

Das Funktionsprinzip (Bild 1) basiert auf drei in Reihe geschalteten mechanischen Kontaktsystemen (S1, S2 und S3) mit einem elektronischen Schaltelement parallel zu einem dieser mechanischen Schalter (S1). Das im Standardbetrieb (S1 geschlossen) spannungsfreie elektronische Schaltelement wird nur während des Ausschaltvorgangs kurzzeitig belastet. Die Verschaltung von S1 bis S3 kann der Nutzer im Netz frei wählen, um eine galvanische Trennung dort, wo gefordert, zu gewährleisten.

Zum Ausschalten des Kontaktsystems öffnen die mechanischen Kontakte (S1, S2). Der entstehende Lichtbogen über S1 bedingt eine Lichtbogenspannung, die das elektronische Schaltelement mit Energie versorgt. Es wird durchgeschaltet und übernimmt den Strom von S1. Der Lichtbogen in S1 verlischt. Nach der Kommutierung des Stroms auf das elektronische Schaltelement geht dieses verzögert in den Sperrzustand über und unterbricht den Stromfluss. S2 und S3 übernehmen die galvanische Trennung. Zum Schließen des Kontakts werden die Schalter S1, S2 und S3 geschlossen. Das elektronische Schaltelement hat bei diesem Schaltvorgang keinen Einfluss. Bei Fehlerströmen, die größer sind als $1,25 \times I_{nenn}$ verbleibt das elektronische Schaltelement im gesperrten Zustand und der Kommutierungsvorgang wird nicht eingeleitet. Die drei in Reihe geschalteten mechanischen Schalter übernehmen bei diesem Vorgang die Abschaltung bis 5 kA.

Elektronisches Schaltelement

Beim Öffnen des Kontaktsystems in einem elektronischen Schaltelement (Bild 2) wird das Gate des IGBT durch den Widerstand R angesteuert. Die Zenerdiode Z1 verhindert, dass der IGBT sich so weit durchsteuert, dass am Mosfet mehr als die Zener-Spannung anliegt. Das Zeitglied steuert die Kaskoden-Schaltung [4] durch. Der komplette Stromfluss wird über das elektronische Schaltelement geleitet. Zum Sperren des elektronischen Schaltelements schaltet eine Logik den Mosfet aus. Das Emitter-Potential des IGBT erhöht sich um den Spannungsfall am Mosfet. Die Gate-Spannung am IGBT wird dadurch ebenfalls erhöht und die Gate-Ladung fließt über die Zenerdiode Z1 ab. Der IGBT und der Mosfet sperren. Der Stromfluss ist annähernd Null und der Startzustand ist wieder hergestellt.

Versuchsaufbau

Die Funktion für das oben beschriebene Prinzip wurde bereits nachgewiesen [5], [6]. Die aktuellen Untersuchungen fokussieren sich auf die Stromaufteilung an einem hybriden Schutzgerät bei ohmscher Last. Hierfür wird ein real aufgebauter Demonstrator verwendet, der an den entsprechenden Stellen mit Messshunts und Abgriffen zur Spannungsmessung versehen wird.

Die Shunts sind so ausgelegt, dass das Ansprechen der Elektronik sowie eines spannungsbegrenzenden, parallel geschalteten Varistors den Aufteilungsvorgang nicht be-

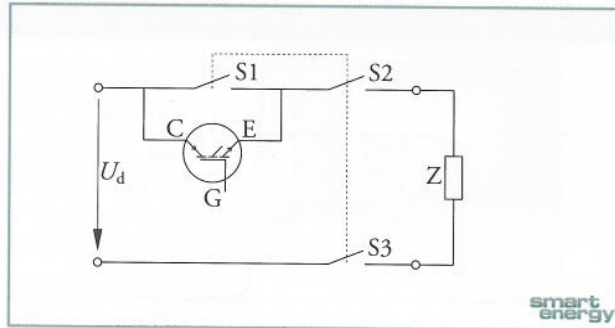


Bild 1. Funktionsprinzip eines Hybridschalters mit IGBT

einflusst. Die in Bild 3 und Bild 4 dargestellten Oszillogramme zeigen den Ausschaltvorgang bei ohmscher Last mit 380 V und 4 A.

