

Artikel

Neue effiziente Prüfmethode zur Zustandsbewertung von gasisolierten Schaltanlagen

Author

Andreas Nening, Omicron electronics GmbH, Klaus

Kurzfassung

Der Sektor der Energieversorgung ist ein weiterer Bereich, in dem ein anhaltender Trend weg von rein zeitbasierter zu zustandsbasierter Wartung beobachtet werden kann. Für eine schnelle Analyse einer platzsparenden gasisolierten Schaltanlage (GIS) benötigt ein Anlagenbetreiber Geräte und Prüfverfahren, mit denen die Analysen auf effiziente und nicht invasive Weise durchgeführt werden können. In diesem Artikel werden neue Messverfahren beschrieben, mit denen Messungen in GIS-Anlagen durchgeführt werden können, während die Anlagen im Netz verbleiben. Somit werden die Ausfallzeiten für die Leistungsschalterprüfung minimiert und potenziell Zeit und Kosten gespart.

Neue effiziente Prüfmethode zur Zustandsbewertung von gasisolierten Schaltanlagen

Um die Möglichkeit für wirkliche Einsparungspotenziale zu nutzen, ist auch im Energieversorgungssektor ein anhaltender Trend weg von rein zeitbasierter zu zustandsbasierter Wartung zu beobachten. Es wird in regelmäßigen Abständen mit möglichst geringem zeitlichen Aufwand der Zustand aller wichtiger Anlagenteile analysiert. Und in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Analyse wird nur bei Bedarf eine Wartung von betroffenen Anlagenteilen durchgeführt. Um derartige, schnelle Analysen auch im Bereich von platzsparenden gasisolierten Schaltanlagen (GIS) möglichst universell durchführen zu können, benötigt ein Anlagenbetreiber Geräte, die die Analysen effizient, d.h. in der Regel nicht-invasiv, vornehmen.

In-Service-Prüfvarianten

Viele herkömmliche Schaltzeitmessungen an GIS-Leistungsschaltern verlangten aus Sicherheitsgründen ein Freischalten der Anlage, bevor die Messleitungen an den Primärkontakten angebracht werden konnten. Andere Messverfahren mussten invasiv durchgeführt werden, was bedeutet, dass das isolierende SF₆-Gas vor der Messung abgelassen und nach der Messung wieder eingefüllt werden musste. Dies verursachte lange Prüfzeiten, und damit verbunden, lange Ausfallzeiten der zu prüfenden Anlagen, die für die Anlagenbetreiber sehr kostenintensiv waren.

Durch die konsequente Anwendung der hinlänglich bekannten fünf Sicherheitsregeln müssen alle Arten von Leistungsschaltern vor der Prüfung zuerst freigeschaltet und geerdet werden. Erst dann können die Messleitungen an die Primärkontakte angebracht werden. Dadurch wird sichergestellt, dass es während der Wartungsarbeiten am Prüfling zu keinen gefährlichen hohen Spannungen kommen kann. Diese könnten ansonsten durch versehentliches Zuschalten, aber auch durch induktive oder kapazitive Einkopplungen von benachbarten spannungsführenden Anlagenteilen, entstehen.

Mit diesem Wissen hat OMICRON neue Messmethoden entwickelt, die nun die Möglichkeit bieten Schaltzeiten an GIS-Anlagen zu messen, während die Anlagen im Netz verbleiben. Somit werden die Ausfallzeiten für die Leistungsschalterprüfung minimiert.

Grundvoraussetzung für die sichere Anwendung derartiger In-Service-Prüfungen ist die gefahrlose Zugänglichkeit der Sekundärgrößen Strom und Spannung. Das bedeutet, dass bei den neuen In-Service-Schaltzeitmessungen an Leistungsschaltern ein Anschließen des Prüfgerätes an den Primärkontakten vermieden und stattdessen ein vergleichsweise sicherer Anschluss an den Sekundärkontakten eines induktiven Strom- oder Spannungswandlers vorgenommen wird (Bild 1).

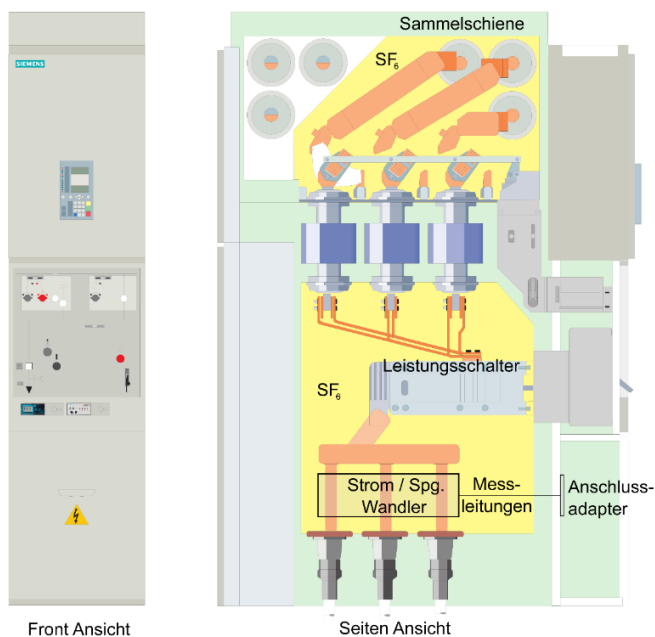


Bild 1: Mittelspannung-SF₆-Schaltanlage mit Strom- und Spannungswandler
(Quelle: SIEMENS, NXPlus Anwenderhandbuch)

Dadurch ist es möglich, sehr einfach die Zustände der Hauptkontakte festzustellen. Wird jetzt noch der Strom der Auslösespulen ins Prüfgerät eingelesen, kann die Schaltzeit direkt ermittelt werden (Bild 2).

