

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

1. Herausforderung

Entwickler von getakteten Stromversorgungen stehen der Herausforderung gegenüber, ihre Schaltung EMV-gerecht zu entwickeln. Speziell im Eingangskreis treten leitungsgebundene Störungen auf, wodurch andere elektrische Geräte gestört werden können. Zu Beginn einer EMV-Prüfung von Stromversorgungen werden daher zunächst die leitungsgebundenen Störungen geprüft. Um bereits während der Entwicklungsphase einen Eindruck über mögliche Störungen zu erhalten kann der Entwickler entwicklungsbegleitende Messungen durchführen. Diese Application Note beschreibt das Verfahren zur Untersuchung von Gegentaktstörungen im Eingangskreis von DC/DC-Schaltreglern.

2. Ursache und Entstehung der Störspannung

Bei leitungsgebundenen Störungen wird in der Störart zwischen Gegentakt- und Gleichtaktstörungen unterschieden. Der dreieckförmige Eingangsstrom des Schaltreglers ist der Nutzstrom und zunächst eine reine Gegentaktstörung. Jedoch kann sich diese Gegentaktstörung bei unsymmetrischen Zuleitungen in eine Gleichtaktstörung umwandeln und führt zur erhöhten elektromagnetischen Abstrahlung über die Zugangsleitungen. Über parasitäre Kapazitäten kann die Gegentaktstörung nach Erde gekoppelt werden und führt zu Gleichtaktstörungen. Abbildung 1 zeigt den typischen Eingangsstroms eines DC/DC-Schaltreglers bei einer Taktfrequenz von 2 MHz. Der Eingangsstrom fließt mit der Taktfrequenz des Schaltreglers und ähnelt im Abbild dem Spulenstrom, der durch die Speicherinduktivität des Schaltreglers fließt. Ausschlaggebend für die Gegentaktstörung ist der Wechselstromanteil des Eingangsstroms, welcher in diesem Beispiel circa 260 mA beträgt. Er gilt mit einem Eingangsfilter auf ein Minimum zu reduzieren. Aufgrund von parasitären Effekten der Zuleitungen und Bauteile im Eingangskreis treten beim Anstieg und Abfall des Eingangsstroms hochfrequente Schwingungen im MHz-Bereich auf.

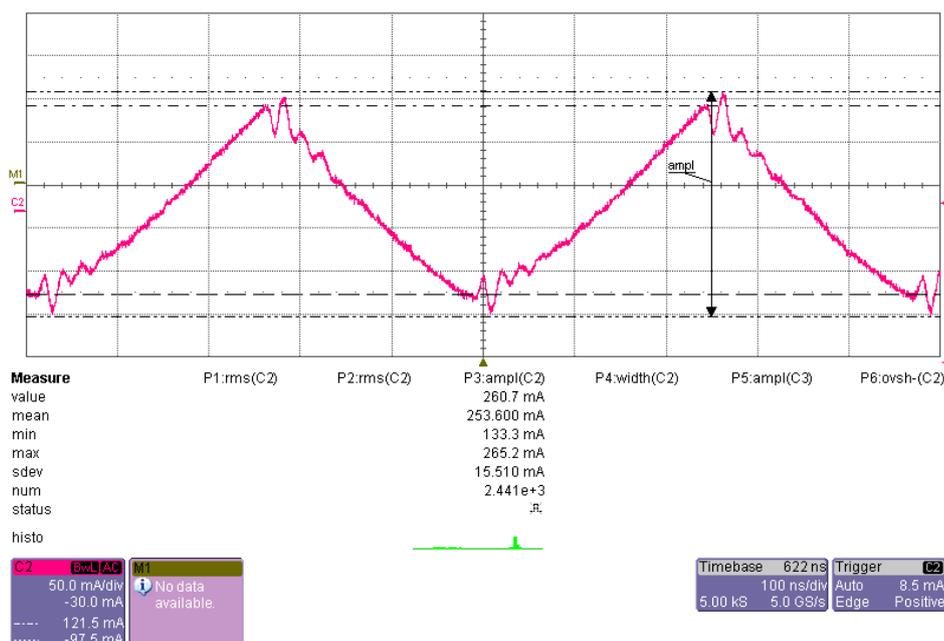


Abbildung 1: Eingangsstrom eines DC/DC Schaltreglers

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

Der Eingangsstrom führt über dem ESR des Eingangskondensators und den Impedanzen der Zuleitungen des Schaltreglers zum Spannungsabfall, der sogenannten Störspannung. Sie darf nicht die Zuleitungen der Stromversorgung passieren und muss auf ein Minimum unterdrückt werden. Anhand einer Messung mit dem Oszilloskop lässt sich der unerwünschte Wechselspannungsanteil am Eingangskondensator des Schaltreglers ermitteln. Diese Messung lässt eine erste Aussage über die Störspannung zu. Abbildung 2 zeigt eine solche Messung.

