

Hauptanwendungsgebiete von Leistungsschaltern

W. Esser, Bonn

Neben der Grundfunktion des betriebsmäßigen Ein- und Ausschaltens von Stromkreisen beherrschen Leistungsschalter umfassend die vier Hauptanwendungsgebiete Anlagen-, Motor-, Transformator- und Generatorschutz. Hinzu kommen die zusätzlich erfüllten Anforderungen des Personenschutzes. Die verschiedenen Einsatzgebiete stellen jeweils etwas andere Anforderungen an die Schalter.

1 Einteilung und Anwendungen

Bei Leistungsschaltern (Bild 1) wird nach konstruktiven Merkmalen unterschieden zwischen MCCB (Kompaktschaltern, Molded Case Circuit Breaker) und ICCB (offenen Leistungsschaltern, Insulated Case Circuit Breaker). Kompaktleistungsschalter werden als Abgangsschalter mit verschiedenen Schutzaufgaben in allen Niederspannungs-Energieverteilungsanlagen eingesetzt. In kleinen bis mittleren Verteilungen dienen sie auch als Einspeiseschalter bis 1600 A. Statistisch liegen etwa 80 % der Leistungsschalterstückzahlen im Strombereich bis 250 A mit deutlichen Maxima bei 63, 100 und 160 A. Offene Leistungsschalter kommen als große Einspeiseschalter und als leistungsstarke Abgangsschalter zum Einsatz (übliche Strombereiche 400 bis

6300 A). In dem Strombereich, in dem sich das Kompaktschalter- und das offene Leistungsschalter-Angebot überschneiden, werden die offenen Schalter eher aus konzeptionellen Gründen verwendet. Zusätzlich gibt es Leistungsschalter ohne Schutzfunktionen als Lasttrennschalter. Dies ist möglich, weil diese Leistungsschalter auch Trenner- und Hauptschalttereigenschaften besitzen. Lasttrennschalter werden z. B. als Kuppelschalter zwischen unterschiedlichen Teilen der Netze eingesetzt. Im Bereich der Energieverteilung sind Lasttrenn- und Leistungsschalter die wichtigsten Schalt- und Schutzgeräte generell. An den kritischen Knotenpunkten der elektrischen Energieversorgung, von denen die Stromversorgung ganzer Fabriken oder ganzer Stadtteile abhängt, ist gerade der schmelzsicherungslose Schutz durch Leistungsschalter mit seiner schnellen Wiedereinschaltbereitschaft von zentraler Bedeutung. Selektiver Schutz auf verschiedenen Netzebenen stellt eine hohe Anlagen- und Prozessverfügbarkeit sicher. Unter Selektivität versteht man, dass nur der kurzschlussnahe Schalter auslöst.

Autor

Dipl.-Ing. Wolfgang Esser ist Mitarbeiter der Fa. Moeller, Bonn.

Zu den Vorteilen der Leistungsschalter, speziell gegenüber Schmelzsicherungen, zählt das allpolige Abschalten, die Möglichkeit, differenzierte Meldungen über den Grund der Auslösung (Kurzschluss oder Überlast) abzugeben und sich, je nach Art der Störung, aus der Ferne auch wieder einschalten zu lassen. Neben der Energieverteilung werden Leistungsschalter an Maschinen – mit einem besonders hohen Stückzahlanteil bei den kleineren Strömen – als Hauptschalter (Netztrenneinrichtung) mit oder ohne Schutzfunktionen eingesetzt. An Maschinen ist der Bemessungsstrombereich der Kompaktleistungsschalter in aller Regel ausreichend. Die vorgestellten Schalter besitzen alle Hauptschalter- und Trenneigenschaften und sind mit ihren abschließbaren Handhaben für diesen Einsatz nach IEC/EN 60 204-1 [1] geeignet (Bild 2). Bei der Anwendung als Not-Aus-Schalter müssen Handhaben in der Farbe rot mit gelbem Hintergrund eingesetzt werden. Maschinen-Hauptschalter werden sehr häufig als Lasttrennschalter eingesetzt, da bereits das Zuleitungskabel am Leitungsbeginn gegen Kurzschluss und Überlast geschützt wurde. In diesem Fall dient der Schalter der Trennung vom Netz.

