Surge arresters

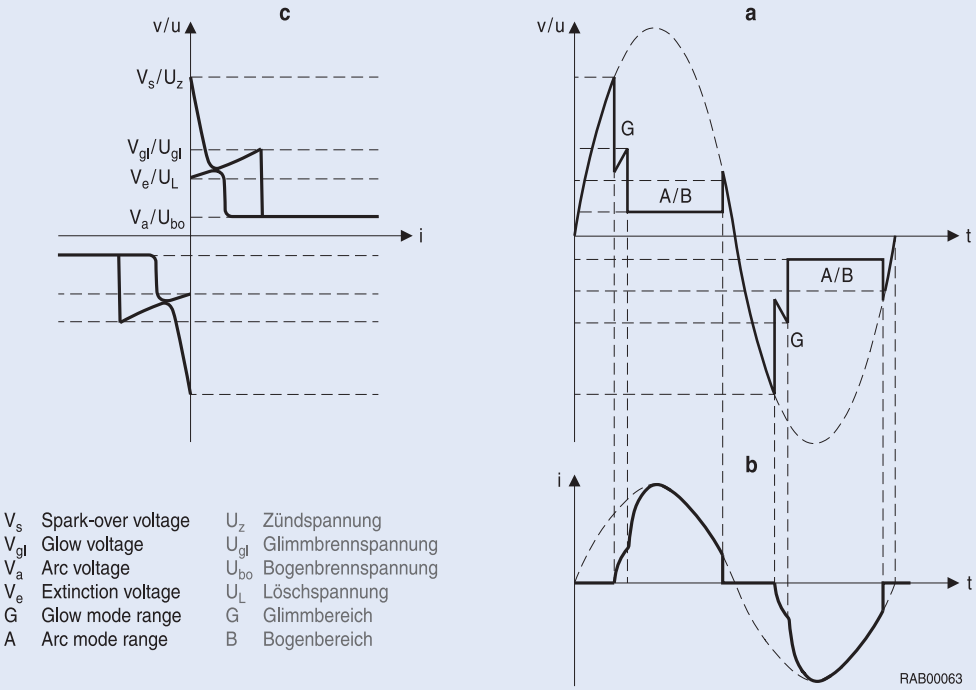
Function and PSpice Model

Date: April 2026

© TDK Electronics AG 2026. Reproduction, publication and dissemination of this publication, enclosures hereto and the information contained therein without TDK Electronics' prior express consent is prohibited.

Function
Funktion

Limitation of a sinusoidal overvoltage by a surge arrester
Begrenzung einer sinusförmigen Überspannung durch einen Ableiter



V_s	Spark-over voltage	U_z	Zündspannung
V_{gl}	Glow voltage	U_{gl}	Glimmbrennspannung
V_a	Arc voltage	U_{bo}	Bogenbrennspannung
V_e	Extinction voltage	U_L	Löschspannung
G	Glow mode range	G	Glimmbereich
A	Arc mode range	B	Bogenbereich

Figure / Bild 3

Figure 3a shows the voltage curve at the arrester and **Figure 3b** the current as a function of time when limiting a sinusoidal voltage surge.

Figure 3c The V/I characteristic of the surge arrester was obtained by combining the graphs of voltage and current as a function of time.

Bild 3a zeigt den Verlauf der Spannung am Ableiter und **Bild 3b** den Strom jeweils als Funktion der Zeit beim Begrenzen einer sinusförmigen Überspannung.

Bild 3c Aus den Darstellungen von Spannung und Strom am Ableiter als Funktion der Zeit entsteht die U/I-Kennlinie des Ableiters.

Protection principle

Generally, a spark-over occurs whenever surge voltages exceed the electric strength of a system's insulation. This discharge limits the surge voltage and reduces the interference energy within a short period of time. As the arc with its high current handling capability is ignited, it prevents a further rise in surge voltage due to its low arc voltage of some 10 V. Gas-filled arresters utilize this natural principle of limiting surge voltages.