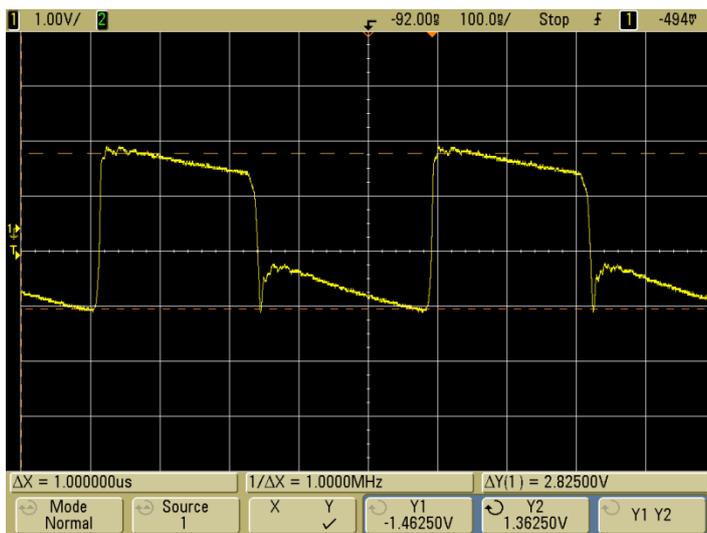


Abbildung 2: Wechselspannungsanteil am Eingangskondensator

In diesem Beispiel liegt ein Elektrolytkondensator mit unbekanntem, aber relativ hohem ESR vor, der einen Spitze-Spitze-Wert des unerwünschten Wechselspannungsanteils von circa 2,8 V hervorruft. Zusätzlich sind Schwingungen im hohen Frequenzbereich präsent, welche durch parasitäre Effekte hervorgerufen werden. Die Frequenz dieser Schwingung beträgt in diesem Beispiel circa 71 MHz.

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

3. Prüfaufbau zur Störspannungsmessung

Bereits entwicklungsbegleitend kann die Messung der Störspannung einer Gegentaktstörung mit einer LISN (Line Impedance Stabilization Network) und einem Spectrum Analyzer durchgeführt werden. In diesem Prüfaufbau bildet die Schaltungsmasse das Bezugspotential. Abbildung 3 zeigt den Prüfaufbau.

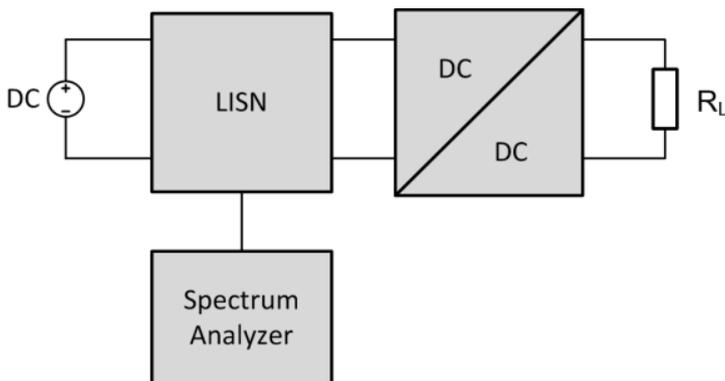


Abbildung 3: Prüfaufbau zur Messung der Störspannung

Dieser definierte Prüfaufbau ermöglicht reproduzierbare Messungen durchzuführen und sowohl für den Spectrum Analyzer als auch für den Schaltregler eine definierte Impedanz zu generieren. Abbildung 4 zeigt den internen Aufbau einer DC-LISN gemäß CISPR 25.

