

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Dr.-Ing. Heinz Zenkner

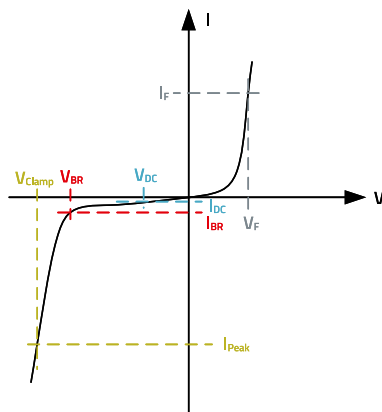


1. GRUNDLAGEN

TVS-Dioden (Transient Voltage Suppressors) werden zum Schutz von Schaltkreisen vor hohen Spannungsspitzen eingesetzt. Sie sind für den Betrieb in Sperrrichtung ausgelegt und arbeiten durch Störstromableitung, wenn die Sperrspannung das sog. Lawinendurchbruchspotenzial überschreitet. Sie sind im Grunde genommen Hochleistungs-Zenerdioden und stellen eine spezielle Form von Avalanche-Dioden dar. TVS-Dioden können große Leistungsspitzen (Hunderte oder Tausende von Watt) verkraften, aber Zener-Dioden haben eine engere Spannungstoleranz. TVS-Dioden haben grundsätzlich eine höhere parasitäre Kapazität als Zener-Dioden. Es gibt sie entweder in unidirektionaler oder bidirektionaler Ausführung. Unidirektionale TVS-Dioden sperren bis zur Nennspannung in einer Richtung und verhalten sich in der anderen Richtung wie eine normale Diode in Durchlassrichtung. Bidirektionale TVS-Dioden sperren bis zur Nennspannung in beiden Richtungen (gut zum Schutz von Wechselströmen).

WE-TVSP Power TVS Diode, 824500101

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
DC Operating Voltage	V_{DC}	10	V	max.
(Reverse) Breakdown Voltage	V_{BR} 1 mA	11.7	V	$\pm 5\%$
Clamping Voltage	V_{clamp} I_{PEAK}	17	V	max.
(Reverse) Peak Pulse Current	I_{Peak} 10/1000 μs	23.5	A	max.
(Forward) Peak Pulse Current	I_{Peak}	40	A	max.
Leakage Current	I_{Leak} V_{DC}	5	μA	max.
Steady State Power Dissipation	P_{Diss} $T_A = 50^\circ C$	3.3	W	max.
Power Dissipation	P_{Diss} 10/1000 μs	400	W	max.
Polarity	Unidirectional			



Unidirektionale TVS-Dioden haben eine viel schnellere Einschaltzeit als ihre bidirektionalen Gegenstücke (z.B. 5 ps im Vergleich zu 5 ns). Die elektrischen Symbole für die unidirektionale und bidirektionale TVS-Diode sind in Abbildung 1 gezeigt.

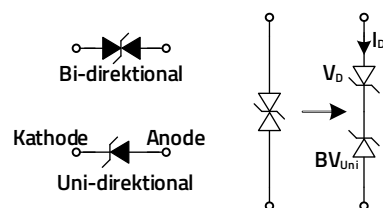


Abbildung 1: Elektrische Symbole für die uni- und bidirektionale TVS-Diode. Abbildung rechts: Funktionsequivalent der bidirektionalen TVS-Diode.

Die Darstellung auf der rechten Seite in Abbildung 1 zeigt, wie man sich eine bidirektionale TVS-Diode vorstellen kann; es ist eine Schaltung aus zwei „antiseriell“ geschalteten TVS-Dioden. In Abbildung 2 sind die typischen Spannungs-Strom Diagramme der Dioden dargestellt.

WE-TVSP Power TVS Diode, 824501101

Properties	Test conditions	Value	Unit	Tol.
DC Operating Voltage	V_{DC}	10	V	max.
(Reverse) Breakdown Voltage	V_{BR} 1 mA	11.7	V	$\pm 5\%$
Clamping Voltage	V_{clamp} I_{PEAK}	17	V	max.
(Reverse) Peak Pulse Current	I_{Peak} 10/1000 μs	23.5	A	max.
Leakage Current	I_{Leak} V_{DC}	10	μA	max.
Steady State Power Dissipation	P_{Diss} $T_A = 50^\circ C$	3.3	W	max.
Power Dissipation	P_{Diss} 10/1000 μs	400	W	max.
Polarity	Bidirectional			

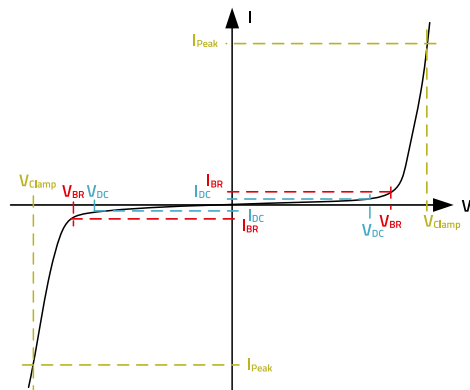


Abbildung 2: Diagramme der uni- und bidirektionalen TVS-Dioden.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Die Parameter nach obigem Diagramm und der WE-Datenblätter haben folgende Bedeutung:

DC Operating Voltage (V_{DC}), channel operating voltage (V_{Ch})

Maximale Arbeitsspitzenspannung, darf die V_{DC} nicht überschreiten. Die TVS-Diode stellt für den geschützten Stromkreis eine hohe Impedanz dar, wenn die an der Diode anliegende Spannung unter diesem Schwellenwert liegt. Darüber fließt ein zu hoher Leckstrom, der dauerhaft zu einem Ausfall der TVS-Diode führen kann.

Rückwärts-Durchbruchspannung (V_{BR})

Dies ist die Spannungsschwelle, bei der die TVS-Diode beginnt, einen definierten Strom von 1 mA zu leiten, und wird auch als Durchbruchspannung bezeichnet. Der Wert von V_{BR} nach Datenblatt sollte über der maximalen Betriebsspannung des zu schützenden Schaltkreises liegen, damit sich die TVS-Diode unter normalen Betriebsbedingungen des Gerätes im Sperrzustand befindet.

Begrenzungsspannung, Klemmspannung (V_{Clamp})

Die Überspannungstransiente wird auf den durch V_{Clamp} definierten Wert begrenzt, d. h. auf den maximalen Spannungswert, der im geschützten Schaltkreis auftritt. Die Spannung V_{Clamp} ist für einen bestimmten Impulsspitzenstrom (I_{Peak}) definiert.

Impulsspitzenstrom (I_{Peak})

Dies ist der maximale Stoßstrom, dem die TVS-Diode ohne Beschädigung standhalten kann. Der Impulsspitzenstrom wird auf der Grundlage der transienten Wellenform des Stoßstroms definiert, der in den meisten industriellen Anwendungen mit 8/20 μs angegeben wird, wobei 8 μs die Anstiegszeit (t_1) bis zum Spitzenwert und 20 μs die Impulsdauer bis zum Absinken des Stroms auf 50 % des Spitzenwerts (t_2) darstellen.

Leakage Current (I_{Leak})

Der Leckstrom wird bei V_{DC} gemessen und ist der Strom, der in Sperrrichtung als Reststrom fließt.

Power Dissipation (P_{Diss})

Die Verlustleistung P_{Diss} gibt an, wie viel Leistung die Diode aufnehmen kann. Man unterscheidet zwischen Spitzenimpuls-Verlustleistung und Steady-State-Verlustleistung.

Spitzenimpuls-Verlustleistung

Die maximale Spitzenleistung, die die TVS-Diode während eines transienten Ereignisses für eine definierte Impulswellenform ableiten kann, hier für den 10/1000- μs -

Impuls (10 μs Anstiegszeit, 1000 μs Abklingen auf halbe Amplitude).

Steady-State-Verlustleistung:

Die Leistung, die die TVS-Diode unter normalen Betriebsbedingungen kontinuierlich aufnehmen kann.

TVS-Dioden mit niedriger Kapazität

Es gibt eine Familie von TVS-Dioden, die als TVS-Dioden mit niedriger Kapazität (oder Super Speed Series, femtoF) bezeichnet werden. Sie haben eine viel geringere Kapazität als herkömmliche TVS-Dioden, typisch im Bereich von 0,1 bis 0,5 pF und sind für den Schutz von Hochgeschwindigkeits-Datenleitungen, wie USB, HDMI, und Ethernet und für HF-Applikationen konzipiert. Die niedrige Kapazität wird durch Hinzufügen einer in Durchlassrichtung „vorgespannten“ Allzweckdiode in Reihe mit der üblichen in Sperrrichtung „vorgespannten“ TVS-Diode erreicht. In Abbildung 3 ist der funktionsgemäße Aufbau verdeutlicht.

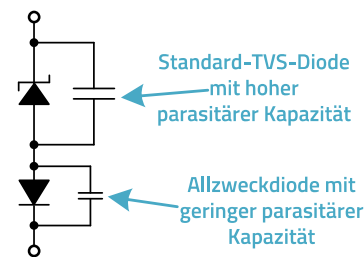


Abbildung 3: Funktionsaufbau einer TVS-Diode mit niedriger Kapazität (Ultra-Low capacitance TVS diode).

Eigen-schaften	Test-bedingungen		Wert	Einheit	Tol.
DC Betriebs-spannung		V_{DC}	6	V	max.
Kapazität	1 MHz	C_{typ}	0,05	pF	typ.
Kapazität	1 MHz	C_{max}	0,15	pF	max.
Ableitstrom	6 V_{DC}	I_{Lmax}	0,05	μA	max.
Auslöse-spannung	TLP Messung	V_{Tr}	250	V	typ.
Klemm-spannung	8 kV Contact, 30 ns	V_{Cl}	40	V	typ.
ESD-Festigkeit	8 kV Contact		1000		min.

Tabelle 1: Elektrische Kenndaten der "femtoF" TVS Diode, 8231706A.

2. TVS-DIODEN MIT "SNAPBACK" EFFEKT

Eine ideale TVS-Diode blockiert den Strom vollständig, d. h. der Strom ist gleich Null, wenn die Eingangsspannung kleiner als die Durchbruchspannung ist. Wenn die Eingangsspannung größer als die Durchbruchspannung ist, hat die TVS-Diode idealerweise einen Widerstand nahe Null, so dass die transiente Spannung wirksam unterdrückt werden kann. Eine Standard-TVS-Diode klemmt dadurch, dass sie ab einer gewissen Spannung zu leiten beginnt und die über der Diode abfallende Spannung begrenzt. Diese Diode hat durch Leckströme und einem endlich kleinen Innenwiderstand ein „nichtideales“ Verhalten (Abbildung 2).

Eine TVS-Diode kann halbleitertechnisch mit einem PN-Übergang realisiert werden, der eine definierte Durchbruchspannung aufweist. Wenn eine transiente Eingangsspannung die Durchbruchspannung übersteigt, entsteht ein Stromfluss durch die TVS-Diode, um den Schutz vor transienten Spannungen zu erreichen. Der TVS-Typ mit PN-Übergang hat jedoch keine Minoritätsträger und weist deshalb aufgrund seines hohen Innenwiderstands eine schlechte Klemmeigenschaft auf. Es gibt in der Halbleitertechnik alternative TVS-Implementierungen mit bipolaren NPN/PNP-Übergängen, bei denen ein bipolarer Transistor für die Klemmeigenschaft durch einen Avalanche Effekt ausgelöst wird. Die Basis des Transistors wird mit Minoritätsträgern überflutet und der bipolare TVS kann so eine Klemmspannung auf niedrigerem und konstantem Niveau erreichen, da der Avalanche-Strom durch die bipolare Verstärkung des Transistors an sich über seine Basis erhöht wird.

Diese Art von „TVS-Diode“ beruht auf der internen Struktur von MOS-FET-Bauteilen und ist in ihrer Art deutlich komplexer, als das Schaltbild der TVS-Diode (Abbildung 1) vermuten lässt.

Jeder NMOS-FET enthält aufgrund der Konfiguration des dotierten Materials einen parasitären bipolaren Sperrschichttransistor (BJT). Im normalen Betrieb eines NMOS-Bauelements kommt der parasitäre BJT nicht zum Tragen. Wie in Abbildung 4 dargestellt, hat der BJT die Source als Emitter und den Drain als Kollektor, und das p-Substrat darunter kann unter den richtigen Bedingungen als die Basis des BJT dienen.

An dieser Stelle muss zum weiteren Verständnis der Funktion die sogenannte „Stoßionisation“ erklärt werden: Ein bewegliches Elektron oder Loch (positiver Ladungsträger) bewegt sich unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes. Bei einem schwachen elektrischen Feld bewegt es sich, ohne das System zu verändern. Bei einem starken elektrischen Feld jedoch, wie es in einem Bauteil mit einer hohen Spannung an den Anschlüssen auftritt, stößt der mobile Ladungsträger energetisch auf gebundene Ladungsträger, die dann ausbrechen können. Diese neuen Ladungsträger können wiederum den Prozess wiederholen, was zu einem Lawinenstrom führt.

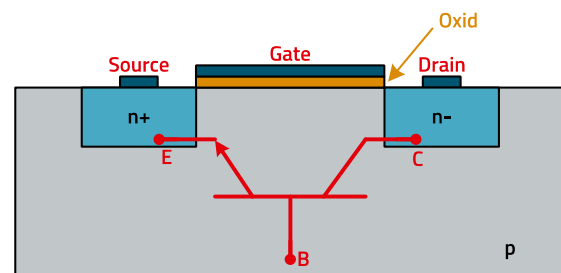


Abbildung 4: Parasitärer bipolarer Sperrschichttransistor (BJT) im NMOS-FET.

Wenn sich dieser Lawinenstrom auf die Basis des parasitären BJT zubewegt, kann der Basisstrom den BJT öffnen und einen großen Stromfluss zwischen Kollektor und Emitter ermöglichen. Das Interessanteste daran ist, dass nach dem Öffnen, d.h. Auslösen des Bauelements das hohe elektrische Feld, das den Prozess in Gang gesetzt hat, nicht mehr notwendig oder gar vorhanden ist, um den Strom aufrechtzuerhalten. Die Leitung des Stroms wird mit steigendem Strom fortgesetzt, allerdings bei viel niedrigerer Spannung zwischen Emitter und Kollektor. Dieses Phänomen des Auslösens bei einer relativ hohen Spannung und des anschließenden Rückfalls in die Leitfähigkeit bei einer niedrigeren Spannung wird als Snapback bezeichnet.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Daten- und Signalbusse mit hoher Bandbreite erfordern mehrkanalige TVS-Dioden-Arrays für den ESD-Schutz, Abbildung 5 zeigt als Beispiel links ein Schaltbild eines zweikanaligen Transientenschutzes und rechts das Funktionsschaltbild des TVS-Dioden Arrays.

