



**DEHN**

# ACI – ein innovatives Gerätekonzept für SPDs

White Paper



## Inhalt

- Ausfallszenarien für SPDs
- Nachteile bisheriger Lösungen
- Neuer Lösungsansatz
- Sicheres Ausfallverhalten bei Überlastung des MOVs

# ACI – ein innovatives Gerätekonzept für SPDs

## White Paper



Überspannungen im Niederspannungsnetz können durch Schaltvorgänge, wie beim Schalten induktiver Lasten, Auslösen von Sicherungen oder durch Fehlerzustände, wie Kurz- oder Erdschlüsse, hervorgerufen werden. Eine weitere Ursache für transiente Überspannungen im Niederspannungsnetz sind atmosphärische Ereignisse wie z.B. Blitzeinschläge in eine Blitzschutzanlage, in Versorgungsleitungen. Dazu kommen Naheinschläge, die durch ihre Induktionswirkung zu Überspannungen führen können.

Überspannungsschutzgeräte (SPDs) werden überall dort eingesetzt, wo empfindliche Geräte und Installationen vor den Auswirkungen der Überspannungen geschützt werden sollen. Die Bauelemente moderner SPDs zeichnen sich durch eine hohe Belastbarkeit bei gleichzeitig gutem Schutzverhalten aus. Die verwendeten Technologien unterscheiden sich nach der geforderten Leistungsfähigkeit und den spezifischen Anforderungen am Installationsort.

So werden z.B. für Typ 1 SPDs, die zum Ableiten von Blitzteilströmen geeignet sind, oftmals hochleistungsfähige Funkenstrecken eingesetzt. Die verwendeten Funkenstreckentechnologien besitzen durch eine entsprechend große Leistungsfähigkeit und Robustheit aus, können aber Netzfolgeströme generieren und müssen in der Regel mit weiteren Schutzstufen energetisch koordiniert werden. Typ 1 SPDs werden normalerweise am Gebäudeeintritt der Niederspannungsversorgung installiert.

Typ 2 SPDs sind zum Ableiten und Begrenzen von Überspannungen geeignet, die durch Schaltvorgänge oder induktive Einkopplungen verursacht werden. Dabei ist der Energieinhalt der abzuleitenden Impulsströme wesentlich geringer, als der der Blitzteilströme, die von Typ 1 SPDs beherrscht werden müssen. Als aktive Schutzkomponenten werden in Typ 2 SPDs oftmals leistungsfähige Metalloxid-Varistoren (MOVs) verwendet, die sich durch ein vergleichsweise hohes

Ableitvermögen auszeichnen und keine Netzfolgeströme zulassen.

Diese Technologien sind seit vielen Jahren bekannt und werden von verschiedenen Herstellern eingesetzt. Die dazugehörigen Produktnormen IEC 61643-11 [ CITATION IEC03 \l 1031 ] sowie EN 61643-11 [ CITATION EN610 \l 1031 ] legen Mindestanforderungen für die SPDs fest, die nicht nur sicherstellen, dass die Geräte in der jeweiligen Anwendung die ausgewiesenen Parameter erfüllen, sondern auch ein definiertes und sicheres Ausfallverhalten bei Überlastung oder am Lebensdauerende aufweisen.

Die sich ändernden Anforderungen im Installationsumfeld, wie z.B. der vermehrte Einsatz von leistungselektronischen Bauelementen, die schwankenden Kurzschlussleistungen oder auch instabile Netzbedingungen führen jedoch dazu, dass zukünftig andere und höhere Beanspruchungen an den SPDs auftreten, die dann zu Überlastungen oder zum Ausfall führen können. Dadurch werden zusätzliche Anforderungen an das Ausfallverhalten von SPDs gestellt [ CITATION Platzhalter1 \l 1031 ].

### Ausfallszenarien für SPDs

Grundsätzlich wird man beim Ausfall eines SPDs zwischen dem Ausfall durch Überlastung und dem Ausfall am Lebensdauerende unterscheiden. Während der Ausfall am Lebensdauerende in der Regel ein kontinuierlicher Prozess ist, der z.B. durch eine Vielzahl von Ableitvorgängen hervorgerufen wird, stellen Überlastungen oftmals einmalige oder kurzzeitig einwirkende Ereignisse dar. Überlastungen können beispielsweise durch große und das ausgewiesene Ableitvermögen überschreitende Impulse auftreten.