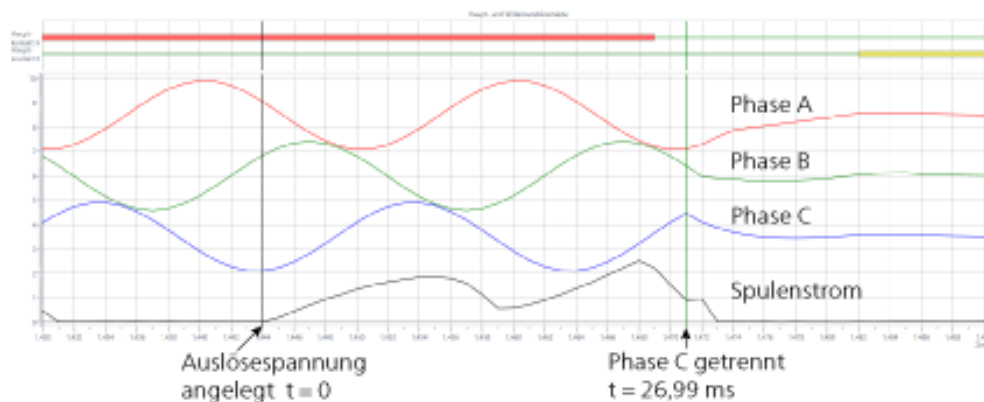


Bild 2: Schaltzeitmessung: Auswertung der Messgrößen

Das Leistungsschalterprüfsystem CIBANO 500 bietet für den Anschluss an die üblichen 1 A- oder 5 A-Stromwandler Stromzangen an. Für Spannungswandler stehen Spannungseingangskanäle mit einem Messbereich von 0 ... 300 V AC mit einer Messgenauigkeit von 0,03 % rd + 0,01 % fs zur Verfügung (Bild 3).

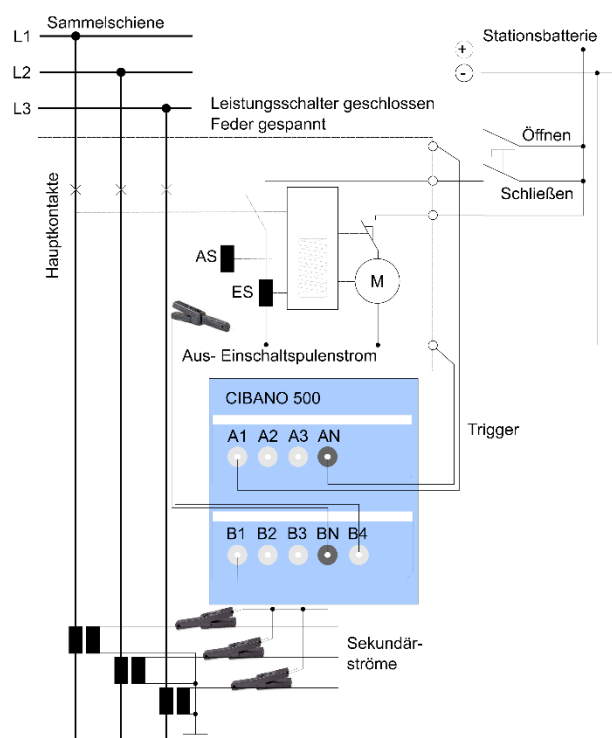


Bild 3: Anschlussbeispiel für Leistungsschalterprüfung mit Stromzangen

Die beschriebenen In-Service-Prüfvarianten über Strom- oder Spannungswandler muss man hier als Möglichkeit sehen, einfache Vorabprüfungen über bestimmte Parameter und das Verhalten eines Leistungsschalters vorzunehmen. Anhand der Ergebnisse dieser schnell durchführbaren Vorabprüfungen sollte man dann in der Lage sein zu beurteilen, ob abnormale Parameter oder Verhalten vorliegen, die eine tiefere Untersuchung des Leistungsschalters nötig machen, oder ob sich der Schalter in einem technisch einwandfreien Zustand befindet, der keiner weiteren Prüfung mehr bedarf.

Es ist auch darauf hinzuweisen, dass mit den In-Service Prüfmethode n nicht die Schaltereigenzeiten (Schaltzeitdefinitionen) nach IEC 62271-100, sondern die Schaltzeiten inklusive den Lichtbogenzeiten bestimmt werden (Bild 4). In der Regel wird man die Prüfung so gestalten, dass der Laststrom minimiert ist, bzw. bei der Verwendung von Spannungswandlern, durch ein abgangsseitiges Auftrennen des Netzes, ganz auf einen Stromfluss verzichten. Dadurch wird die Lichtbogenzeit minimiert und die Vergleichbarkeit der Schaltzeitmessungen erhöht.