Abbildung 6 zeigt im oberen Teil in der Querschnittsansicht den Kern des vierkanaligen Arrays und im unteren Teil dessen Funktions-Ersatzschaltbild. Das TVS-Array umfasst eine Vielzahl von High-Side- und Low-Side-Steuerdioden (Steering-Dioden), die in Reihe geschaltet sind, wobei die High-Side-Steuerdioden mit V_{CC} und die Low-Side-Steuerdioden mit Massepotential verbunden sind. Darüber hinaus sind diese

High-Side- und Low-Side-Steuerdioden parallel zu einer Haupt-Zener-Diode, der TVS-Diode geschaltet (siehe auch Abbildung 5). Die Steuerdioden sind viel kleiner und weisen eine geringere Sperrschichtkapazität auf.

Eine p-WELL ist ein Bereich innerhalb eines n-Typ-Halbleitersubstrats, der mit p-Typ-Verunreinigungen dotiert ist. Dadurch entsteht ein lokalisierter Bereich mit p-Typ-Material innerhalb des n-Typ-Substrats.

Eine n-WELL ist ein Bereich innerhalb eines p-Typ-Halbleitersubstrats, der mit n-Typ-Verunreinigungen dotiert ist. Dadurch entsteht ein lokalisierter Bereich mit n-Typ-Material innerhalb des p-Typ-Substrats.

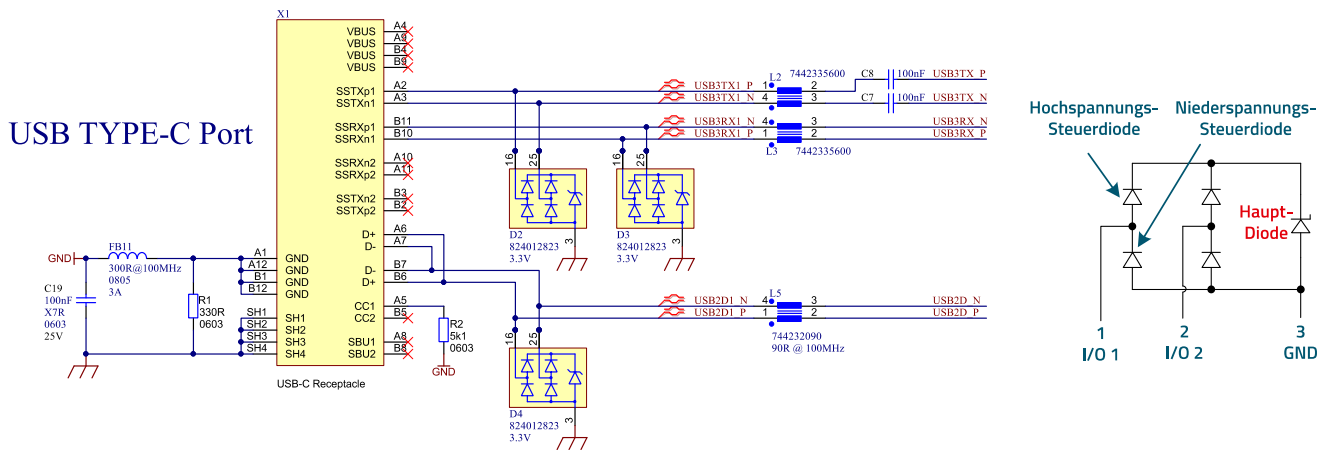


Abbildung 5: Transientenschutz an einer USB-Schnittstelle mit TVS-Dioden Array.

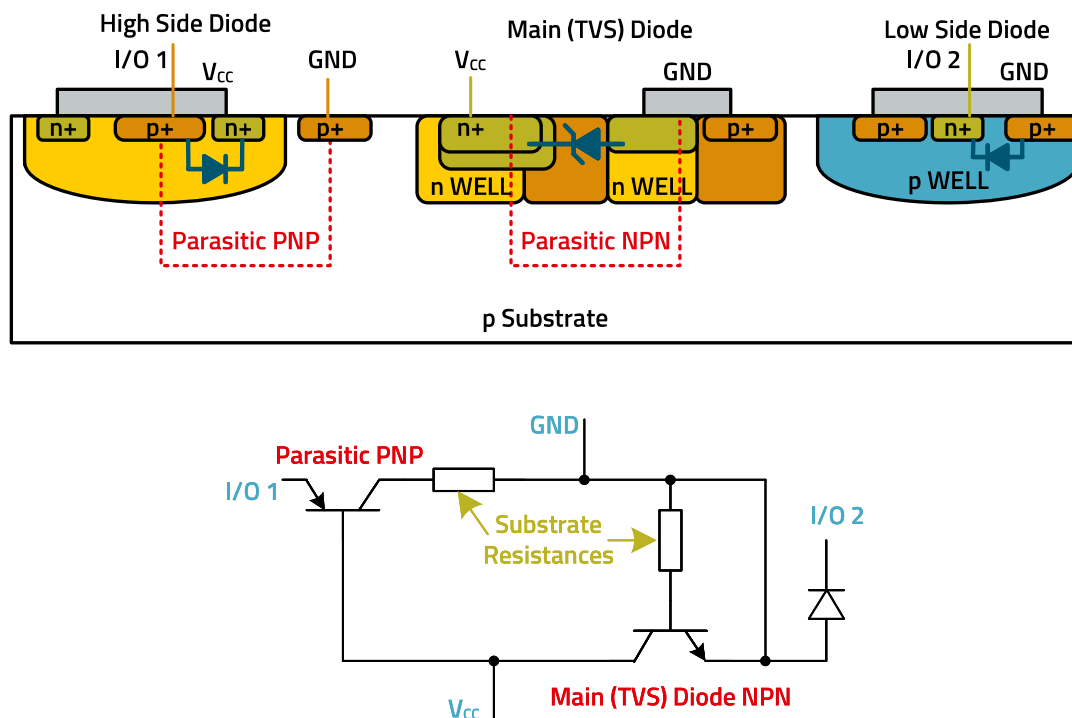


Abbildung 6: Querschnitt des Kerns eines vierkanaligen TVS-Dioden Arrays und dessen Funktionsschaltbild.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

In der Praxis erweist sich die Umsetzung der Funktion gemäß Abbildung 6 als anspruchsvoll. Die gegenwärtigen Technologien zur Herstellung eines TVS-Arrays sind mit der technischen Schwierigkeit konfrontiert, dass in einem TVS-Array, bei dem mehrere PN-Übergangsdioden in einem Halbleitersubstrat durch Anwendung eines Standard-CMOS-Verarbeitungsschritts hergestellt werden, inhärente parasitäre PNP- und NPN-Transistoren vorhanden sind. Beim Auftreten einer transienten Spannung werden die parasitären NPN- oder PNP-Transistoren dieses TVS-Arrays eingeschaltet und „verriegelt“, wodurch ein plötzlicher und starker Spannungsrückschlag verursacht wird, der Snapback Effekt, wie schon beim bipolaren Transistor (Abbildung 4) erläutert. Dieser Effekt ergibt sich zwischen der Source-Body-Diode eines PMOSFET oder eines NMOSFET, und einem N+ in P-Substrat-Übergang, wo ein parasitärer siliziumgesteuerter Gleichrichter (SCR) als parasitäres Bauelement gebildet wird (Abbildung 7).

Wenn der SCR ausgelöst wird, bildet sich ein starker Strompfad zwischen dem P+-Bereich (Anode, An) und dem N+-Bereich (Kathode, Ca). Dies führt wiederum zu dem Klemmeffekt. Abbildung 8 zeigt als Vergleich die charakteristischen VI-Kurven verschiedener Siliziumbauelemente: Herkömmliche Halbleiterdiode, NPN-Bipolartransistor (BJT) und SCR-Schaltung.

Die normale Diode (Abbildung 8 links) durchläuft den Zener- oder Lawinendurchbruch bei einer bestimmten Spannung, der sogenannten Durchbruchspannung V_{BR} . Bei Dioden mit einer V_{BR} unter 5,5 V überwiegt der sog. Zenerdurchbruch, bei Dioden mit einer V_{BR} über 5,5 V überwiegt der Lawinendurchbruch (Avalanche Effekt). Nach Erreichen der Durchbruchspannung steigt der Strom stark an, während die Spannung relativ konstant bleibt. Es gibt keinen Snapback-Effekt. Die Diode kann beschädigt werden, wenn der Strom nicht begrenzt wird. Ein npn-BJT (Abbildung 8 Mitte) durchläuft ebenfalls einen Lawinendurchbruch im Kollektor-Emitter-Bereich, wenn die Sperrspannung zu hoch wird.

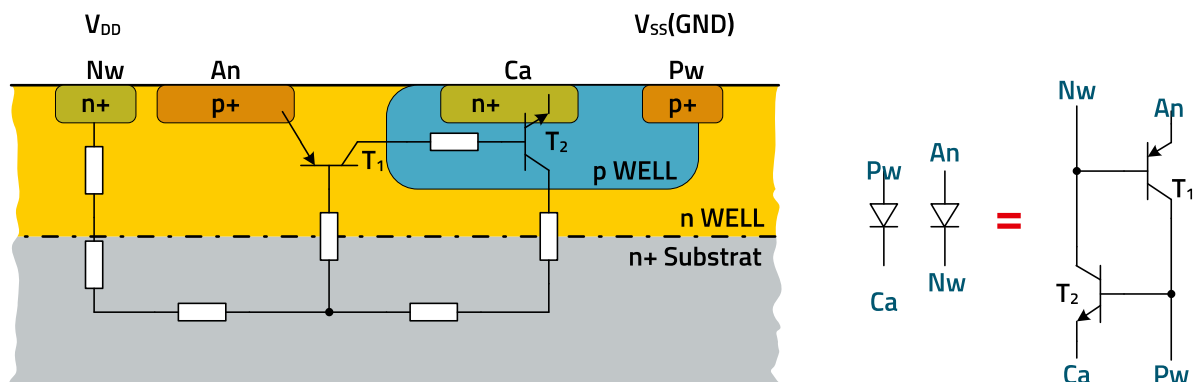


Abbildung 7: Schematischer Aufbau und äquivalente Symbole eines SCR in einem CMOS-Prozess. Der SCR wird durch die kreuzgekoppelten parasitären BJTs der Dioden gebildet.

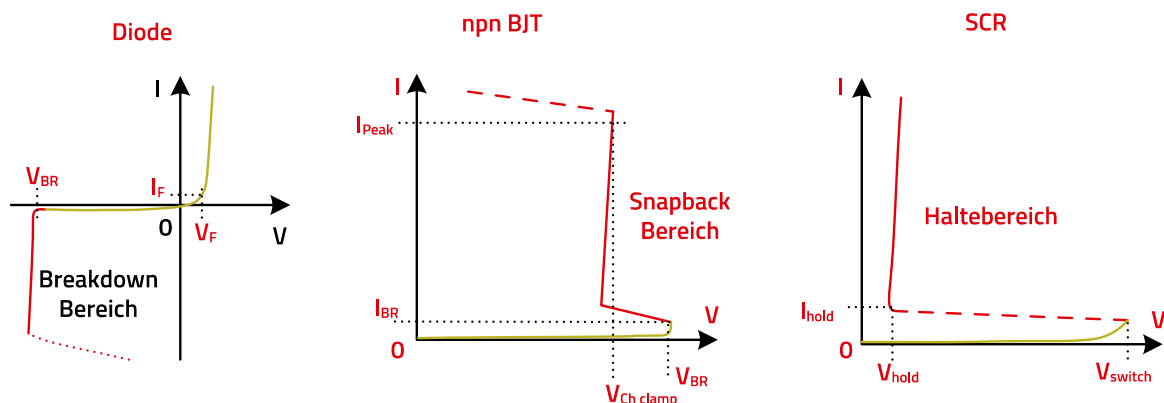


Abbildung 8: Vergleich der charakteristischen VI-Kurven verschiedener Siliziumbauelemente, Herkömmliche Halbleiterdiode, N-P-N-Bipolartransistor (BJT) und SCR-Schaltung.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Beim Durchbruch steigt der Kollektorstrom stark an, und es tritt der Snapback-Effekt auf, bei dem die Spannung am Kollektor plötzlich abfällt, so wenn der Strom weiter ansteigt. Dies kann zu einer Zerstörung des Transistors führen, wenn die Stromstärke nicht kontrolliert wird. Ein SCR (Abbildung 8 rechts) hat einen komplexeren Durchbruchmechanismus aufgrund seiner vier Halbleiterschichten (p-n-p-n). Der Durchbruch tritt auf, wenn die Spannung über die Anode-Kathode-Strecke eine kritische Schwelle erreicht und der Haltestrom überschritten wird. Nach dem Durchbruch kann der SCR in einen leitenden Zustand übergehen und bleibt leitend, selbst wenn die anliegende Spannung wieder sinkt, bis der Strom unter den Haltestrom fällt, d.h. hier ist auch der typische Snapback Effekt zu erkennen, wie er auch beim BJT-Transistor zu sehen ist. Abbildung 9 zeigt Diagramme der uni- und bidirektionalen TVS-Dioden mit Snapback Effekt. Für einen wirksamen ESD-Schutz sollte die Auslösespannung nicht so hoch sein, dass sie die zu schützende Schaltung beschädigt. Außerdem sollte die untere Haltespannung V_{hold} über der normalen Betriebsspannung der Schaltung liegen, was sichergestellt ist, wenn die maximale Betriebsspannung V_{DC} bzw. V_{Ch} nicht überschreitet. Wenn die TVS-Diode nicht

richtig ausgewählt wird, besteht die Gefahr eines sog. Latch-Up. Der Hauptgrund dafür ist, dass bei der Einkopplung transients Überspannung in z. B. eine USB-Schnittstelle die Spannung der externen Überspannung (ESD) größer ist als die TVS-Durchbruchsspannung, was zum Durchschalten der TVS-Diode führt. Wenn in der zu schützenden Schaltung ein falscher Typ von TVS-Diode verwendet wird, ist die untere Haltespannung V_{hold} niedriger als die normale Betriebsspannung und die TVS-Diode bleibt leitend, auch wenn die externe Störung vorbei ist. In diesem Fall wird die Stromversorgung kurzgeschlossen, oder die TVS-Diode brennt durch, was im schlimmsten Fall zu Schäden am Gerät führt. Ebenso kann bei hohen Temperaturen der SCR durch einen hohen Leckstrom durch den NP-Übergang des parasitären NPN-BJT eingeschaltet werden, was wiederum zu einem Latch-Up führt. Deshalb sollten die Datenblattangaben beachtet werden.