Grundsätzlich sind die Ausfallszenarien für SPDs von der verwendeten Technologie abhängig. SPDs auf Funkenstreckenbasis altern z.B. nicht durch die anliegende Netzspannung und sind unempfindlicher gegenüber gegebenenfalls überlagerten,

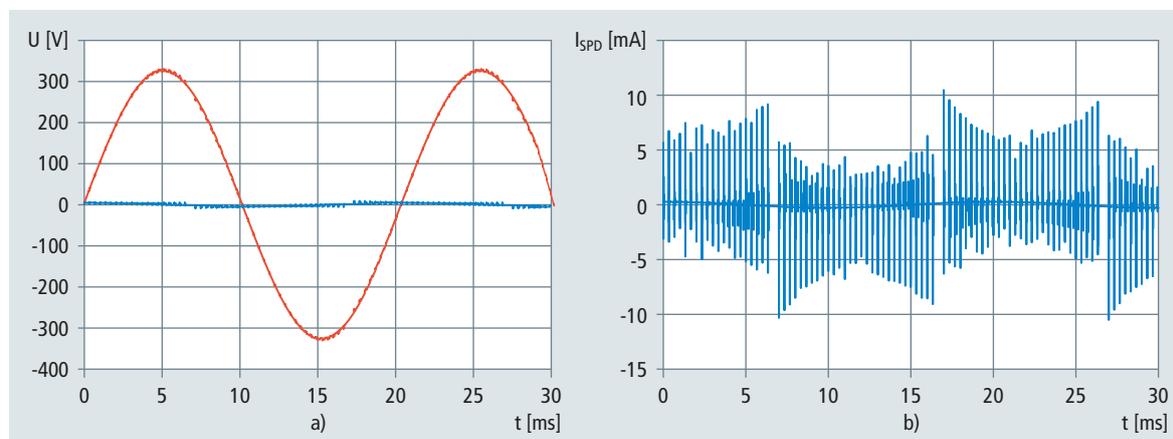


Bild 1 a) Spannung und Strom an einem SPD auf MOV-Basis mit  $U_c = 275$  V, installiert am Ausgang eines PWM gesteuerten Wechselrichters und b) Strom durch den MOV

# ACI – ein innovatives Gerätekonzept für SPDs

White Paper

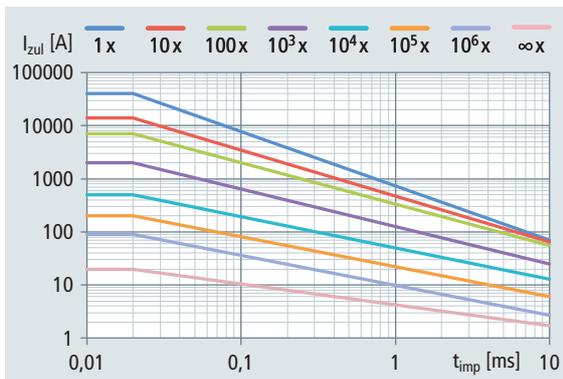


Bild 2 Zulässiger Impulsstrom  $I_{zul}$  für einen MOV in Abhängigkeit von der Impulsdauer und der Anzahl der Impulse (abgeleitet aus den Derating-Kurven des Herstellers)

hochfrequenten Störungen, wie sie durch das Schalten von Leistungshalbleitern hervorgerufen werden können [ CITATION GCh05 \l 1031 ] (**Bild 1**).

Auch SPDs auf MOV-Basis sind direkt an die Netzspannung angeschlossen. Sie sind aber wesentlich empfindlicher gegenüber Schwankungen oder überlagerten Störungen. Veränderungen der Kennlinie eines MOVs können z.B. durch Impulse mit hohem Energieinhalt (Amplitude oder Dauer), durch eine Vielzahl von Impulsen mit geringerem Energieinhalt (**Bild 2**) oder durch dauerhaft erhöhte Leckströme hervorgerufen werden. Ein langsames Absinken der U/I-Kennlinie eines MOVs führt i.d.R. zu einem kontinuierlich ansteigenden Leckstrom und damit zu einer Erwärmung des MOVs. Bevor die Erwärmung ein unzulässiges Maß erreicht, wird das SPD von der integrierten thermischen Abtrennvorrichtung sicher und zuverlässig abgeschaltet.