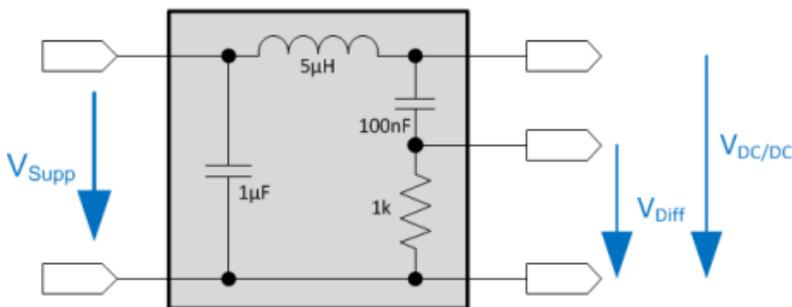


Abbildung 4: Aufbau einer DC-LISN gemäß CISPR 25

Die CISPR 25 wird zur Prüfung von Bordnetzen in Fahrzeugen zugrunde gelegt und kann verwendet werden um DC/DC-Schaltregler einer entwicklungsbegleitenden EMV-Prüfung zu unterziehen. Funktion der LISN ist die Auskopplung der Störspannung als reine Wechselgröße V_{Diff} . Sie wird über den internen $1\text{ k}\Omega$ Widerstand gemessen. Der interne Tiefpassfilter der LISN verhindert eine Störung anderer, am Versorgungsnetz angeschlossener elektrischer Geräte. An den Eingangsklemmen der LISN wird die Spannungsquelle V_{Supp} angeschlossen. An den Ausgangsklemmen wird der Prüfling, in diesem Fall der Schaltregler angeschlossen und weiterhin mit der Spannung $V_{DC/DC}$ versorgt. Abbildung 5 zeigt das Ergebnis einer Spitzenwertmessung der Störspannung mit einem Spectrum Analyzer.

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

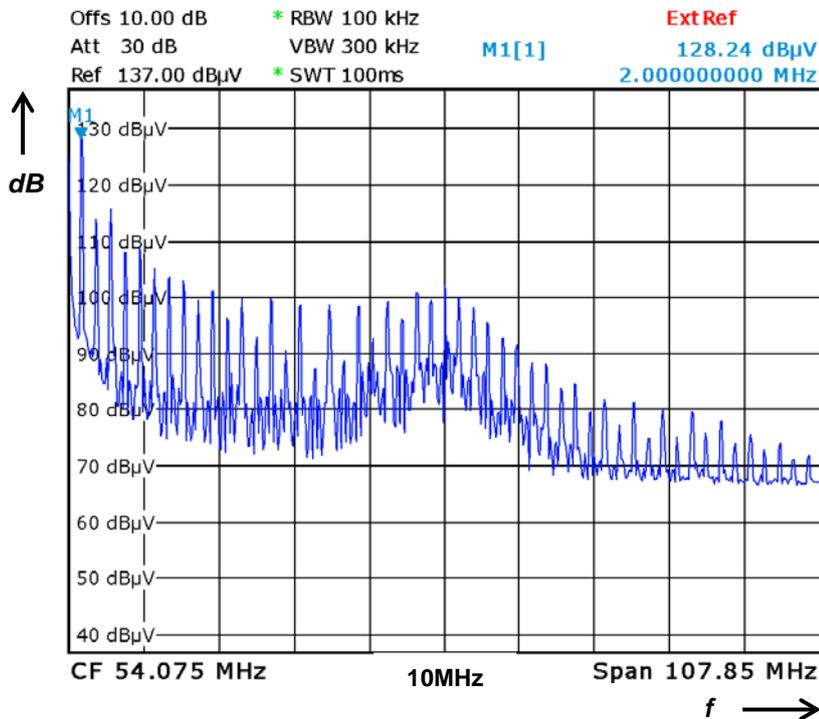


Abbildung 5: Spitzenwertmessung der Störspannung unter Vollast

Als Prüfling wurde ein DC/DC-Abwärtsregler ohne Eingangsfiler bei einer Schaltfrequenz von 2 MHz, einer Eingangsspannung von 10 V und einem Eingangseffektivstrom von 0,7 A untersucht. In Abhängigkeit von der Normung wird die Störspannung in verschiedenen Frequenzbereichen ermittelt. In diesem Beispiel wurde gemäß Prüfordnung CISPR 25 die Messung bei einer Startfrequenz von 150 kHz und einer Stoppfrequenz von 108 MHz durchgeführt. Deutlich sichtbar ist die Grundschwingung, korrespondierend zur Schaltfrequenz. Die harmonischen Oberschwingungen, welche bis in den hohen MHz-Bereich reichen, fallen in der Amplitude ab. Mit 128 dBμV ist die Grundschwingung in ihrer Amplitude am größten. Der Störspannungspegel V_{Diff} wird im Allgemeinen durch folgenden Ausdruck (Gl.1) in dBμV definiert:

$$V_{\text{Diff}} = 20 \log \left(\frac{V_{\text{Ripple}}}{1 \mu\text{V}} \right) \text{ dB}\mu\text{V} \quad (1)$$