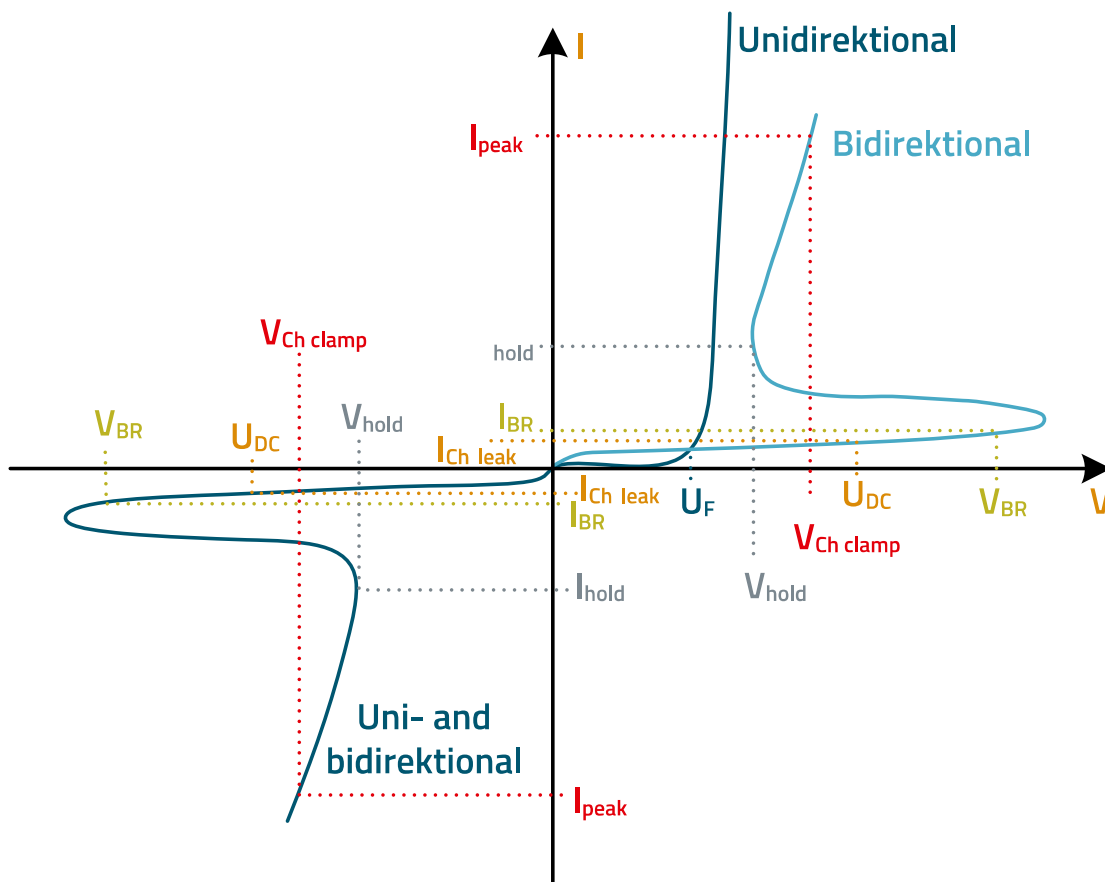


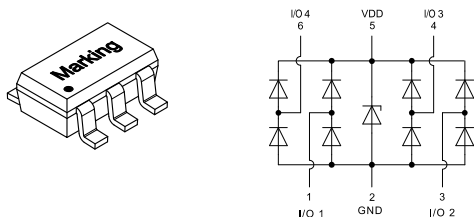
Abbildung 9: Charakteristische VI-Kurve der bidirektionalen TVS-Dioden mit Snapback Effekt.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

3. TVS-DIODEN HYBRID FÜR SIGNAL- UND DATENLEITUNGEN

Ein spannungsbegrenzendes Bauelement muss Schutz vor transienten Ereignissen bieten, ohne den normalen Betrieb der Schaltung zu beeinträchtigen. Dies kann eine Herausforderung sein, da die Parameter oft gegeneinander arbeiten. Eine TVS-Diode für hochfrequente Signalschnittstellen sollte eine geringe Kapazität aufweisen, um eine Signalbeeinflussung durch kapazitive Last zu vermeiden. Die Fähigkeit eines Bauelements, Energie zu absorbieren, hängt jedoch von der Größe der Sperrschicht ab. Je größer die Sperrschicht ist, desto mehr Energie kann sie absorbieren. Der Nachteil ist, dass mit zunehmender Größe der Sperrschicht auch die Kapazität des Bauelements zunimmt. Wie schon im ersten Abschnitt gezeigt, ist eine gängige Methode zur Verringerung der effektiven Kapazität die Verwendung einer kapazitätsarmen Diodenschaltung in Verbindung mit dem TVS (Abbildung 3).



Transmission Line Pulsing (TLP) Measurement:

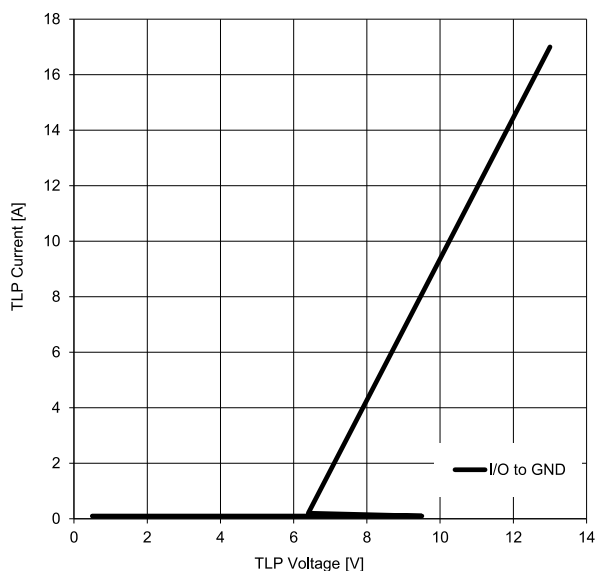


Abbildung 10: Dioden Array mit TVS-Diode für 4 Kanäle, WE-TV5 High Speed Serie, 824015.

Um mehrere, symmetrische Signalbusse wie z.B. USB 3.1 zu schützen werden mehrere Diodenschaltungen zu einem „Array“ kombiniert. Ein Beispiel zeigt Abbildung 10. Die VI-Kurve wurde mit der Methode Transmission Line Pulsing (TLP) gemessen, um die nötige Signalanstiegszeit für die Ermittlung der Klemmspannung $V_{CH\ Clamp}$ zu bekommen. Es ist ein gängiges Messverfahren, welches in der IEC 62615:2010 spezifiziert ist und sich etabliert hat, um das Verhalten von Bauteilen bei ESD-Bedingungen aufzuzeigen. Die Methode garantiert eine präzise und wiederholbare Messung.

Die Kapazität der TVS-Diode ist durch die konventionellen Dioden vor der Schaltung praktisch „versteckt“. Die Dioden müssen den Transientenstrom standhalten, und benötigen eine Durchbruchspannung in Sperrichtung, die größer ist als die Durchbruchspannung der TVS-Diode.

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value			Unit	ToI
			min.	typ.	max.		
Channel Operating Voltage	V_{ch}	I/O to GND			5	V	
DC Operating Voltage	V_{DC}	V_{DD} to GND	6			V	max.
(Reverse) Breakdown Voltage	V_{BR}	I/O to GND; $I_{BR}=1\text{ mA}$	6,1			V	
Leakage Current	I_{LAK}	V_{DD} to GND; $V_{DD}=V_{DC}$; $V_{GND}=0\text{ V}$	5			μA	max.
Channel (Reverse) Leakage Current	$I_{CH\ LAK}$	I/O to GND $V_{DD}=V_{DC}$; $V_{DD}=V_{CH}$; $V_{GND}=0\text{ V}$			1	μA	
Forward Voltage	V_F	GND to I/O; $I_F=15\text{ mA}$		0,7	1	V	
(Channel) Input Capacitance	C_{in}	I/O to GND $V_{DD}=5\text{ V}$; $V_{DD}=2,5\text{ V}$; $V_{GND}=0\text{ V}$; $f=1\text{ MHz}$		1	1,5	pF	
Channel to Channel Input Capacitance	C_{cross}	between I/O pins $V_{DD}=5\text{ V}$; $V_{DD}=2,5\text{ V}$; $V_{GND}=0\text{ V}$; $f=1\text{ MHz}$		0,1	0,2	pF	
Channel ESD Clamping Voltage	$V_{CH\ Clamp\ ESD}$	IEC 61000-4-2 +8 kV (TLP=16 A) Contact Mode, I/O to GND		13		V	
Channel Surge Clamping Voltage	$V_{CH\ Clamp}$	I/O to GND 5 A, $t_s = 8/20\text{ }\mu\text{s}$		7,8	8,5	V	
Polarity	Unidirectional						

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Das resultierende Array ist ein Bauteil, bestehend aus mehreren Funktionsbereichen. Die Integration und das daraus resultierende Gehäuse gewährleisten die erforderlichen Parameter für Hochgeschwindigkeitsanwendungen. Für verschiedene Anwendungen sind so verschiedene IC-Gruppierungen verfügbar, um die erforderlichen elektrischen Parameter zu erreichen und so auch leicht in Schaltkreisen eingesetzt werden zu können. Typische schematische Symbole sind in Abbildung 11 abgebildet.

4. DC- UND AC-VERHALTEN VON TVS-DIODEN ARRAYS

Im folgenden Abschnitt werden anhand des TVS-Dioden Arrays WE-TVS 824015 verschiedene Ergebnisse aus Laborversuchen gezeigt, um die Funktion dieser Art von Komponenten, deren Einsatzmöglichkeiten, aber auch deren Einschränkungen zu verdeutlichen. Abbildung 12 zeigt das Prinzipschaltbild und die elektrischen Parameter des Arrays.

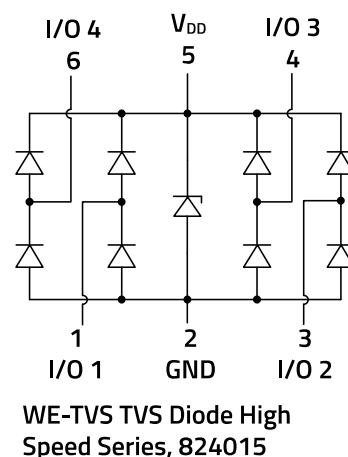
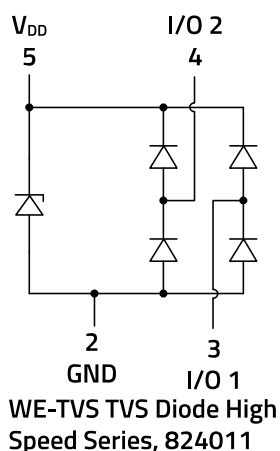
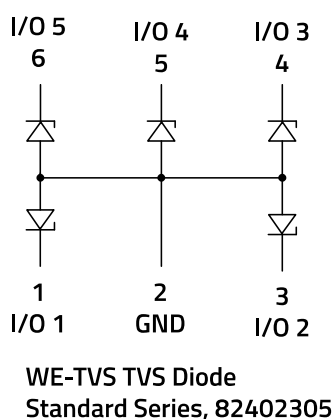


Abbildung 11: Verschiedene TVS-Dioden Arrays.

Electrical Properties:

Properties		Test conditions	Value			Unit	Tol.
			min.	typ.	max.		
Channel Operating Voltage	V_{Ch}	I/O to GND			5	V	
DC Operating Voltage	V_{DC}	V_{DD} to GND	6			V	max.
(Reverse) Breakdown Voltage	V_{BR}	I/O to GND; $I_{BR}=1\text{ mA}$	6.1			V	
Leakage Current	I_{Leak}	V_{DD} to GND; $V_{DD}=V_{DC}$; $V_{GND}=0\text{ V}$	5			μA	max.
Channel (Reverse) Leakage Current	$I_{Ch Leak}$	I/O to GND $V_{DD}=V_{DC}$; $V_{I/O}=V_{Ch}$; $V_{GND}=0\text{ V}$			1	μA	
Forward Voltage	V_F	GND to I/O; $I_F=15\text{ mA}$		0.7	1	V	
(Channel) Input Capacitance	C_{Ch}	I/O to GND $V_{DD}=5\text{ V}$; $V_{I/O}=2.5\text{ V}$; $V_{GND}=0\text{ V}$; $f=1\text{ MHz}$		1	1.5	pF	
Channel to Channel Input Capacitance	C_{Cross}	between I/O pins $V_{DD}=5\text{ V}$; $V_{I/O}=2.5\text{ V}$; $V_{GND}=0\text{ V}$; $f=1\text{ MHz}$		0.1	0.2	pF	
Channel ESD Clamping Voltage	$V_{Ch Clamp ESD}$	IEC 61000-4-2 +8 kV (TLP=16 A) Contact Mode, I/O to GND		13		V	
Channel Surge Clamping Voltage	$V_{Ch Clamp}$	I/O to GND 5 A, $t_p = 8/20\text{ }\mu\text{s}$		7.8	8.5	V	
Polarity		Unidirectional					

Abbildung 12: Prinzipschaltbild und elektrische Parameter des TVS-Dioden Arrays WE-TVS 824015.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

4.1 Klemmverhalten der TVS-Diode

Dieses Kapitel erläutert die notwendigen Bedingungen für ein sicheres und kontrolliertes Klemmverhalten. Es zeigt den Snapback-Effekt und beschreibt das Verhalten des Bauteils bei Verwendung in einem mangelhaften Leiterplattendesign. Der Versuchsaufbau zur Datenerfassung ist ein Laboraufbau, der in einem gut ausgestatteten Labor nachgestellt werden kann. Die im Datenblatt der Bauelemente angegebenen Werte wurden mithilfe eines sogenannten Transmission Line

Pulsengenerators gemessen, der eine hohe Reproduzierbarkeit und geringe Fehlertoleranz bietet. Um den Klemmeffekt zu messen, wurde der experimentelle Laboraufbau gewählt, der in Abbildung 13 dargestellt ist. Gemessen wurde mit einem 1,5 GHz – Aktivtastkopf und einem Speicheroszilloskop mit einer Messbandbreite von 1 GHz, um die schnellen Vorgänge darstellen zu können.