Das plötzliche und vollständige Durchlegieren eines MOVs als Folge eines Impulses mit großem Energieinhalt führt jedoch

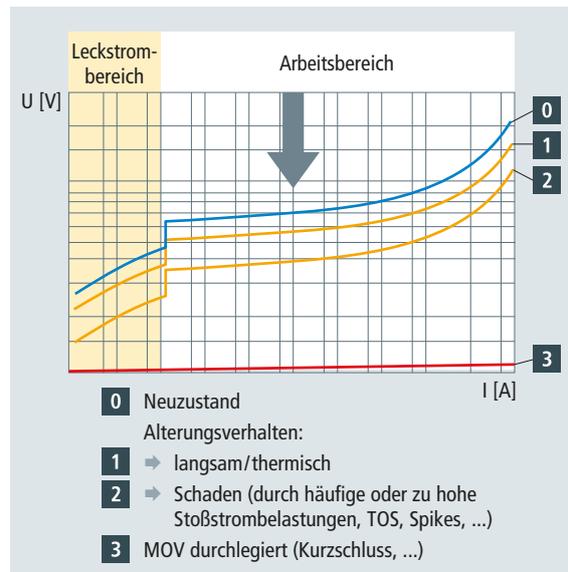


Bild 3 MOV-Kennlinienveränderungen (schematische Darstellung)

zu einer irreversiblen Zerstörung der Korngrenzen in der MOV-Keramik und damit zu einem niederohmigen Fehlerbild. Der entstehende Kurzschlussstrom muss von einer integrierten oder externen Überstrom-Schutzeinrichtung (ÜSSE) beherrscht und abgeschaltet werden. Ein schematischer Überblick über die Kennlinienveränderungen ist in **Bild 3** dargestellt.

Die anzuwendende Produktnorm [ CITATION IEC03 \l 1031 ], [ CITATION EN610 \l 1031 ] enthält bereits Prüfungen, die das Ausfallverhalten testen. Üblicherweise werden SPDs auf MOV-Basis sowohl durch integrierte thermische Abtrennvorrichtungen als auch durch interne oder externe ÜSSE, wie z.B. Sicherungen oder LS-Schalter geschützt. Um sicherzustellen, dass die vorgeordnete ÜSSE nicht durch den abzuleitenden



durch Impulsstrom explodierte Sicherungen



vom Impulsstrom zerstörte MCBs in einer Stromversorgung

Bild 4 Überlastung von Sicherungen und MCBs durch Impulsströme

# ACI – ein innovatives Gerätekonzept für SPDs

## White Paper

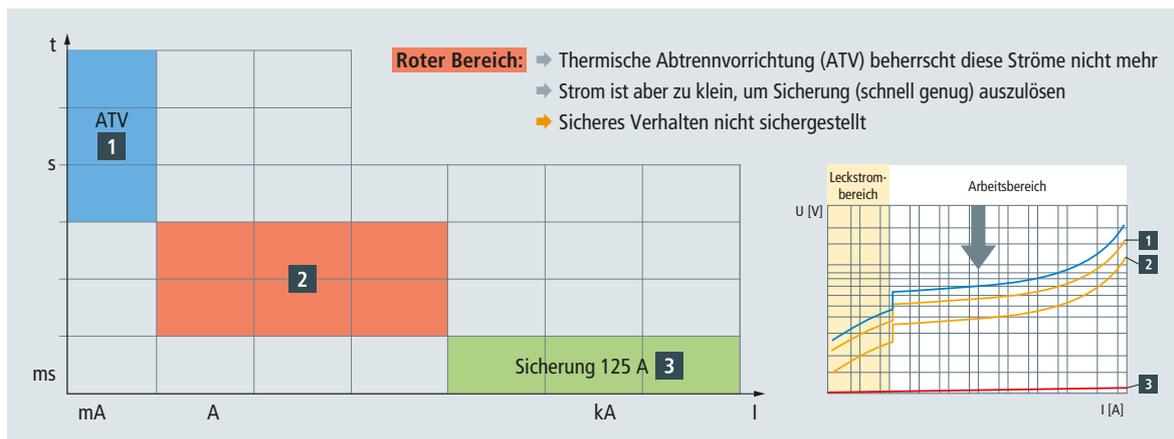


Bild 5 Standardlösung mit Sicherung

Impulsstrom ausgelöst bzw. überlastet wird, sollten ÜSSE mit großem Nennstrom gewählt werden. Wird dieser Impulsstrom überschritten, erfolgt oftmals eine Zerstörung der ÜSSE (Bild 4).

Beim Betrachten der Ausschalt-Charakteristik einer Sicherung oder eines Leistungsschalters ist festzustellen, dass die Ausschaltdauer von dem auftretenden Fehlerstrom abhängig ist. So werden z.B. Fehlerströme im Bereich von einigen hundert Ampere erst nach Sekunden abgeschaltet, während große Kurzschlussströme im Bereich von Millisekunden unterbrochen werden.

