

Application Note

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen



Robustes Design von USB Anwendungen

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.

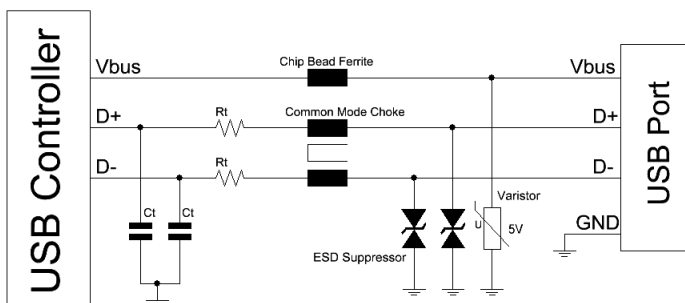
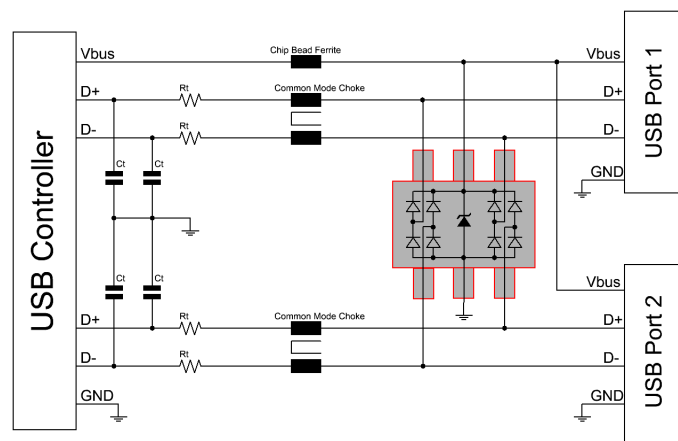
- Die Stromkompensierten Datenleitungsdrosseln WE-CNSW sind speziell für die Gleichtaktentstörung von schnellen Datenleitungen entwickelt
- Zum Schutz vor ESD sind die TVS Dioden WE-TVS mit sehr niedrigen Kapazitäten (<2pF) sowie die keramischen ESD Suppressor Serien WE-VE (Kapazitäten bis zu 0,05pF)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

Als weitere Optimierung wird mit der Stromkompensierten Datenleitungsdrossel WE-CNSW und den Kondensatoren ein LC-Filter aufgebaut, um eingangsseitig vorliegende Gleich- und Gegentaktstörungen zu filtern. Auf der Spannungsversorgung wird mit einem SMD-Ferrit der WE-CBF Serie eine hervorragende Entstörung erreicht.



Einkanal-Schutzbausteine wie die ESD

Suppressor Serie WE-VE müssen immer von der Signalleitung gegen Masse geschaltet werden. Zum Schutz der Spannungsversorgung 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.

Application Note

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen



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 ($< 2,0\text{pF}$) sind sie auf den Datenleitungen quasi unsichtbar.

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.

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.

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.

Application Note

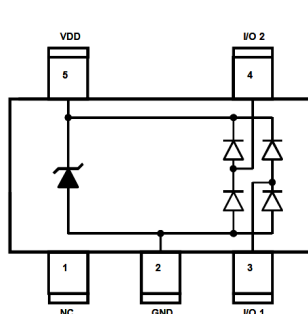
Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen



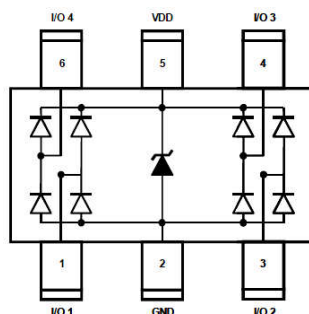
Unterschiedliche Schutzbausteine für unterschiedliche Anwendungen

