Elektronik in Niederspannungs-Schaltgeräten

G. Tharang, Bonn

Elektronik verleiht Schaltgeräten neue, komfortable Eigenschaften. Elektronische Lösungen ersetzen mechanische Komponenten. Halbleiterschütze erobern den Markt. Solche innovativen Schaltgeräte eröffnen der Anlagentechnik neue Perspektiven. Der Beitrag gibt einen Überblick zum erreichten Stand. Das Ende dieser für den Anwender erfreulichen Entwicklung ist noch nicht abzusehen.

Leistungsschalter, Motorschutzschalter, Schütze und Motorschutzrelais sind klassische Geräte zum Energieverteilen sowie zum Schalten und Schützen von elektrischen Maschinen. Man findet sie in großer Anzahl in Niederspannungs-Schaltanlagen und -Verteilern.

Ihr Funktionsprinzip und ihr grundsätzlicher Aufbau blieben über viele Jahre hinweg im wesentlichen unverändert. Verbesserungen wurden in erster Linie durch den Einsatz moderner Werkstoffe und kompakterer Konstruktionen erreicht. Verglichen mit der stürmischen Entwicklung der Computer- und Nachrichtentechnik ist der technische Fortschritt an Niederspannungs-Schaltgeräten bisher nahezu spurlos vorübergegangen.

Erst mit der Verfügbarkeit preiswerter, mechanisch und thermisch ausreichend stabiler elektronischer Bauelemente begann die Entwicklung neuer Schaltgeräte bzw. die Substitution elektromechanischer Baugruppen. Beispiele hierfür sind elektronisch gesteuerte Schützantriebe, Halbleiterschütze oder der Ersatz des Bimetalls durch den Mikroprozessor. Auch der Wunsch nach direkter Anbindung des Datenbusses an den Energiebus bringt Elektronik und Schaltgeräte näher zusammen.

1 Elektronisch gesteuerter Magnetantrieb für Schütze

Schütze mit elektromagnetischem Antrieb stellen in allen Anwendungsbereichen die größte Gruppe der Niederspannungs-Schaltgeräte dar. Der Magnetantrieb muss unter Betriebs- und Umgebungsbedingungen in sehr weiten Grenzen bei den jeweils ungünstigsten Bedingungen sicher arbeiten (Tafel 1). Herrschen „Normalbedingungen", entstehen dann erhebliche Überschuss-Energien, die sich nur durch aufwendige Dämpfungsmaßnahmen wieder abbauen lassen.

Zu den weiteren Nachteilen herkömmlicher Schützantriebe zählen Verschleißerscheinungen, Abrieb, Kontaktprellungen und der damit verbundene Kontaktabbrand. Eine akzeptable elektrische Lebensdauer muss mit einem entsprechend großen, kostenintensiven Kontaktvolumen erkauft werden.

Deutliche Verbesserungen der Dynamik elektromagnetischer Schützantriebe erzielen geeignete elektronische Ansteuerschaltungen. Eine konkrete Realisierung zeigt das Beispiel der neuen Leistungsschütze DIL M185 bis DIL M820 (Bild 1).

In der mikroprozessorgestützten Ansteuerelektronik wird die Steuerspannung zunächst gleichgerichtet und in Impulse variabler Breite umgewandelt. Den Spulenstrom stellt der Mikroprozessor entsprechend einer hinterlegten Kennlinie optimal ein. In der Anzugsphase werden der Spule breite Taktimpulse zugeführt, um die Schützkontakte sicher zu schließen. In der Haltephase dagegen speist die Elektronik nur schmale Impulse ein. Sie reichen aus, um die Kontakte geschlossen zu halten.

Zusätzliche Überwachungs- und Sicherheitsschaltungen gewährleisten, dass die Schützkontakte im Falle eines internen Elektronikfehlers (z. B. Durchlegieren des Leistungshalbleiters) in einen für den Betreiber sicheren Zustand (AUS-Stellung) übergehen.

Schütze mit elektronisch angesteuerten Magnetantrieben sind brummfrei und besitzen ideale, reproduzierbare elektrische und mechanische Kennwerte. Zu den typischen Merkmalen zählen:

- optimale Kontakt- und Polaufschlaggeschwindigkeit
- minimale Kontaktprellungen
- hohe Werte der elektrischen Lebensdauer der Kontakte bei deutlich geringerem Silbereinsatz
- minimaler mechanischer Verschleiß, insbesondere von Magnetkern und -anker
- Bewegungs- und Prellverhalten sind unabhängig von der Steuerspannung.