Schutzprinzip

Bei einer Überspannung, die die Grundspannungsfestigkeit eines Systems übersteigt, erfolgt üblicherweise ein elektrischer Überschlag. Dieser Entladungsvorgang begrenzt die Überspannung und baut die Energie der Beeinflussung in kurzer Zeit ab. Der dabei gezündete Lichtbogen mit seiner hohen Stromtragfähigkeit verhindert bei niedriger Bogenbrennspannung von einigen 10 V den weiteren Aufbau der Überspannung. Dieses natürliche Prinzip der Überspannungsbegrenzung nutzen die Ableiter aus.

Function
Funktion

Operating mode

A simplified surge arrester can be compared with a symmetrical low-capacitance switch whose resistance may jump from several GΩ during normal operation to values < 1 Ω after ignition caused by a surge voltage. The arrester automatically returns to its original high-impedance state after the surge has subsided.

Figure 3a shows the voltage curve at the arrester and **Figure 3b** the current as a function of time when limiting a sinusoidal voltage surge.

Virtually no current flows while the voltage rises to the spark-over voltage V_s of the arrester. After ignition the voltage drops to the glow voltage level V_{gl} (70 to 200 V depending on the type, with a current of several 10 mA up to about 1.5 A) in the glow-mode range G. As the current increases further, transition to arc mode A occurs. The extremely low arc voltage V_a of 10 to 35 V typical for this mode is virtually independent of the current over a wide range. With decreasing overvoltage (i.e. in the second half of the wave), the current through the arrester decreases accordingly until it drops below the minimum value necessary to maintain the arc mode. Consequently, the arc discharge stops suddenly and, after passing through the glow mode, the arrester extinguishes at a voltage V_e.

The V/I characteristic of the surge arrester shown in **Figure 3c** was obtained by combining the graphs of voltage and current as a function of time.

Response behavior

Static response behavior

If a voltage with a low rate of rise (typical 100 V/s) is applied to the arrester, the spark-over voltage V_s will be determined mainly by the electrode spacing, the gas type and pressure, and by the degree of pre-ionization of the enclosed noble gas. This ignition value is defined as the DC spark-over voltage V_{sdc}.

Arbeitsweise

Vereinfacht ausgedrückt, kann der Überspannungsableiter mit einem symmetrischen, kapazitätsarmen Schalter verglichen werden, dessen Widerstand von einigen GΩ (im ungestörten Betriebszustand) auf Werte < 1 Ω im Störungsfall springen kann. Nach Abklingen der Beeinflussung nimmt der Ableiter wieder den ursprünglichen Zustand an.

Bild 3a zeigt den Verlauf der Spannung am Ableiter und **Bild 3b** den Strom jeweils als Funktion der Zeit beim Begrenzen einer sinusförmigen Überspannung.

Während des Anstiegs der Spannung bis zur Zündspannung U_z des Ableiters fließt praktisch kein Strom. Nachdem der Ableiter gezündet ist, bricht die Spannung auf die Glimmbrennspannung U_{gl} (typabhängig 70 bis 200 V bei einem Strom von einigen 10 mA bis etwa 1.5 A) im Glimmbereich G zusammen. Der Übergang in die Bogenentladung B folgt bei weiter ansteigendem Strom im Ableiter. Die für diesen Bereich typische, äußerst niedrige Bogenbrennspannung U_{bo} zwischen 10 und 35 V ist in weiten Grenzen vom Strom unabhängig. Bei abnehmender Überspannung (d. h. in der 2. Hälfte der Spannungswelle) verarmt der Strom im Lichtbogen, bis der zur Aufrechterhaltung der Bogenentladung erforderliche Stromwert unterschritten wird. Die Bogenentladung reißt ab und der Ableiter löscht bei der Spannung U_L nach Durchlaufen der Glimmphase.

Aus den Darstellungen von Spannung und Strom am Ableiter als Funktion der Zeit entsteht die U/I-Kennlinie des Ableiters (siehe **Bild 3c**).