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

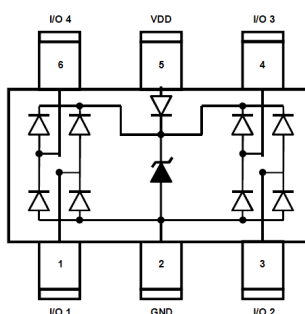
Artikel Nr.	Gehäuse	Pin Konf.	I/O / VDD Leitungen	V _{RWM}	C _{IN}	I _{PP}	V _{ESD}	V _{CI ESD}	VDD kann floaten
824 011	SOT23-5L	1	2 / 1	5 V	2,0 pF	12 A	20 kV	13 V	nein
824 015	SOT23-6L	2	4 / 1	5 V	2,0 pF	12 A	20 kV	13 V	nein
824 001	SOT23-6L	2	4 / 1	5 V	1,0 pF	5 A	15 kV	14 V	nein
824 014	SOT23-6L	3	4 / 1	5 V	0,5 pF	4 A	16 kV	12 V	ja
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	-
823 81 120 029	0612	5	4	12V	0,2 pF	-	8 kV	30 V	-
823 17 06	0402	4	1	6 V	0,05 pF	-	8 kV	40 V	-
823 16 06	0603	4	1	6 V	0,05 pF	-	8 kV	40 V	-



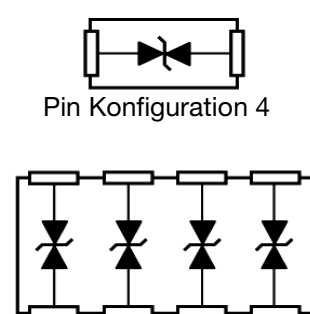
Pin Konfiguration 1



Pin Konfiguration 2



Pin Konfiguration 3



Pin Konfiguration 5

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 824 011 und für zwei 824 015. Entwickler, welche Einkanal-Schutzelemente bevorzugen, können die Artikel 823 07 050 029 bzw. 823 06 050 029 verwenden.

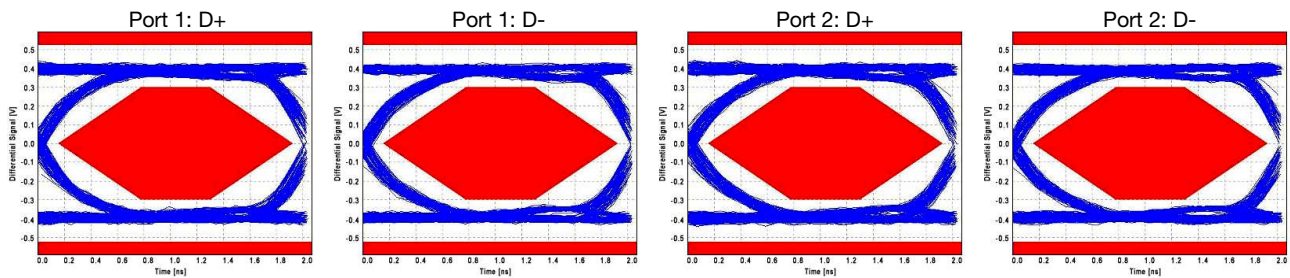
Application Note

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

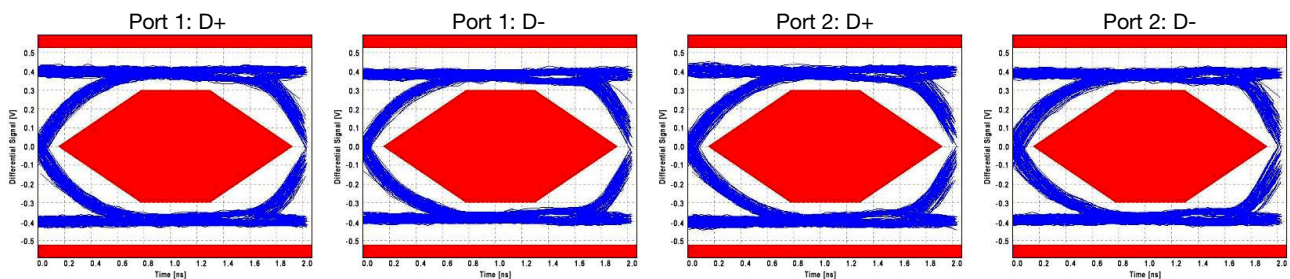


Augendiagrammtest

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.



