


Abbildung 9: Schutz einer USB Schnittstelle

Für sehr empfindliche IC's und / oder hochzuverlässige Entwicklungen kann ein optimierter ESD Schutz erreicht werden, indem die Pins der TVS Diode (WE-TVS [824 015](#)) doppelt kontaktiert werden.

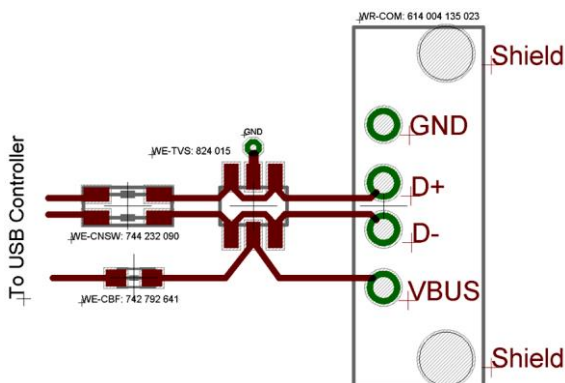


Abbildung 10: Doppelter Schutz einer USB Schnittstelle

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

Entwickler, welche Einkanal-Schutzelemente bevorzugen, können die ESD Suppressor Serie [WE-VE](#) verwenden. Diese müssen immer von D+ / D- nach GND geschaltet werden.

Die anderen Bauteile werden wie hier gezeigt verschaltet.

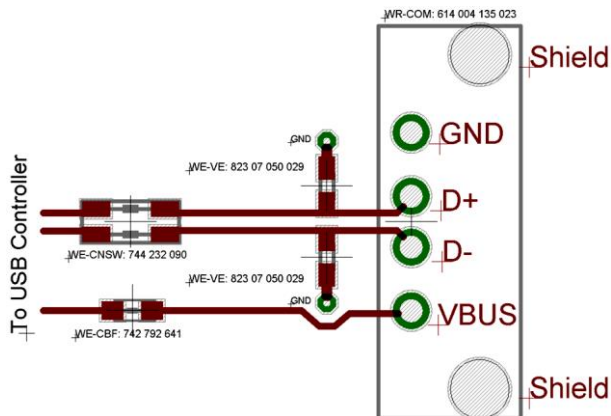


Abbildung 11: Schutz mit Einkanal Bauelementen

7.1. Empfohlenes Layout für zwei USB Schnittstellen

Die Verdrahtung erfolgt analog zum Schutz einer USB-Leitung. Weiter werden exakt die gleichen Bauteile verwendet, somit wird der Schutzpegel auch identisch sein.