2 Anwendungsabhängige Parameter

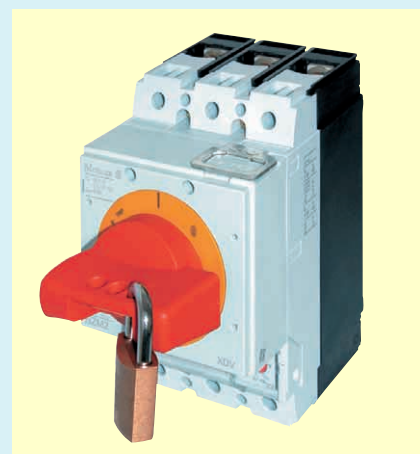
Neben der Grundfunktion des betriebsmäßigen Ein- und Ausschaltens von Stromkreisen beherrschen Leistungsschalter umfassend die vier hauptsächlichen Anwendungsgebiete

- Anlagenschutz
- Motorschutz
- Transformatorschutz und
- Generatorschutz.



1 Kompaktleistungsschalter (Vordergrund) und offene Leistungsschalter. Die abgebildeten Schalter übernehmen Schalt- und Schutzaufgaben bis 6300 A.

Fotos: Moeller



2 Ein wichtiges Anwendungsgebiet für Kompaktleistungsschalter ist der Einsatz als Hauptschalter (Netztrenneinrichtung) und Not-Aus-Einrichtung. Hier ist die rot/gelbe Handhabe erforderlich, die sich auch abschließen lässt.

Unter den Anlagenschutz fällt der Schutz von Kabeln und Leitungen, aber auch der Schutz von Sammelschienen. Sammelschienen haben eine hohe Bedeutung in Schaltanlagen zur Energieverteilung (Punktverteiler), aber auch als Linienverteiler, der Alternative zu Kabeln. Unter dem Anlagenschutz versteht man auch den Schutz der in die Schaltanlagen eingebauten Betriebsmittel, der Schalt-, Schutz- und Befehlsgeräte sowie der Automatisierungssysteme. Die Einsatzgebiete Motorschutz, Generatorschutz und Transformator-schutz dienen dem spezifischen Schutz dieser Betriebsmittel.

Neben diesen mehr auf den Schutz von Wirtschaftsgütern ausgerichteten Anwendungen dürfen die zusätzlich erfüllten Anforderungen des Personenschutzes nicht übersehen werden. Der Personenschutz erfolgt als Schutz gegen elektrischen Schlag durch das schnelle automatische Abschalten gefährlicher Berührungsspannungen. Die verschiedenen Schalterbaugrößen verfügen zusätzlich über eine optionale Fehlerstrom- bzw. Erdschluss-Schutzfunktion. Bei allen Baugrößen erfolgt der Personenschutz durch die Freischaltung von Abgängen und Verbrauchern. Eine weitere Zusatz-Schutzfunktion, den Unterspannungsschutz, können die Leistungsschalter in recht

groben Grenzen übernehmen, wenn sie mit einem Unterspannungsauslöser ausgestattet sind. Diese Zusatzausrüstung sichert auch den Schutz gegen selbsttätigen Wiederanlauf nach Ausfall der Netzspannung.

Die vier aufgezählten Anwendungsgebiete stellen, wie folgend beschrieben, jeweils etwas andere Anforderungen an die Schalter (Tafel 1). Die wichtigsten anwendungsabhängigen Parameter für die Leistungsschalterauswahl sind hierbei die unterschiedlichen Einschaltspitzenströme der zu schützenden Betriebsmittel mit ihrem unterschiedlichen Strom-/Zeitverhalten, die regulären Betriebsströme, die möglichen Überlastströme mit ihrem unterschiedlichen Strom-/Zeitverhalten und schließlich die möglicherweise auftretenden Kurzschlussströme.

Bei den Kurzschlussströmen stellt sich nicht nur die naheliegende Frage, wie hoch diese maximal werden können, sondern auch, ob die Ströme im Fehlerfall überhaupt – über den Überlastbereich hinaus – in den Kurzschlussstrombereich kommen, um den Schalter ausreichend schnell auszulösen und um dadurch die nachgeschalteten Betriebsmittel vor Schädigungen zu schützen. Die Frage nach der ausreichenden Stromhöhe stellt sich hauptsächlich bei schwachen Generatoren oder in