Augendiagrammtest zweier USB 2.0 Schnittstellen ohne eine Schutzelement an den Signalleitungen



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 ($V_{IN} = 2,5V$, $V_{DD} = 5V$)					

Application Note

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

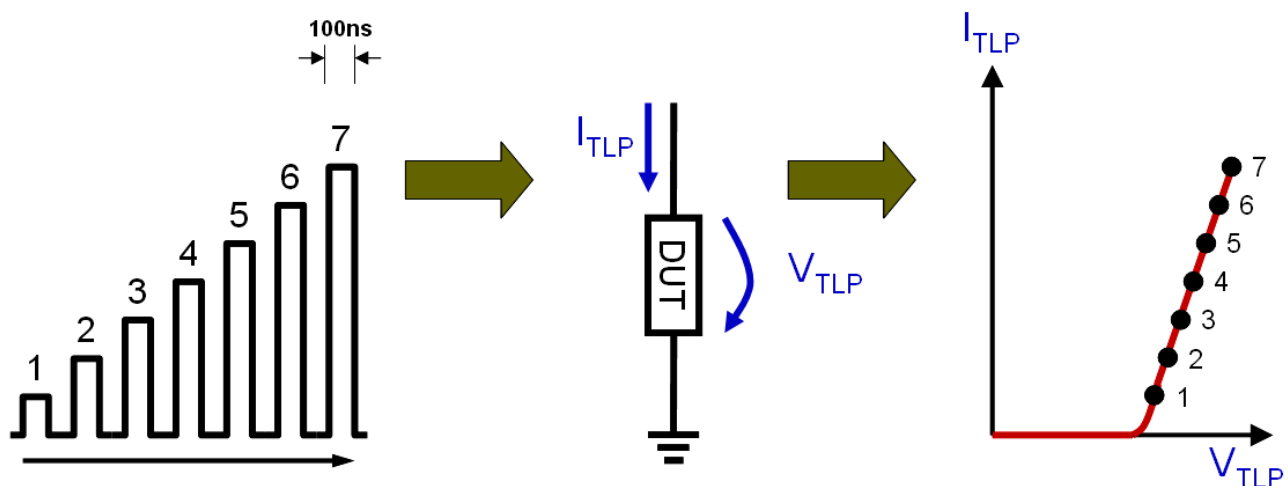


Ermittlung des Schutzlevels von ESD Schutzelementen

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 Wege 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).



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 werden die Produkte der Wettbewerber eindeutig in den Schatten gestellt. Dies ist mit einem Blick auf die TLP Kurven ersichtlich.