Wird Gleichung 1 umgeformt, lässt sich die gemessene Störspannung V_{Ripple} annähernd mit Formel 2 bestimmen:

$$V_{\text{Ripple}} = \left(10^{\frac{V_{\text{Diff}}}{20}} \right) * 1 \mu\text{V} = \left(10^{\frac{128}{20}} \right) * 1 \mu\text{V} = 2.6 \text{ V} \quad (2)$$

Hierdurch erhalten wir einen Wert für die Störspannung V_{Ripple} von 2,6 V. Er entspricht annähernd dem Spitze-Spitze-Wert, der zuvor gemessenen Spannung am Eingangskondensator (Siehe Abbildung 2). Ein Eingangsfiler ist sichtlich erforderlich.

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

Beispielweise legt die CISPR 25 Class 1 bei schmalbandigen Störungen und einer Frequenz von 2,0 MHz einen Grenzwert des Spitzenwerts von 66 dB μ V fest. Die Grenzwerte gemäß CISPR 25 und anderen Normen gelten allerdings nicht für solche entwicklungsbegleitende Messungen, da die Messung der Gegentaktstörungen nicht in den EMV-Normen definiert ist. Jedoch können sie herangezogen werden um eine grobe Bewertung der Störaussendung in Stromversorgungen zu treffen. Um die maximale Störaussendung ermitteln zu können wird üblicherweise der Worst Case betrachtet. Bei Schaltreglern werden daher die Messungen bei Vollast und kleinster Eingangsspannung durchgeführt. Um dies zu verdeutlichen, wurde der gleiche Prüfling im Gegensatz zur ersten Messung mit einem Laststrom von nur 50 mA belastet. Abbildung 6 zeigt diese Messung.

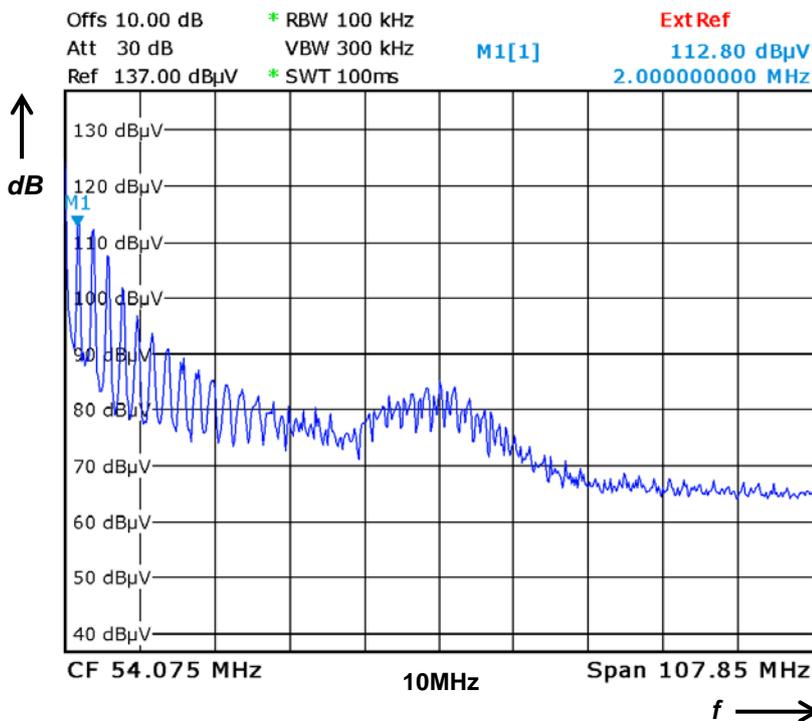


Abbildung 6: Spitzenwertmessung der Störspannung bei geringer Last

Die Messung in Abbildung 6 zeigt, dass die Störaussendung bei geringer Last in höherem Frequenzbereich geringer ausfällt. Die Grundschiwingung weist in diesem Fall einen Wert von 112 dB μ V auf und ist im Vergleich zur Vollast nur um 16 dB geringer, jedoch nicht zu vernachlässigen.