Stromkreisen mit großen Leitungslängen, also bei hoher Leitungsimpedanz und hohem Spannungsfall. Deshalb gibt es beispielsweise besondere Generatorschutzschalter. Zeitkritisch ist aber auch die rasche Abschaltung im Fehlerfall entstehender gefährlicher Berührungsspannungen für den Personenschutz (Nul-lungsbedingungen beachten, IEC/EN 60 364-4-41, VDE 0100 Teil 410) [2]). Zusätzlich kann es im Kurzschlussfall auch zu unerwünschten, starken Spannungsabsenkungen kommen, die undefinierte Schaltzustände der Schütze oder der spannungsabhängigen Auslöser in der Anlage bewirken können und die deshalb ebenfalls eine rasche Kurzschlussabschaltung verlangen. Hier können Unterspannungsauslöser unterstützend wirken.

3 Anomale Netzbedingungen

Dieser Beitrag geht von dem Regelfall der Drehstromnetze mit einer Frequenz von 50...60 Hz aus. Bei selten vorkommenden anomalen, kleineren oder größeren Frequenzen sind Korrekturfaktoren für die Einstellung der Auslöser zu berücksichtigen (Katalog). Eine Korrektur kann auch bei nicht sinusförmigen

gen Spannungen oder in Oberschwingungsbehafteten Netzen oder Abzweigen erforderlich sein, die man durch die vielen Anwendungen der Leistungselektronik immer häufiger antrifft. Wegen einer höheren Erwärmung bei höheren Frequenzen bzw. Oberschwingungen und Wirbelstromverlusten kann eine Reduzierung des zulässigen Dauerstroms und des Schaltvermögens erforderlich sein (Derating). Das Schalten von Spannungen mit kleineren Frequenzen ist für die Schalter durch die längeren Stromführungsdauern bis hin zu ganz wegfallenden Stromnulldurchgängen schwieriger und erfordert ebenfalls eine besondere Dimensionierung der Schalter und Schaltungsmaßnahmen, wie die Reihen- oder Parallelschaltung von mehreren Kontakten. Bei Gleichströmen sind Schalter mit elektromechanischen Bimetall-Auslösern einzusetzen, da die elektronischen Auslöser mit Stromwandlern arbeiten.

4 Anlagen- oder Motorschutz

Zu den grundsätzlichen Anforderungen an einen Schutzschalter gehört es, dass er nicht unnötig auslöst. Deshalb definieren die Normen Auslösegrenzen für verschiedene Applikationen. Die beiden stückzahlstarken Anwendungsgebiete Anlagenschutz und Motorschutz weisen nach Tafel 1 einige wesentliche Unterschiede in den Anforderungen an die eingesetzten Leistungsschalter auf. Einen wichtigen Unterschied bildet das Merkmal der Phasenausfallempfindlichkeit. Dieses Merkmal kennt die Leistungsschalter-Norm IEC/EN 60947-2 [3] nicht. Die Phasenausfallempfindlichkeit stellt Phasensymmetrien in den Grenzen fest, die die IEC/EN 60947-4-1 [4] für den Motorschutz (Motorstarter-Norm) festlegt. Insbesondere soll durch die Phasenausfallempfindlichkeit eine schnellere Auslösung erreicht werden, wenn eine Phase ganz ausfällt, weil Motoren bestimmter Größen auf diese Unterversorgung empfindlich reagieren. Die Phasenausfallempfindlichkeit wird für Leistungsschalter als Teil eines Motorstarters relevant. Während bei Leistungsschaltern im Anlagenschutz eine unterschiedlich hohe Belastung der einzelnen Phasen durchaus als Normalfall anzusehen ist, ist die asymmetrische Belastung der Phasen beim Motorschutz ein Zeichen für eine Störung im Motor bzw. hauptsächlich im Leitungszug zum Motor. Im ersten Fall könnte ein phasenausfallempfindlicher Schalter störend sein, weil er zu unnötigen Auslösungen führen könnte, im zweiten Fall handelt es sich um eine sinnvolle Schutzfunktion. Deshalb werden Leistungsschalter mit und ohne Phasenausfallempfindlichkeit angeboten.

