

Selektivitätsbeurteilung von Schutzschaltern

Sollen in einer Schaltanlage mehrere Schutzgeräte effektiv zusammenwirken, müssen ihre Auslösekennlinien verglichen werden, um die Selektivität zu beurteilen. Eine Software bringt hier erhebliche Erleichterungen.

③ Energieeffiziente Umwälzpumpe mit Busmodul



④ LON-Busankoppler für Pumpen

die Pumpen der Firma Grundfos die für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb relevanten Daten und greifen bei Bedarf regelnd in den Pumpenbetrieb ein (Bild ③). So kann die Pumpe spätestmöglich eingeschaltet oder frühestmöglich ausgeschaltet werden, um zum Beispiel ein Klimaanlage registrieren effizient anzusteuern. Weiterhin lassen sich auch Minimal- oder Maximalkennlinien der Pumpen direkt ansteuern, um z. B. eine Nachtreduzierung zu erreichen. Damit sinken die Betriebskosten, wie auch beispielsweise durch eine Drehzahl- oder Drucksollwertnachführung.

Einbindung in ein LON-Netzwerk

Eine Aufschaltung der Pumpen auf ein LON-Netzwerk macht es möglich, die Daten über das gesamte Netzwerk zu verschicken und natürlich auch von der Leitzentrale aus anzusteuern. Durch die Verfügbarkeit aller relevanten Ist-/Soll-Betriebsgrößen wie zum Beispiel Förderhöhe, Förderstrom oder Fehlermeldungen erhöhen sich die Betriebssicherheit und die Verfügbarkeit der installierten Pumpen. Die Mehrkosten für Pumpen mit elektronischer Drehzahlregelung amortisieren sich in den meisten Fällen allein über die Einsparungen bei den Energiekosten in ein bis fünf Jahren. Eine Datenbus-Anbindung der Pumpen über LON-fähige Ausbaumodule kann auch nachträglich erfolgen (Bild ④).

M. Reichling

Auswahlkriterien für Leistungsschalter

Wichtig ist es, bei allen Untersuchungen Kurven zu verwenden, die die tatsächlichen, individuellen Einstellungen an den Schutzorganen berücksichtigen. Das ist mit gedruckten Katalogdarstellungen praktisch nicht möglich. Die Software „CurveSelect“ ermöglicht mit vergleichsweise geringem Aufwand die gemeinsame Darstellung der tatsächlichen Auslösekurven mehrerer Schutzgeräte in gleichen Zeit- und Strommaßstäben (Bild ①). Beurteilen lässt sich so das Zusammenwirken der Moeller-Produkte:

- Leistungsschalter NZM und IZM,
- Motorschutzschalter PKZM,
- Motorschutzrelais ZB,
- sowie von NH-Sicherungen mit gL-Charakteristik.

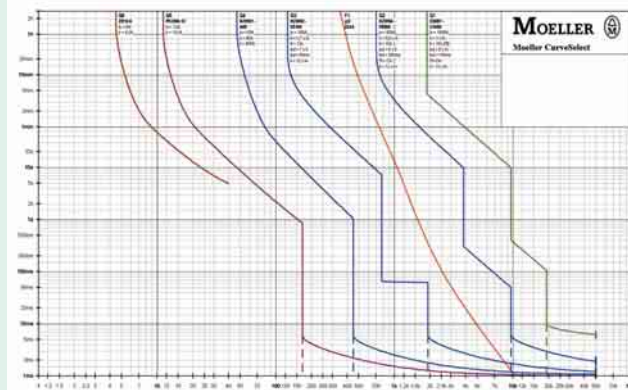
Das kostenlose, lediglich aus einer Excel-Datei bestehende Tool verfügt über Ein- und Ausgabemasken, bei deren Beschriftung mittlerweile zwischen zehn Sprachen gewählt werden kann. Das Ergebnis, die gemeinsame Darstellung der Kurven, lässt sich als geschützte Projektierungs-Dokumentation mit den individuellen Projektbezeichnungen speichern, ausdrucken oder auch in andere Dokumente exportieren.

Unter den Schutzgeräten der Nieder-

spannungstechnik bieten Leistungsschalter die höchste Komplexität bei der Einstellung ihrer Auslösekriterien. Beispielhaft werden diese komplexen Einstellmöglichkeiten hier an den Leistungsschaltern NZM erläutert. Ihre Einsatzgebiete, mit Auslösern für Überlast- und Kurzschlussströme, sind ebenfalls sehr vielfältig.