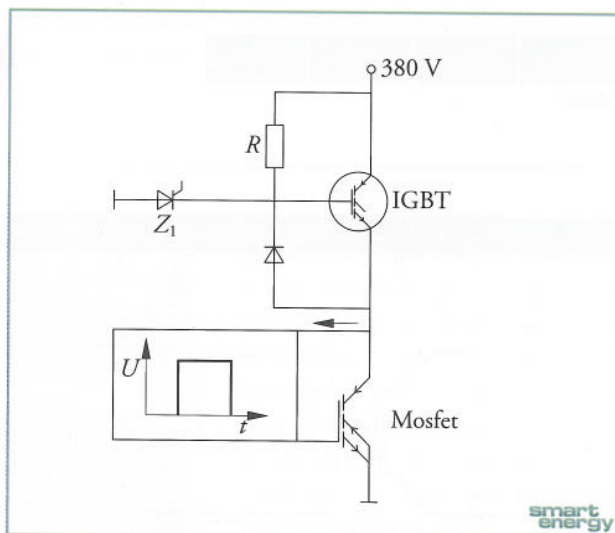


Bild 2. Funktionsprinzip des elektronischen Schaltelements

Ab dem Ende von t_0 (Bild 4) beginnen die Kontakte sich in Richtung offen zu bewegen und bauen eine Lichtbogenspannung von ca. 18 V auf. Nach ca. 0,1 ms (t_1) endet diese Phase und die Elektronik des Hybridschalters übernimmt den Stromfluss für ca. 0,1 ms (t_2). Der Vorgang während t_2 ist ein charakteristisches kapazitives Durchschalten eines nicht angesteuerten IGBT. Der IGBT versucht, aus einem undefinierten Zustand zuerst ungesteuert leitend zu werden und wird dann (ansteigende Stromflanke am Ende von t_2) vom Gate aktiv durchgesteuert. Der IGBT wird nun für 1,5 ms definiert leitend, danach sperrt die Steuerelektronik den IGBT und der Stromfluss wird unterbrochen.

Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte hybride Schutzgerät zeigt eine hervorragende Performance und vereint die Vorteile von elektronischen und mechanischen Schaltern in einem Gerät. Weiteres Ziel wird es sein, die Eignung dieses Prinzips für Gleichspannungsnetze zur Energieversorgung in Gebäuden auch im Kurzschlussfall mit Strömen im Bereich mehrerer kA zu belegen. Das Hauptaugenmerk liegt da-

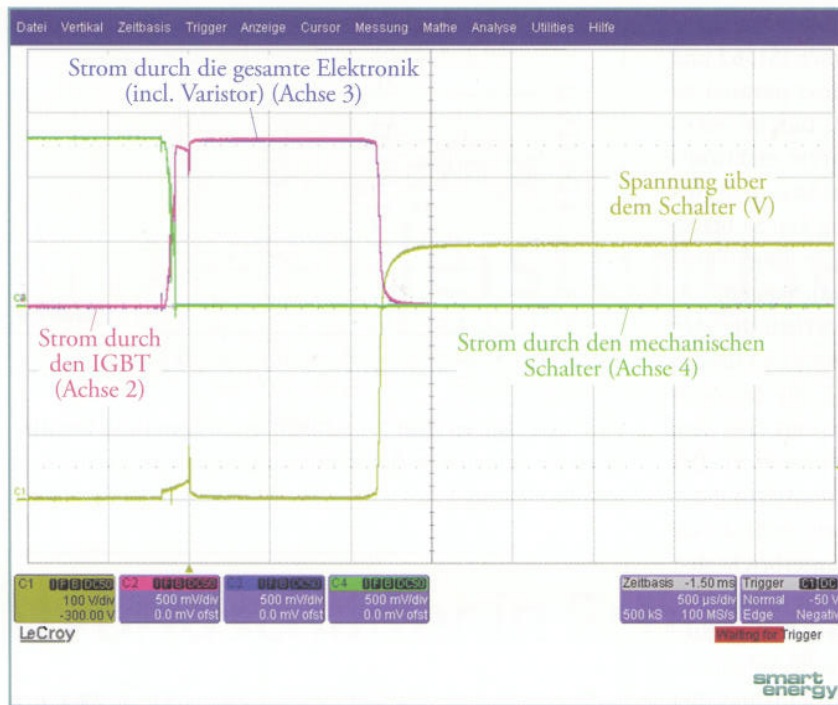


Bild 3. Lichtbogenspannung und Ströme bei ohmscher Last (kompletter Ausschaltvorgang)