Ansprechverhalten

Statisches Ansprechverhalten

Bei langsamen Spannungsanstiegen (typ. 100 V/s) wird die Zündspannung U_z im Wesentlichen vom Abstand der Elektrode, der Gasart, dem Druck und vom Grad der Vorionisation des abgeschlossenen Edelgasvolumens bestimmt. Dieser Zündwert ist als Ansprechgleichspannung U_{ag} definiert.

Function
Funktion

Typical response behavior of a 230-V arrester
Typisches Ansprechverhalten eines 230 V-Ableiters

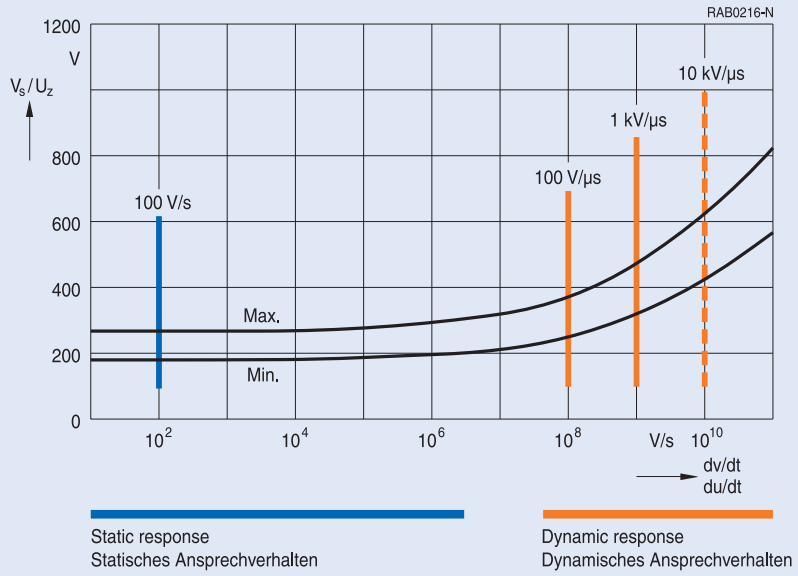


Figure / Bild 4

Dynamic response behavior

At a fast rate of rise the spark-over voltage V_s of the arrester exceeds V_{sdc}. This effect is caused by the finite time necessary for the gas to ionize. All these dynamic spark-over voltages are subject to considerable statistical variation. However, the average value of the spark-over voltage distribution can be significantly reduced by attaching the ignition aid to the inner surface of the arrester. This reduces the upper limit of the tolerance field considerably and also limits the spread of the spark-over voltage. The ignition voltage in this dynamic range is defined as the impulse spark-over voltage V_{si}. TDK gas-filled surge arresters are thus independent of permanent pre-ionization in order to reach this characteristic value (V_{si}), which is crucial for evaluating their protection quality in practical applications.

As a result of the harmonization of national and international specifications, the two voltage rates of rise of 100 V/µs and 1 kV/µs (ITU-T, K.12 and IEC 61643-311) are used to evaluate the dynamic characteristic of surge arresters. An example for other rates of rise is shown in **Figure 4**.

Dynamisches Ansprechverhalten

Bei schnellen Spannungsanstiegen liegt die Zündspannung U_z des Ableiters oberhalb der Ansprechgleichspannung U_{ag}. Dieser Effekt wird durch die endliche Zeit verursacht, die das Gas zur Ionisierung benötigt. Die Vorgänge unterliegen einer großen statistischen Streuung. Mit der Zündhilfe im Innenraum des Ableiters lässt sich der Mittelwert der Verteilung dieser Zündspannung deutlich senken. Dabei wird der obere Grenzwert des Streubandes erheblich reduziert und die Streubreite der Zündspannung verringert. Die Zündspannung bei diesen Vorgängen ist als Ansprechstoßspannung U_{as} definiert. Damit sind gasgefüllte Überspannungsableiter von TDK in diesem für die Praxis zur Beurteilung des Schutzvermögens maßgebenden Kennwert (U_{as}) unabhängig von einer permanenten Vorionisation.