Autor

Dr.-Ing. *Gottfried Tharang* ist Mitarbeiter im Geschäftsbereich Industrieschaltgeräte der Moeller GmbH, Bonn.

Tafel 1 Anforderungen an elektromagnetische Antriebe von Schützen

Bedingung	Anforderung
Art der Spulenspannung	Wechselspannung, Gleichspannung
Größe der Spulenspannung	24 bis 600 V
Toleranzen der Spulenspannung	nach Vorschrift 0,85 – 1,1 x U_{nenn} Kundenwunsch 0,7 – 1,15 x U_{nenn}
Umgebungstemperatur	–25 bis +60° C
Einbaulage	Wandmontage • Strombahnen senkrecht • Strombahnen waagerecht • +/– 30° abweichend zur senkrechten Lage



1 Neue Leistungsschütze DIL M185 - DIL M820 für 90 kW bis 450 kW

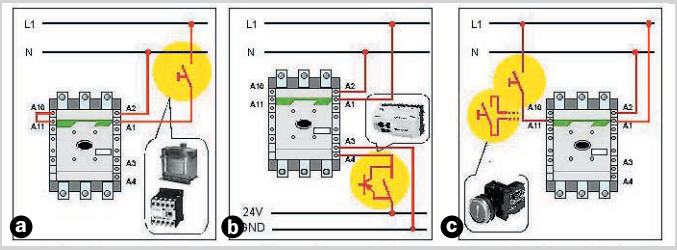
(Foto: Moeller)

Neben den Vorteilen bei der Dynamik bietet die Antriebselektronik dem Anwender der Schütze folgende, zusätzliche Eigenschaften.

Bereichsspulen Lediglich vier Spulentypen decken alle praktisch vorkommenden Steuerspannungen zwischen 24V und 500V ab. Daraus resultieren Anwendungsvorteile wie einfache Geräteauswahl, geringe Lagerhaltung, optimaler Betrieb bei unterschiedlichen Netzverhältnissen (Spannung, Frequenz) und keine Einschränkungen, z.B. bei Doppelfrequenzspulen.

Spannungssicherheit Die permanente Überwachung der anliegenden Steuerspannung garantiert sicheres Ein-Schalten und definiertes Abfallen. Unsichere Betriebszustände wie Flattern oder Nicht-Durchziehen werden vermieden.

- Die zulässige Toleranz der Spulenspannung beträgt 70% – 115%. In diesem Bereich zieht das Schütz sicher an und bleibt garantiert eingeschaltet.
- Bei Unterschreiten der unteren Spannungsgrenze (60% von Umin) fällt das Schütz ab.



❷ **Ansteuerarten von Schützen mit elektronischem Antrieb**
a klassisch **b** direkt aus der SPS **c** durch einen gering belastbaren Kontakt



❸ **Elektronisches Motorschutzrelais ZEV** (Foto: Moeller)

- In den Übergangsbereichen (60% – 70% und 115% – 130%) sowie bei unzulässig hohen Spannungen (> 130%) verhalten sich die Schütze definiert, d. h. sicher.

Bei Betrieb der Schütze an instabilen Netzen, Batterie- oder Notstromversorgungen bietet dieses Merkmal zusätzliche Betriebssicherheit.

Spulenansteuerung Mit dem elektronisch gesteuerten Magnetantrieb lassen sich drei Ansteuerarten realisieren. Die Auswahl nimmt direkt vor Ort der Anwender vor (Bild ❷).