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

4. Detektoren zur Bewertung der Störspannung

Wird der Prüfling in einem akkreditierten Labor der EMV-Prüfung unterzogen, so werden die Gleichtaktstörungen bezogen auf Erde gemessen. Gemäß Norm wird dann nicht der Spitzenwert sondern der Quasi- und Average-Peak gemessen. Diese Anzeigearten werden üblicherweise zur Bewertung von Messungen der Gleichtaktstörungen gewählt. Viele hochwertige Spectrumanalyser verfügen auch über Quasi- und Average-Peak Detektoren. Abbildung 7 zeigt das vereinfachte Blockschaltbild der Eingangsstufe eines Spectrumanalyzers.

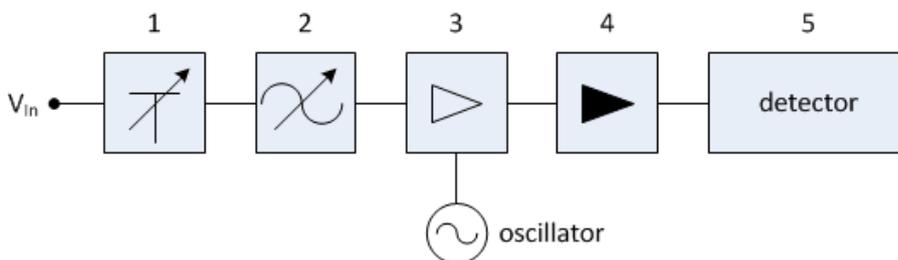


Abbildung 7: Eingangsstufe des Spectrumanalyzers

Die gemessene Störspannung wird über den Eingangsabschwächer (1) zum Bandfilter (2) geführt und anschließend im Mischer (3) mit einer Zwischenfrequenz f_{IF} von einem Oszillator überlagert. Im Zwischenfrequenzverstärker (4) wird das Mischprodukt verstärkt und dem Detektor (5) zugeführt. Am Ausgang des Detektors wird die zu bewertende Anzeigeart der Störspannung gewählt. Abbildung 8 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Average-Peak Detektors.

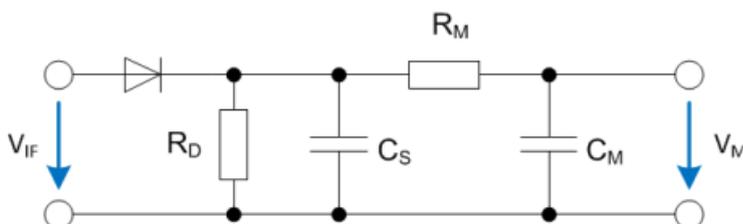


Abbildung 8: Average-Peak Detektor

Im Average-Peak Detektor wird zunächst die verstärkte Zwischenfrequenzspannung V_{IF} durch eine Diode gleichgerichtet, welche den Speicherkondensator C_S auf den Momentanwert der Hüllkurve auflädt. Der Widerstand R_D dient der späteren Entladung vom Kondensator C_S . Im Anschluss wird die Spannung der Hüllkurve über den Tiefpass aus R_M und C_M geglättet, so dass sich letztendlich am Kondensator C_M der arithmetische Mittelwert V_M , der Average-Peak, einstellt. Diese Anzeigeart wird gewählt, weil mit ihr modulierte Trägerfrequenzen wie sie bei Schaltreglern vorkommen, angezeigt und bewertet werden können.

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

Beim Quasi-Peak Detektor wird ähnlich wie beim Average-Peak Detektor ein Speicherkondensator C_S aufgeladen. Abbildung 9 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Quasi-Peak Detektors.

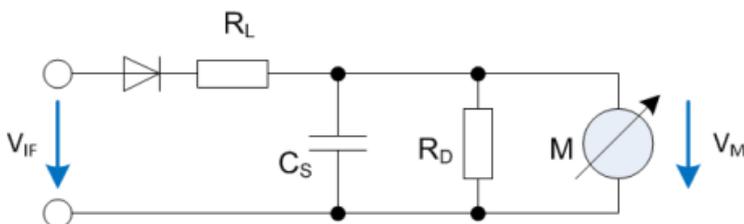


Abbildung 9: Quasi-Peak Detektor

Über die Diode wird zunächst die Zwischenfrequenzspannung V_{IF} gleichgerichtet. Anschließend wird über den Ladewiderstand R_L der Speicherkondensator C_S mit der Zeitkonstante $R_L \cdot C_S$ geladen. Der Speicherkondensator C_S kann dann mit der Zeitkonstante $R_D \cdot C_S$ entladen werden. Die Anzeigeeinrichtung des Spectrumanalyzers, hier das Messinstrument M , zeigt dann den Mittelwert der Lade und Entladepulse des Speicherkondensators als Quasi-Peak an. In dieser Anzeigart wird der elektrische Wert der Störspannung in eine Anzeige umgewandelt, die dem Störeindruck des menschlichen Ohrs entspricht und z.B. beim Rundfunkempfang als Knackstörung empfunden wird.