Bedingt durch die Harmonisierung nationaler und internationaler Spezifikationen werden die beiden Spannungsanstiegsgeschwindigkeiten 100 V/µs und 1 kV/µs (ITU-T, K.12 und IEC 61643-311) verwendet, um die dynamische Charakteristik eines Ableiters zu beurteilen. Die Werte für andere Steilheiten zeigt exemplarisch **Bild 4**.

Function
Funktion

Extinguishing characteristics

AC operation:

After the surge has subsided, the arrester normally extinguishes since its arc voltage drops below the minimum value in the subsequent zero crossing of the AC voltage. However, this behavior does not apply to operation with a low-resistance power supply. In this case it is essential to consider the very low internal resistance of the line and of the ignited surge arrester. The maximum permissible follow current of the arrester may be exceeded between the decay of the surge and the subsequent zero crossing. This follow current can reach values up to several 1000 A (refer to page 16).

Note: The follow current must be limited so that the arrester can properly extinguish when the surge has decayed. The arrester might otherwise heat up and ignite adjacent components.

DC operation:

This condition can be found in the protection of telecommunication systems. When continuously operated with DC voltage, the surge arrester must be able to extinguish after the surge has subsided. Surge arresters easily satisfy this requirement when used in communication circuits as these are usually highly resistive throughout. In the case of systems with higher DC voltages or low resistance the arrester‘s extinguishing characteristics must be examined in each individual case.

The following condition(s) must be achieved in order for the surge arrester to extinguish properly:

- The DC operating voltage is lower than the minimum arc voltage (10 to 35 V depending on the type), or
- the DC operating voltage is lower than the glow voltage (60 to 200 V depending on the type).

In the latter case it must be ensured that the maximum current drawn from the operating voltage source can no longer maintain the arc discharge mode (several 100 mA depending on the type) after the surge has subsided.

Löschverhalten

Der Ableiter liegt an einer Betriebswechselspannung:

Der Ableiter löscht nach Abklingen der Beeinflussung im folgenden Nulldurchgang der Betriebswechselspannung, indem er seine minimale Bogenbrennspannung unterschreitet. Dies gilt nicht bei Betrieb an niederohmigen Versorgungsnetzen. Hier sind der sehr geringe Innenwiderstand des Netzes und des gezündeten Ableiters unbedingt zu berücksichtigen. Sie verursachen nach Abklingen der Beeinflussung und dem folgenden Nulldurchgang der Betriebswechselspannung einen für den Ableiter unzulässig hohen Strom (bis zu einigen 1000 A) aus dem Versorgungsnetz, den sogenannten Folgestrom (siehe hierzu auch Seite 16).

Hinweis: Der Folgestrom muss so begrenzt werden, dass der Ableiter nach Abklingen der Beeinflussung einwandfrei löschen kann. Andernfalls besteht die Gefahr, dass der Ableiter hohe Temperaturen erreicht und dadurch benachbarte Bauteile entzündet.

Der Ableiter liegt an einer Betriebsgleichspannung:

Diese Bedingung ist beim Schutz von Nachrichtenübertragungssystemen anzutreffen. In diesem Fall muss der Ableiter nach Abklingen der Beeinflussung bei anliegender Betriebsgleichspannung löschen. Die Ableiter erfüllen diese Forderung in den üblicherweise hochohmigen Fernmeldekreisen problemlos. Bei Systemen mit höherer Betriebsgleichspannung oder niedriger Impedanz muss das Löschverhalten des Ableiters im Einzelfall überprüft werden.

Völlig eindeutige Löschverhältnisse ergeben sich für den Ableiter unter folgenden Bedingungen:

- Die Betriebsgleichspannung ist kleiner als die minimale Bogenbrennspannung (typabhängig 10 bis 35 V)
- Die Betriebsgleichspannung liegt unterhalb der Glimmbrennspannung (typabhängig 60 bis 200 V).