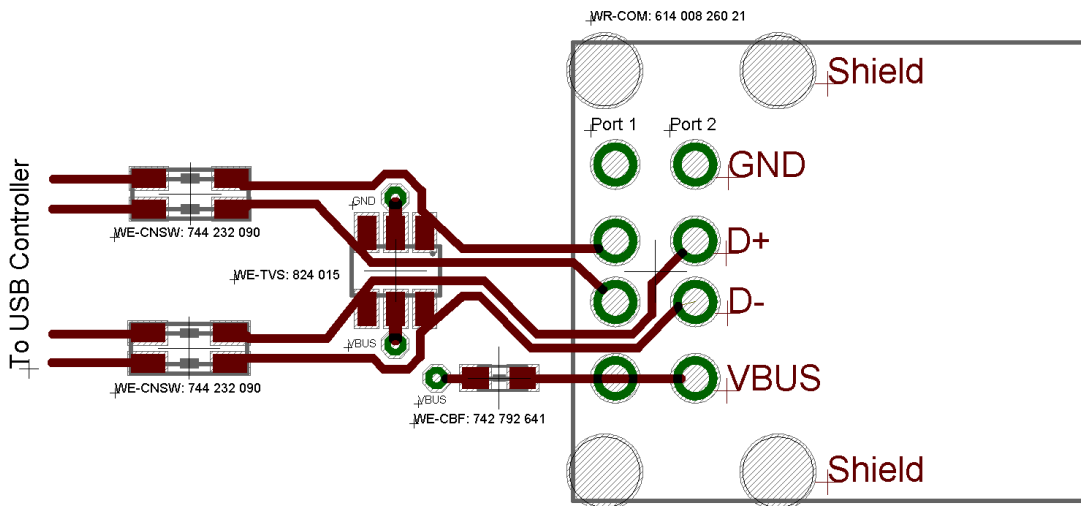


Abbildung 12: Schutz zweier USB Schnittstellen

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

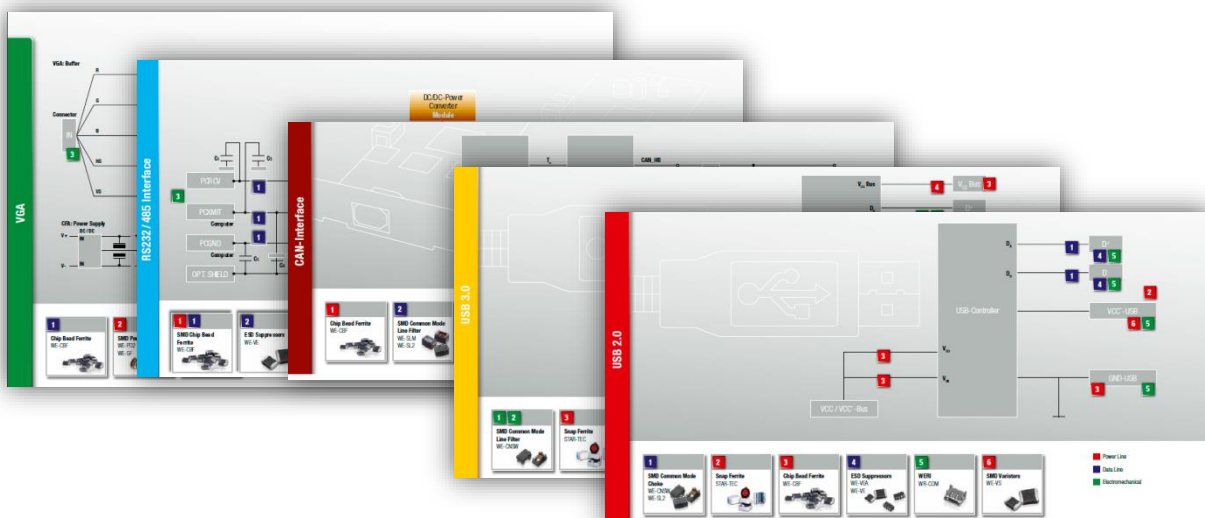
8. Schnittstellen Laborsortiment

Für schnelles und einfaches Design von Schnittstellen hat Würth Elektronik ein spezielles Schnittstellen-Laborsortiment entworfen. Dieses Sortiment beinhaltet Designhinweise zu USB 1.1 bis USB 3.0, CAN, Ethernet, VGA, DVI, RS232 und RS485 Schnittstellen sowie alle Komponenten, die dazu verwendet werden können. Dies sind ESD Suppressor, Stromkompensierte SMD Datenleitungsfiler, SMD Ferrite, Ethernet Übertrager sowie eine Auswahl der jeweils passenden Steckverbinder.

Insgesamt sind 35 verschiedene passive Bauteile mit 235 Einzelbauteilen und vier Test Platinen enthalten.



Das Farbschema macht die Auswahl der in Frage kommenden Bauteile für die gewünschte Schnittstelle einfach. Dazu muss man nur den applikationsspezifischen Farben folgen und das gewünschte Bauteil auswählen.



Für jede Applikation gibt es ein Blockschaltbild, in welchem man erkennt, welches Bauteil für das beste Ergebnis wo in der Schaltung einzusetzen ist. **Probieren Sie es aus – es ist jeden Cent wert!!**

APPLICATION NOTE



Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

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:

<http://www.we-online.de/app-notes>

REDEXPERT Design Tool:

<http://www.we-online.de/redexpert>

Toolbox:

<http://www.we-online.de/toolbox>

Produkt Katalog:

<http://katalog.we-online.de/>

KONTAKTINFORMATIONEN

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG

Max-Eyth-Str. 1, 74638 Waldenburg, Germany

Tel.: +49 (0) 7942 / 945 – 0

Email: appnotes@we-online.de

Web: <http://www.we-online.de>