Die Bemessungsbetriebsströme reichen von 15 bis 1600 A. Die kleinste Schalterbaugröße NZM 1 und eine einfache Standardvariante der Baugröße NZM 2 verfügen als unterste, unverzögerte Stufe in einer Selektivitätskette über keine elektronischen, sondern ausschließlich über elektromechanische Auslöser. Drei Schalterbaugrößen mit den Bezeichnungen NZM 2, 3 und 4 decken – teilweise parallel – den weiten Strombereich mit den vielseitigeren, elektronischen Auslösern ab. Für größere Bemessungsströme gibt es ergänzend die offenen Leistungsschalter IZM in drei Baugrößen bis 6300 A. Alle Schalterbaugrößen verfügen jeweils über mehrere Varianten mit unterschiedlich hohem Kurzschlussausschaltvermögen.

Die Preise der Schalter sind u. a. nach der Leistungsfähigkeit des Kurzschlussausschaltvermögens gestaffelt. Dadurch kann der Projektur die Schalterdimensionierung



① Darstellung der Auslösekennlinien unterschiedlicher Schutzorgane im gleichen Zeit- und Strommaßstab am Beispiel von einer NH-Schmelzsicherungs-Kennlinie (rot), drei NZM-Auslösekennlinien (blau) und einer Auslösekennlinie eines IZM (grün).

wirtschaftlich an die notwendige Kurzschlussleistung der Anlage anpassen. **Tafel 1** zeigt die anwendungsspezifisch angebotene Typen-Varianz am Beispiel der 3-poligen Schalter in der IEC-Ausführung. Die Leistungsschalter werden mit unterschiedlichen Schutzaufgaben praktisch in allen Arten von Niederspannungs-Energieverteilungsanlagen als Abgangsschalter eingesetzt. In kleinen bis mittleren Verteilungen dienen sie ebenso als Einspeiseschalter bis 1600 A. Ergänzend zu den reinen Energieverteilungsaufgaben werden die Schalter zum Schutz unterschiedlicher Betriebsmittel gegen Überlast und Kurzschluss sowie zum Schutz der Schaltgeräte und verbindenden Kabel und Leitungen eingesetzt. Die vier betriebsmittelbezogenen Hauptapplikationen [1] sind:

- Anlagenschutz
- Motorschutz
- Transformatorschutz
- Generatorschutz.

Für einen optimalen Schutz und eine wirtschaftliche Nutzung dieser Betriebsmittel müssen die Auslösekurven der Schutzgeräte möglichst genau an die individuelle Leistungs-

Tafel 1 Übersicht über die wesentlichen Auswahlkriterien für Leistungsschalter NZM mit elektromechanischen oder elektronischen Auslösern (IEC-Ausführung, 3-polige Schalter)

Typ	Elektromechanische Auslöser					Elektronische Auslöser			
		IEC-Schaltvermögen bei 400 V					IEC-Schaltvermögen bei 400 V		
		B=25 kA	N=50 kA	H=100 kA	L=150 kA		N=50 kA	H=100 kA	L=150 kA
		Einstellbereiche in A					Einstellbereiche in A		
NZM..1	-A..	15–160	15–160	15–160	–	–	–	–	–
NZM..1	-M..	16–100	16–100	–	–	–	–	–	–
NZM..1	-S..	40–100	40–100	40–100	–	–	–	–	–
NZM..2	-A..	100–250	100–250	15–250	15–250	–	–	–	–
NZM..2	-M..	100–200	100–200	16–200	16–200	-ME..	45–220	45–220	45–220
NZM..2	-S..	125–200	125–200	40–200	40–200	–	–	–	–
NZM..2	–	–	–	–	–	-VE..	50–250	50–250	50–250
NZM..3	–	–	–	–	–	-AE..	125–630	125–630	125–630
NZM..3	–	–	–	–	–	-ME..	110–450	110–450	110–450
NZM..3	–	–	–	–	–	-VE..	125–630	125–630	125–630
NZM..4	–	–	–	–	–	-AE..	315–1600	315–1600	315–1600
NZM..4	–	–	–	–	–	-ME..	275–1400	275–1400	275–1400
NZM..4	–	–	–	–	–	-VE..	315–1600	315–1600	315–1600
	-A..	Anlagen- und Kabelschutz				-AE..	Anlagen- und Kabelschutz		
	-M..	Motorschutz				-ME..	Motorschutz		
	-S..	Kurzschlusschutz (ohne Überlastschutz)				-VE..	Anlagen- und Kabelschutz, Selektiv- und Generatorschutz		

fähigkeit der zu schützenden Betriebsmittel angepasst werden. Zum wirtschaftlichen Betrieb gehört auch, dass die Schutzorgane nicht ungewollt und unnötig auslösen.