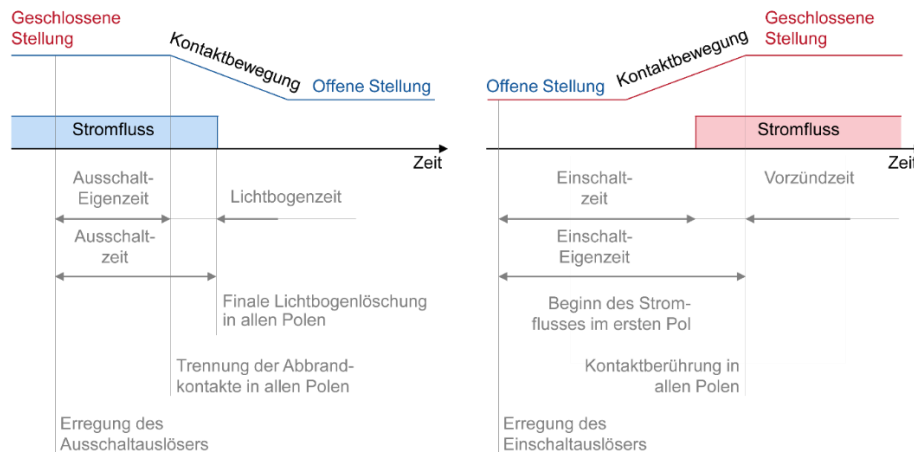


Bild 4: Schaltzeitdefinitionen nach IEC 62271-100

Praktische Anwendung First-Trip-Prüfung

Eine wirklich aussagekräftige First-Trip-Prüfung kann nur an einem Schalter vorgenommen werden, der bis zur Prüfung im Netz (In-Service) war. Eine First-Trip-Prüfung soll den recht häufigen Fall simulieren, dass ein Schalter, der längere Zeit nicht mehr geschaltet hat, plötzlich im Bedarfsfall einer Schutzauslösung schalten muss. Nun muss man davon ausgehen, dass er durch verhärtete Schmierstoffe, Oberflächenverschmutzung, Korrosion an mechanischen Elementen etc. entweder zeitlich verzögert, unvollständig oder gar nicht schaltet, was im Extremfall zur Beschädigung nachfolgender Anlagenteile führen kann, die der Schalter eigentlich schützen sollte.

Der Prüfaufbau der First-Trip Prüfung ist identisch zur In-Service Schaltzeitmessung mittels Stromzangen, wie bereits beschrieben. Der einzige Unterschied besteht darin, dass, per Definition, der Schalter davor nicht geschaltet werden darf. Auch hier ist wieder darauf hinzuweisen, dass hier nicht die klassischen Schaltereigenzeiten, sondern die *Schaltzeit* nach IEC 62271-100 bestimmt wird. Der Unterschied liegt darin, dass bei der Schaltzeit die Lichtbogenzeit mitberücksichtigt wird.

Deutliche Abweichungen von den Referenzwerten würden eine weitere Analyse notwendig machen. Abhängig vom Schaltertyp kann diese darin bestehen den Spulenstrom zu analysieren. Hinweise für eine verschmutzte bzw. verklebte Auslösespule würde man in einem veränderten Spulenstrom-Anstieg erkennen können. Für weiterführende Analysen wie Sichtkontrolle oder Bewegungsmessungen muss der Schalter dann komplett freigeschaltet und geerdet werden.

Effiziente Schaltzeitmessung an Hochspannungs-GIS-Anlagen

Warum ist eine beidseitige Erdung bei der Messung so wichtig?

In Hochspannungsschaltanlagen darf auf Erdungsmaßnahmen während Prüfarbeiten nicht verzichtet werden, da die induktive und kapazitive Beeinflussung von benachbarten Schaltfeldern untereinander sehr schnell lebensbedrohliche Größen annehmen kann. Trotzdem ist man auch hier bemüht, jeden zusätzlichen Aufwand, der mit dem SF₆-Handling bei GIS-Anlagen einhergeht, zu vermeiden. Man versucht einfache, schnelle und effiziente Prüfmethode n zu verwenden, die einen Einblick in den Zustand der Schaltanlagen gewähren und eine Beurteilung zulassen, ob noch weiterführende Prüfungen bzw. höherer Aufwand notwendig ist.

Eine verbreitete Methode verwendet für die Verbindung zwischen den Messleitungen und den Primärteilen isolierende Erder, ohne dass der Schalter ausgeschaltet werden muss.

Das Erdungssystem eines Leistungsschalters kann verschiedenartig ausgeführt sein. Bild 5 und Bild 6 zeigen die zwei am häufigsten vorkommenden Ausführungen von Erdungssystemen.

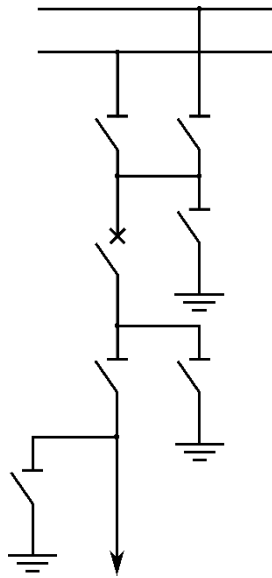


Bild 5 - Maximale Anzahl an Trenn- und Erdungsschaltern.

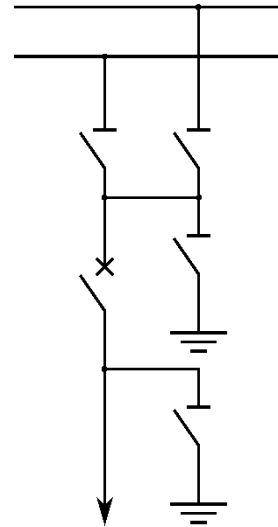


Bild 6 - Optimierte Anzahl an Trenn- und Erdungsschaltern.

Beide Erdungssystem-Varianten ermöglichen die Durchführung von Schaltzeitmessungen an beidseitig geerdeten GIS-Anlagen (BSG = both sides grounded), wenn mindestens eine Seite einen isolierten Erdungsschalter hat, d.h. einen Erdungs-Shunt enthält, um die Erdverbindung herzustellen (Bild 7). Aber nur für das Erdungssystem in Bild 6 wäre eine sichere Prüfung mit einseitig geerdeter Anlage (SSG = single side grounded) möglich, während die Sammelschiene noch unter Spannung steht.

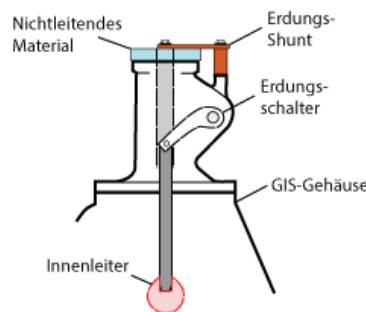


Bild 7 – Beispiel eines isolierten Erdungsschalters mit Erdungs-Shunt.