Eine weitere Praxisforderung kennt die Leistungsschalter-Norm nicht. Ein Leistungsschalter wird aufgrund seines Konstruktionsprinzips keine AC-4-Schaltaufgaben (Tippen,

Tafel 1 Unterschiedliche Anforderungen für die beiden stückzahlstarken Anwendungen der Leistungsschalter, den „Anlagenschutz“ nach IEC/EN 60 947-2 [3] und den „Motorschutz“ nach IEC/EN 60 947-4-1 [4]

Merkmal	Anlagenschutz	Motorschutz
relevante Normen	IEC/EN 60 947-1 [5] IEC/EN 60 947-2 [3]	IEC/EN 60 947-1 [5] IEC/EN 60 947-4-1 [4]
Grenzstrombereich Umgebungstemperatur	Herstellerangabe 40 °C (bei Moeller)	Normwert 20 °C
konventioneller Nichtauslösestrom ¹⁾ für die stromabhängig verzögerte Auslösung (darf nicht auslösen innerhalb von 2 h ²⁾ bei allpoliger Belastung, bei Bezugstemperatur)	1,05 x Stromeinstellwert ²⁾ 1 h bei ≤ 63 A	1,05 x Stromeinstellwert
konventioneller Auslösestrom ¹⁾ für die stromabhängig verzögerte Auslösung (muss früher als in 2 h ²⁾ auslösen, nach Belastung mit dem Nichtauslösestrom)	1,30 x Stromeinstellwert ²⁾ 1 h bei ≤ 63 A	1,20 x Stromeinstellwert
Phasenausfallempfindlichkeit Definition: darf nicht auslösen innerhalb von 2 h bei: muss innerhalb von 2 h auslösen bei:	nicht vorgesehen (nicht sinnvoll, da in der Anlage die Strombelastung der Phasen unsymmetrisch sein darf und häufig ist)	alternativ zulässig (sinnvolle Schutzfunktion, da die Stromverteilung der Phasen bei Motoren symmetrisch sein soll) 2 Pole 1,0 x Stromeinstellwert 1 Pol 0,9 x Stromeinstellwert 2 Pole 1,15 x Stromeinstellwert 1 Pol 0 x Stromeinstellwert
Ansprechwert der Kurzschlussauslöser (Praxiswerte) I_f = Einstellwert des Überstromauslösers	ca. 6...10 x I_f	ca. 8...14 x I_f
Unempfindlichkeit gegenüber dem Anlaufstrom	bedingt erforderlich	erforderlich
Selektivität	bei mehreren in Reihe liegenden Schaltern meistens erforderlich	sinnvoll
Überstromauslöser	müssen nicht einstellbar sein	einstellbar
Auslöseklassen	nicht vorgesehen	sinnvoll (zur Anpassung an das Anlaufverhalten des Motors)
Thermisches Gedächtnis	sinnvoll	unbedingt erforderlich

¹⁾ Begriffe sind aussagekräftig, werden aber nur in der IEC/EN 60 947-2 verwendet
²⁾ siehe in zweiter Spalte

Reversieren) übernehmen müssen. Allerdings können nachgeordnete Schütze die AC-4-Schaltaufgabe entsprechend der IEC/EN 60947-4-1 übernehmen. Es ist deshalb sicherzustellen, dass der Leistungsschalter die für den AC-4-Betrieb typischen Spitzenströme führen kann, ohne vorzeitig auszulösen. Offene Leistungsschalter werden wegen ihrer höheren Strombereiche weniger häufig für den Motorschutz eingesetzt. Trotzdem gibt es auch diese Bauform mit Phasenausfallempfindlichkeit und einer 20-ms-Verzögerung des Auslösers zur Ausblendung von Einschaltspitzenströmen. Es ist auch üblich, den Motorschutz durch eine Kombination aus einem Leistungsschalter mit Kurzschlussauslöser, aber ohne Überstromauslöser und stattdessen mit einem zusätzlichen Motorschutzrelais zu realisieren. Diese Möglichkeit bietet sich beispielsweise

an, wenn bei dem Motor besondere Anlaufbedingungen zu berücksichtigen sind (z. B. Schweranlauf). Solche Kombinationen sind aber auch von Bedeutung, wenn der Leistungsschalter nur den Kurzschlusschutz übernehmen soll und im Überlastfall nicht auslösen darf. Nach einer mechanischen Entlastung können dann ungefährliche Antriebe in bestimmten Prozessen (ohne Personengefährdung) selbsttätig wieder anlaufen. Durch die Kombination mehrerer Leistungsschalter mit Motorantrieben lassen sich Wende-, Polumschalt- und automatische Stern-Dreieck-Kombinationen für Motoren großer Leistung realisieren. Man geht in diesem Fall davon aus, dass sehr große Motoren nur selten geschaltet werden, um dann über eine lange Zeit zu laufen. Für diese Schalthäufigkeiten reicht die Lebensdauer der Leistungsschalter mit Fernantrieben aus.