Neben diesen, mehr auf den Schutz von Wirtschaftsgütern ausgerichteten Funktionen darf die zusätzliche Eignung für den Personenschutz nicht vergessen werden. Er erfolgt bei allen Schaltervarianten – als Schutz gegen elektrischen Schlag – durch das schnelle, automatische Abschalten gefährlicher Berührungsspannungen. Ausreichend kurze

Auslösezeiten sind durch die Projektierung und richtige Schaltereinstellung sicherzustellen, z. B. durch die Einhaltung der „Nullungsbedingungen“ (IEC/EN 60364-4-41, VDE 0100 Teil 410). Die folgenden zusätzlichen Schutzfunktionen beeinflussen die notwendigen Schalter-

einstellungen und Auslösekurven nicht:

- Einige Schalterbaugrößen verfügen über optionale, getrennt einstellbare Fehlerstrom- bzw. Erdschluss-Schutzfunktionen.
- Bei allen Baugrößen erfolgt der Personenschutz durch schnelle Freischaltung von Abgängen und Betriebsmitteln.
- Eine zusätzliche Schutzfunktion, den Unterspannungsschutz, können die Leistungsschalter übernehmen, wenn sie mit einem Unterspannungsauslöser ausgestattet sind.
- In diesem Fall gewährleisten sie gleichzeitig den Schutz gegen selbsttätigen Wiederanlauf nach einer Spannungsunterbrechung.
- Die Leistungsschalter NZM und IZM sowie auch die Motorschutzschalter PKZM können die Hauptschalter- und Trenneigenschaften [2] sicherstellen.

Im Bereich der Energieverteilung sind Lasttrenn- und Leistungsschalter die wichtigsten Schalt- und Schutzgeräte generell. Ein selektiver Schutz in verschiedenen Netzebenen stellt eine hohe Anlagen- und Prozessverfügbarkeit sicher. Darunter versteht man, dass möglichst nur ein kurzschlussnahes Schutzorgan auslöst. Üblich sind folgende Schaltgeräte-Kombinationen, um ein Netz selektiv aufzubauen:

- Sicherung – Sicherung
- Sicherung – Schutzschalter
- Schutzschalter – Sicherung
- Schutzschalter – Schutzschalter.

Notwendigkeit von variablen Auslösekennlinien

Die spezifischen Schutzaufgaben und die applikationsabhängigen Betriebsbedingungen (Gebrauchskategorien) der aufgezählten Betriebsmittel erfordern unterschiedliche Schaltereinstellungen. Dieser Zusammenhang führt über die unterschiedlichen, einstellbaren Variablen zu anwendungsspezifischen Schaltervarianten entsprechend der Tafeln ① und ②. Die Anforderungen an das Spektrum der Einstellmöglichkeiten steigen, wie bereits erläutert, wenn mehrere Schutzorgane in Reihe liegen. Dies ist fast immer der Normalfall, wenn zwischen dem Niederspannungseinspeisetransformator und dem Betriebsmittel beispielsweise mehrere Haupt- und Unterverteiler angeordnet sind. In diesen Fällen sind die Schalter sowie die Kabel und Leitungen für die einzelnen Teilstrecken häufig für unterschiedlich hohe Ströme zu dimensionieren. Dadurch liegen oftmals Schalter

unterschiedlicher Baugrößen im Stromfluss in Reihe.

Die vier genannten betriebsmittelbezogenen Hauptapplikationen stellen jeweils etwas andere Anforderungen an die Schalter. Hierbei sind die wichtigsten anwendungsabhängigen Parameter für die Leistungsschalterauswahl:

- das Auftreten einer symmetrischen oder unsymmetrischen Last
- die unterschiedlichen, typischen Einschaltspitzenströme der zu schützenden Betriebsmittel mit ihrem unterschiedlichen Strom-/Zeitverhalten
- die regulären Betriebsströme
- die möglichen Überlastströme mit ihrem unterschiedlichen Strom-/Zeitverhalten
- die Höhe der 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 hinausgehend in den Kurzschlussstrombereich kommen,

- um den Schalter ausreichend schnell auszulösen und
- um dadurch die nachgeschalteten Betriebsmittel und Personen vor Schäden 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. Aus diesem Grund gibt es beispielsweise Generatorschutzschalter mit besonders niedrigen Einstellwerten. Zeitkritisch ist für den Personenschutz aber auch die rasche Abschaltung der im Fehlerfall entstehenden gefährlichen Berührungsspannungen. 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 daher ebenfalls eine rasche Kurzschlussabschaltung verlangen. Hier können Unterspannungsauslöser unterstützend wirken.