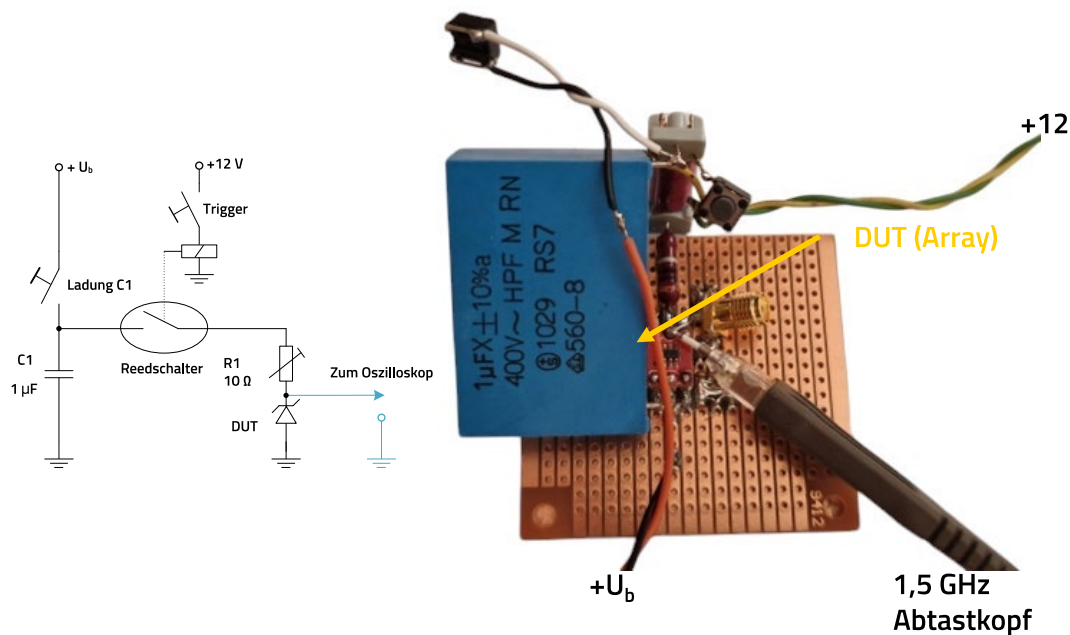


Abbildung 13: Aufbau zur Messung des TVS-Dioden-Klemmverhaltens.

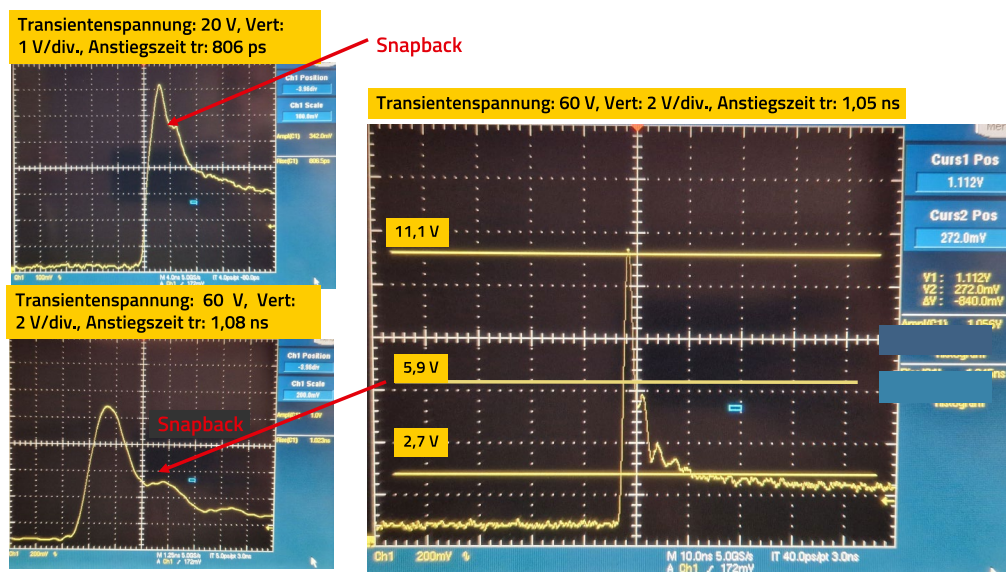


Abbildung 14: Klemmverhalten des TVS-Dioden Arrays.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Neben den bauteilspezifischen Parametern hängt das Klemmverhalten sehr stark vom Aufbau ab. Parameter sind hier vor allem:

- Impedanz und Energie der Quelle, hier der Entladekondensator C1.
- Impedanz der Zuleitung von der Energiequelle zur TVS-Diode, hier definiert durch R1.
- Impedanz der Masse (GND), Impedanz zwischen Energiequelle und TVS-Diode.

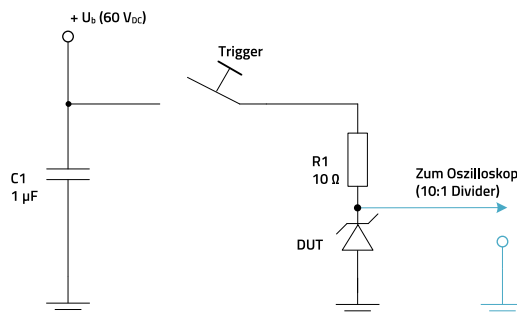
Um die Entladung definiert, ohne Schalterprellen durchzuführen, wurde im Aufbau ein gasgefülltes REED-Relais verwendet, das über eine Hilfsspannung angesteuert wurde. Die Messergebnisse sind in den folgenden Bildern in Abbildung 14 gezeigt.

Beim Anlegen einer 60-V-Transiente beginnt die verwendete TVS-Diode bei etwa 11,2 V zu leiten. Die Klemmspannung wird in Form einer Rampe bei etwa 5,9 V beobachtet. Die Spannung im Stromkreis nimmt dann allmählich ab, wenn die Kondensatorspannung durch das Relais abgeschaltet wird. (Abbildung 13).

In Abbildung 15 ist das Verhalten einer konventionellen TVS-Diode, verglichen zur TVS-Diode des Arrays gezeigt. Der Unterschied ist deutlich, die konventionelle Diode klemmt ohne Snapback Effekt bei ca. 8 V, die TVS-Diode beginnt erst bei 7,7 V zu leiten und begrenzt dann auf ca. 5,8 V. Hier ist kein Spannungsabfall zu beobachten, da der Kondensator angeschlossen bleibt.

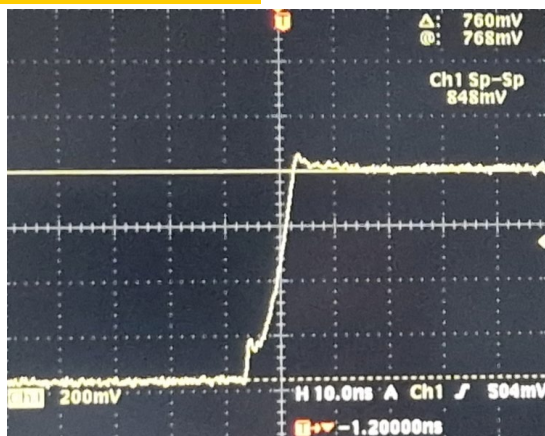
Im Theorieteil wurde beschrieben, dass die TVS-Diode selbst ein komplexes Gebilde aus Transistoren ist, die durch einen sich gegenseitig verriegelnden Effekt die Klemmung bewirken. Dieser dynamische Vorgang beinhaltet einen Übergangsbereich der VI-Kurve, in dem die Steigung der Kennlinie und somit der Widerstand negativ ist. Der Snapback-Effekt tritt auf, wenn die Spannung an der TVS-Diode nach dem Durchbruch auf einen niedrigeren Wert absinkt, während der Strom weiterhin ansteigt (Abbildung 9).

Dies bedeutet, dass in einem bestimmten Bereich der VI-Kurve eine Erhöhung des Stroms zu einer Verringerung der Spannung führt, was als negativer differentieller Widerstand bezeichnet wird. Damit kann im Übergangsbereich ein



TVS Dioden WE-TVSP 824500600

Divider 10:1, 2 V/div.



TVS-Dioden Arrays WE-TVS 824015.

Divider 1:1, 1 V/div.

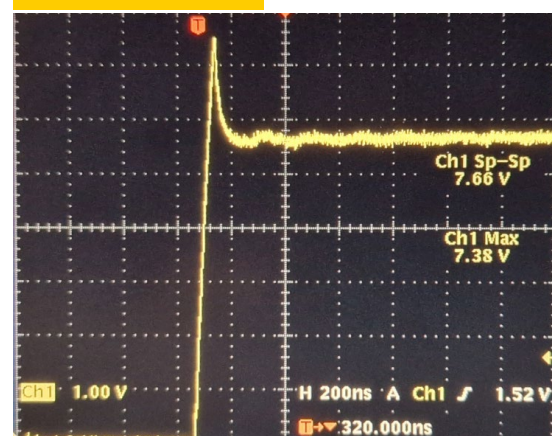


Abbildung 15: Klemmverhalten einer konventionellen TVS-Diode, WE-TVSP 824500600, verglichen mit dem TVS-Element des Arrays 824015.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Schwingungsverhalten vermutet werden, das sichtbar, ggf. sogar schaltungstechnisch verwendbar gemacht werden kann. Dazu ist es notwendig, die Anstiegsrampe der zu klemmenden Spannung und hier insbesondere den Bereich, um die Durchbruchspannung genauer zu betrachten. Dazu wird ein Aufbau gewählt, mit dem der Strom durch die Diode über einen Vorwiderstand eingestellt werden kann. In Abbildung 16 sind der Testaufbau und die Messergebnisse dargestellt.

Bei einem geringen Klemmstrom von 2,5 mA zeigt das Element ein Klemmverhalten ohne Snapback Effekt. Die Spannungsbegrenzung erfolgt bei 7,8 V. Ab 3,4 mA zeigt das

Bauelement beginnende Oszillation, die im Bereich um 4,5 mA ihr Amplitudenmaximum erreicht und mit steigendem Strom im Bereich um 8,0 mA abklingt. Ab 4,5 mA zeigt sich der Snapback Effekt, bei höheren Strömen im Bereich über 10 mA zeigt das Bauelement den erwarteten Effekt der Spannungsbegrenzung ohne Oszillation und mit Snapback Effekt, wie im Diagramm mit einem Strom von 20 mA dargestellt. Es sei noch erwähnt, dass der Beginn der Oszillation nicht vom Klemmstrom allein, sondern auch von der Belastung, d.h. Impedanz des oszillierenden Elements abhängt. Abbildung 17 zeigt die Oszillation im Frequenz- und

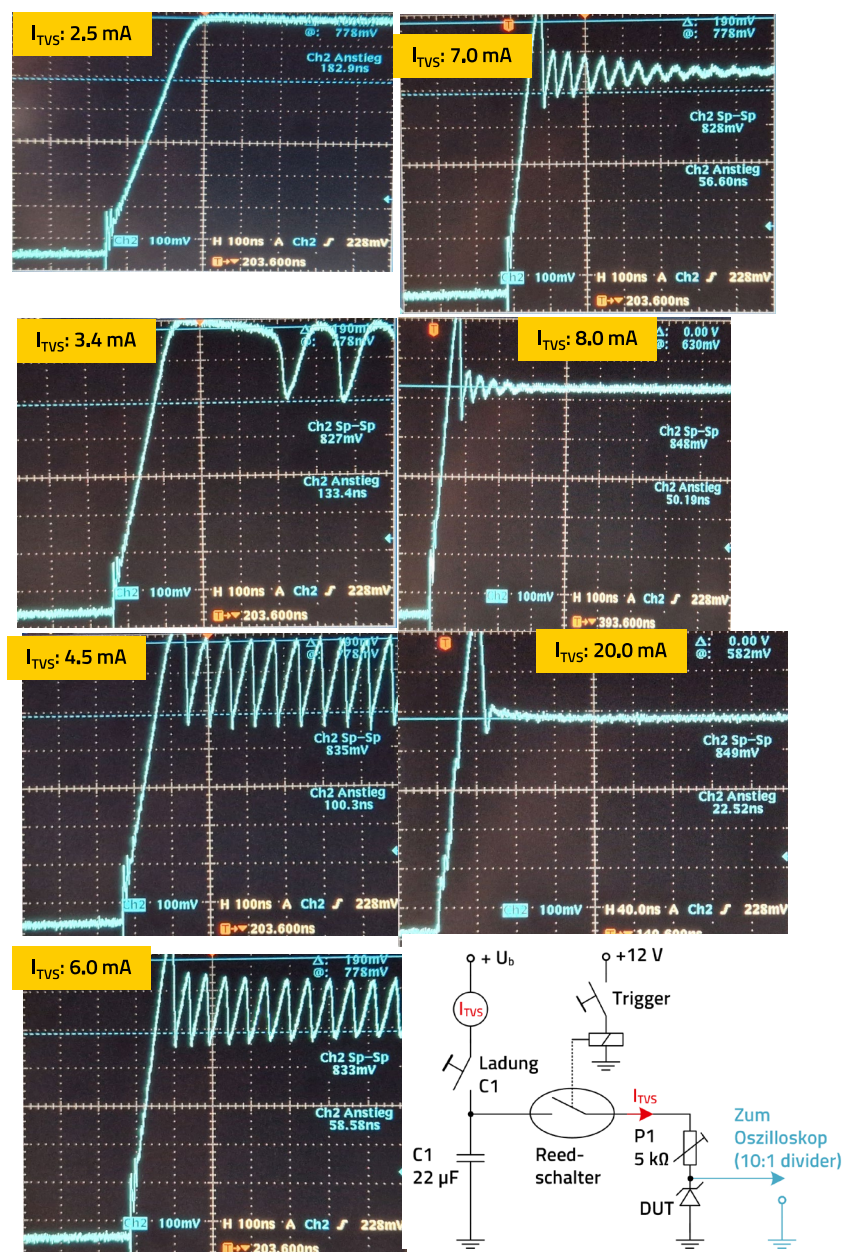


Abbildung 16: Testaufbau und Verhalten des TVS-Elements, dargestellt im Zeitbereich.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

im Zeitbereich. In der Schaltung für diese Messungen wurde ein Vorwiderstand von 3,3 k Ω verwendet. Der Frequenzbereich der Grundschiwingung liegt im Bereich zwischen 1,5 und 12 MHz.

