

1 Die starke Hitzeentwicklung von Trafos mit geringen Einschaltströmen, aber hohen Verlusten kann im Extremfall einen Brand auslösen

Spannung wohltemperiert

Schaltrelais für verlustarme Transformatoren. Übliche Steuertrafos zeigen schon im Leerlauf eine starke Hitzeentwicklung, während in verlustarmen Trafos übermäßige Einschaltströme Probleme aufwerfen. Trafoschaltrelais sollen das Dilemma überwinden, indem sie hohe Einschaltströme bei verlustarmen Trafos unterbinden.

MICHAEL KONSTANZER

■ Marktübliche Steuertrafos können erfahrungsgemäß bereits im Leerlauf so heiß werden, dass man sie nicht mehr anfassen sollte. Hieraus kann sogar eine Brandgefahr resultieren, wenn wegen des hohen Einschaltstroms eine Sicherung mit einer zu hohen Auslöseschwelle verwendet wird. Bild 1 zeigt einen Fall, wo auf diese Weise ein Brand ausgebrochen ist.

Die Alternative zum schon im Leerlauf heiß werdenden Trafo wäre ein verlustarmer Trafo. Dessen immer hoher Einschaltstrom löst aber die Absicherungsschutzschalter aus. Früher verwendete Schmelzsicherungen hielten zwar höhere Einschaltströme aus, lösten aber nicht gemeinsam aus. Wenn zwei Sicherungen primärseitig eingesetzt sind, ist aber genau das gefordert.

Die Ursache für die starke Hitzeentwicklung von Trafos liegt in deren Konstruktion. Man kann kostengünstige Trafos entweder verlustarm oder einschaltstromarm auslegen. Einschaltstromarme und trotzdem verlustarme sind zwar prinzipiell auch möglich, nur ist der Trafo wegen der kleineren Induktion B dann wesentlich größer und darum viel teurer als ein verlustarmer Trafo mit hohem Einschaltstrom oder einer mit hohen Verlusten und geringem Einschaltstrom.

Oftmals stellen die Hersteller dieser Trafos den geringen Einschaltstrom als Argument heraus, und tatsächlich genügen diese Geräte vordergründig auch den preislichen und technischen Anforderungen. Die störende Wärmeentwicklung und der höhere Stromverbrauch werden dabei in Kauf genommen. Der Endkunde hat das Nachsehen.

Einschaltstrombegrenzer helfen zwar, die hohen Einschaltströme von verlustarmen Trafos zu begrenzen, aber sie erfüllen

KONTAKT

Emeko Ingenieurbüro,
79114 Freiburg,
Tel. 07 61 /44 18 03,
Fax 07 61 /44 18 88,
www.emeko.de

die Anforderungen nur teilweise. Sie behalten meistens zeitverzögert überbrückte NTC oder andere Fest-Widerstände oder bestehen nur aus NTCs. Mit einer solchen Schaltung lässt sich jedoch nur das eher seltene Einschalten nach einer längeren Betriebspause beherrschen. Das Einschalten bei bestehendem Kurzschluss vertragen diese auf NTC basierenden Einschaltstrombegrenzer nicht. Problematisch sind

auch mehrere kurz nacheinander folgende Einschaltvorgänge oder kurze Spannungsunterbrechungen. Die Widerstände in den Einschaltstrombegrenzern sind dann noch heiß oder noch überbrückt und können so den Einschaltstrom nicht begrenzen. Unter Umständen nehmen die Widerstände sogar selbst Schaden.

Trafoschaltrelais vermeiden ungünstige Kompromisse

So genannte ›Trafoschaltrelais‹ (TSR), welche den Einschaltstrom ganz vermeiden, ermöglichen jedoch die Verwendung verlustarmer Trafos, ohne bei der Absicherung Kompromisse machen zu müssen. Bild 2 zeigt den Einschaltvorgang mit einem Trafoschaltrelais, das einen unbelasteten 1-kVA-Ringkerntrafo einschaltet. Der Einschaltvorgang erfolgt dabei nur mit dem Leerlaufstrom von etwa 80 mA, zu keinem Zeitpunkt fließt ein höherer Strom. Der Trafo wird vor dem Einschalten durch die unipolaren Spannungszipfel für kurze Zeit vormagnetisiert und dann im richtigen Moment voll eingeschaltet. Die Sättigung des Trafoeisens wird dabei immer vermieden.