Das Software-Tool ermöglicht eine einfache Darstellung von Auslösekurven für bereits ausgewählte Schalter am PC und den einfachen, optischen Vergleich der Auslösekurven von mehreren Schaltern und Schmelzsicherungen, die im Stromfluss in verschiedenen Netzebenen in Reihe liegen. Ziel ist es, zu prüfen, ob die Schalter einen sicheren Betrieb zulassen und ob eine Selektivität im Überlastbereich zwischen

den eingesetzten Schutzgeräten besteht.

Konstante und variable Parameter

Schutzgeräte mit Bimetallauslösern, wie die Motorschutzrelais ZB 12, ZB 32, ZB 65 oder ZB 150, gestatten ausschließlich die Einstellung des Motornennstromes als Einstellstrom I_r der Überlastauslöser. Der weitere Verlauf der Auslösekurven wird bei der Konstruktion durch die Dimensionierung der Bimetalle so festgelegt, dass die Bimetall-Charakteristik der Wärme-Charakteristik der Motoren ausreichend genau entspricht. Alle Varianten haben eine Umgebungstemperaturkompensation. Als einzigen, nicht einstellbaren Zusatznutzen, bieten diese Varianten für den Motorschutz eine normenkonforme Phasenausfallempfindlichkeit. Sie erkennen und berücksichtigen den Ausfall eines beliebigen Außenleiters (Phase). Gleiches gilt für Motorschutzschalter PKZ 2 gehen einen Schritt weiter, da hier auch die Ansprechwerte der magnetischen Kurzschlussauslöser einstellbar sind. Direkt vergleichbar mit diesen Schutzgeräten sind die Leistungsschalter NZM 1.

Schutzgeräte mit elektronischen Auslösern bieten zusätzliche Freiheitsgrade bei der Einstellung und der Definition ihrer Schutzwirkungen sowie im Zusammenspiel mit weiteren, im gleichen Stromkreis angeordneten Schutzgeräten. **Tafel 3** zeigt die bei den unterschiedlichen Schutzschalterarten wirksamen Parameter, die entweder fest eingestellt oder variabel sind. In der Möglichkeit dieser individuellen Anpassungen an die unterschiedlichen Betriebsmittel liegen wesentliche Vorzüge der Leistungsschalter gegenüber Schmelzsicherungen. Als besonderen Vorzug bieten die elektronischen Auslöseblöcke der Schalter NZM 2 bis 4 eine integrierte Datensteckdose mit der Möglichkeit, einen Laptop direkt an den Schalter anzuschließen. Neben umfangreichen Informationen über die Kurzzeithistorie, Warnungen und Ereignisse sowie eine Vielzahl von Messwerten, lässt sich hier auch die eingestellte Auslösekennlinie direkt aus dem Schalter auslesen und in das Software-Tool übertragen. Wird am Schalter die Einstellungen verändert, lassen sich auf dem angeschlossenen Bildschirm sofort die

Tafel 2 Applikationsabhängige Haupt- und Nebenanwendungen der Leistungsschalter NZM (in IEC-Ausführung) mit elektromechanischen oder elektronischen Auslösern

Hauptanwendungen						Nebenanwendungen		Typ
Kurzschluss-schutz ¹⁾	Anlagen-schutz	Kabel-schutz	Generator-schutz	Selektiv-schutz ²⁾	Motor-schutz	Haupt-schalter	Not-Aus	schwarz und „E“ = elektronische Auslöser grün = elektromechan. Auslöser
X					(X) *	X	X	N...
	X	X				X	X	NZM...-S..
	X	X				X	X	NZM...-(-4)-A..
					X	(X) **	(X) **	NZM...-M..
					X	(X) **	(X) **	NZM...-ME..
	X	X	X	X		X	X	NZM...-(-4)-VE..