Wenn es darum geht, größere Motoren mit höherer bis hoher Schalthäufigkeit zu schalten, sind die schmelzsicherungslosen Motorstarter-Kombinationen bestehend aus Leistungsschalter und Leistungsschütz von hoher technischer und wirtschaftlicher Bedeutung. Bei den schmelzsicherungslosen Motorstartern übernimmt der Leistungsschalter im Normalfall gleichzeitig den Kurzschluss- und Überlastschutz für das Schütz. Beim Einsatz eines zusätzlichen Motorschutzrelais muss der Leistungsschalter auch dessen Kurzschlusschutz sicherstellen. Zum Teil ergänzen sich Leistungsschalter und Schütz bei der Beherrschung der Kurzschlussabschaltung. Bei den schmelzsicherungslosen Motorstartern ist es, genau wie bei schmelzsicherungsbehafteten Kombinationen, erforderlich, eine Betrachtung über die Höhe der möglichen Kurzschlussströme anzustellen und bei der Kurzschlusschutzkoordination zwischen den Zuordnungsarten „Typ 1“ oder „Typ 2“ zu wählen (Tafel 2). Leistungsschalterhersteller stellen in ihren Katalogen umfangreiche Auswahlhilfen für Motorstarter für beide Zuordnungsarten, unterschiedliche Spannungen und unterschiedliche bedingte Bemessungskurzschlussströme I_q bereit.

5 Leistungsschalter für den Generatorschutz

Beim Generatorschutz kommt der Schutz des Drehstrom-Generators im Inselbetrieb in Frage, oder im Netz-Parallelbetrieb werden automatische Netzumschalteinrichtungen mit Leistungsschaltern und Motorantrieben realisiert, die die Synchronisationsbedingungen zwischen Netz und Generator berücksichtigen. Beim Generatorschutz werden überwiegend Leistungsschalter mit niedrig eingestellten

Kurzschlussauslösern eingesetzt. Es sind heute allerdings auch Generator-Bordnetze auf Schiffen mit einer Kurzschlussleistung von bis zu 200 kA anzutreffen. Die Energieversorgung auf diesen Schiffen erfolgt häufig über impedanzarme Stromschienen-Systeme, die die Kurzschlussströme kaum dämpfen. Es ist beim Generatorbetrieb in Notstrom- und Bordnetzen zu beachten, dass die weitere Versorgung der elektrischen Betriebsmittel häufig vorrangig ist gegenüber dem Schutz der Generatoren. Werden mehrere Generatoren parallel

Tafel 2 Definition der Zuordnungsarten für die Kurzschluss-Koordination Typ 1 und Typ 2 nach IEC/EN 60947-4-1 [4] (sinngemäß gekürzt). Bei beiden Zuordnungsarten empfiehlt sich nach jeder Kurzschlussabschaltung eine Sicht- und Funktionskontrolle.

Typ „1“	Typ „2“
Das Schütz oder der Starter darf im Kurzschlussfall Personen und Anlagen nicht gefährden.	Das Schütz oder der Starter darf im Kurzschlussfall Personen und Anlagen nicht gefährden.
Das Schütz oder der Starter braucht für den weiteren Betrieb ohne Reparatur und Teileerneuerung nicht geeignet zu sein.	Das Schütz oder der Starter muss für den weiteren Gebrauch geeignet sein.
Beschädigungen des Schützes und des Überlastrelais sind zulässig.	Es darf keine Beschädigung des Überlastrelais oder anderer Teile auftreten.

geschaltet, ist gegebenenfalls eine Kurzschlussstromberechnung erforderlich. Wenn ein schwaches Generatormetz auch Motoren versorgt, müssen unter Umständen kurzzeitverzögerte Kurzschlussauslöser beim Leistungsschalter ausgewählt werden, um die Anlaufströme der Motoren zu beherrschen. Für den Überlastschutz stellt man den Überlastauslöser des Leistungsschalters üblicherweise auf Generatorbemessungsstrom ein. Kurzzeitverzögerungen können auch erforderlich sein, um die geforderte Überlastbarkeit der Generatoren im Notfallfall nutzen zu können.