5. Zusammenfassung

Diese Application Note verdeutlicht die Notwendigkeit von entwicklungsbegleitenden EMV-Messungen an getakteten Stromversorgungen. Bereits ein Oszilloskop kann im Vorfeld eine wichtige Aussage über EMV-Störungen am Eingang des Schaltreglers treffen. Ausschlaggebend bleibt aber nach wie vor die Messung der Störspannung mit einem Spectrumanalyzer und einer LISN. Wird bereits während der Entwicklungsphase von Schaltreglern ein EingangsfILTER berücksichtigt, so kann die Filterwirkung mit einem einfachen Spectrumanalyzer im Entwicklungslabor überprüft werden. Der Entwickler kann mit Hilfe dieses Verfahrens unerwünschte Störpegel am Schaltregler ermitteln. Durch den gezielten Einsatz von Filterelementen kann er erreichen, dass seine Applikation die abschließende EMV-Prüfung besteht.

APPLICATION NOTE



Messung der Störspannung an DC/DC-Schaltreglern

IMPORTANT NOTICE

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG and its subsidiaries and affiliates (WE) assume no liability for application assistance of any kind. Customers may use WE's assistance and product recommendations for their applications and design. The responsibility for the applicability and use of WE Products in a particular customer design is always solely within the authority of the customer. Due to this fact it is up to the customer to evaluate, where appropriate to investigate and decide whether the device with the specific product characteristics described in the product specification is valid and suitable for the respective customer application or not.

Customers are cautioned to verify that data sheets are current. The current data sheets can be downloaded at www.we-online.com. Customers shall strictly observe any product-specific notes, cautions and warnings. WE reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services.

WE does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which WE products or services are used. Information published by WE regarding third-party products or services does not constitute a license from WE to use such products or services or a warranty or endorsement thereof.

WE products are not authorized for use in safety-critical applications (such as life support). It has to be clearly pointed out that the possibility of a malfunction of electronic components or failure before the end of the usual lifetime cannot be completely eliminated in the current state of the art, even if the products are operated within the range of the specifications. In certain customer applications requiring a very high level of safety and in which the malfunction or failure of an electronic component could endanger human life or health Customers must ensure that they have all necessary expertise in the safety and regulatory ramifications of their applications, and acknowledge and agree that they are solely responsible for all legal, regulatory and safety-related requirements concerning their products and any use of WE products in such safety-critical applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by WE. Further, Customers shall fully indemnify WE against any damages arising out of the use of WE products in such safety-critical applications. WE products are neither designed nor intended for use in automotive applications or environments unless the specific WE products are designated by WE as compliant with ISO/TS 16949 requirements. Customers acknowledge and agree that, if they use any non-designated products in automotive applications, WE will not be responsible for any failure to meet such requirements.

USEFULL LINKS

- Application Notes: <http://www.we-online.com/applicationnotes>
Component Selector: <http://www.we-online.com/component-selector>
Toolbox: <http://www.we-online.com/toolbox>
Product Catalog: <http://katalog.we-online.de/en/pbs/search>

CONTACT INFORMATION

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG, Max-Eyth-str. 1, 74638 Waldenburg, Germany

For more information, please visit: <http://www.we-online.com>

Würth Elektronik eiSos GmbH & Co. KG Sitz Waldenburg, Registergericht Stuttgart HRA580801
Komplementär Würth Elektronik eiSos Verwaltungs-GmbH, Sitz Waldenburg, Registergericht Stuttgart HRB 581033 . Geschäftsführer Oliver Konz, Thomas Schrott
Bankverbindungen UniCredit Bank AG Stutgart, konto 322 620 136, BLZ 600 202 90, IBAN DE86 6002 0290 0322 6201 36, SWIFT/BIC HYVEDEMM473
USt.-IdNr. DE220618976