¹⁾ ohne Überstromauslöser
²⁾ mit verzögertem Kurzschlussauslöser
 *) nur für einzelne Motorstarter
 **) Typenzusatz für 4-polige Schalter
 (-4) nur in Kombination mit geeignetem Schütz und Motorschutzrelais

Tafel 3 Einstellmöglichkeiten (feste und freie Parameter) stromabhängig wirkender Auslöser bei unterschiedlichen Schutzschalterarten

		Die Auslöser können teilweise optional vorhanden sein oder die Angaben gelten nur bei bestimmten Schaltervarianten						
		Elektromechanische Auslöser			Elektronische Auslöser			
Parameter mit Einfluss auf die Auslösekennlinie	Typ Größe	ZB... 12; 32; 65; 150	PKZM... 01; 0; 4	PKZ... 2	NZM... 1; 2	NZM... 2	3; 4	IZM... 1; 2; 3
Einstellwert I_r für Überlastauslöser		var.	var.	var.	var.	var.		var.
Ansprechwert I_{rm} für unverzögerten Kurzschlussschnellauslöser		–	fest	var.	fest var.	–		–
Ansprechwert I_l für unverzögerten Kurzschlussschnellauslöser		–	–	–	–	fest var.		fest var.
Ansprechwert I_{sd} für verzögerten Kurzschlussstromauslöser		–	–	–	–	var.		var. –
Motorschutz Auslöseklasse CLASS		fest	fest	fest	fest	var.		–
Trägheitsgradeinstellung t_r für Überlastauslöser		–	–	–	–	fest var.		fest var.
Verzögerungszeit t_{sd} für kurzzeitverzögerten Kurzschlussstromauslöser		–	–	–	–	var.		var.
βt -konstant-Funktion		–	–	–	–	fest var.		fest var.
Phasenausfallempfindlichkeit		fest	fest	– fest	– fest	– fest		– fest
Bemessungsfehlerstrom $I_{\Delta n}$		–	–	–	–	fest var.	–	–
Verzögerungszeit t_v für Fehlerstromausl.		–	–	–	–	fest var.	–	–
Ansprechwert I_g für Erdschlussauslöser		–	–	–	–	–	var.	var.
Verzögerungszeit t_g für Erdschlussausl.		–	–	–	–	–	var.	var.

Auswirkungen der Veränderungen verfolgen. Auch dieses Merkmal der Schalter erleichtert die Schaltereinstellung ganz wesentlich. Die Daten aus dem Schalter lassen sich natürlich auch über ein Netzwerk in eine Leitwarte übertragen. Einstellbare Fehlerstrom- oder Erdschlussauslöser sind optionale Zusatzausrüstungen, die im Kennlinienprogramm nicht berücksichtigt werden. Wie bereits beschrieben, ermöglichen die kurzzeitverzögerten Schalter die Realisierung eines zeitselektiven Anlagenkonzepts. Kurzzeitverzögerte Auslöser werden auch bei Motoren mit langer Hochlaufzeit eingesetzt. Bei dieser Applikation lässt sich die Schutzfunktion

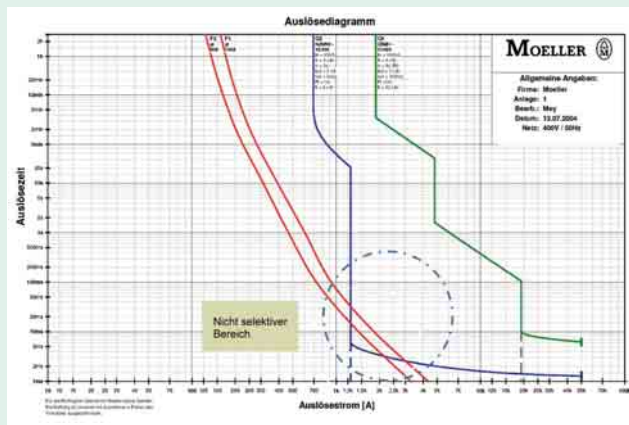
noch durch zusätzliche Thermistorrelais (EMT6) erweitern.

Handhabung des Kennlinienprogramms

Bisher war es schwierig, individuelle Auslösekurven darzustellen und miteinander zu vergleichen. Oft scheiterte die Auswertung bereits an den unterschiedlichen Maßstäben der Koordinaten bei Kurvendarstellungen für Schutzschalter und Schmelzsicherungen. Das ändert sich mit dem Software-Tool: Hier werden alle Kurven in einem einzigen Blatt zur leichten, optischen Auswertung dargestellt.

