

ESD- und Überspannungsschutz

Elektronische Systeme, die über physikalische Schnittstellen mit der Umgebung interagieren, sind von elektrostatischer Entladung (ESD – electrostatic discharge) und transienter Überspannung (EFT – electrical fast transient) betroffen. Um die Funktionalität und die Lebensdauer der verwendeten, teils hochempfindlichen, analogen sowie digitalen Bausteinen zu gewährleisten ist ein zuverlässiger Schutz nötig. [1], [2], [3], [4]

Wo muss geschützt werden?

Auf unser System wirken verschiedenste einzigartige Mechanismen, wodurch ungewollte Entladungen und Überspannungen entstehen können. Diese treten vor allem in den Bereichen der Leistungsversorgung (USB-C PD) und den analogen Schnittstellen, dem CV-Gate (Steuerspannung zur Bestimmung der Musiknote/Frequenz) und dem Audio-Ausgang (3,5mm Klinkenstecker), auf. [2], [3]

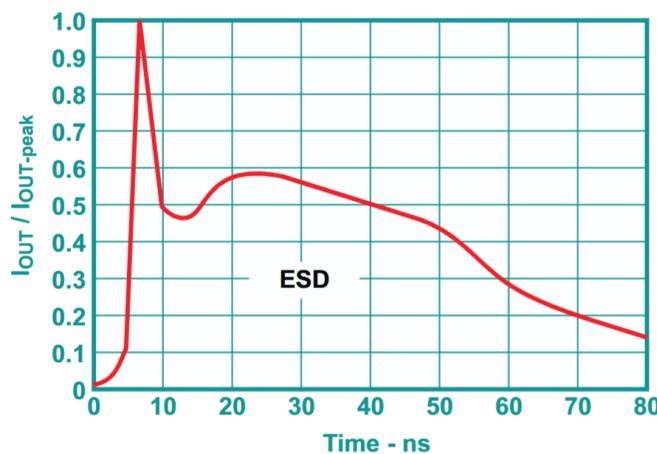


Abbildung 1. ESD Beispieldesign [5]

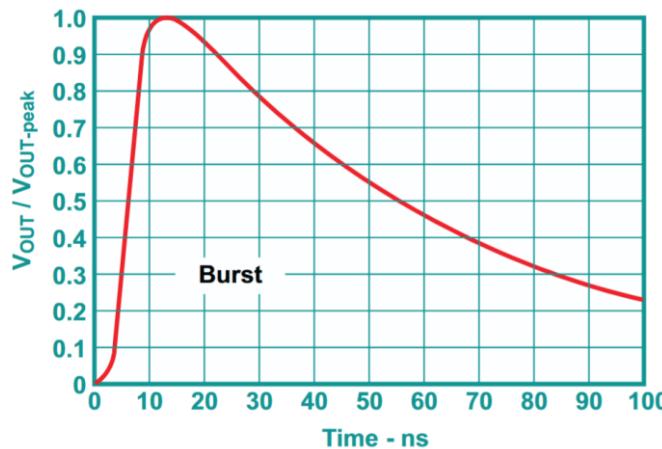


Abbildung 2. EFT (Burst) Beispieldesign [5]

Für die besser Verständlichkeit sind hier ESD- und EFT-Störungen gezeigt.

TVS-Diode

Zum Schutz von Schaltungselementen haben sich in der Elektronik besonders die so genannten Transient Voltage Supresion (TVS) Dioden bewährt, aufgrund ihrer Eigenschaft bei Überspannung beziehungsweise ungewollten Energiespitzen abzuleiten und somit sensible nachgeschaltete Elemente zu schützen. Während des „Normalbetriebes“ fließen nur geringe Leckströme. [4], [6], [7]

Kenndaten und Auswahlkriterien

Um eine korrekte Auswahl für einen bestimmten Anwendungszweck zu treffen können sich aus Datenblättern relevante Kenndaten angesehen werden:

Name	Kenngroße	Erklärung
Maximale Arbeitsspitzen- spannung, reverse working maximum voltage	V_{RWM} , V_{DC} , V_{Ch} , V_R	Die maximale Spannung die an einer Diode nicht überschritten werden sollte, ohne den Schutzmechanismus auszulösen. Typischerweise etwas größer als die übliche Betriebsspannung des zu schützenden Systems.
Rückwärts-Durchbruch- spannung, breakdown voltage	V_{BR}	Spannungsschwelle bei der die Diode zu leiten beginnt. Diese ist typische bei einem Strom von 1mA definiert.
Klemmspannung, clamping voltage	V_C , V_{Clamp}	Beschreibt die maximale Überspannung, die ein zu schützendes System erfährt. Der Spannungswert wird für einen bestimmten Strom definiert.
Impulsspitzenstrom, peak pulse current	I_{PP} , I_{Peak}	Der maximale Stoßstrom die eine Diode unbeschädigt aushält.