Methoden zur Schaltzeitmessung

DRM Methode

Eine mögliche Methode zur Schaltzeitmessung mit beidseitiger Erdung wäre die dynamische Widerstandsmessung (DRM = Dynamic Resistance Measurement) mit der der Widerstand über den Schalterpfad während der Schalterauslösung gemessen wird. Die Schaltzeit des Schalters wird dann mit Hilfe eines Schwellwerts ermittelt.

Schaltzeitmessungen mittels DRM an BSG-luftisolierten Schaltanlagen (AIS = Air-Insulated-Switchgear) durchzuführen stellt normalerweise kein Problem dar. Der Grund dafür ist, dass der Widerstand über den Schalterpfad im Normalfall wesentlich niedriger ist, als der Widerstand über den Erdfeld.

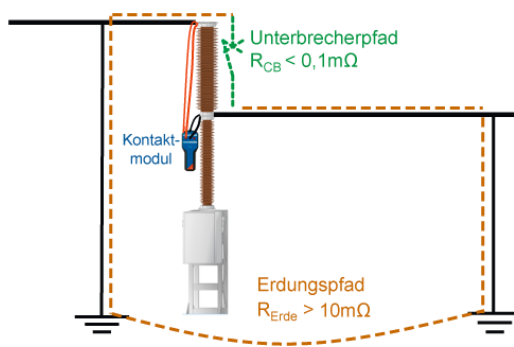


Bild 8 – Schaltzeitmessung mittels DRM an AIS.

Durch den deutlichen Widerstandsunterschied kann auch ein klarer Unterschied in der gemessenen Widerstandskurve festgestellt werden womit ein geeigneter Widerstandsschwellwert gewählt werden kann um festzustellen wann sich der Leistungsschalter im aus- („Open“) bzw. im eingeschalteten Zustand („Closed“) befindet.

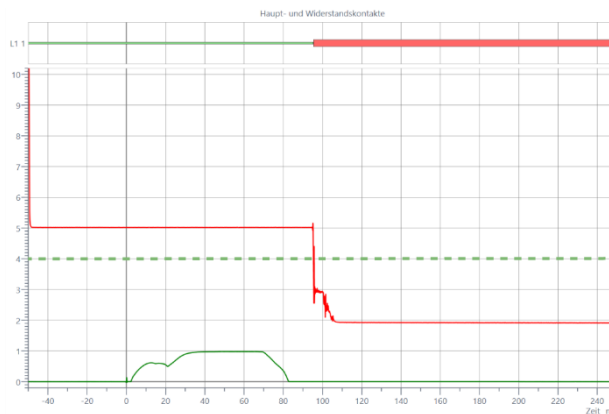


Bild 9 – Der Schwellwert (gepunktete, grüne Linie) kann gewählt werden um festzustellen wann sich der Leistungsschalter im aus- („Open“) bzw. im eingeschalteten Zustand („Closed“) befindet.

Eine größere Herausforderung ist eine Messung an einer beidseitig geerdeten GIS-Anlage, da der Widerstandswert über den Erdfeld des Gehäuses sehr nahe bei dem Widerstandswert über den Schalterpfad liegt. Manchmal ist er aufgrund der Vielzahl an Kontakten zwischen Messpunkt und tatsächlichem Schalterpfad sogar niedriger (Bild 10).

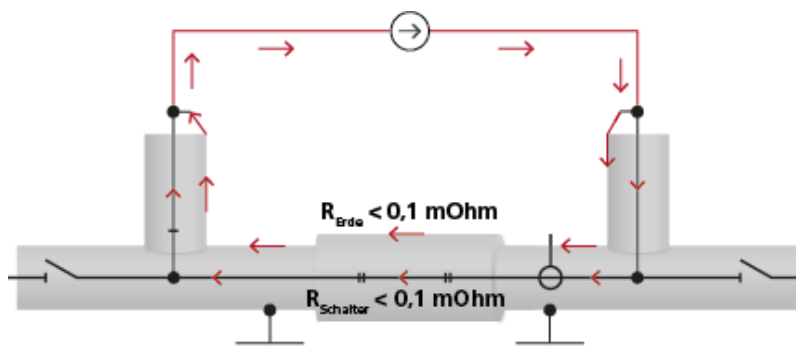


Bild 10 – Schaltzeitprüfung mittels DRM an GIS-Anlage.

In diesem Fall ist es nicht möglich einen geeigneten Schwellwert zu finden mit dem festgestellt werden kann wann sich der Leistungsschalter im aus- („Open“) bzw. im eingeschalteten Zustand („Closed“) befindet.

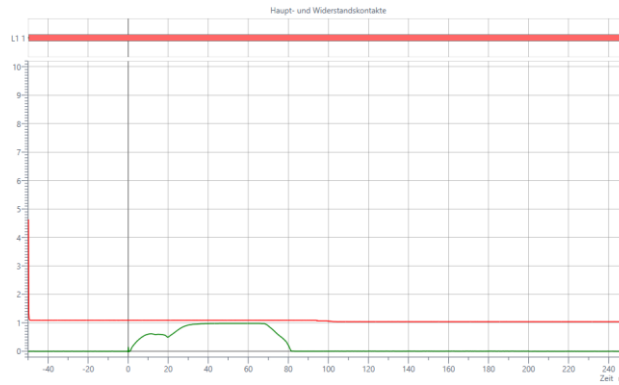


Bild 11 – Es kann kein Schwellwert gewählt werden um festzustellen wann sich der Leistungsschalter im aus- („Open“) bzw. im eingeschalteten Zustand („Closed“) befindet.

Deshalb muss entweder eine andere Messmethode eingesetzt werden oder das Erdungssystem des Leistungsschalters muss modifiziert werden.