- Variante 1: klassisch, wie bisher
  Die durch ein geeignetes Befehlsgerät geschaltete Steuerspannung wird an die Spulenklemmen A1 – A2 gelegt. Die Projektierung erfolgt wie bisher. Die im Lieferzustand bereits montierte Drahtbrücke zwischen A10 und A11 bleibt angeschlossen.
- Variante 2: Ansteuerung aus der SPS
  Wegen des steigenden Automatisierungsgrades müssen Schütze immer häufiger zusammen mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) betrieben werden. Mit elektronischem Magnetantrieb kann das Schütz direkt an den Eingangsklemmen A3 – A4 von dem SPS-Signal 24V DC angesteuert werden. Voraussetzung ist, dass zur Energieversorgung an A1/A2 die Steuerspannung, die von der SPS-Signalspannung abweichen kann, dauerhaft angelegt wird. Die Drahtbrücke A10/A11 muss entfernt werden. Eine solche Lösung spart Koppelrelais oder Interface-Schütze. Die Zuverlässigkeit der Steuerung steigt.
- Variante 3: Ansteuerung mit einem gering belastbaren Kontakt
  Die Anzugsströme großer Schütze übersteigen oft die Belastbarkeit der Steuergeräte. Für diesen Fall steht der leistungsarme Eingang A11 zur Verfügung. Mit dem Potential von A1 kann hier das Schütz mit gering belastbaren Befehlsgebern betätigt werden. Das Potential von A1 wird dazu entweder direkt von L1 herangeführt oder kann gemäß Bild ❷c von A10 abgegriffen werden. Natürlich muss auch hier die Drahtbrücke zwischen A10/A11 entfernt werden. Zur Energieversorgung des Antriebes ist die Steuerspannung an A1/A2 permanent anzulegen. Auch diese Lösung kommt ohne Koppelrelais oder Verstärkerbausteine aus.

Reduzierte Leistungsaufnahme Bei konventionellen Wechselstromspulen erfolgt die Anpassung der Stromaufnahme an den Kraftbedarf „automatisch". Hier steigt mit geringer werdendem Luftspalt die Induktivität, die den Strom reduziert. Bei Gleichstromspulen muss dagegen der Strom durch zusätzliche Maßnahmen (Umschaltung auf Sparwiderstand oder Haltewicklung) reduziert werden. In beiden Fällen werden jedoch keine optimalen Bedingungen erreicht.

Erst durch die Elektronik kann der Spulenstrom in jedem Moment des Anzugs und Haltens so niedrig gewählt werden, dass die sich ergebende Kraft eine sichere Arbeitsweise des Schützes garantiert. Reserven zum Ausgleich von Erwärmung, Umgebungstemperatur, Spannungstoleranzen lassen sich einschränken. Solche Einflüsse werden von der Elektronik kompensiert. Die Anzugsleistung sinkt so auf 21% und die Halteleistung sogar auf 4% gegenüber herkömmlichen Schützen. Daraus folgen

- kleinere Steuertransformatoren,
- kleinere Leitungsquerschnitte,
- geringere Wärmeentwicklung,
- geringere Kontaktbelastung ,
- geringerer Kontaktabbrand der Befehls- und Steuergeräte

sowie

- reduzierte Anlagen- und Betriebskosten, verminderter Platzbedarf und kürzere Stillstandzeiten.

2 Elektronische Motorschutzrelais

Eine wichtige Rolle im Verbraucherabzweig fällt den Schutzgeräten für Überlast zu. Drehstrommotoren werden immer häufiger bis an ihre thermischen Grenzen ausgenutzt. Die Forderungen an den Motorschutz steigen, da die zu schützenden Prozesse immer teurer werden. Schweranläufe, bei denen der Motor relativ lange mit hoher Stromaufnahme startet, waren in der Vergangenheit oft das Sorgenkind des Projekteurs, da keine geeigneten Schutzgeräte zur Verfügung standen.

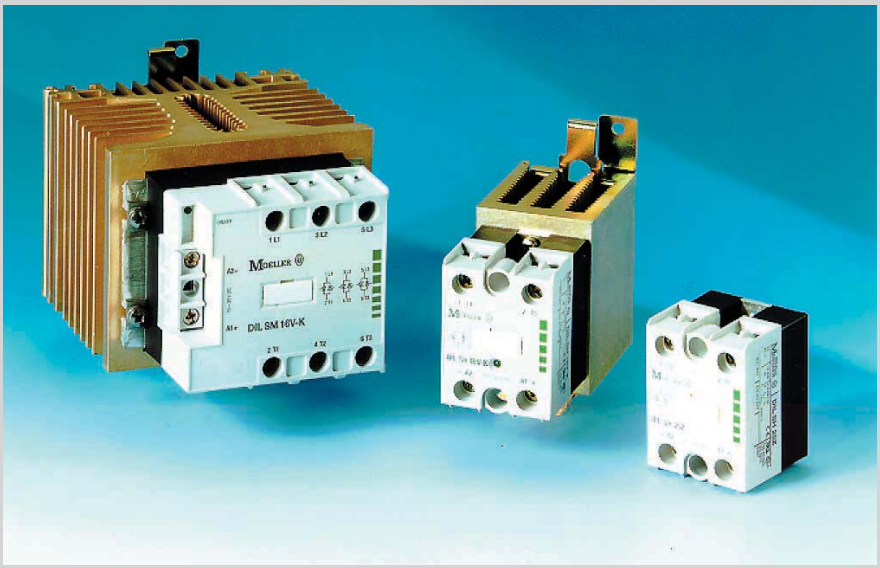
Das Bimetallrelais, bisher ein technisch akzeptables und vor allem preiswertes Schutzorgan, erzeugt ein mehr oder weniger gutes thermisches Abbild des Motors. Trotzdem besitzt es folgenden Nachteile:

- nur eine feste Auslösekennlinie entsprechend der Dimensionierung des Bimetalls
- hohe Typenvielfalt wegen relativ enger Einstellbereiche (maximal 1 : 1,6)
- hohe Verlustleistung durch die Heizwicklung
- Abschaltung des zugeordneten Schützes bei unzulässigem Stromanstieg ohne Früherkennung oder Vorwarnung.

Aus diesen Nachteilen resultiert die Entwicklung elektronischer Motorschutzrelais [1]. Deren Vorteile gegenüber klassischen Bimetallrelais sind :

- weite Stromeinstellbereiche von 1 : 3 bis 1 : 25
  Mit wenigen Typen lässt sich also ein großer Strombereich abdecken. Das vereinfacht die Geräteauswahl und spart Lagerkapazität.
- hohe Einstellgenauigkeit und Reproduzierbarkeit, sehr kleine material- und fertigungsbedingte Toleranzen
- wählbare Auslöseklassen (zwischen Klasse 5, 10, 15, 20, 25, 30, teilweise sogar bis 35, 40)
- Zusatzfunktionen wie Thermistor-, Erdschlussschutz, Vorwarnfunktion, Statusspeicher (thermisches Gedächtnis), Blockierschutz, Anlaufzeitüberwachung, Unterlastüberwachung, Stern-Dreieck-Anlauf, Selbstüberwachung

Ein elektronisches Motorschutzrelais mit diesen Eigenschaften (Bild ❸) überwacht den gesamten zu schützende Strombereich von 1 bis 820 A mit nur einem Auswertegerät. Zur Kontrolle der Einstellwerte sowie zur Anzeige der Betriebsdaten und



❹ **Halbleiterschütze** (Foto: Moeller)

Fehler besitzt es ein LC-Display. Alle Einstellungen erfolgen menügeführt mittels Tasten.

Das Display des Auslösegerätes ermöglicht eine differenzierte Diagnose des Auslösegrundes. Bei Phasenausfall wird erkennbar, welche Phase unterbrochen ist. Der tatsächliche Betriebsstrom wird permanent als prozentualer Wert des eingestellten Motorstromes angezeigt. Das Auslösegerät besitzt neben den üblichen Schließer- und Öffnerkontakten, die bei Überstrom oder Übertemperatur auslösen, zusätzliche Hilfsschalter, die frei programmierbar sind. Ihnen lassen sich die Funktionen

- Vorwarnung bei Überlast,
- Erdschluss,
- separate Meldung „Thermistor-Auslösung”,
- interne Gerätestörung

zuordnen.

Zur Erfassung des Stromes dienen vier Sensormodule mit unterschiedlichen Strombereichen. Sie arbeiten nach dem Prinzip des Rogowski-Gürtels. Drei der Stromerfassungsmodule sind Durchsteck-Sensoren für 25/65/145 A. Der 820 A-Sensor besteht aus drei flexiblen, offene Schlaufen, die um die elektrischen Leiter gelegt werden.