### Nachteile bisheriger Lösungen

In modernen SPDs, in denen MOVs als Schutzelemente eingesetzt werden, sind Abtrennvorrichtungen, die thermisch mit der Varistor-Keramik gekoppelt sind, einfache und leistungsfähige Lösungen, um entstehende Leckströme im Bereich bis zu einigen Ampere zu unterbrechen.

Ein zu schnelles Ansteigen des Leckstromes kann jedoch dazu führen, dass die thermische Abtrennvorrichtung nicht schnell genug aktiviert wird. Dies ist z.B. der Fall, wenn die Kennlinienveränderung im MOV durch eine dauerhaft anliegende, temporäre Überspannung hervorgerufen wird. Solche temporären, netzfrequenten Überspannungen entstehen durch Fehlerzustände im Niederspannungsnetz, wie z.B. dem Verlust des Neutralleiters oder Kurzschlüssen zwischen einem Außenleiter und dem Neutralleiter. Überschreitet der entstehende Leckstrom ein gewisses Maß, erfolgt eine sehr schnelle Kennlinienveränderung im Varistor – der Varistor legt durch und geht in einen leitfähigen Zustand über. Der Fehlerstrom steigt in diesem Fall rapide an und die thermische Abtrennvorrichtung trennt das SPD nicht oder zu spät vom speisenden Niederspannungsnetz ab. In diesem Fall ist auch die zugeordnete ÜSSE (Sicherung, LS-Schutzschalter) nicht in der Lage, den MOV und

damit das SPD sicher zu schützen, da unter Umständen auf Grund eines begrenzten Fehlerstromes keine Auslösung erfolgt. Bild 5 zeigt schematisch die Bereiche langsamer (1) und schnellerer MOV-Kennlinienveränderungen (2) bis zum Kurzschluss (3) sowie die resultierenden Schutzbereiche.

Ein anderes Fehlerzenario, welches zu einer unzulässigen Überlastung eines SPDs auf MOV-Basis führen kann, ist das undefinierte Ausfallverhalten des MOVs selbst. Legiert ein MOV als Folge eines sehr großen Impulsstromes durch, so kann abhängig von der eingebrachten Impulsenergie und der Homogenität der MOV-Keramik, ein signifikanter Restwiderstand verbleiben, der den sich einstellenden Kurzschlussstrom begrenzt (Bild 6). Auch in diesem Fall kann die vorgeordnete Sicherung oder der LS-Schutzschalter das SPD nicht schützen, da keine oder nur eine stark verzögerte Auslösung erfolgt. Verschärft wird die Problematik dadurch, dass Vorsicherungen oftmals große Nennstromwerte aufweisen, um zu vermeiden, dass Impulsströme, die vom SPD abgeleitet werden, zu ihrem Auslösen führen (Tabelle 1). Dies führt in vielen Fällen zu einer „Schutzlücke“, die von der Nennstromstärke der Sicherung und vom tatsächlichen Kurzschlussstrom abhängt.

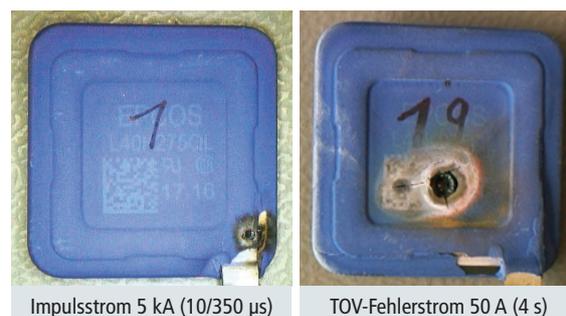


Bild 6 Ausfallverhalten überlasteter MOVs

# ACI – ein innovatives Gerätekonzept für SPDs

White Paper



Nennwerte für NH-Sicherungen		Impulse (8/20 $\mu$ s), die zum Auslösen der Sicherung führen [kA]
$I_n$ [A]	$I^2 t_{min}$ [A <sup>2</sup> s]	
35	3030	14,7
63	9000	25,4
100	21200	38,9
125	36000	50,7
160	64000	67,6
200	104000	86,2
250	185000	115

Tabelle 1 Impulsbelastbarkeit von NH-Sicherungen

In modernen SPDs werden auch interne Sicherungen eingesetzt, die besser auf das mögliche Ausfallverhalten der SPDs angepasst sind, wobei auch hier eine gewisse Schutzlücke verbleiben kann.