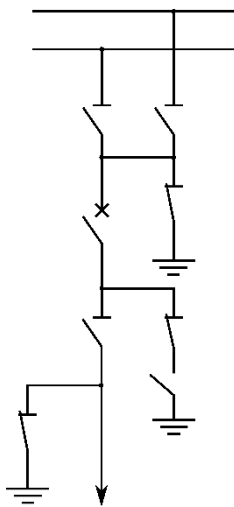


Bild 12 – Entfernung des Erdungs-Shunts auf einer Seite der GIS-Anlage zur Durchführung einer SSG-Schaltzeitprüfung.

Bild zeigt die maximale Anzahl von Trenn- und Erdungsschaltern. Wenn sich der markierte Erdungsschalter entfernen lässt (Bild12), dann ist eine sichere Messung mit einseitiger Erdung durchführbar.

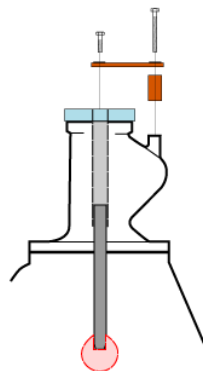


Bild 13 – Beispiel eines isolierten Erdungsschalters mit abnehmbarem Erdungs-Shunt.

Der Prüfer muss in diesem Fall aber genau wissen auf welcher Seite der GIS-Anlage der Erdungs-Shunt gefahrlos entfernt werden kann und muss ihn nach der Prüfung wieder an seiner ursprünglichen Position anbringen.

Hinweis: Es wird empfohlen den Erdungs-Shunt auf einer Seite nur dann zu entfernen, wenn der GIS-Leistungsschalter eingeschaltet ist.

CSM-Methode

Für Erdungssysteme wie in Bild 6 oder in Umgebungen, in denen es nicht erlaubt ist irgendwelche Erdungs-Shunts zu entfernen, kann eine Schaltzeitprüfung mittels DRM-Methode nicht durchgeführt werden.

In diesem Fall kann jedoch eine neue Methode namens CSM (Current Sensor Measurement = Stromsensor-Messmethode) eingesetzt werden. Bei dieser Methode wird ein Stromsensor (Rogowski-Spule) verwendet, der ganz einfach im Schalter- oder Erdfeld installiert wird.

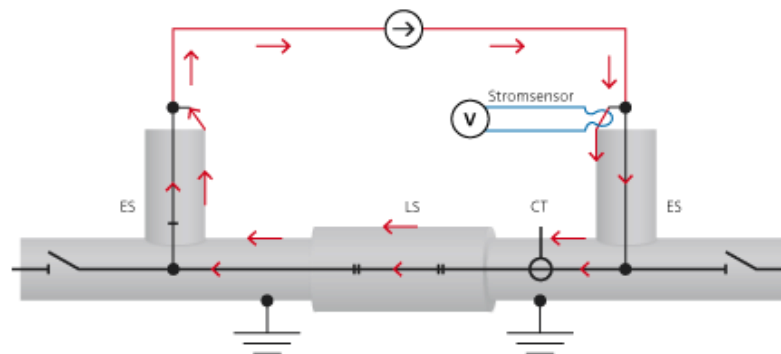


Bild 14 – Schaltzeitprüfung mit der CSM-Methode an GIS.

Ein Strom wird eingespeist der den Leistungsschalter ausgelöst. Die Schaltzeit des Schalters wird dann über die Kurve der induzierten Spannung ermittelt, die die Rogowski-Spule durch die Änderung des Stromflusses während der Auslösung erzeugt. Durch Reibung während der Bewegung und einem unterschiedlichen Widerstand zwischen Haupt- und Abbrandkontakten kann man eine Spannungs-„Wolke“ erkennen. In Abhängigkeit davon ob es ein Aus- oder Einschaltvorgang war, wird die Zeit unterschiedlich aus der Spannungs-„Wolke“ heraus interpretiert.

Bei einem Einschaltvorgang ist die erste Kontaktberührung am Anfang der Spannungs-„Wolke“.

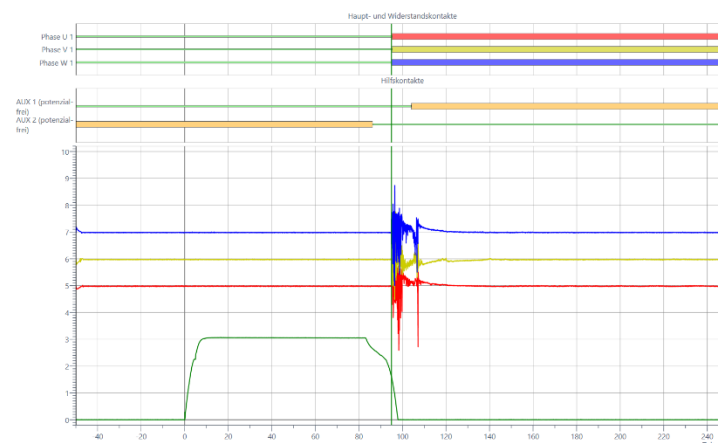


Bild 15 - Schaltzeitprüfung mit der CSM-Methode während dem Einschaltvorgang (grüne vertikale Linie).

Beim Ausschaltvorgang ist die Kontakttrennung am Ende der Spannungs-„Wolke“.