Die Handhabung ist vergleichsweise einfach, da dem Anwender die zulässigen Variablen in den typspezifischen Eingabemenüs bereits angeboten werden. Es müssen nur die zutreffenden Variablen manuell in die Masken eingetragen werden.

Das Programm ist eine Excel-Datei und wird in ein beliebiges Verzeichnis auf dem Rechner kopiert. Außer Microsoft Excel ist keine weitere Installation erforderlich. Die Software kann für beliebig viele Projekte verwendet werden. Eine Excel-Arbeitsmappe enthält mehrere Blätter für die notwendigen Eingaben und die Darstellung der Kurven. Im Blatt „General“



② Unselektive Schutzorgane sind an sich kreuzenden oder (fast) berührenden Kurven erkennbar

wird die Sprachversionen gewählt. Auf diesem Blatt werden „allgemeine Angaben“ zum bearbeiteten Projekt eingetragen, die automatisch in die Kurvendarstellungen übernommen werden. Es empfiehlt sich, das Projekt nach dem Eintrag der projektbezogenen Grunddaten über die Funktion „Speichern unter“ zu sichern. Dadurch bleibt die Original-Programmdatei für eine weitere Nutzung ohne projektspezifische Einträge erhalten. Nach Fertigstellung der projektspezifischen Datei kann diese im Windows Explorer optional mit einem Schreibschutz gesichert werden. Alle Kurven sind ausgehend vom kalten Zustand und ohne Darstellung der normenkonformen Toleranzen der Ansprechwerte sowie der Auslösezeiten als Mittelwerte der parametrisierten Auslösekennlinie dargestellt. Diese Darstellung entspricht der Kurvendarstellung in Katalogen. Im Bereich des unverzögerten Überlastauslösers wird die Mindestbefehlsdauer dargestellt, also die Stromflusszeit bis zur irreversiblen Auslösung. Das entspricht der Schmelzzeit bei Sicherungen. Die strom-, spannungs- und phasenlagenabhängige Gesamtausschaltzeit, die sich aus Ansprechverzug, Schaltverzug und Lichtbogenlöschzeit ergibt, wird bei den dargestellten Kurven nicht berücksichtigt. Für die Sicherstellung einer Selektivität im Überlastbereich dürfen sich die dargestellten Kurven der Schutzschalter untereinander und mit den Kurven von Schmelzsicherungen weder kreuzen, noch berühren. Man sollte die Toleranzen der Kurven berücksichtigen, die im Überlastbereich bei $\pm 20\%$ liegen dürfen. An Berührungs- oder Kreuzungspunkten ist die Grenze der Überlast-Selektivität zwischen den ausgewählten Geräten erreicht.

Im Kurzschlussbereich spielen elektrodynamische, von der Schal-

terkonstruktion individuell abhängige Vorgänge eine wichtige Rolle. Die strombegrenzenden Eigenschaften der Leistungsschalter, infolge der elektrodynamischen Einwirkungen auf den Kontakt- und Löschapparat, lassen sich für dieses einfache Tool im Hochstrombereich nicht mit vertretbarem Aufwand berechnen. Der Bereich dieser elektrodynamischen Grenze ist im Diagramm mit dem Ansprechwert des unverzögerten Überlastauslösers durch eine senkrechte, gestrichelte Linie gekennzeichnet. Die Kurzschluss-Selektivität wird durch umfangreiche Kurzschlussprüfungen im Prüflabor nachgewiesen. Für diesen Bereich sind Aussagen zur Selektivität in den Selektivitätstabellen im Hauptkatalog des Herstellers verbindlich. Die Kennlinie des jeweiligen Leistungsschalters endet mit dem, von Gerätetyp und gewählter Bemessungsspannung abhängigen Wert des Grenzkurzschlussausschaltvermögens I_{cu} . Selektivitätsprobleme lassen sich meistens durch eine andere Geräteauswahl oder manchmal durch geänderte Geräteeinstellungen beseitigen (Bild ②).

W. Esser

Literatur

- [1] Esser, W.: Hauptanwendungsgebiete von Leistungsschaltern. Elektropraktiker, Berlin 57(2003)9, S. 692-696.
- [2] Esser, W.: Schalt- und Schutzgeräte in Maschinensteuerungen. Elektropraktiker, Berlin 57(2003) 11, S. 862-865.

TIPP

Download der Software unter
[www.moeller.net/de/
support/support.jsp](http://www.moeller.net/de/support/support.jsp)