Das Schwingverhalten beginnt bei einem Strom von ca. 2 mA, bei 15 mA ist die Amplitude des Signals deutlich kleiner und über 20 mA bricht die Oszillation ab. Sicher, man könnte das Array zweckentfremden und es als Oszillator verwenden, doch was bedeutet dieses Verhalten des Bauelementes für die beabsichtigte Funktion als spannungsbegrenzendes Bauelement? Unter normalen Bedingungen wird dieser Kleinstrombereich bis 20 mA bei Auftreten eines transienten

Störsignals innerhalb weniger Nanosekunden überschritten. Sollte jedoch die Anstiegszeit des Störsignals gering sein, kann das Bauelement zu temporärer Oszillation angeregt werden. Kritisch kann es auch werden, wenn sich länger anhaltende Störspitzen auf einem Nutzsignal befinden, deren Pegel nur knapp über der Durchbruchspannung des TVS-Elementes ist. Dieser Fall ist in Abbildung 18 dargestellt. Die Durchbruchspannung der TVS-Diode wäre für diese Applikation zu niedrig gewählt.

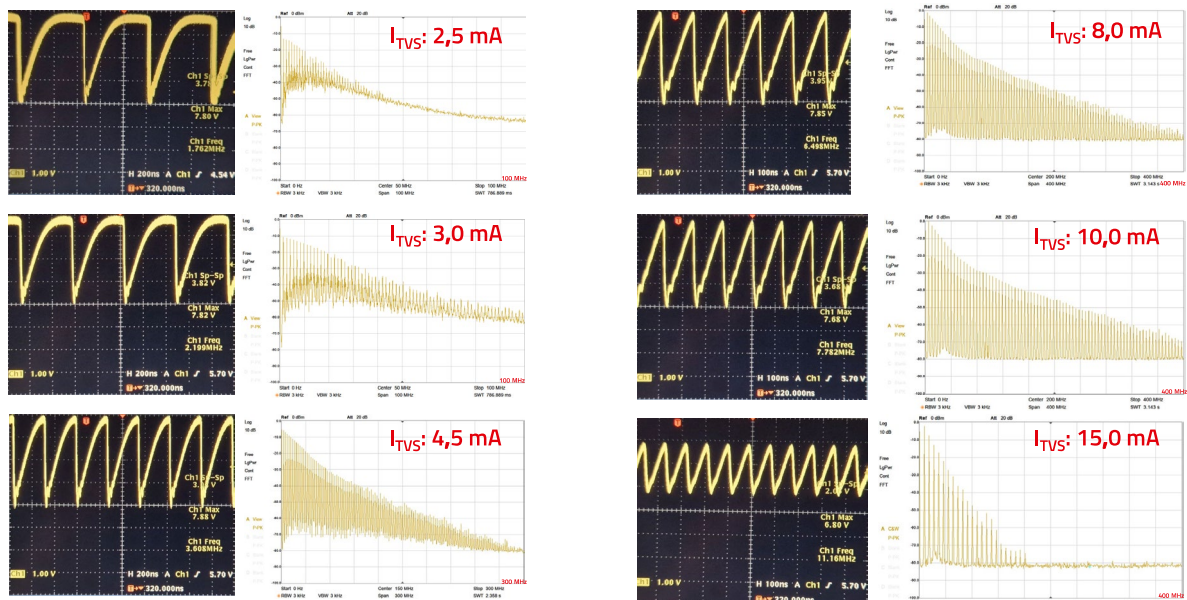


Abbildung 17: Oszillation des TVS-Elements in Abhängigkeit des Stroms I_{TVS} .

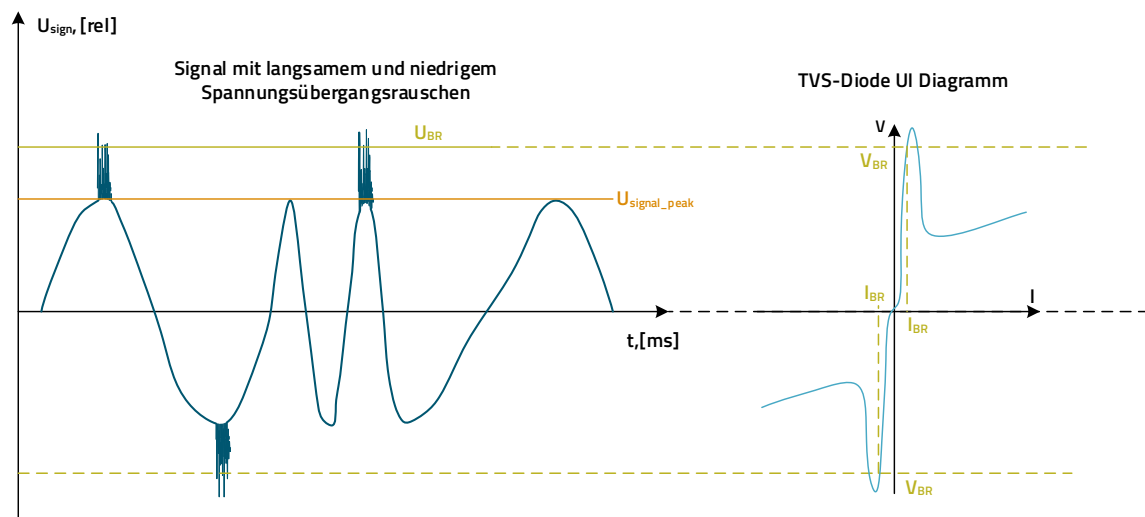


Abbildung 18: Störsignal auf Nutzsignal mit nur kleiner Amplitude.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

4.2 Signaltechnisches Verhalten des TVS-Dioden Arrays

Der hauptsächliche Einsatz von TVS-Dioden Arrays ist der Schutz von Signalschnittstellen. Bei der Anwendung dieser Arrays sollten die Signaleigenschaften möglichst nicht beeinträchtigt werden. Dabei sind sowohl die Amplitudeneigenschaften als auch die Frequenzeigenschaften wichtig. Die Frequenzeigenschaften hängen hauptsächlich mit der Systemimpedanz und der parasitären Kapazität des Arrays zusammen. Deshalb werden im Folgenden die Amplitudeneigenschaften näher betrachtet, die sich nicht direkt aus dem Funktionsschaltbild ergeben, das in verschiedenen Darstellungen in Abbildung 19 gezeigt ist.

Aus der Darstellung der Steering-Dioden als Brückengleichrichter nach Abbildung 19 unten rechts ist zu

erkennen, dass der maximale Signalpegel zwischen I/O 1 und I/O 2 von der Vorspannung (Bias) zwischen V_{DD} und GND abhängig ist. Um den Schwellwert zu ermitteln, wurde der Aufbau nach Abbildung 20 gewählt. Die Signalspannung zwischen I/O 1 und I/O 2 ist massefrei, d.h. als symmetrisches Signal geschaltet und hat damit keinen Massebezug zur Stromversorgung. Praxisbeispiele sind USB-, HDMI-, Ethernet-Signale. Der Kondensator C1 entkoppelt ggf. auftretende Gleichspannung zum Schutz des Signalgenerators. R1 entkoppelt das Signal zwischen Signalgenerator und Array zur Detektion von Verzerrungen. Der Elko C2 ist das Equivalent zum Sieb- und Stützkondensator in realen Applikationen und schließt Wechselspannungssignale kurz, R2 dient als Last, d.h. zur Entladung der Spannung bei Verringerung der Spannung am Labornetzteil.

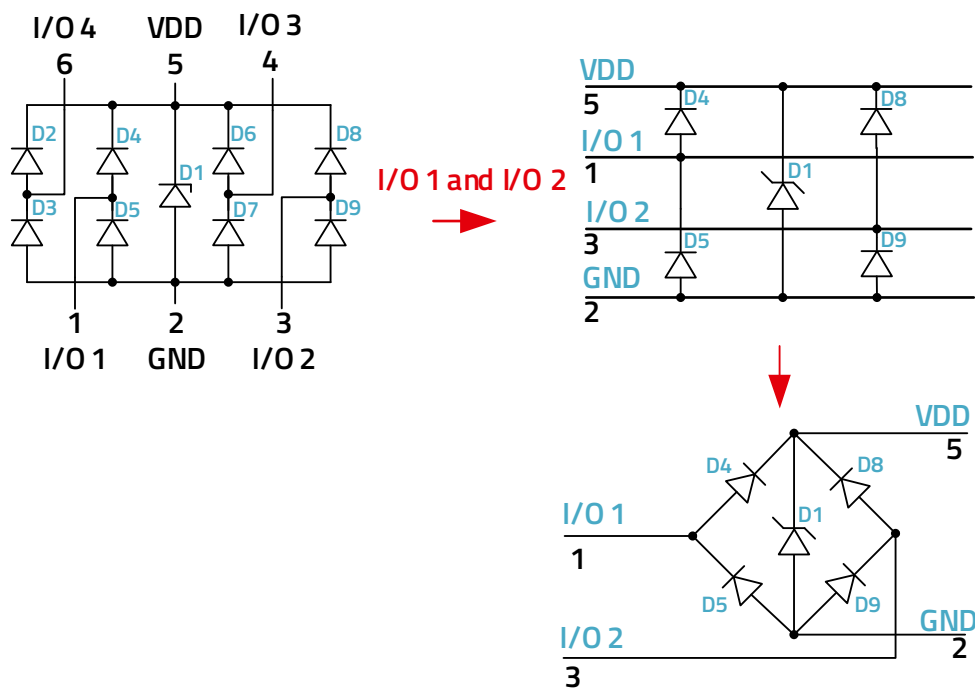


Abbildung 19: Verschiedene Darstellungen zweier Kanäle des TVS-Dioden Arrays.

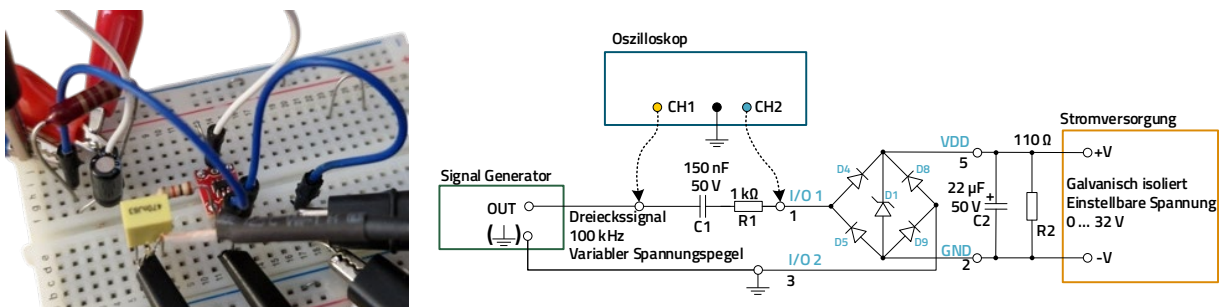
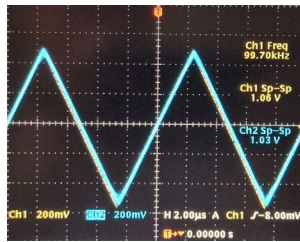


Abbildung 20: Aufbau zur Messung der maximalen Eingangsamplitude V_{pp} in Abhängigkeit der Vorspannung V_{DD} .

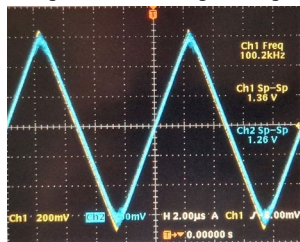
APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

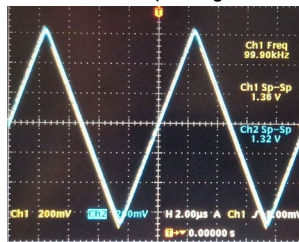
Eingangssignal 1,0 V_{ss}, keine Vorspannung
→ Eingangssignal = Ausgangssignal.



Eingangssignal 1,35 V_{ss}, keine Vorspannung
→ Beginnende Verzerrung des Ausgangssignals.



Kompensation der Verzerrung durch 620 mV Vorspannung.



Beispiel einer starken Verzerrung, Eingang: 2,5 V_{ss}, keine Vorspannung.

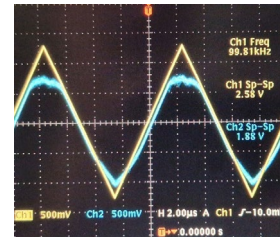


Abbildung 21: Beispiele der Signalbeeinflussung in Abhängigkeit der Vorspannung.

Durch den Signalvergleich der beiden Kanäle CH1 und CH2 lässt sich leicht erkennen, wie groß die Vorspannung V_{DD} sein muss, um eine Verzerrung durch das Array zu vermeiden. Es zeigt sich, dass die Abhängigkeit nicht linear ist. In Abbildung 21 sind Beispiele der Signalbeeinflussung in Abhängigkeit der Vorspannung dargestellt.

Es ist zu erkennen, dass ab ca. 1,3 V_{PP} Signalamplitude der Verzerrungsbereich anfängt. Amplituden über diesem Pegel erfordern eine Vorspannung der Dioden zwischen V_{DD} und GND (DC-Bias). Die Unsymmetrie im letzten Bild in Abbildung 21 ergibt sich durch den beginnenden Vorwärtsstrom I_F der TVS-Diode. Das Diagramm der Signalspannung in Abhängigkeit der Vorspannung ist in Abbildung 22 dargestellt.

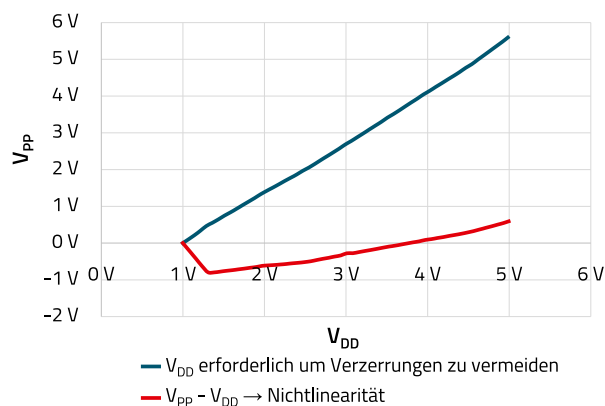


Abbildung 22: Diagramm der Signalspannung in Abhängigkeit der Vorspannung.