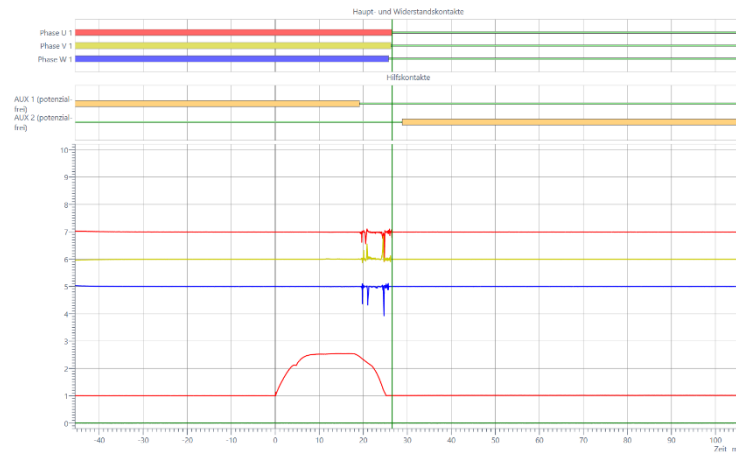


Bild 16 - Schaltzeitprüfung mit der CSM-Methode während des Ausschaltvorgangs (grüne vertikale Linie).

Die Frage ist natürlich, ob die Ergebnisse von der neuen CSM-Methode und der etablierten DRM-Methode vergleichbar sind. Um dies zu überprüfen, wurden Vergleichsmessungen durchgeführt.

Vergleich zwischen CSM- und DRM-Methode

Fallbeispiel

Dieser Vergleich wurde an einer 245 kV GIS-Anlage mit jeder Phase in einem eigenen Gehäuse durchgeführt. Das Umspannwerk stand unter Spannung, aber hatte ein Erdungssystem wie das in Bild so dass es möglich war den Erdungs-Shunt auf einer Seite zu entfernen, um die DRM mit einseitiger Erdung vorzunehmen.



Bild 17 - 245 kV GIS-Anlage mit je einem eigenen Gehäuse pro Phase.

Die folgenden Ergebnisse wurden während des Aus- und Einschaltvorgangs des Schalters aufgezeichnet.