Im zweiten Fall muss zusätzlich sichergestellt sein, dass der max. Strom aus der Betriebsspannungsquelle die Bogenentladung nach dem Abklingen der Beeinflussung nicht weiter aufrecht erhalten kann (typabhängig bis zu einigen 100 mA).

Function
Funktion

Failsafe characteristic
Auslöseverhalten des Kurzschlussmechanismus

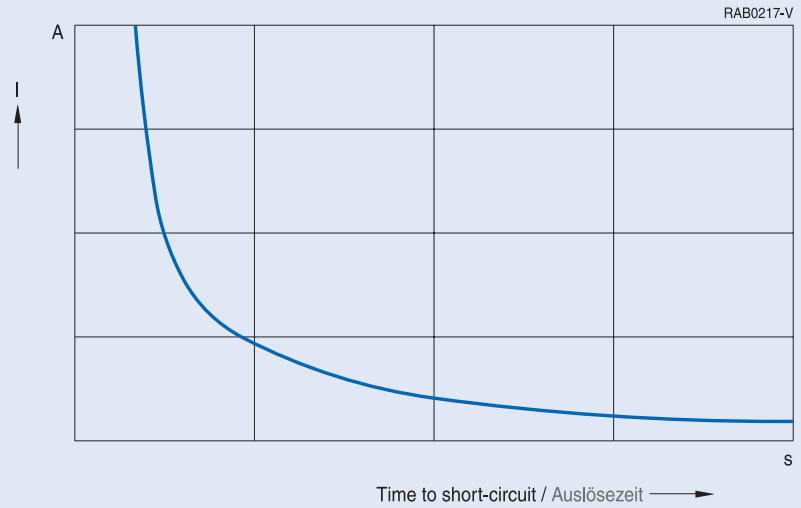


Figure / Bild 5

Failsafe function

In case of direct contact between power and telecommunication lines, current will flow through the ignited arrester for a long period of time. The arrester then heats up. When this happens, the hardware must be protected from thermal overload. The heating is detected by a failsafe mechanism. The spacer (solder pellet or plastic foil) that initially keeps the short-circuit spring at a distance from the electrodes melts at a temperature determined by the choice of material used. The short-circuit spring, to which a bias tension is applied, then drops onto the arrester body and short-circuits the electrodes.

Figure 5 shows a typical short-circuit characteristic as a function of the current flowing through the arrester. This characteristic can be affected by the thermal conductivity of the holder. The coordination between component and package must therefore be subsequently verified by a type test.

Note: The materials used in the sensor to monitor arrester temperature are triggered at temperatures above 200 °C (solder) or 140 °C/260 °C (plastic foil) depending on their composition. The melting temperatures of the solder or plastic foil are up to 300 °C. These temperatures exceed the melting point of standard commercial soft solders used in further processing. This discrepancy must be considered when deciding on the location of the arrester, which may have to be additionally secured by mechanical means. Thermal radiation to adjacent components is another factor of importance.

Kurzschlussmechanismus

Bei Beeinflussungen z. B. durch die direkte Berührung zwischen Stromnetz und Nachrichtenleitung kann über längere Zeit ein Strom durch den gezündeten Ableiter fließen. Dieser Strom führt zu einer Erwärmung des Ableiters. Für diesen Fall muss die Hardware gegen thermische Überbelastung geschützt werden. Die Wärme wird durch einen Kurzschlussmechanismus detektiert. Eine Lotpille oder eine Kunststofffolie halten die Kurzschlussfeder zunächst auf Abstand zu den Elektroden bis sie bei einer durch die Materialauswahl vorbestimmten Temperatur schmelzen. Die mit Vorspannung aufgesetzte Kurzschlussfeder senkt sich auf den Ableiterkörper ab und schließt die Elektroden kurz.

Bild 5: Typischer Verlauf einer Kurzschlusskennlinie in Abhängigkeit vom Strom, der durch den Ableiter fließt. Diese Charakteristik kann durch die Wärmeleitfähigkeit der Fassung beeinflusst werden. Daher ist abschließend die Koordination durch eine Typprüfung nachzuweisen.