Seit mehr als fünf Jahren sind diese ›Einschaltstromvermeider‹ auf dem Markt. Sie werden auch in steigendem Maße in >

Sparen an der Sekundärleitung

Die Applikationsschaltung im Bild zeigt, wie ein Energie sparender Steuertrafo mit 0,8 kVA und 400 V zu 230 V Spannung im Anlagenbau zum Speisen von weit entfernten und verteilt liegenden Verbrauchern eingesetzt wird. Die Leitung nach dem Trafo ist 440 m lang, wobei für 230 V AC ein Querschnitt von nur 1,5 mm² genügt. Die primärseitige Absicherung ist mit einem Doppel-Leitungsschutzschalter B2 A ausgeführt, was mit dieser niedrigen und flinken Absicherung bisher für einen Trafo die-

ser Art undenkbar war. Die primärseitige Absicherung schützt dabei auch das sekundärseitige lange Kabel vor Überlastung.

Das TSR schaltet den verlustarmen Ringkerntrafo immer ohne Einschaltstromstoß ein, sodass dabei der B-Typ-2-A-Leitungsschutzschalter niemals auslöst. Dadurch kann der primärseitige Automat bei einem Kurzschluss an der am weitesten entfernten Stelle der sekundärseitigen Leitung über eine Distanz von maximal 440 m innerhalb von fünf Sekunden auslö-

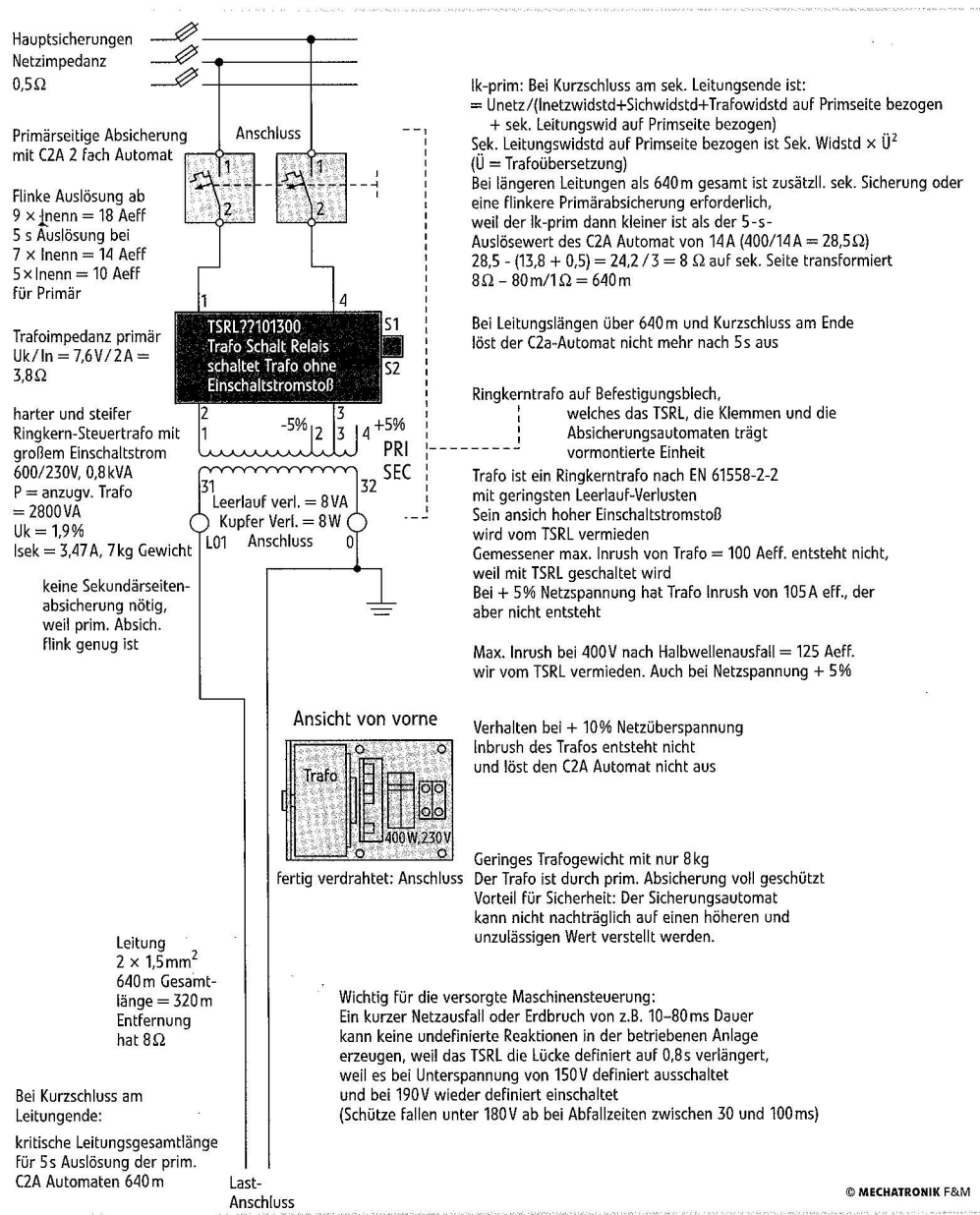
sen. Der Kurzschlussstrom auf der Primärseite ist dabei nur 10 A hoch. Sekundärseitig fließen maximal 17 A, bis die Sicherung auslöst. Die sekundärseitige Leitung mit 1,5 mm² Querschnitt ist damit sicher vor Brandschaden bei Kurzschluss geschützt.