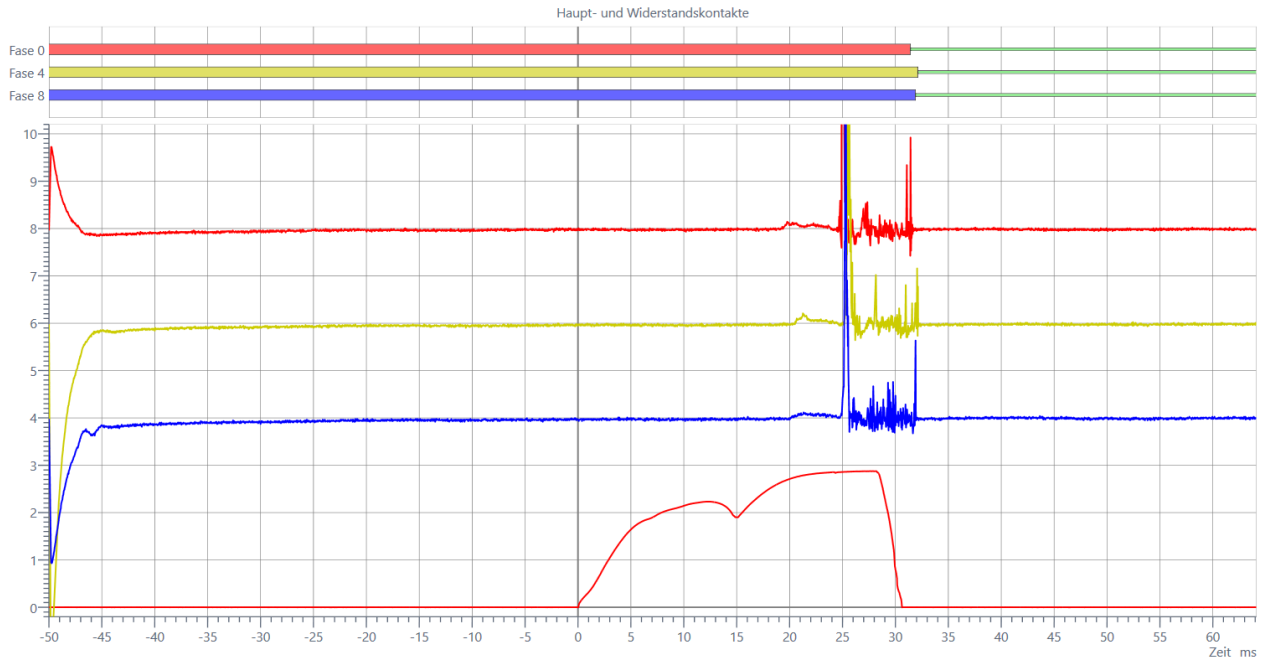


Bild 18 – Grafische Darstellung der CSM-Methode während des Ausschaltvorgangs

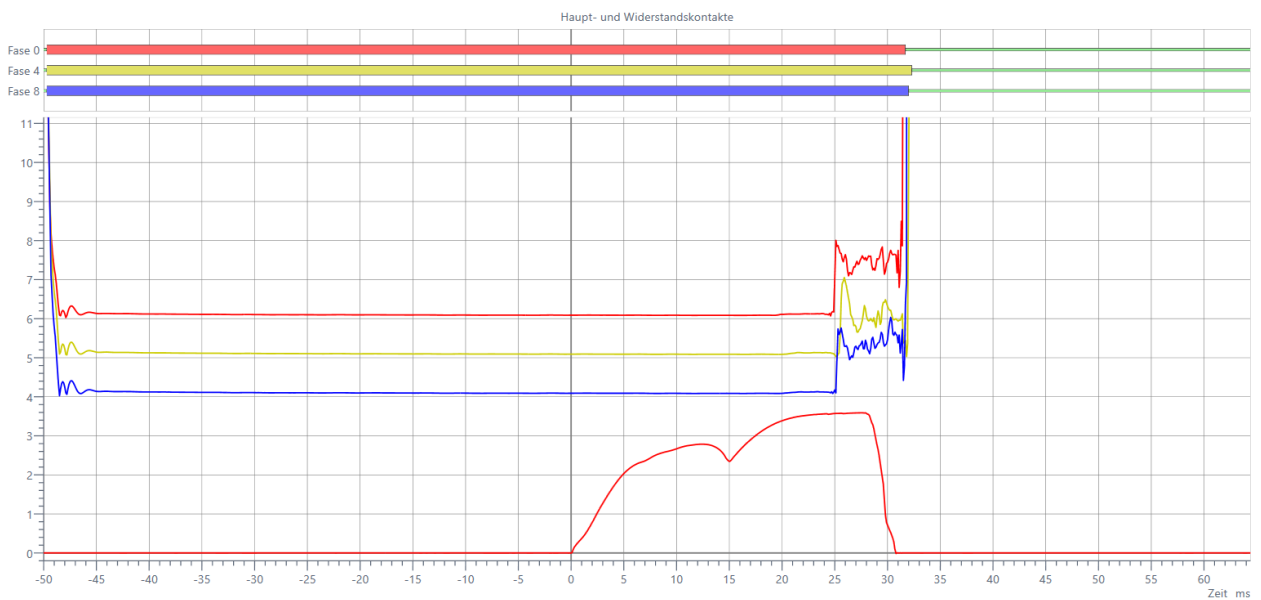


Bild 19 – Grafische Darstellung der DRM-Methode während des Ausschaltvorgangs

		Ausschalteigenzeit	Ausschaltysynch.			Ausschalteigenzeit	Ausschaltysynch.
	Schalter	32,12 ms	0,70 ms		Schalter	32,30 ms	0,60 ms
+	A	31,42 ms	ms	+	A	31,70 ms	ms
+	B	32,12 ms	ms	+	B	32,30 ms	ms
+	C	31,90 ms	ms	+	C	32,00 ms	ms

Bild 20 - Vergleich zwischen CSM (links) und DRM (rechts) während des Ausschaltvorgangs