**Bild 7** zeigt das Ergebnis einer Simulation ( $U_n = 230$  V, Sicherung 100 A gG), bei der der Ausfall eines MOV-basierten SPDs nach einer Impulsbelastung 20 kA (8/20  $\mu$ s) nachgebildet wurde. Für die Simulation wurde angenommen, dass der Varistor nach dem Impuls durchleiert und danach eine konstante Restspannung von 50 V aufweist. Dieser Wert entspricht dem Mittelwert aus einer Vielzahl von Überlastversuchen. Es zeigt sich, dass die sich einstellenden Fehlerströme vom prospektiven Kurzschlussstrom  $I_p$ , vom Phasenwinkel  $\Psi$  und von der verbleibenden Restspannung  $u_{MOV}$  abhängen. Die größten Belastungen treten bei einem Einschaltwinkel von  $\Psi = 0^\circ$  auf.

Für die in **Bild 7** dargestellten Fehlerströme wurden die in **Tabelle 2** aufgeführten energetische Belastungen für das SPD ermittelt.

Es ist erkennbar, dass bei kleinen prospektiven Kurzschlussströmen  $I_p$  relativ lange Ausschalt-dauern  $t_{aus}$  auftreten und im SPD einen sehr hohen Energieumsatz  $W_{total}$  erzeugen, obwohl der Maximalwert des auftretenden Fehlerstromes  $I_{fehl}$  gering ist. Diese Energie wird im Fehlerfall im SPD in Druck und Temperatur umgesetzt und kann das SPD überlasten, bevor es sicher vom speisenden Niederspannungsnetz getrennt wird (**Bild 8**).

## Neuer Lösungsansatz

Die beschriebenen Nachteile beim Schutz von überlasteten SPDs können überwunden werden, wenn in das SPD ein leistungsstarkes Schaltelement integriert wird. Dieses Schaltelement muss einerseits in der Lage sein, Ströme im Milliampere- oder Ampere-Bereich schnell zu unterbrechen oder gar nicht zuzulassen und andererseits Fehlerströme im Bereich der

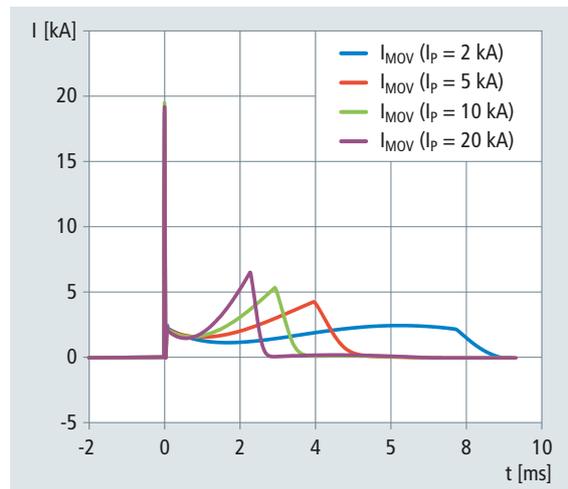


Bild 7 Zeitlicher Verlauf der Fehlerströme bei Überlastung des SPDs durch einen Impulsstrom (Parameter: prospektiver Kurzschlussstrom am Einbaort)

prosp. Kurzschlussstrom $I_p$ [kA]	Maximalwert des Fehlerstromes $I_{fehl}$ [kA]	Gesamtausschalt-dauer $t_{aus}$ [ms]	Energieumsatz im SPD (Impuls + Fehlerstrom) $W_{total}$ [J]
2	2,5	8,8	800
5	4,0	5,5	610
10	5,2	3,8	515
20	6,4	2,8	440

Tabelle 2 Belastungsparameter für das überlastete SPD nach Bild 7



Bild 8 Überlastetes SPD und durch Fehlerstrom zerstörter Verteiler

# ACI – ein innovatives Gerätekonzept für SPDs

## White Paper



prospektiven Kurzschlussströme schnell und sicher zu unterbrechen.

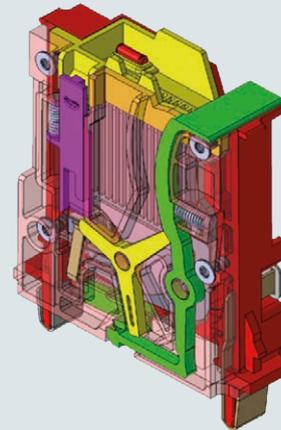
Während mechanisch betätigte Schaltgeräte wie z.B. LS-Schalter immer einen Zeitverzug für das Erkennen eines Fehlerstromes, das Auslösen und das Bewegen der Schaltkontakte aufweisen, wird das hier beschriebene Schaltelement mit dem Überspannungsereignis selbst aktiviert. Dabei darf es keine oder nur geringe Auswirkungen auf das Schutzverhalten des SPDs haben, d.h. weder das Ableitvermögen noch den Schutzpegel für das gesamte SPD negativ beeinflussen.