Die blaue Kurve zeigt die Vorspannung V_{DD} , die notwendig ist, um eine verzerrungsfreie Signalspannung V_{PP} zu erreichen. Der Verlauf ist nicht linear, das ist aus der roten Differenzkurve ($V_{PP} - V_{DD}$) zu erkennen. Im Signalpegelbereich knapp über 1,35 V_{PP} ist nur eine geringe Vorspannung notwendig, um die Verzerrung zu kompensieren. Je größer die Signalspannung wird, desto größer muss die Vorspannung werden, wobei der differentielle Unterschied nicht konstant ist.

Die Nichtlinearität ergibt sich aus der Diodenkennlinie der „Steering-Dioden“, die Diodenkennlinie ist in Abbildung 23 gezeigt. Man sieht, dass der Durchlassbereich bei ca. 0,8 V beginnt, d.h. gemäß Abbildung 20 ist für zwei Steering Dioden ab 1,6 V_{PP} Signalspannung sicher mit einer Beeinflussung des Signals zu rechnen, wenn die V_{DD} entsprechend der blauen Kurve in Abbildung 22 kleiner als V_{PP} ist.

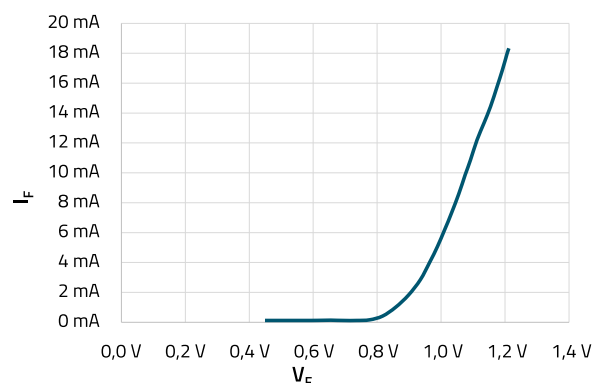


Abbildung 23: Diodenkennlinie der „Steering-Dioden“.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

4.3 TVS-Dioden Array Variationen

Im Folgenden Abschnitt werden verschiedene Arrays verglichen, um deren Funktion und die Möglichkeiten von Anwendungen darzustellen. Den Laboraufbau mit dem zugehörigen Schaltbild zeigt Abbildung 24.

Zur Messung wurde ein 100 kHz Dreieckssignal eingespeist, dessen Pegel schrittweise erhöht wurde. Bei Pegelbegrenzung an einem der drei Kanäle wurde die Gleichspannung V_{CCa} entsprechend erhöht, um einen Offset an den Steeringdioden zu erhalten. Folgend die Ergebnisse in einer Übersicht, eine kurze Erklärung zu den Diagrammen findet sich in der Spalte „Bemerkung“, eine längere Erläuterung am Ende der Abbildung.

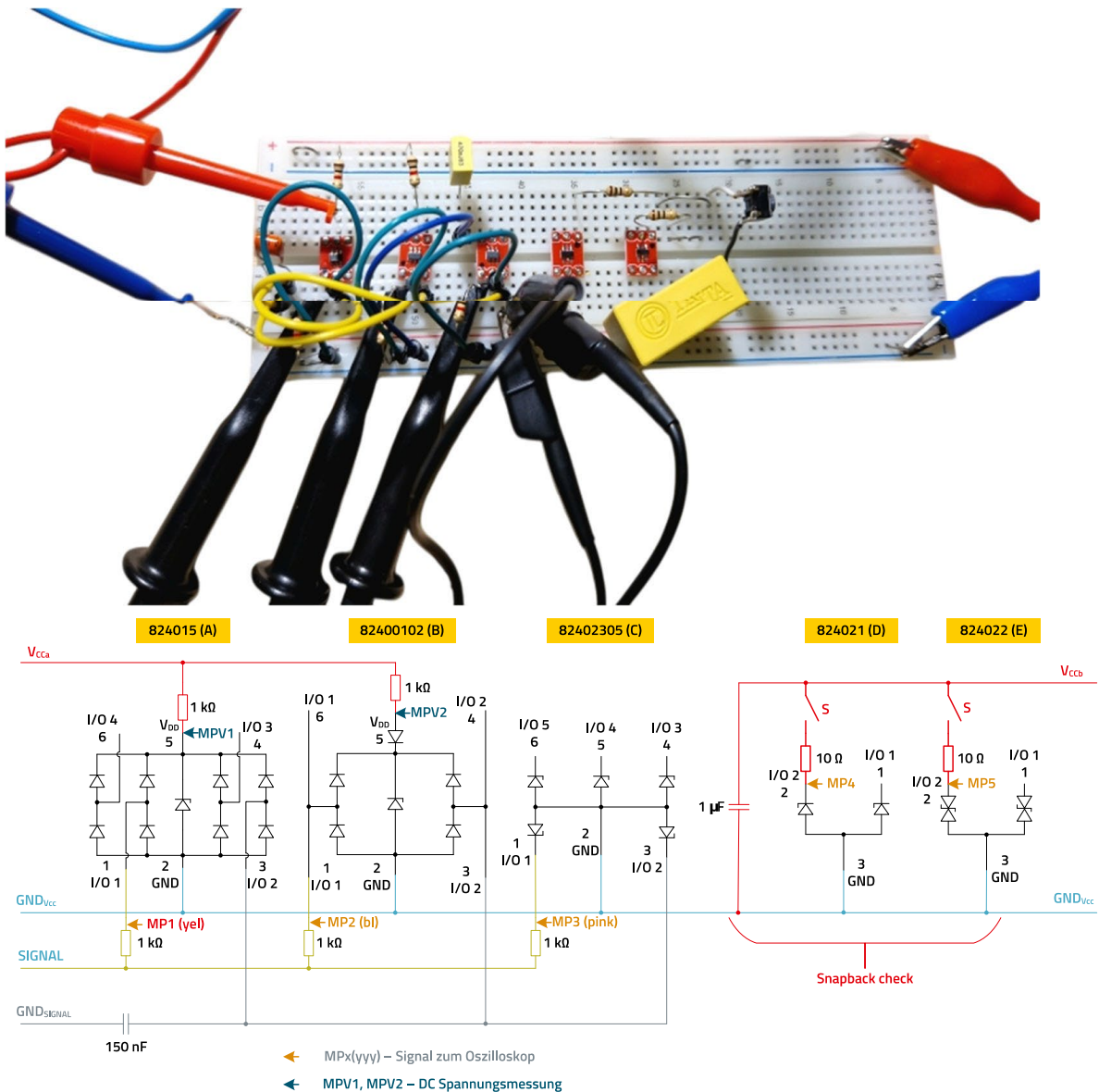


Abbildung 24: Laboraufbau mit dem zugehörigen Schaltbild für den Vergleich verschiedener TVS-Dioden Arrays.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Signal-Amplitude [V _{ss}]	V _{CCa} [V _{DC}]	Bild	Bemerkung
1,0	0		Alle drei Signale unverzerrt, Signale hier überlappend dargestellt
1,5	0		- 824015, Begrenzung beider Halbwellen ab 1,3 V_{ss} beginnend - alle 3 Arrays, ab 1,5 V_{ss} neg. Halbwellen beginnende Begrenzung
1,5	3,3		Alle drei Signale unverzerrt Wird V _{CCa} auf +5 V erhöht, kann der Signalpegel bis ca. 6,3 V _{ss} erhöht werden.
5,0	5,0		Mit 5 V Vorspannung sind alle drei Signale bei einem Pegel von 5,0 V _{ss} unverzerrt.
5,0	0		Für positive Signale können die beiden Arrays 82400102 und 82402305 ohne Vorspannung betrieben werden.

Abbildung 25: Vergleich des Signalverhaltens verschiedener TVS-Dioden Arrays, nach Abbildung 24, linker Teil.

APPLICATION NOTE

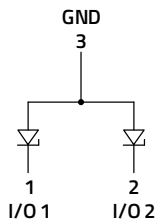
ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Das Array 824015 begrenzt das Signal ab der Durchlassspannung der Steeringdiode, d.h. ab ca. 0,7 V, entsprechend $2 \times 0,7 V_{SS}$ (2. Bild in Abbildung 25). Durch eine Vorspannung bekommt die Diode einen Spannungsoffset in Sperrichtung und so kann das Signal bis zu der Offsetspannung plus der Vorwärtsspannung erhöht werden (3. Bild in Abbildung 25). Im untersten Bild in Abbildung 25 überschreitet der Signalpegel für das Array 824015 (gelbe Kurve) die Vorwärtsspannung der Steeringdioden, so dass ohne Vorspannung der Pegel auf ca. $1,4 V_{PP}$ begrenzt wird. Hingegen wirkt beim Array 82400102 (blaue Kurve) die Blockingdiode zu V_{DD} , so dass das Signal in seiner positiven Halbwelle nicht begrenzt wird. Die negative Halbwelle jedoch wird über GND begrenzt. Beim Array 82402305 (lila Kurve) wird für die positive Halbwelle die Zener-Durchbruchspannung nicht überschritten, die negative Halbwelle wird über den Anschluss zu GND auf V_F begrenzt.

4.4 Anwendungshinweise

Die folgenden Messungen zeigen das Verhalten der beiden TVS-Dioden Arrays 824021 und 824022 (Abbildung 24, rechter Teil). Die „Transientenspannung“ betrug im Aufbau 100 V, die Entladung erfolgte über einen vorgeladenen $1,5 \mu F$ Kondensator. Die Zuleitungen der Spannungsversorgung zu den Arrays war bewusst lang ausgeführt. Das Messergebnis in Abbildung 26 zeigt den typischen Snapback Effekt, die Messung bestätigt auch die um ca. 1 V niedrigere Klemmspannung der bidirektionalen TVS-Diode im Array 824022. Bedingt durch die parasitären Induktivitäten der Spannungszuführung zeigt sich ein resonantes Abschwngen der Spannung. Weiterhin liegen die Durchbruchspannungen V_{BR} der beiden Dioden relativ hoch, im Bereich zwischen 26 und 31 V.

WE-TVS TVS Diode 824021
Channel ESD
Klemmspannung: 10 V typ.



WE-TVS TVS Diode 824022
Channel ESD
Klemmspannung: 9 V typ.

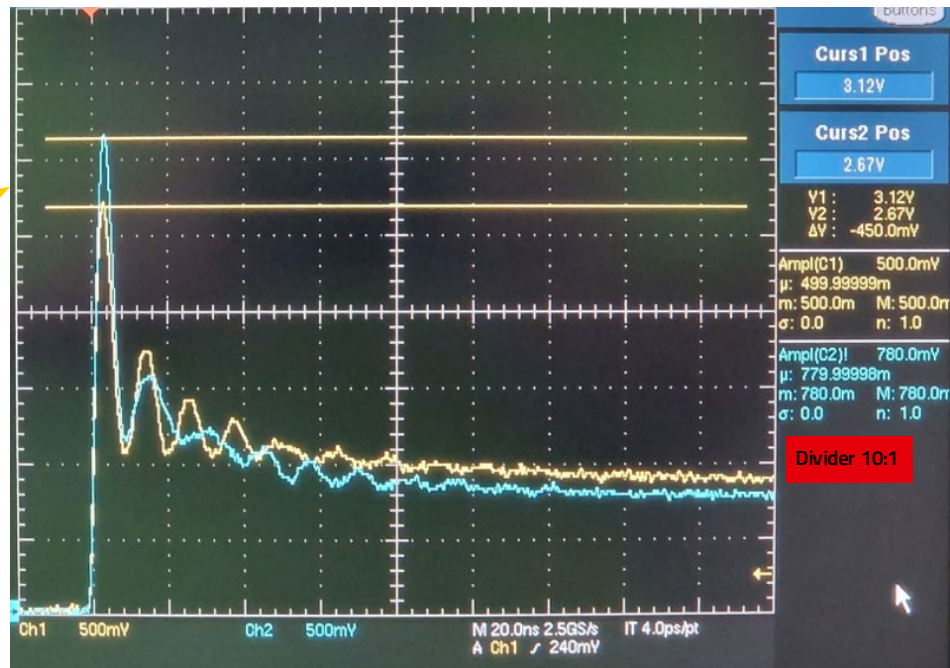
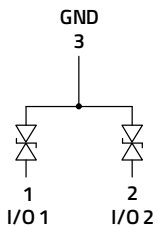


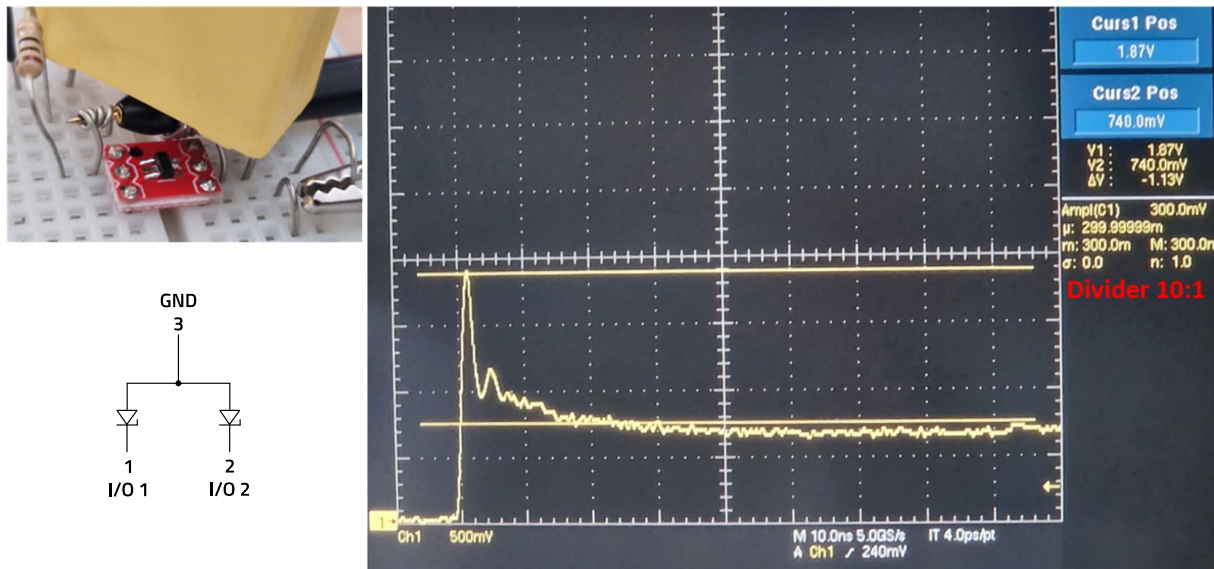
Abbildung 26: Klemmverhalten der beiden Arrays nach Abbildung 24, rechter Teil

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Hier zeigt sich klar, wie wichtig ein HF-gerechter Aufbau, d.h. in der Praxis ein HF-gerechtes Layout ist. Die TVS-Diode muss niederimpedant im Strompfad integriert sein, damit sie wirken kann. Das folgende Messergebnis wurde unter deutlich besseren Bedingungen durchgeführt. Abbildung 27 zeigt den Messaufbau für das Array 824021 mit dem zugehörigen Messergebnis. Die Durchbruchspannung beträgt hier nur noch 18,7 V, die Klemmspannung liegt bei 7,4 V.