Hinweis: Die als Sensor zur Temperaturüberwachung des Ableiters verwendeten Materialien lösen, je nach Werkstoff, erst bei Temperaturen über 200 °C (Lotformteil) bzw. 140 °C/260 °C (Kunststofffolie) aus. Die Schmelztemperaturen der verwendeten Lotpille oder der Kunststofffolie betragen bis zu 300 °C. Diese Temperaturen überschreiten jedoch den Schmelzpunkt handelsüblicher Weichlote, wie sie bei der Montage der Ableiter Verwendung finden. Bei der Einbaulage des Ableiters ist dies zu berücksichtigen und der Ableiter gegebenenfalls zusätzlich mechanisch zu sichern. Beachtet werden muss ebenfalls die Wärmeabstrahlung auf benachbarte Bauteile.

PSpice Model
PSpice-Modell

PSpice model for surge arresters
PSpice-Modell für Überspannungsableiter

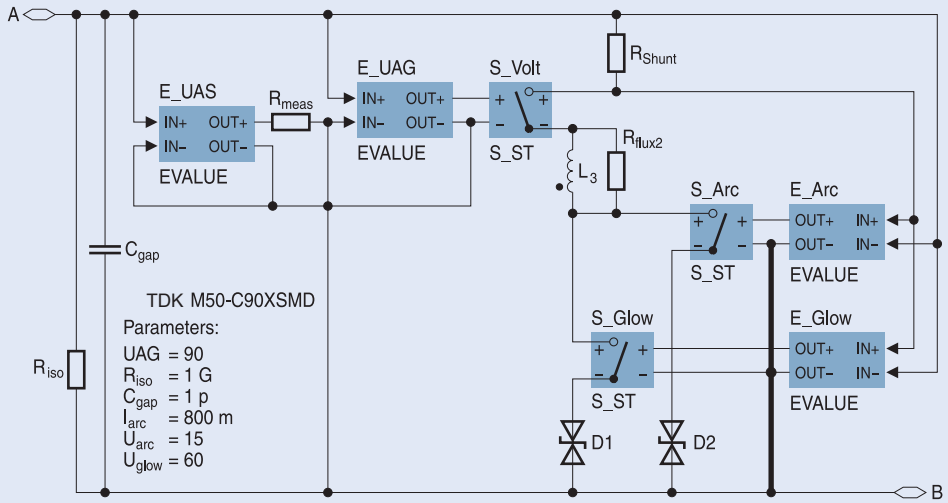


Figure / Bild 6

Simulation of surge arrester

PSpice model for surge arresters – analog behavioral model for circuit simulation

The TDK PSpice model for surge arresters allows users to fit surge arresters into their designs at an early stage of development. Before the first prototype is built the model allows designers to simulate any effects which may occur during normal operation as well as the behavior of the entire circuit under surge. This offers significant advantages such as cost savings and shorter development times for new designs.

A PSpice model is available upon request for every arrester from the TDK product range.

Applications

- Analog circuit simulation
- System design and verification
- Functional verification
- Surge simulation

Simulation von Gasableitern

PSpice-Modell für Überspannungsableiter – Modell für analoge Schaltkreissimulation

Das TDK PSpice-Modell für Überspannungsableiter ermöglicht Nutzern bereits in einer frühen Entwicklungsphase ihrer Designs, Ableiter in ihre Entwürfe zu integrieren. Bevor der erste Prototyp aufgebaut wird, können in einer Überspannungssimulation die unter normalen Anwendungsbedingungen möglicherweise auftretenden Effekte sowie das Verhalten der gesamten Schaltung getestet werden. Damit steht ein Instrument zur Verfügung, mit dessen Hilfe sich Entwicklungszeiten weiter verkürzen und Kosten senken lassen.

Von jedem Ableiter aus dem TDK Lieferprogramm kann auf Anfrage ein PSpice-Modell zur Verfügung gestellt werden.

Anwendungen

- Analogschaltungssimulation
- System-Design und Verifikation
- Funktionale Verifikation
- Überspannungssimulation