Stromsensoren nach dem Prinzip des Rogowski-Gürtels besitzen keinen Eisenkern. Sie gehen nicht in die Sättigung und können demzufolge sehr weite Strombereiche erfassen. Wegen der drastischen Gewichts- und Volumenreduzierung gegenüber klassischen Wandlern (bis zu 1/50) ist es möglich, dass der größte Stromsensor für 80 – 820 A einfach mit einem Band mit Klettverschluss werkzeuglos an den Kabeln befestigt werden kann. Unterschiedliche Phasenteilungsmaße der Schaltgeräte spielen keine Rolle. Die Durchsteck-Sensoren las-



a



b

❺ **Kommunikationsfähige NS-Geräte**
a Motorstarter KLAS
b Frequenzumrichter mit Vernetzungsbaugruppe (Fotos: Moeller)

Tafel ❷ Vergleich typischer Eigenschaften elektronischer und elektromechanischer Schaltgeräte (Weiß hinterlegte Felder zeigen die besonderen Vorteile der Halbleiterschütze.)
(+ Positiv, – negativ)

Eigenschaft	Elektromechanik	Elektronik
Ansteuerleistung	-	+
Ansteuerspannungs_bereich	-	+
Lastspannungsbereich	+	-
Laststrombereich	+	-
Elektrische Lebensdauer	-	+
Prellverhalten	-	+
Schaltzeiten	-	+
Max. Schalthäufigkeit	-	+
Überlastbarkeit	+	-
Kurzschlussfestigkeit	+	-
Nullpunktschaltend	-	+
Kontaktanzahl und -art	+	-
Galv. Trennung / Leckstrom	+	-
Kontaktsicherheit	-	+
du/dt - Sicherheit	+	-
Stoßspannungssicherheit	+	-
Mechanische Lebensdauer	-	+
Schock- und Vibrationsfestigkeit	-	+
Schaltgeräusch	-	+
Abmessungen	+	-
Korrosionsfestigkeit	-	+
Staubempfindlichkeit	-	+
Verlustleistung	+	-
Preis / A	+	–

sen sich separat aufstellen oder auch unter das Auslösegerät clipsen, so dass sie mit diesem eine Einheit bilden.

3 Halbleiterschütze

Die Technologie der Leistungshalbleiter machte in den letzten Jahren spürbare Fortschritte etwa bei den Isolationseigenschaften, der Beherrschung der Wärmeentwicklung und -ableitung, der Spannungsfestigkeit sowie der Zuverlässigkeit. Damit lassen sich heute elektronische Schaltgeräte herstellen, die mit ihren technischen Daten bei akzeptablen Preisen immer mehr Interessenten finden. Die Zeit der Skepsis gegenüber der Halbleitertechnik ist vorbei.
Halbleiterschütze (Bild ❹) bestehen aus einem Eingangs- und einem Lastkreis. Beide sind durch einen Optokoppler galvanisch voneinander getrennt. Der Eingangskreis ist für Gleich- oder Wechselstrombetätigung ausgelegt. Zur Ansteuerung wird nur der geringe Strom für die LED des Optokopplers benötigt. Die Schaltfunktion auf der Lastseite übernehmen für Wechselspannungslasten Triacs oder Thyristoren, für Gleichstromlasten Transistoren (MOSFET).

Halbleiterschütze für dreiphasige Verbraucher werden als zwei- oder dreipolig schaltende Geräte angeboten. Zu ihren typischen Eigenschaften zählen:

- geräuschlose Arbeitsweise (besondere Eignung in der Gebäudetechnik für Büros, Krankenhäuser, Wohnungen, Hotels)
- geringe Leistungsaufnahme, ermöglicht direkte Ansteuerung aus der SPS ohne Verstärker oder Koppelglieder
- keine beweglichen Teile (verschleißfrei, keine Stoß- und Vibrationsempfindlichkeit, Verzicht auf Dämpfungsmaßnahmen)
- gestiegene Betriebssicherheit bei höherer Schalthäufigkeit
- Beherrschung schneller und zeitkritischer Prozesse
- Einsatz in aggressiven Umgebungen
- hohe Zuverlässigkeit, lange Lebensdauer.

Alle Merkmale und Besonderheiten von Halbleiterschützen im Vergleich zu kontaktbehafteten Schaltgeräten zeigt Tafel ❷.
Mit der Entwicklung der ersten „Solid State Relays" (Halbleiterschütze) vor fast 30 Jahren entstand auch eine Gehäusebauform, die lange Zeit Bestand hatte. Sie war streng funktionsorientiert und hatte sehr wenig mit einem konventionellen Schütz gemeinsam. Ein schwarzes Kunststoffgehäuse („Hockey-Puck-Ausführung") trug auf der Vorderseite die Schraubanschlüsse für Ein- und Ausgang. Auf der Rückseite befand sich eine Metallplatte zur Übertragung der Verlustwärme auf den Kühlkörper. Erst in letzter Zeit tauchten Entwicklungen auf, die den Ansprüchen des modernen Schaltschrankbaus hinsichtlich Anschluss- und Befestigungstechnik gerechter wurden. Besonders augenfällig wird diese Tendenz bei mehrpoligen Komplettgeräten.