Abschließend soll noch eine Applikation aus der Praxis gezeigt werden. In Abbildung 28 ist der Schaltplan einer USB 3.1 Schnittstelle dargestellt. Die Signalleitungen sind mit TVS-Dioden Arrays gegen transiente Überspannung geschützt. Der Massebezug ist das Gehäuse, da auch die Überspannung, z.B. eine elektrostatische Ladung, als Massereferenz das Gehäuse bzw. den Erdboden hat.



WE-TVS TVS Diode 824021

Abbildung 27: Aufbau und Ergebnis zur Messung der Durchbruch- und Klemmspannung

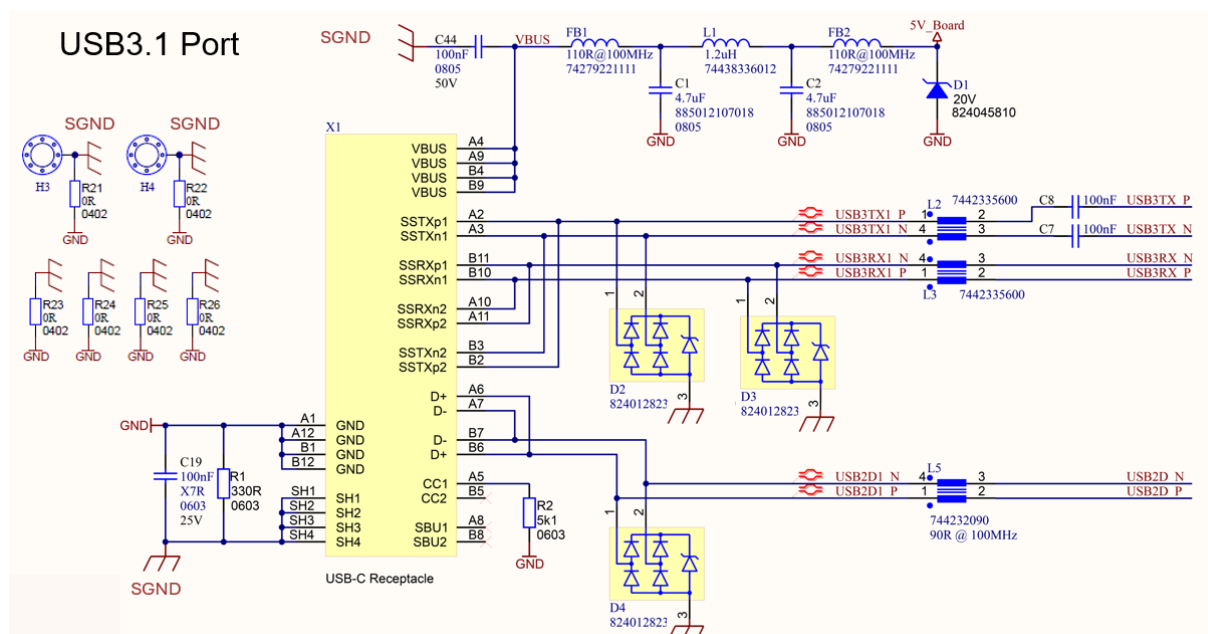


Abbildung 28: Schaltplan einer USB 3.1 Schnittstelle.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Abbildung 29 zeigt das Layout im Bereich der TVS-Dioden Arrays. Die Arrays sind in den Signalpfad geroutet, der Masseanschluss erfolgt direkt auf den SGND-Bereich, um eine kürzest mögliche Masseverbindung zu gewährleisten.

SGND ist hier die Masse des Gehäuses, dargestellt in Abbildung 29 links. Die Masse des USB-Controllers, der nach den Drosseln L2, L3 und L5 folgt ist „GND“. Die Verbindung zwischen SGND und GND erfolgt über die Komponenten R21 – R26 in Abbildung 28 links oben und R1, C19, C44 in Abbildung 29. Für eine detaillierte Beschreibung sei hier auf die Referenz-Designs RD016 und RD022 verwiesen, die von der Homepage heruntergeladen werden können.

4.5 Weitere Applikationen und Schaltungsbeispiele

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von TVS-Dioden und TVS-Dioden-Arrays. Zu jeder Anwendungskategorie werden unterschiedliche Schaltungen vorgestellt, um eine einfache Übertragung auf andere Anwendungen zu ermöglichen.

4.5.1 Transientenschutz an Gleichspannungseingängen.

In den folgenden Schaltungen werden TVS-Dioden eingesetzt um Überspannung, sei es durch transiente Störungen im Sinne der EMV, oder durch „Signalüberspannung“ zu begrenzen.

4.5.1.1 Schutz von Gleichrichterdiolen

Die Schaltung in Abbildung 30 zeigt einen Teil einer Stromversorgung mit Transformator und Gleichrichter.

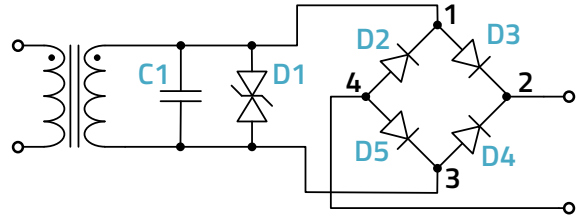


Abbildung 30: TVS-Diode zum Schutz von Gleichrichterdiolen.

Die bidirektionale TVS-Diode D1 schützt die Gleichrichterdiolen D2-D4 vor transienter differentieller Überspannung, d.h. Transiente im Common-Mode werden hier nicht begrenzt. Der Kondensator C1 dämpft energiearme hochfrequente transiente Überspannung, die TVS-Diode hingegen die typischen Burst- und Surge-Transienten. Die Schaltung macht dort Sinn, wo Schottky-Gleichrichterdiolen mit geringer Vorwärtsspannung eingesetzt werden, da diese im Allgemeinen auch eine niedrige maximale Sperrspannung haben. C1 sollte typ. im Bereich von 5 – 10 nF liegen, die Klemmspannung der TVS-Diode muss natürlich unter der maximalen Sperrspannung der Schottky-Dioden liegen.

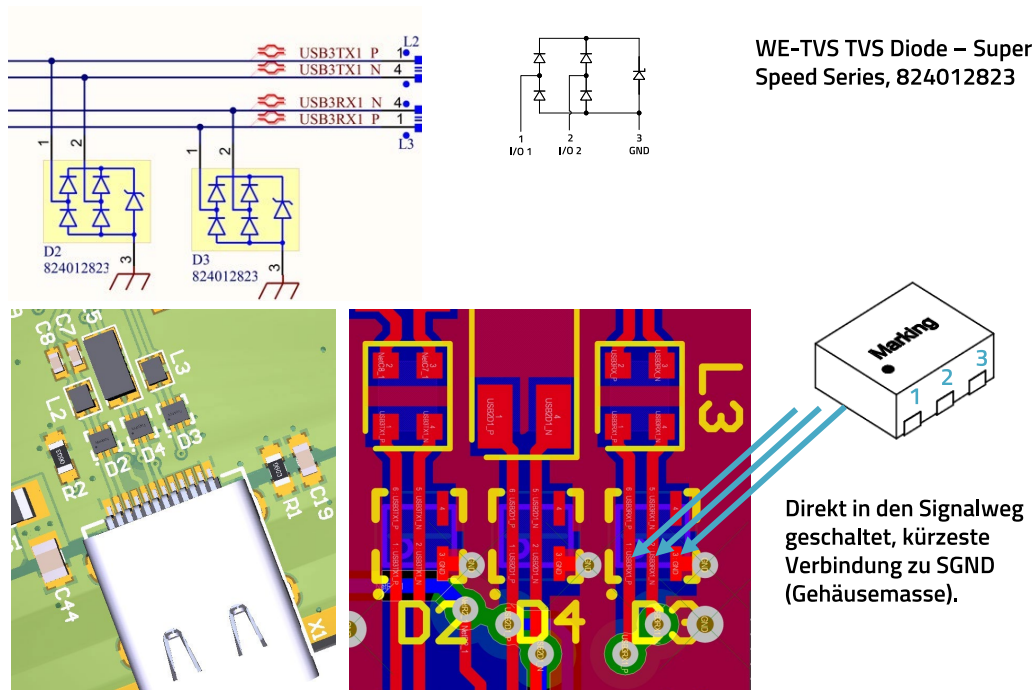


Abbildung 29: Layout der USB 3.1 Schnittstelle im Bereich der TVS-Dioden.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

4.5.1.2 Schutz am DC-Eingang eines Gerätes

Die folgende Schaltung in Abbildung 31 zeigt ein Filter mit Transientschutz für einen Gleichspannungseingang zur Stromversorgung eines Gerätes.

Auf der Primärseite der Common-Mode Drossel sind die TVS-Dioden D22, D29 und die Filterkondensatoren C106, C107 gegen Gehäusemasse (SGND) geschaltet. Die TVS-Dioden No. 824520241 haben eine Durchbruchspannung von 28,1 V und begrenzen transiente Überspannung, die im Common Mode auftritt. Die Kondensatoren bilden zusammen mit der stromkompensierten Drossel L13 und den Kondensatoren C108 und C109 einen π -Filter für jeden Strompfad (X4/1 und X4/2). Die bidirektionale TVS-Diode D1 begrenzt differentielle Überspannung, die beispielsweise durch Schaltvorgänge induktiver Lasten, die sich am naheliegenden gleichen Stromkreis befinden, entstehen können.

Die Klemmspannung der Diode muss unter der maximal zulässigen Eingangsspannung des folgenden DC-DC Controllers liegen. Auf der Sekundärseite der Drossel L13, am Übergang C109 / C2 sind die Elektronik- und die Gehäusemasse miteinander verbunden. Abbildung 31 zeigt auch das Layout des Filters. Es ist deutlich zu erkennen, dass die TVS-Dioden unmittelbar am Schnittstelleneingang platziert sind und in den Strompfad, d.h. direkt in die Leiterbahnzuleitung „eingeschleift“ sind, um einen Strombypass zu verhindern. Für weitere Informationen sei auf das Referenzdesign RD041 verwiesen, das von der WE-Homepage heruntergeladen werden kann.

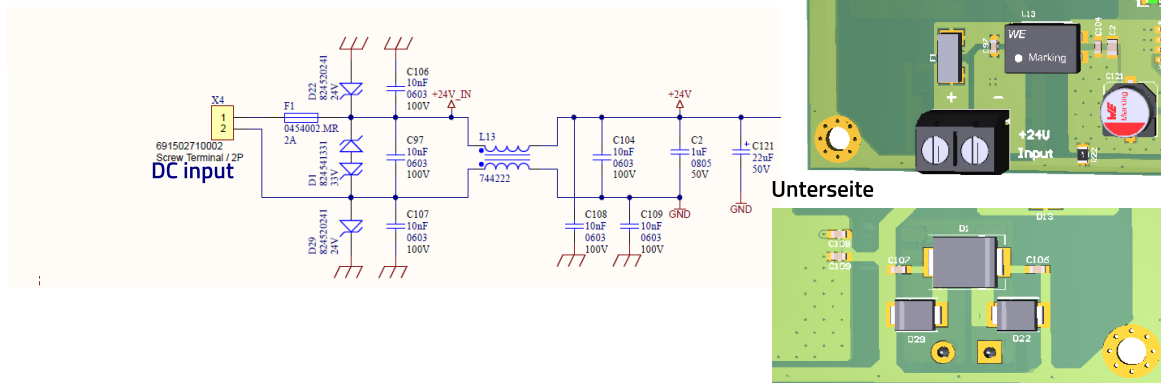


Abbildung 31: Schutz am DC-Eingang eines Gerätes.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

4.5.1.3 Schutz am Messfühler-Eingang eines Gerätes

Die Schaltung nach Abbildung 32 ist ein Instrumentenverstärker als Teil eines Messgerätes. IN- und IN+ ist der potenzialfreie Eingang zur Messung der Spannung in einem System.

Die zu messende Spannung gelangt über die Wheatstone'sche Brücke zu den nichtinvertierenden Eingängen der Operationsverstärker. Die bidirektionalen TVS-Dioden begrenzen transiente Spannungen gegen die Primärmasse (S_GND, Gehäuse), die hier auch die Bezugsmasse für Common-Mode Störungen ist.

Die Dioden klemmen bei 10,3 V und haben eine parasitäre Kapazität von typ. > 1 nF, was zusammen mit den Widerständen der Brücke jeweils zu einem Tiefpass am Eingang der Operationsverstärker führt. Werden hohe differenzielle Überspannungen erwartet, kann anstelle von C1 eine zusätzliche bidirektionale TVS-Diode bestückt werden; J4 wird dann gegen eine Drahtbrücke ersetzt.