Anzeige

6 Transformatorchutz auf Primär- und Sekundärseite

Die in Bild 1 vorgestellten Leistungsschalter sind Niederspannungsschalter. Daher erfolgt der Transformatorchutz in Form des Kurzschluss- und des Überlastschutzes überwiegend auf der Sekundärseite des Transformators.

Es ist oft günstiger, den Überlastschutz für den Transformator auf dessen Sekundärseite sicherzustellen, da häufig auf der Primärseite Schmelzsicherungen eingesetzt werden, die den Überlastschutz nicht übernehmen können. Wenn die Primärwicklung des Transformators mit einer Niederspannung versorgt wird, können die vorgestellten Schalter auch den primärseitigen Schutz übernehmen.

Es ist bei der Dimensionierung der Schalter für den primärseitigen Einbau zu beachten, dass der Einschaltstrom I_R (Rush-Strom) beim 15- bis 30-fachen des Bemessungsstromes des Transformators liegen kann. Die Auslösezeit muss kürzer sein als die maximal zulässige Kurzschlussdauer des Transformators (größenabhängig zwischen 2 und 4 s gestaffelt).

Eine Selektivität zwischen sekundärseitigen und primärseitigen Schutzorganen ist anzustreben. Niederspannungsleistungsschalter sind besonders vorteilhaft, da sie nach einer Störung leicht wieder eingeschaltet werden können und dabei keiner besonderen Schaltberechtigung, wie auf der Mittel- oder Hochspannungsseite üblich, bedürfen.

Von geringerer Bedeutung ist das Schalten und Schützen von Kondensatoren und Beleuchtungsmitteln durch Leistungsschalter. Auch hierfür werden Leistungsschalter im Bedarfsfall erfolgreich eingesetzt. Bei Beleuchtungsanlagen sind bei möglicherweise unsymmetrischer Last Leistungsschalter ohne Phasenausfallempfindlichkeit einzusetzen.

7 Fazit: Mehr Intelligenz und Kommunikation

Leistungsschalter gehören zu den elektromechanischen Schaltgeräten, die auf absehbare Zeit – wegen der Normensituation und ihrer großen physikalischen Vorteile – nicht durch Halbleiter-Entwicklungen abgelöst werden. Durch elektronische Baugruppen und Softwarelösungen für die Informationsverarbeitung werden die Schalter aber immer „intelligenter“ und vielseitiger einsetzbar [6].

In der Einspeisung einer Schaltanlage übernimmt der Leistungsschalter eine dominante Rolle, in der gesamten elektrischen Infrastruktur ist er nur ein Baustein, der mit anderen Bausteinen gemeinsam ein wirksames Schutzkonzept realisiert. Dazu muss er Informationen austauschen. Das macht man heute zunehmend elektronisch und vorzugsweise über Bus-Systeme. Bei den vorgestellten Schaltern ist die Einbindung in die Profibus-Welt möglich. Die Kommunikationsmöglichkeiten lassen darüber hinaus eine Ethernet-Anbindung zu.

Literatur

- [1] IEC/EN 60 204-1, DIN VDE 0113 Teil 1 „Sicherheit von Maschinen, Elektrische Ausrüstung von Maschinen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ (IEC 204-1: 1997 + Corrigendum 1998).
- [2] IEC/EN 60 364-4-41, modifiziert, bzw. DIN VDE 0100-410 „Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen bis 1000 V, Teil 4: Schutzmaßnahmen, Kapitel 41: Schutz gegen elektrischen Schlag“ (1992, 1997), Deutsche Fassung HD 384.4.41 S2 (1996) und Entwurf A1.
- [3] IEC/EN 60 947-2, VDE 0660 Teil 101 „Niederspannungs-Schaltgeräte, Teil 2: Leistungsschalter“ (1995 bis 1997).
- [4] IEC/EN 60 947-4-1, DIN VDE 0660 Teil 102 „Niederspannungs-Schaltgeräte, Teil 4-1: Elektromagnetische Schütze und Motorstarter“ (1991).
- [5] IEC/EN 60 947-1, DIN VDE 0660 Teil 100 „Niederspannungs-Schaltgeräte, Teil 1, Allgemeine Festlegungen“ (1992).
- [6] Esser, W.: Kommunikation bei Leistungsschaltern immer wichtiger. Elektropraktiker Berlin 57(2003)1, S.48 - 50. ■