Ohne TSR und bei Absicherung mit einem PKZM0-4-T primär, ohne sekundärseitige Sicherung, dürfte die 1,5-mm²-Doppelleitung nicht länger als 50 m sein. Der Trafo muss dann einschaltstromarm sein. Wenn die Leitung aber so lang sein muss,

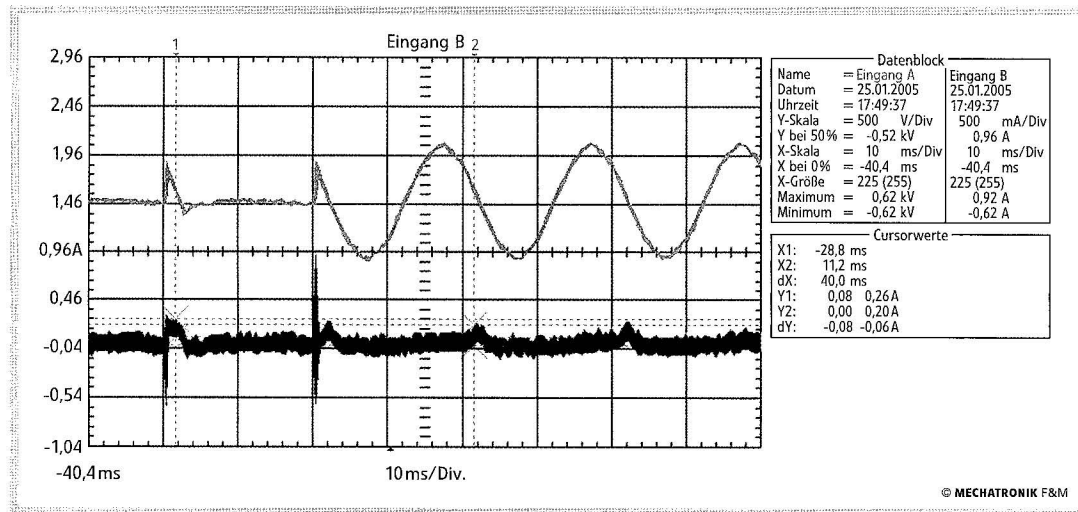
ergibt sich mit dem TSR eine Einsparung am Kabel für 440 m von etwa 300 Euro. Mit TSR ist ein 1,5-mm²-Kabel möglich, ohne TSR wird ein 4-mm²-Kabel benötigt. Mit einer sekundärseitigen Absicherung durch einen PKZM0-4, der nach fünf Sekunden bei 40 A im Kurzschlussfall auslöst, ist für 440 m Länge auch ein 4-mm²-Kabel nötig.

Das Problem bei solchen Applikationen sind nicht die einspeisenahen und harten Kurzschlüsse, sondern die fern und weichen Kurzschlüsse, welche die Absicherungsorgane noch mit Sicherheit zum Auslösen bringen müssen. Ein hoher, innerhalb von fünf Sekunden wirksamer Sicherungsauslösewert erfordert große Querschnitte beim Kabel.

Da hilft es, wenn kein Trafoeinschaltstrom vorhanden ist und die Absicherung sich nur nach den Erfordernissen des Leitungsschutzes richten muss. Außerdem besitzt das TSR mit der schnellen Reaktion auf Netzhalbwelleneinbrüche eine definierte Abschaltsschwelle bei Netz-Unterspannung von kleiner als 170 V, mit anschließendem Wiedereinschalten bei 190 V. Damit wird bei Netzeinbrüchen unkontrolliertes Abfallen und Anziehen der Schütze unterbunden, was die Anlagensicherheit erhöht und die Kontaktsätze dieser Schütze schont. Ein separates Spannungswächterrelais, das die Verbraucher in diesem Fall definiert aus- und einschaltet, ist dann nicht mehr nötig.