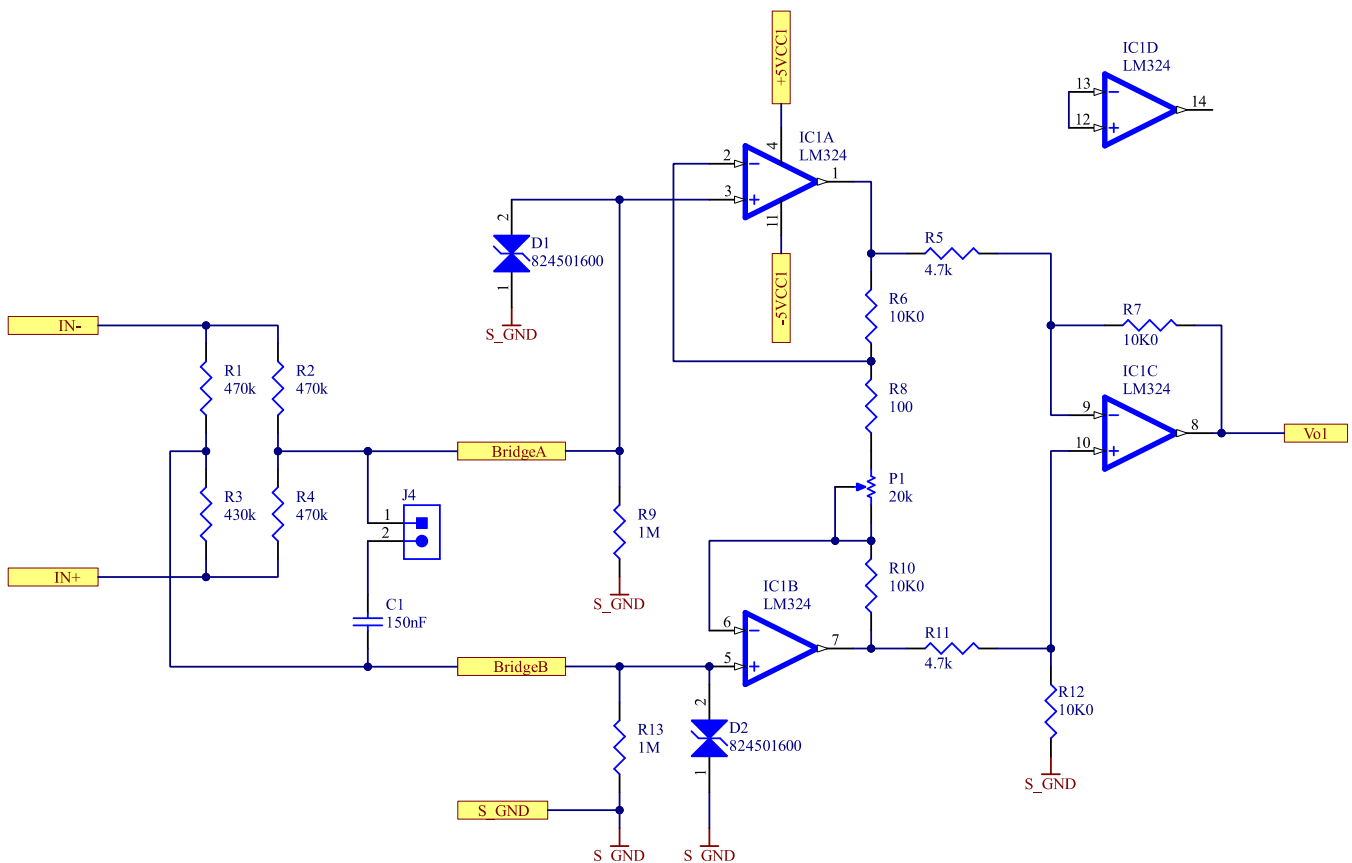


Abbildung 32: Schutz am Messfühler-Eingang eines Gerätes.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

4.5.2 Schutz einer HDMI-Schnittstelle

Die HDMI-Schnittstelle ist heute ein wichtiger Standard für viele elektronische Geräte. Um das Risiko von ESD-Schäden an den HDMI Anschlüssen zu verringern, führen Hersteller nicht nur Tests am Stecker oder Gehäuse durch, sondern auch eine direkte Pin-Entladung, um die ESD-Beständigkeit zu verbessern. Um Signalverzerrungen zu minimieren, müssen die Übertragungskanäle D0, D1, D2 und CLK impedanzangepasst sein und die TVS-Dioden zum ESD-Schutz dürfen nur eine geringe parasitäre Kapazität aufweisen.

Die Leiterbahnen zwischen der TVS-Diode und der zu schützenden Leitung sowie zwischen der Diode und der Masselage müssen ebenfalls so kurz wie möglich sein, um den Einfluss der Induktivität auf den Wert der Klemmspannung zu minimieren, denn die parasitäre Induktivität der Leiterbahn fügt einen zusätzlichen Spannungsabfall zur Klemmspannung der ESD-Schutzvorrichtung hinzu. Abbildung 33 zeigt den Teil einer HDMI-Schnittstelle mit ESD-Schutz.

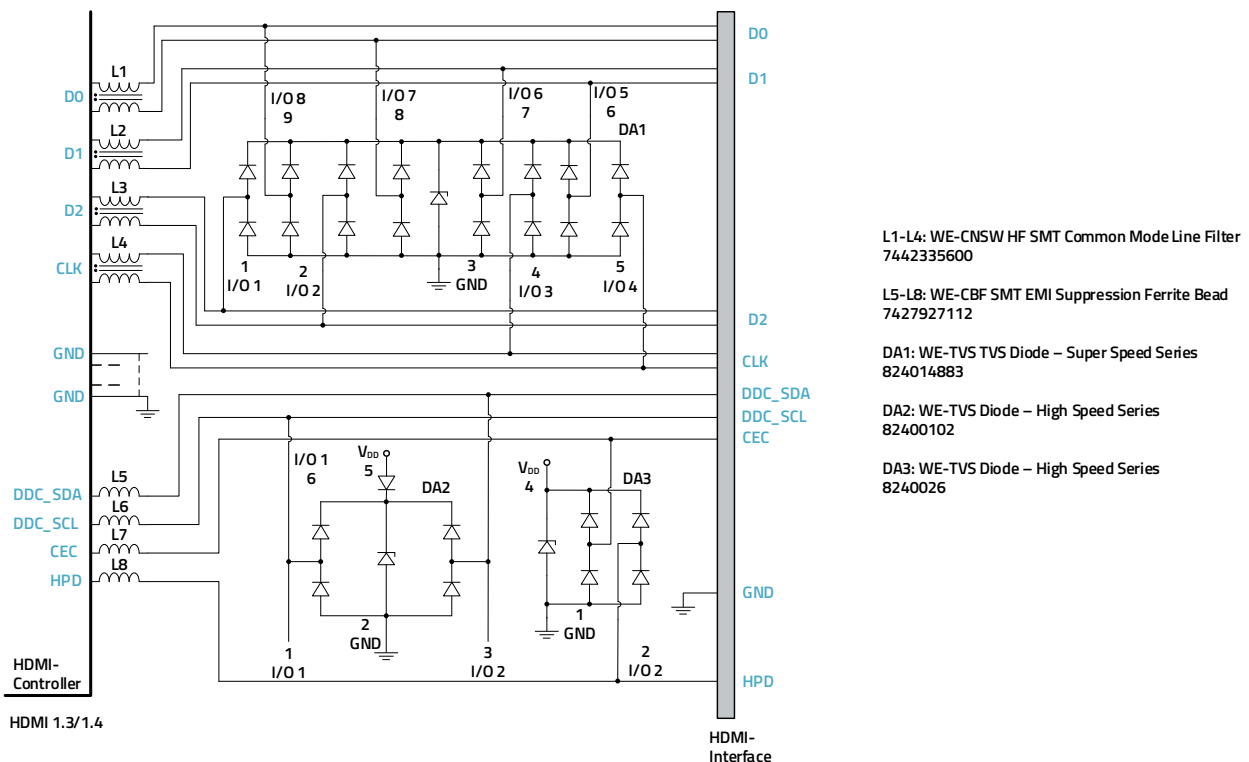


Abbildung 33: Ausschnitt vom Schaltplan einer HDMI-Schnittstelle mit ESD-Schutz.

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

Warum wird in den DDC_SDA und DDC_SCL Leitungen ein TVS-Array (DA2) mit einer zusätzliche Diode verwendet? Wenn die HDMI-Senke mit der HDMI-Quelle verbunden ist (siehe Abbildung 34), kann im ausgeschalteten Zustand der Quelle (Abbildung 34 rechts) ein Leckstrompfad über die Schutzdiode des TVS-Dioden-Arrays an der Quelle entstehen, während die Senke sich im Boot-Zustand befindet. Dieses Problem wurde in dem TVS-Dioden-Array 82400102 berücksichtigt und durch den Einbau einer Rücklaufschutzdiode, wie in Abbildung 34 dargestellt, wirksam verhindert.

5. SCHLUSSWORT

In dieser umfangreichen Appnote wurde im Detail erklärt, wie TVS-Dioden aufgebaut sind, wie sie funktionieren und welche Vor- und Nachteile diese Komponenten haben. Die elektrischen Parameter dieser komplexen Bauelemente müssen in der Applikation berücksichtigt werden, damit der gewünschte Schutz gegen transiente Überspannung realisiert werden kann. Darüber hinaus ist ein fachgerechter Aufbau der Schaltung und des Layouts notwendig, damit parasitäre Effekte die Funktion der TVS-Dioden nicht zu stark beeinflussen. Zahlreiche Beispiele zeigen, wie die Komponenten fachgerecht angewendet werden können.

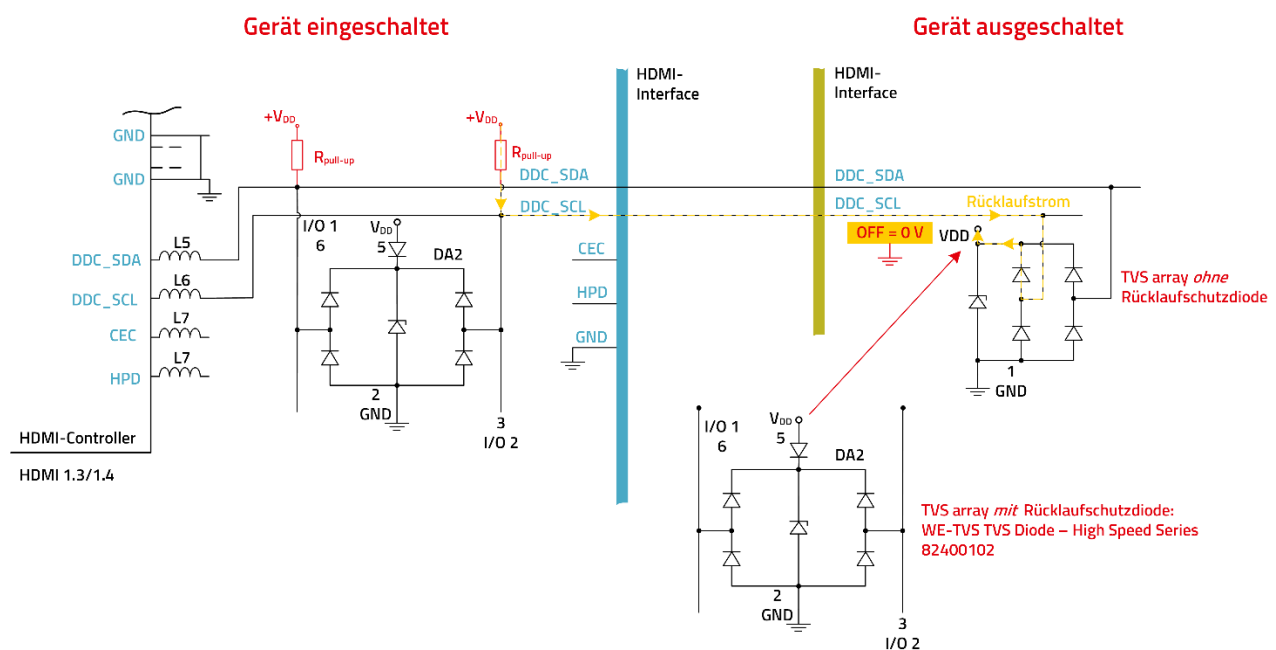


Abbildung 34: Ausschnitt aus einem HDMI-Schnittstellensystem, Darstellung des Rücklaufstromproblems.

A. Anhang

A.1 Literatur

- [1] Decreasing the Loading Effect of the TVS Diode Using a Transmission Line for RF and Microwave Applications, Emad Zia Khodadadian and Mojtaba Joodaki, LETTERS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY PRACTICE AND APPLICATIONS, VOL. 3, NO. 1, MARCH 2021.
- [2] How to select a Surge Diode, Texas Instruments, Application Report, SLVAE37–January 2019.
- [3] Latch-up free vertical TVS Diode Array structure using trench isolation, United States Patent, Patent No.: US 7,880,223 B2, Date of Patent: Feb. 1, 2011.
- [4] Latch-Up, Texas Instruments, White Paper SCAA124–April 2015.
- [5] Electrostatic discharge protection, United States patent, Patent No.: US005416351A, Date of Patent: May 16, 1995.
- [6] Transient suppressing device and method, United States patent, Patent No.: US 6,392,266 B1, Date of Patent: May 21, 2002.
- [7] Transient voltage suppression device, United States patent, Patent No.: US 6,867,436 B1, Date of Patent: Mar. 15, 2005.
- [8] Transient voltage suppressor without leakage current, United States patent, Patent No.: US 8,785,971 B2, Jul. 22, 2014.
- [9] Compound semiconductor materials, silicon diode wafers, URL: <https://www.powerwaywafer.com/de/silicon-diode-wafer.html>
- [10] Snapback behavior determines ESD protection effectiveness, Semi-Wiki, URL: <https://semiwiki.com/eda/magwel/7189-snapback-behavior-determines-esd-protection-effectiveness/>
- [11] Embedded. Ninja, TVS-Diodes, URL: <https://blog.mbedded.ninja/electronics/components/diodes/tvs-diodes/>
- [12] Referenzdesign Notes RD016, RD022, Würth Elektronik eiSos, URL: <https://www.we-online.com/en/components/products/WE-LAN-RJ45>
- [13] Würth Elektronik eiSos, Reference design note REF041, Design of a Single Pair Ethernet System with Power over Data Lines, URL: <https://www.we-online.com/en/components/products/WE-STST>
- [14] Würth Elektronik eiSos, Application design note ANS020, Digital Isolators, URL: <https://www.we-online.com/en/components/products/di/digital-isolators-without-power>

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren 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 Todesfälle 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/appnotes



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



Toolbox
www.we-online.com/toolbox



Produkt Katalog
www.we-online.com/products

KONTAKT INFORMATION



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



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

APPLICATION NOTE

ANP143 | TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen

REVISIONSHISTORIE

Dokument Version	Veröffentlichungsdatum	Änderungen
ANP143a	2025/06/05	Ursprüngliche Version der Application Note

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