**Bild 9** zeigt den prinzipiellen Aufbau eines solchen SPDs auf MOV-Basis mit integrierter, leitungsstarker Schaltvorrichtung und Deaktivierungsschaltung.

Eine solche Kombination aus MOV-basiertem SPD und leistungsstarkem Schaltelement steht mit der bekannten Schaltfunkenstrecken-Technologie zur Verfügung (**Bild 10**).

In einer Baubreite von 1 TE (18 mm) sind die einzelnen Funktionseinheiten MOV mit Abtrennvorrichtung, Schaltfunkenstrecke als integrierte ÜSSE und das dazugehörige Überwachungs- und Anzeigesystem integriert (**Bild 11**).

Das spezielle Design der getriggerten Schaltfunkenstrecken ermöglicht es, niedrige Ansprechwerte bei gleichzeitig hohem Ableitvermögen zu erreichen. **Bild 12** zeigt das gemessene Schutzverhalten bei Belastung mit dem Nennableitstoßstrom  $I_n = 20 \text{ kA}$  (8/20  $\mu\text{s}$ ). Zusätzlich vermeidet die integrierte ACI-Schalteinheit auftretende Leckströme, da sie im Normalzustand zuverlässig isoliert. Diese zuverlässige Isolation ermöglicht auch eine hohe Festigkeit gegenüber netzfrequenten



### Technische Daten

Nennspannung AC ( $U_N$ )	230/400 V
Höchste Dauerspannung ( $U_C$ )	275 V
Nennableitstoßstrom ( $I_n$ )	20 kA 8/20 $\mu\text{s}$
Max. Ableitstoßstrom ( $I_{max}$ )	30 kA 8/20 $\mu\text{s}$
Kurzschlussfestigkeit AC ( $I_{SCCR}$ )	25 kA
Zusätzliche externen Sicherung	Nicht notwendig
Schutzpegel [L-PE] / [N-PE] ( $U_p$ )	< 1,5 kV
TOV-Festigkeit mind.	440 V
Temperaturbereich	-40 ... +80 °C

Bild 10 Überlastfestes Typ 2 SPD mit ACI-Technologie

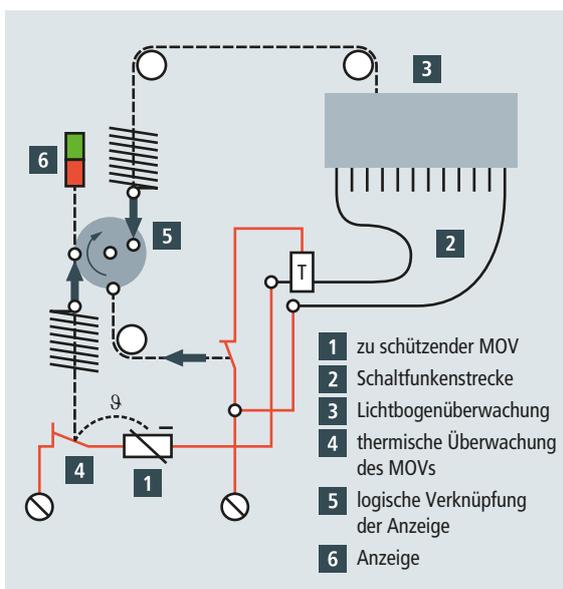


Bild 9 Prinzipieller Aufbau des SPDs mit integrierter Schaltvorrichtung (ACI-Technologie)