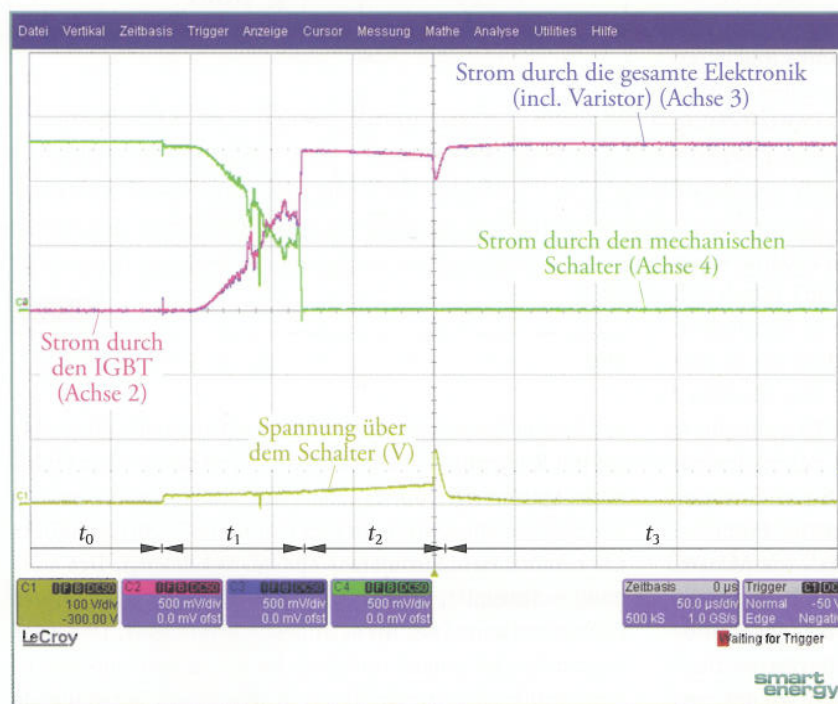


Bild 4. Lichtbogenspannung und Ströme bei ohmscher Last (Detail des ersten Kommutierungsvorgangs)

bei vor allem auf den Gesichtspunkten ON-Widerstand, Stromtragfähigkeit und Spannungsfestigkeit. Weiterführende Untersuchungen werden sich auch mit den Punkten induktives Ausschalten und kapazitives Einschalten befassen. (no)

Literatur

- [1] Projekt „Direct Current Components + Grid“ der Eniac Joint Undertaking, Brüssel/Belgien: www.eniac.eu; www.dcc-g.eu
- [2] Ott, L.; Boeke, U.; Weiss, R.: „Energieeffiziente Gleichstromnetze für kommerziell genutzte Gebäude“ ETG-Fachbericht Internationaler ETG-Kongress 2013 VDE VERLAG, 2013.

- [3] Deboy, G. et. al: „A new generation of high voltage MOS-FETs breaks the limit line of silicon“, pp. 683-685, Proc. IEDM (1998).
- [4] Lutz, J.: „Halbleiter-Leistungsbaulemente“, Springer Verlag, 2006
- [5] Meckler, P.; Gerdinand, F.: „Schalten von Photovoltaik-Anlagen – Spezielle Anforderungen an das Schaltverhalten von Niederspannungsschaltgeräten“, 20. VDE-Tagung Kontaktverhalten und Schalten, Karlsruhe 2009, VDE VERLAG, VDE Fachbericht 65.
- [6] Gerdinand, F.; Gümpelein, R.: „Switching of Green Energy – Reliable Switching and Protection of 400 V DC Systems Sustainably Powered by Photovoltaic Systems“, 33rd International Telecommunications Energy Conference, Amsterdam 2011, IEEE.