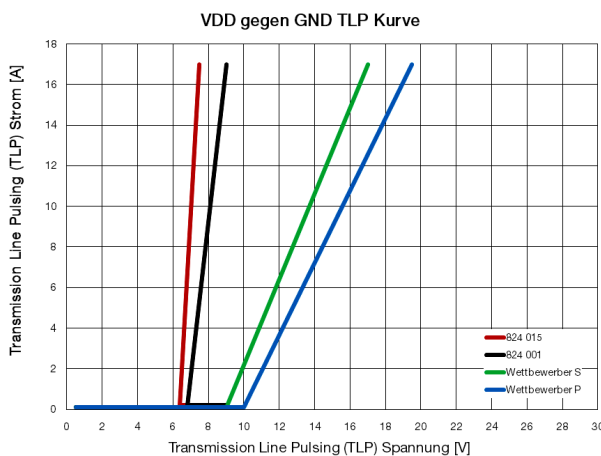
Application Note

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen

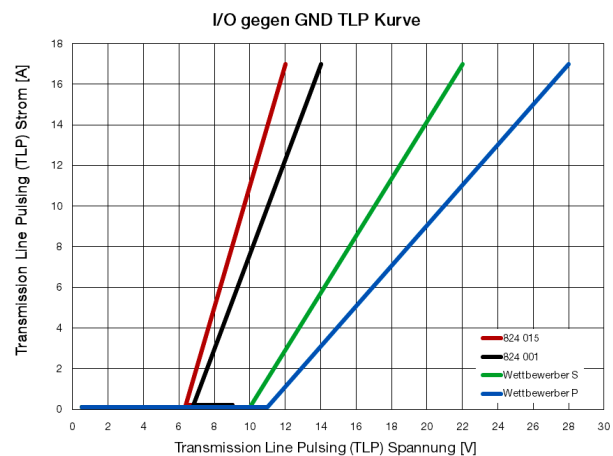


Artikel Nr.	Bauform	I/O	V_{RWM}	$V_{CI,IO}$	$V_{CI,VDD}$	V_{ESD}	C_{IN}	I_{PP}
824 015	SOT23-6L	4	5	12	7,5	12 kV	2 pF	12 A
Wettbewerber S	SOT23-6L	4	5	22	15,5	15 kV	3 pF	12 A
824 001	SOT23-6L	4	5	14	9	8 kV	1 pF	5 A
Wettbewerber P	SOT23-6L	4	5	28	19	8 kV	3 pF	6 A

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 ($V_{IN} = 2,5V$, $VDD=5V$)
I_{PP}	Max. erlaubter Impulsstrom (8/20 μ s)



TLP Kurve verschiedener Bauteile an VDD



TLP Kurve verschiedener Bauteile an I/O

Empfohlenes Layout für eine USB Schnittstelle

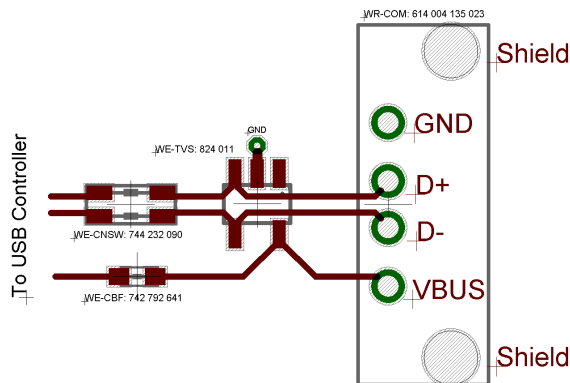
Die zwei Differenzsignalleitungen (D+ und D-) werden vom Steckverbinder zur TVS-Diode (Art.-Nr. 824 011) geführt und weiter über die Stromkompensierte Datenleitungsdrössel (Art.-Nr. 744 232 090) zum USB Controller, wie es auf dem linken Bild zu sehen ist. Als Ergebnis erhält man einen hervorragenden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

VBUS wird über die TVS Diode zum SMD-Ferrit (Art.-Nr. 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.

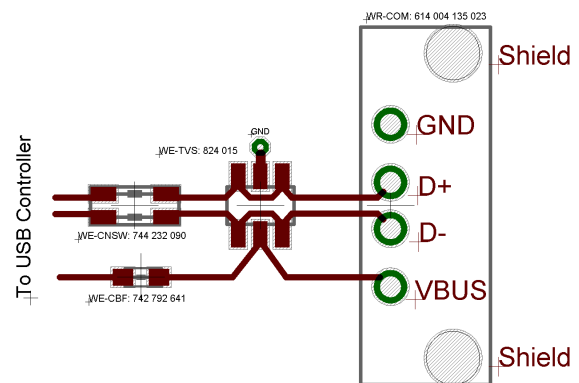
Für sehr empfindliche IC's und / oder hochzuverlässige Entwicklungen kann ein optimierter ESD Schutz erreicht werden, indem die Pins der TVS Diode (Art.-Nr. 824 015) doppelt kontaktiert werden (Bild rechts).