Bild 11 Aufbau des SPDs mit ACI-Technologie

# ACI – ein innovatives Gerätekonzzept für SPDs

## White Paper

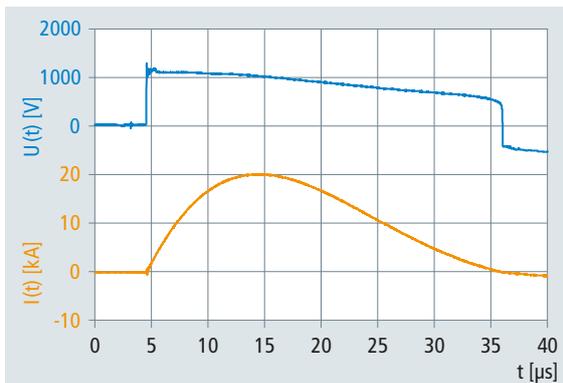


Bild 12 Gemessene Restspannung an einem SPD mit ACI-Technologie

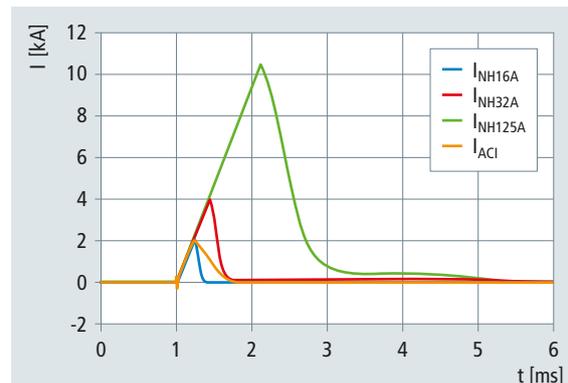


Bild 13 Kurzschlussausschaltungen bei  $U = 255 \text{ V}$ ,  $I_p = 25 \text{ kA}$  und  $\psi = 45^\circ$

zeitweiligen Überspannungen (TOV), die deutlich über den im Produktstandard geforderten Werten liegt.

Da die ACI-Schalteneinheit bei jedem Überspannungereignis aktiviert wird, entfällt der für andere ÜSSE typische Zeitverzug für das Erkennen und Auslösen einer Schaltvorrichtung. Die ACI-Schalteneinheit weist dadurch ein kleines Abschaltintegral auf, welches selektiv zu einer 35 A gG Sicherung ist. Daher sind minimal Anschlussquerschnitte  $\geq 6 \text{ mm}^2$  zulässig und unerwünschte Wechselwirkungen zu vorgelagerten ÜSSE ausgeschlossen.

### Sicheres Ausfallverhalten bei Überlastung des MOVs

Auch bei einem MOV-basierten SPD mit ACI-Schalteneinheit kann der eingesetzte MOV ganz oder teilweise zerstört werden und es tritt ein entsprechender Fehlerstrom auf.

Die Schalteinheit, die gleichzeitig mit dem Überspannungereignis aktiviert wurde, ist dann jedoch in der Lage, diesen Fehlerstrom schnell zu unterbrechen und das SPD vor einer

unzulässigen Überlastung zu schützen. Um die Wirksamkeit der ACI-Schalteneinheit zu zeigen, wurde der integrierte MOV kurzgeschlossen und an einer leistungsstarken Quelle geprüft (Bild 13). Zusätzlich sind zum Vergleich die Durchlassströme von gG NH-Sicherungen mit unterschiedlichen Nennstromstärken dargestellt.

Die Kombination aus leistungsstarkem Schaltelement und MOV, die in das ACI-SPD integriert wurde, weist zusätzlich eine Überlasterkennung auf, die immer dann aktiviert wird, wenn es zu einem Netzfolgestrom und damit zu einer gewissen Stromflussdauer durch das SPD kommt.

Bild 14 zeigt schematisch die Bereiche deutlicher (2) MOV-Kennlinienveränderungen bis zum Kurzschluss (3) sowie die resultierenden Schutzbereiche. Technologienbedingt können Fehlerströme im mA oder unteren A-Bereich (1) nicht auftreten. Wird diese Überlasterkennung aktiviert, so erfolgt eine Deaktivierung der im Schaltelement integrierten Triggerschaltung. Das SPD mit deaktivierter Triggerschaltung ist so dimen-