Tabelle 1. Kenndaten von TVS-Dioden [4], [6], [7], [8]

Anhand dieser Größen kann man sich orientieren und ein passendes Bauteil auswählen.

Symbol und Bauweisen

Nun sollten noch einige formale Dinge und Praxisbezüge zu dem Bauteil gezeigt werden.

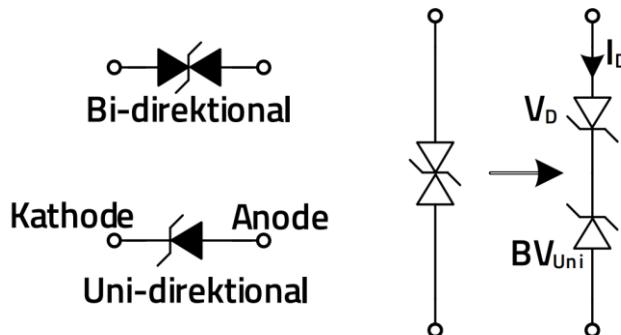


Abbildung 3. Schaltsymbol von uni- und bi-direktonaler TSV-Diode [7]

TSV-Dioden werden sowohl in uni- und bi-direktonaler Bauart hergestellt, das heißt sie können bei bi-direktonaler Bauweise sowohl in negativer als auch in positiver Spannungsrichtung aussteuern.

USB-Schnittstelle

Relevante Leitungen beziehungsweise Pins für den Schutz gegen ESD und EFT an dem USB-C Stecker sind [9]:

- Spannungsversorgungsleitung VBUS mit 9V uni-polar
- Differenzielle Datenübertragungsleitung D+ und D- mit 3,3V uni-polar
- Konfigurationsleitungen CC1 und CC2 mit 5V uni-polar

Analogen Schnittstellen

Zu unseren analogen Schnittstellen zählen der 3,5mm-Klinkenstecker und das CV-Gate für die Soundketten 1 und 2 [1]:

- Kopfhörerausgang mit ca. mit $\pm 5V$ bi-polar
- CV-Gate mit 5V uni-polar

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. ESD Beispielsignal [5]	1
Abbildung 2. EFT (Burst) Beispielsignal [5]	1
Abbildung 3. Schaltsymbol von uni- und bi-direktonaler TSV-Diode [7]	3

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Kenndaten von TVS-Dioden [4], [6], [7], [8]	2
--	---

Literaturverzeichnis

- [1] Cameron Phillips, „Protecting I/O modules from surge events“, Texas Instruments Incorporated, Application Brief SLVAE72, Feb. 2019. Zugegriffen: 20. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ti.com/lit/ab/slvae72/slvae72.pdf>
- [2] „Electronics Circuit Protection Product Selection Guide“, Littelfuse, Inc., EC102Nv0115, 2018. Zugegriffen: 20. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.littelfuse.com/assetdocs/littelfuse-product-selection-guide-pres?assetguid=119c2bd1-7545-4c86-80de-97ed263b973f>
- [3] Alec Forbes, „Demystifying surge protection“, Texas Instruments Incorporated, SLYY152, Dez. 2018. Zugegriffen: 20. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ti.com/lit/wp/slyy152/slyy152.pdf>
- [4] „TVS Diode -Symbol, Working, Applications & Types“, Electronics Lessons. Zugegriffen: 20. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://electronicslesson.com/tvs-diode/>
- [5] Thomas Kugelstadt, „Protecting RS-485 Interfaces Against Lethal Electrical Transients“, Texas Instruments Incorporated, Application Report SLLA292A, März 2011. Zugegriffen: 20. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ti.com/lit/an/slla292a/slla292a.pdf>
- [6] ROHM Co., Ltd., „TVS-Dioden“, Electronics Basics. Zugegriffen: 21. August 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.rohm.de/electronics-basics/diodes/di_what8
- [7] Dr.-Ing. Heinz Zenkner, „TVS-Dioden: Grundlagen, Funktion und deren Anwendungen“, Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG, Application Note ANP143, Juni 2025. Zugegriffen: 21. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://www.we-online.com/components/media/o860263v410%20ANP143a_TVS-Dioden%20Grundlagen%2C%20Funktion%20und%20deren%20Anwendungen_DE.pdf
- [8] Alec Forbes, „How to select a Surge Diode“, Texas Instruments Incorporated, Application Report SLVAE37, Jan. 2019. Zugegriffen: 20. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ti.com/lit/an/slvae37/slvae37.pdf>
- [9] Obi Oji, „ESD and Surge Protection for USB Interfaces“, Texas Instruments Incorporated, Application Note SLVAF82B, Jan. 2024. Zugegriffen: 20. September 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ti.com/lit/an/slraf82b/slraf82b.pdf>