Application Note

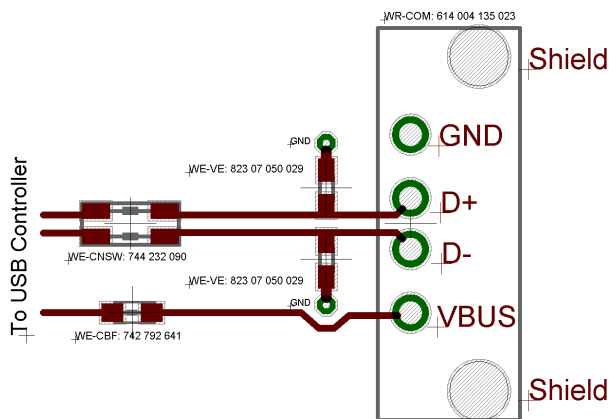
Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen



Schutz einer USB Schnittstelle



Doppelter Schutz einer USB Schnittstelle



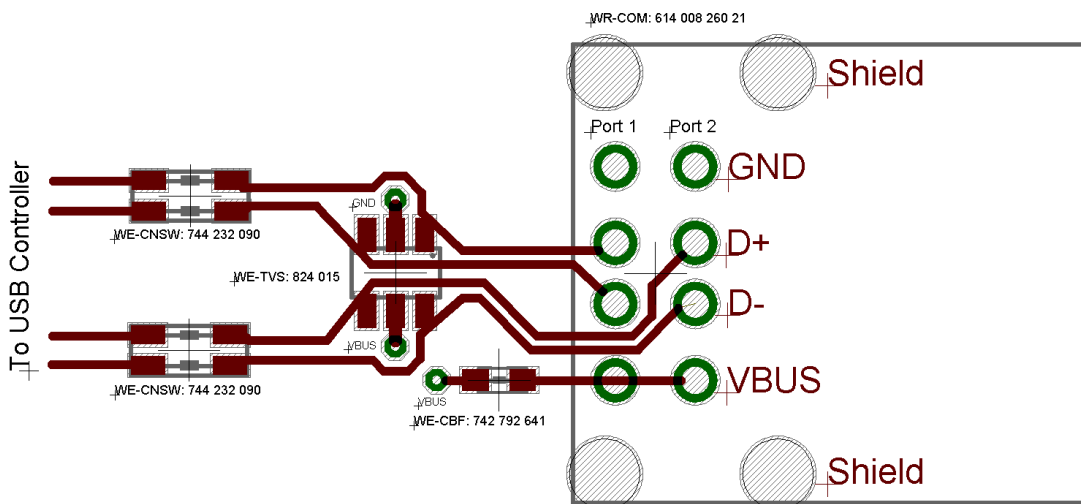
Entwickler, welche Einkanal-Schutzelemente bevorzugen, können die ESD Suppressor Serie WE-VE verwenden. Diese müssen immer von D+ / D- nach GND geschaltet werden.

Die anderen Bauteile werden wie hier gezeigt verschalten.

Schutz mit Einkanal Bauelementen

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.



Schutz zweier USB Schnittstellen

Application Note

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen



Verwendete Bauteile:

In dieser Application Note werden folgende Bauteile verwendet

TVS-Dioden WE-TVS:

824 011: Schutz von 2 I/O Leitungen und VDD: Bauform SOT23-5L | 2pF $C_{I/O}$ | 5V V_{RWM} | 5A I_{PP}

824 015: Schutz von 4 I/O Leitungen und VDD: Bauform SOT23-6L | 2pF $C_{I/O}$ | 5V V_{RWM} | 5A I_{PP}

ESD Suppressor WE-VE:

823 07 050 029: Bauform 0402 | 0,2pF C_{typ} | 5V V_{RWM} | 17V V_{CL}

823 06 050 029: Bauform 0603 | 0,2pF C_{typ} | 5V V_{RWM} | 30V V_{CL}

Stromkompensierte Datenleitungsdrossel WE-CNSW:

744 232 090: Bauform 1206 | 370mA I_{DC} | 300 m Ω R_{DC} | 90 Ω Impedanz

SMD Ferrite WE-CBF:

742 792 641: Bauform 0603 | 2 000mA I_{DC} | 150 m Ω R_{DC} | 300 Ω Impedanz

USB-Steckverbinder WR-COM:

614 008 260 21: USB Typ A Connector | THT | Dual

614 004 135 023: USB Typ A Connector | THT | Vertikal

Application Note

Robustes Design von USB 2.0 Anwendungen



Schnittstellen Laborsortiment

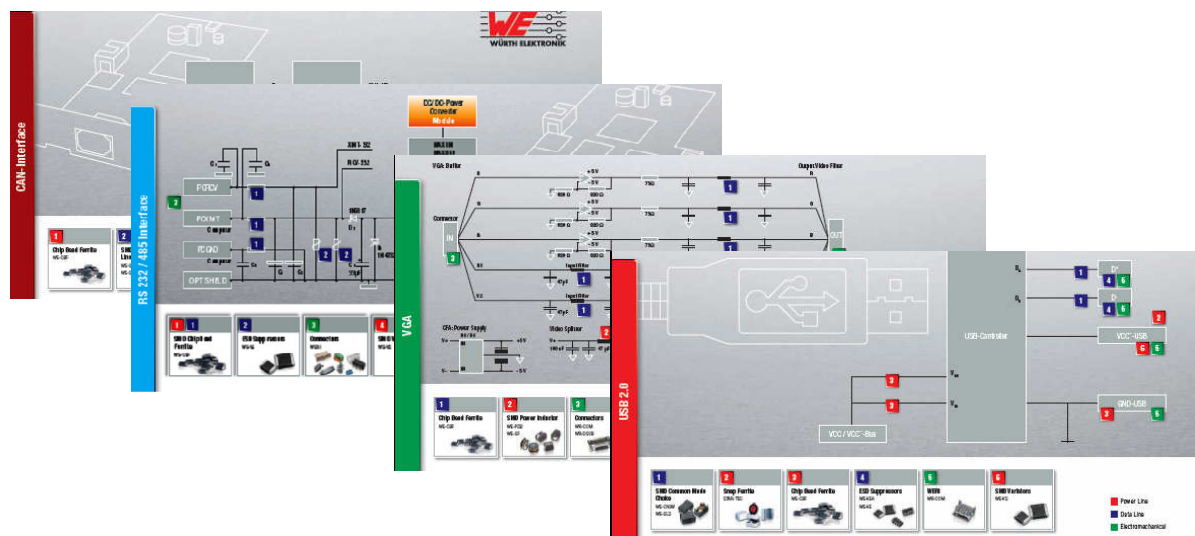
Für schnelles und einfaches Design von Schnittstellen hat Würth Elektronik ein spezielles Schnittstellen Laborsortiment entworfen. Dieses Sortiment beinhaltet Designhinweise zu USB 1.0 und USB 2.0, CAN, Ethernet, VGA, DVI, RS232 und RS485 Schnittstellen sowie alle Komponenten, die dazu verwendet werden können. Dies sind ESD Suppressor, Stromkompensierte SMD Datenleitungsfilter, SMD Ferrite, LAN Transformer sowie eine Auswahl der jeweils passenden Steckverbinder.

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

Interface Design Kit for USB, CAN, Ethernet, VGA, DVI, RS232, RS485
Order Code 748 989 Version 1.0

The table lists various components and their specifications, color-coded for application areas: USB 1.0 (yellow), USB 2.0 (red), CAN (green), Ethernet (blue), RS232 (light blue), RS485 (dark blue), and DVI (purple).

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!!**