4 Vernetzung

Die Zunahme von Automatisierung und Dezentralisierung führt zur Einbindung auch der Niederspannungstechnik in die Leittechnik [2] [3]. Dazu müssen NS-Geräte sowohl für Industrie- als auch für Gebäudetechnikanlagen busfähig gemacht werden.
Unabhängig von der Art von Bus oder Busprotokoll gibt es zwei prinzipielle Formen der konstruktiven Anbindung eines Schaltgerätes an den Bus.

- Busadapter als selbständiges Modul, dessen Ein- und Ausgänge mittels konventioneller Verdrahtung an ein Schaltgerät (z. B. an Hilfsschalter) angeschlossen werden.

Diese Form der Ankopplung findet sich vor allem bei Geräten mit geringen Kommunikationsanforderungen (kleine Datenmengen, binäre Daten wie z.B. EIN/AUS – Befehle für Aktoren, Schaltstellung usw.). Um die Ein-/Ausgänge des Busadapters auszulasten, werden oft mehrere Schaltgeräte an ein Modul angeschlossen. Typische Beispiele sind Schütze, Motorschutzschalter, Motorschutzrelais, Leistungsschalter, Motorstarter (Kombinationen aus Schutzschalter/Schütz/Motorschutzrelais), Befehls- und Meldegeräte, Nockenschalter, Positionsschalter, Zeitrelais.

- Busadapter als integraler Bestandteil der Elektronik eines Schaltgerätes (Bild ❺)

Diese Form der Busanbindung findet man bei Geräten mit hohen Kommunikationsanforderungen (große analoge und digitale Datenmengen wie z.B.: EIN/AUS-Befehle für Aktoren, Betriebsströme, Überlast, Diagnosedaten, Parametrierung, Schaltstellung, Schaltspielzahl, zeitkritische Applikationen). Zu den typischen Beispielen hierfür zählen Leistungsschalter, Softstarter, Frequenzumrichter, kommunikationsfähige Motorschutzgeräte.

5 Ausblick

Niederspannungs-Schaltgeräte sind wichtige Schalt-, Schutz- und Steuerbausteine bei der Industrialisierung und Automatisierung. Innovative Sortimente sichern den Markterfolg des Schaltgeräteanbieters sowie die Wettbewerbsfähigkeit des Anwenders.
Nach einem verhaltenen Start zieht die Elektronik in den nächsten Jahren immer stärker in Niederspannungs-Schaltgeräte ein. Drei Entwicklungsrichtungen zeichnen sich ab:

- Substitution mechanischer und elektromechanischer Geräte und Baugruppen durch elektronische Lösungen
- Entwicklung neuer elektronischer Geräte mit komplexer Funktionalität
- Anbindung von Schaltgeräten an moderne Kommunikationstechnologien.

Sicherlich sind gegenwärtig noch Berührungsängste abzubauen, welche die Akzeptanz des Anwenders gegenüber der Elektronik in einem traditionellen Produktsortiment einschränken.
Aber so, wie beispielsweise die Elektronik im PKW-Bereich zur Selbstverständlichkeit geworden ist, gehört sie bald auch bei Niederspannungs-Schaltgeräten zur Normalität. Der Generationswechsel im Schaltgerätebau kündigt sich an.

Literatur:

[1] *Schönfeld, R.*: Von den Anfängen der Elektrotechnik zur Systemtechnik des 21. Jahrhunderts (2). Elektropraktiker, Berlin 54(2000)1, S. 44 – 48
[2] *Lenker, H.*: Elektroenergietechnik und Buselektronik wachsen zusammen. Elektropraktiker, Berlin 54(2000)1, S. 41 – 43
[3] *Heidhus, P., Thieme, U.*: Kommunikation zwischen Elektro- und Automatisierungstechnik. Elektropraktiker, Berlin 54(2000)5, S. 414 – 417