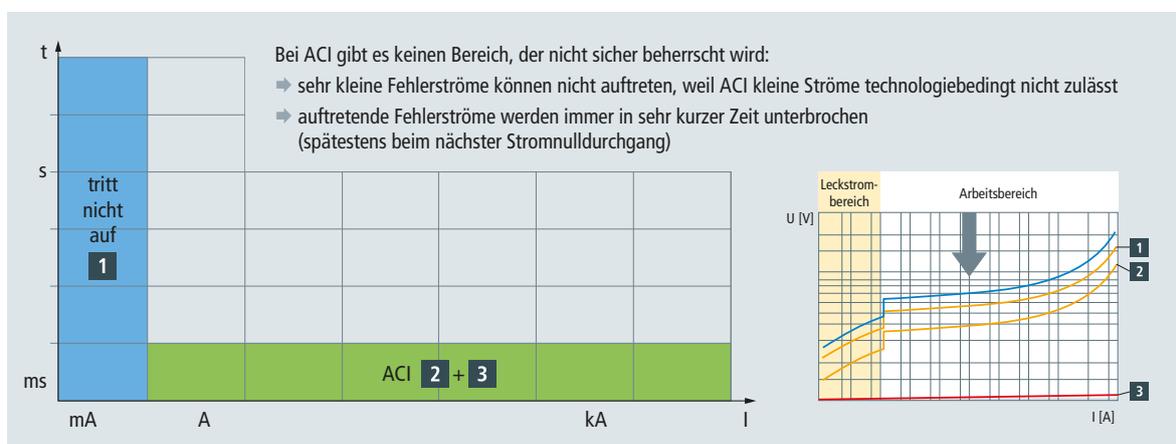


Bild 14 Schutzkennlinien eines Typ 2 SPD mit ACI-Technologie

# ACI – ein innovatives Gerätekonzept für SPDs

## White Paper



sioniert, dass die Spannungsfestigkeit der Kombination aus Schaltfunkenstrecke und MOV größer ist als die in der Überspannungskategorie III geforderten Impulsspannungsfestigkeit von 4 kV. Die Abschaltung der Triggerschaltung ist irreversibel und wird sowohl durch den integrierten Fernmeldekontakt als auch durch die Statusanzeige signalisiert

### Zusammenfassung

Mit der vorgestellten ACI-Technologie besteht erstmals die Möglichkeit, SPDs auf MOV-Basis zuverlässig für alle vorstellbaren, netzgespeisten Fehlerströme zu schützen. Dabei ist es unerheblich, ob die auftretenden Fehlerströme durch den Fehlerzustand im SPD selbst oder durch die gegebenen Netzzustände begrenzt sind. Während SPDs bisher durch ÜSSE geschützt werden, die eine zeitabhängige Auslösecharakteristik besitzen, erfolgt der Überlastschutz bei einem SPD mit ACI-Technologie unmittelbar und ohne zeitlichen Verzug.

Es ist sichergestellt, dass – unabhängig vom Einbauort und unabhängig vom Lastzustand – das SPD sicher und zuverlässig vom Netz getrennt wird. Die integrierte Überlasterkennung ermöglicht es, die Überlastsituation zu erkennen, das SPD zu deaktivieren und den Ausfall anzuzeigen.

Durch die Verwendung der ACI-Technologie ist es möglich, SPDs unabhängig von dem Installationsort, von den Netzbedingungen und der Netzform einzusetzen. Die Installation ist einfach und auch zukunftssicher.

Mit der integrierten ACI-Schalteinheit ist der für das SPD notwendige Überstrom- und Kurzschlusschutz bereits integriert. Das geringe Ausschaltintegral ist selektiv zu einer 35 A gG Sicherung, weitere ÜSSE müssen nicht berücksichtigt werden.

### Literaturverzeichnis

- [1] IEC 61643-11 Ed.1, Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems; Requirements and tests, 2011-03.
- [2] EN 61643-11, Überspannungsschutzgeräte für Niederspannung – Teil 11: Überspannungsschutzgeräte für den Einsatz in Niederspannungsanlagen – Anforderungen und Prüfungen, 2012-10.
- [3] R. Brocke und P. Zahlmann, „Use of SPDs with short circuit failure mode behavior in mains with volatile short circuit power,“ in Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL), Nagoya, Japan, 2015.
- [4] G. Chicco, J. Schlabbach und F. Spertino, „Characterisation and Assessment of the Harmonic Emission of Grid-Connected Photovoltaic Systems,“ in Proc. IEEE Power Tech, St. Petersburg, Russia, June 27-30, 2005, 2005, p. pp. 7.

### Autor

Dr. Ralph Brocke, Leiter Entwicklung/Konstruktion

**Überspannungsschutz  
Blitzschutz/Erdung  
Arbeitsschutz  
DEHN protects.**

DEHN SE  
Hans-Dehn-Str. 1  
Postfach 1640  
92306 Neumarkt, Germany

Tel. +49 9181 906-0  
Fax +49 9181 906-1100  
info@dehn.de  
www.dehn.de



[www.dehn.de/vertrieb-de](http://www.dehn.de/vertrieb-de)

Diejenigen Bezeichnungen von im Schutzvorschlag genannten Erzeugnissen, die zugleich eingetragene Marken sind, wurden nicht besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus dem Fehlen der Markierung <sup>TM</sup> oder © nicht geschlossen werden, dass die Bezeichnung ein freier Warenname ist. Ebenso wenig ist zu entnehmen, ob Patente, Gebrauchsmuster oder sonstige intellektuelle und gewerbliche Schutzrechte vorliegen. Änderungen in Form und Technik, bei Maßen, Gewichten und Werkstoffen behalten wir uns im Sinne des Fortschrittes der Technik vor. Die Abbildungen sind unverbindlich. Druckfehler, Änderungen und Irrtümer vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit unserer Genehmigung.