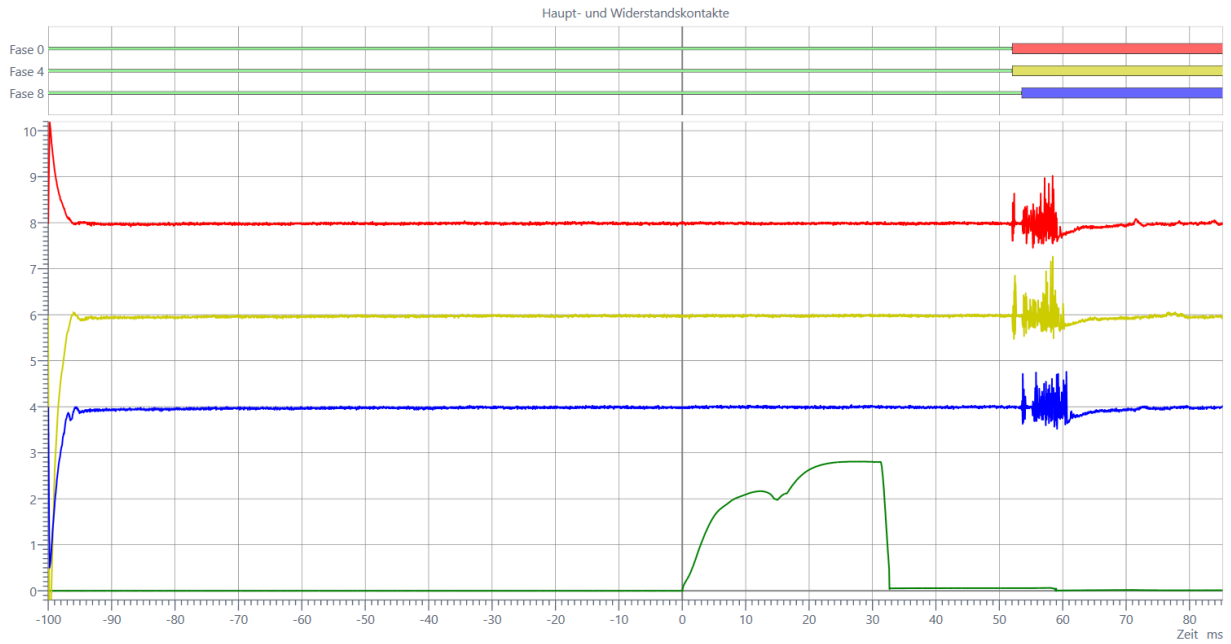


Bild 21 – Grafische Darstellung der CSM-Methode während des Einschaltvorgangs

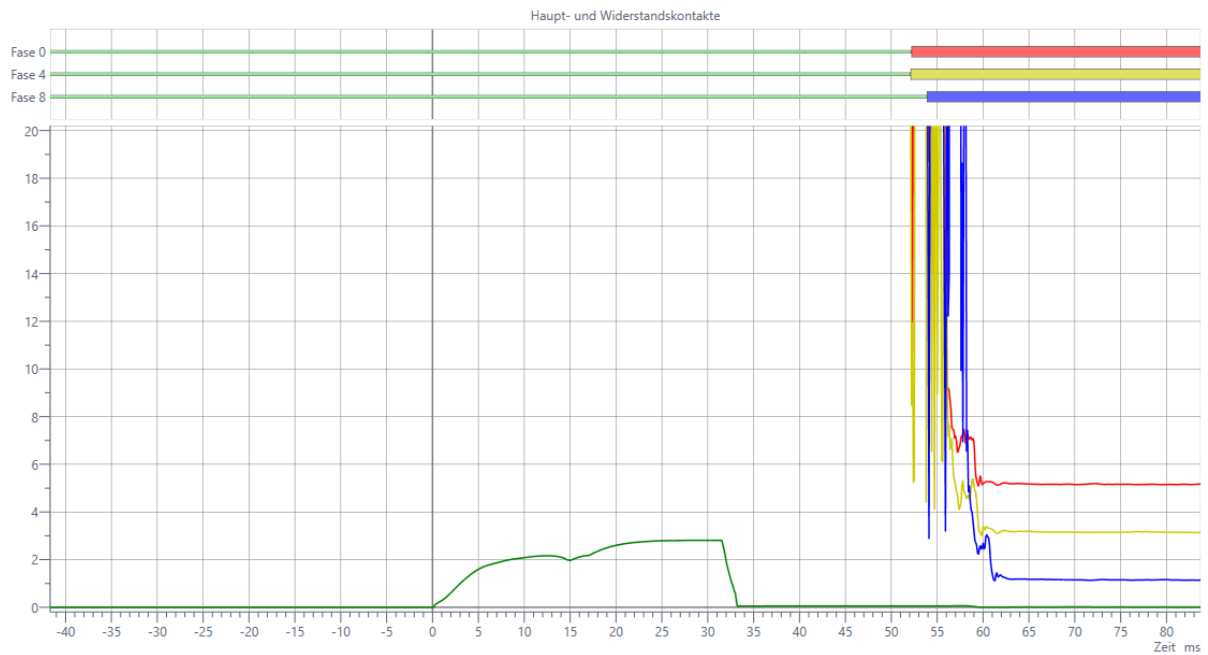


Bild 22 – Grafische Darstellung der DRM-Methode während des Einschaltvorgangs

		Einschalteigenzeit	Einschaltsynch.			Einschalteigenzeit	Einschaltsynch.
	Schalter	53,52 ms	1,50 ms		Schalter	53,90 ms	1,80 ms
+	A	52,02 ms	ms	+	A	52,20 ms	ms
+	B	52,02 ms	ms	+	B	52,10 ms	ms
+	C	53,52 ms	ms	+	C	53,90 ms	ms

Bild 23 – Tabellarischer Vergleich zwischen CSM (links) und DRM (rechts) während des Einschaltvorgangs

Der Vergleich zeigt, dass die Aus- und Einschaltzeiten weitgehend identisch sind.

Schlussfolgerung

Eine Schaltzeitprüfung mit der CSM-Methode kann folglich die gleichen zuverlässigen und aussagekräftigen Ergebnisse liefern, wie die DRM-Methode. Sie bietet aber noch zusätzlich den großen Sicherheitsvorteil, dass die Prüfung durchgeführt werden kann, während die GIS-Anlage über die gesamte Prüfdauer beidseitig geerdet bleiben kann. Dadurch wird die Prüfung für den Prüflingenieur wesentlich sicherer und gleichzeitig werden die Prüf- und Ausfallzeiten minimiert, da die Erdungs-Shunts nicht entfernt werden müssen.

Schrifttum:

[1] T. Renaudin: „Nicht-invasive Vor-Ort-Prüfung von Leistungsschaltern“, OMICRON-Artikel, Toronto, Kanada 2016

[2] M. Weuffel, T. Krampert, C. Rausch und A. Schnettler: „Messverfahren zur minimal-invasiven Schaltzeitmessung an beidseitig geerdeten gasisolierten Schaltanlagen“, bei der Fachtagung Hochspannungs-Schaltanlagen, GIS-Anwenderforum, Darmstadt am 11. Oktober 2016 präsentiertes Paper.

[3] A. Tironniemi: „Safe timing tests on GIS with both sides grounded“, bei der SNAGS ANALYTICS ANNUAL POWER CONFERENCE, Ajman am 27. April 2018 präsentiertes OMICRON-Paper.



Andreas Nennung, OMICRON electronics GmbH, Klaus, Österreich, hat einen Abschluss in Automatisierungstechnik und Mechatronik an der FH Vorarlberg in Dornbirn (Österreich). Seit September 2013 ist er Produktmanager des neuen Leistungsschalterprüfsystems CIBANO 500 von OMICRON.

Er begann seine berufliche Laufbahn mit einer Ausbildung bei den Stadtwerken Feldkirch (Österreich). Danach machte er seinen Masterabschluss an der FH Vorarlberg in Dornbirn. Anschließend arbeitete er einige Jahre als Anwendungstechniker und Projektleiter im Ausland, bevor er schließlich nach Österreich zurückkehrte und als Produktmanager im Bereich Dezentrale erneuerbare Energien fungierte. Andreas ist Mitglied der Arbeitsgruppe "Cigré Working Group A2.32" (nicht-intrusive Verfahren zur Zustandsbeurteilung von Leistungsschaltern).

andreas.nennung@omicronenergy.com, www.omicronenergy.com

OMICRON ist ein weltweit tätiges Unternehmen, das innovative Prüf- und Diagnoselösungen für die elektrische Energieversorgung entwickelt und vertreibt. Der Einsatz von OMICRON-Produkten bietet höchste Zuverlässigkeit bei der Zustandsbeurteilung von primär- und sekundärtechnischen Betriebsmitteln. Umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Beratung, Inbetriebnahme, Prüfung, Diagnose und Schulung runden das Leistungsangebot ab.

Kunden in mehr als 140 Ländern profitieren von der Fähigkeit des Unternehmens, neueste Technologien in Produkte mit überragender Qualität umzusetzen. Servicezentren auf allen Kontinenten bieten zudem ein breites Anwendungswissen und erstklassigen Kundensupport. All dies, zusammen mit einem starken Netz von Vertriebspartnern, ließ OMICRON zu einem Marktführer der elektrischen Energiewirtschaft werden.

Mehr Informationen, eine Übersicht der verfügbaren Literatur und detaillierte Kontaktinformationen unserer weltweiten Niederlassungen finden Sie auf unserer Website.