Beispiel für einen Schaltplan im Anlagenbau zur Speisung einer Energie-Busleitung, wobei lange Leitungen von der Trafo-Sekundärseite gespeist werden



2 Bei Verwendung eines Trafoschaltrelais beträgt hier der Einschaltstrom eines verlustarmen, unbelasteten Ringkerntrafos von 1 kVA nur 80 mA

schutzschalter löst dabei sofort innerhalb von 10 ms nach dem Einschalten aus. Der hier ohne TSR eingeschaltete verlustarme Steuertrafo hat einen luftspaltlosen Eisenkern mit verlustarmem Blech. Bei 1 kVA hat er bei einer 400-V-Primärwicklung einen Einschaltstrom von 200 A peak, das sind 140 A_{eff}. Das ist in diesem Fall der 56fache Nennstrom. Sehr verlustarme Ringkerntrafos dieser Größe haben sogar

sensiblen Bereichen wie zum Beispiel in Medizingeräten eingesetzt. Unter Last eingeschaltet fließt damit von Anfang an nur der Nennstrom. Ohne Last eingeschaltet fließt beim Einschalten nur der Trafo-Leerlaufstrom. Ein TSR kann über fünf Millionen Mal in seiner Lebensdauer den Nennstrom schalten.

Damit ist es auch möglich, einen kleineren Schutzschalter zu benutzen, der im Einstellbereich besser zum Trafo passt und auch den Teillastbetrieb absichern kann. Das wäre dann zum Beispiel ein PKZM0-2,5 für den Trafo mit 1 kVA Leistung bei 400 V mit 2,5 A Nennstrom. Es ist sogar ein B- oder C-Typ-Doppel-Leitungsschutzschalter unter dem Nennstromwert des Trafos einsetzbar, wenn eine noch flinkere Absicherung gewünscht wird. Eine sekundärseitige Absicherung kann dann auch wegfallen.

Sparsam: der Ringkerntrafo

Nur bei Ringkerntrafos ist der Leerlaufstrom so verschwindend klein, dass er überhaupt nicht zur Erwärmung im Trafoblech beiträgt. Deshalb werden diese Trafos in Zukunft als Energiespartrafos, die sehr belastungssteif sind, immer interessanter, wenn das TSR den hohen Einschaltstrom als einzigen Nachteil dieser Trafos ausgleicht.

Man kann mit dem TSR auch ruhig einen größeren Trafo einsetzen, wenn man eine besonders steife Ausgangsspannung haben möchte, weil die dann etwas größeren Leerlaufverluste von zusätzlich 5 bis 10 W, zum Beispiel bei einem Trafo von 2000 VA statt 1000 VA, eben überhaupt nicht ins Gewicht fallen. Die Wirkverluste nehmen dann sogar ab. Ein 2-kVA-Trafo

FAZIT

Sparsame Trafos, günstige Leitungen

Trafoschaltrelais unterdrücken hohe Einschaltimpulse und erleichtern so die Verwendung sparsamer Ringkerntrafos. Ein weiterer Vorteil ist, dass bei der Auslegung von Motorschutzschaltern nur noch die Belange des Leitungsschutzes zu beachten sind, ohne Rücksicht auf eventuelle Einschaltströme. Die niedrigere Schaltschwelle erlaubt dann auch die Verwendung kostengünstigerer Leitungen mit geringerem Querschnitt.

fo lässt sich dann zum Beispiel auch auf 0,5 kVA absichern.

Bild 3 zeigt einen verlustarmen Steuertrafo, der mit einem TSR eingeschaltet wird und mit B- oder C-Leitungsschutzschaltern flink auf den Nennstrom abgesichert ist. In Bild 4 ist ein Blockschaltbild eines TSR zu sehen mit den Messkurven vom Einschalten bei belastetem und unbelastetem Trafo. Auch beim Einschalten auf einen Kurzschluss nimmt das TSR keinen Schaden, wenn die Absicherung korrekt ausgeführt ist. Nach dem Beseitigen des Kurzschlusses ist das TSR sofort wieder einschaltbereit.

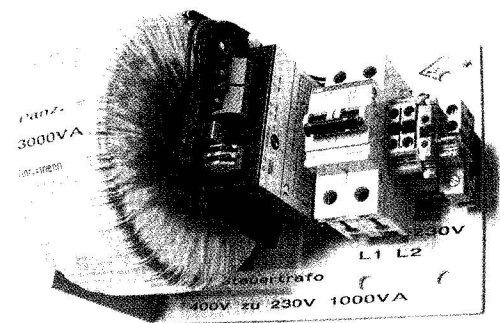
Ohne TSR kann die Sicherung auslösen

Bild 5 stellt ein Beispiel dar für einen Einschaltvorgang ohne ein TSR an einem verlustarmen 1-kVA-Trafo, der über ein PKZM0-4-T abgesichert ist. Der Trafo-

einen Einschaltstrom von über 180 A_{eff}.

Aus gutem Grund gibt es keine Trafoschutzschalter mit einem Kurzschlussauslösestrom, der mehr als das 22fache des Nennstroms beträgt. Sie würden die so genannten weichen Kurzschlüsse zu spät oder gar nicht abschalten und könnten damit zu einem Brandrisiko führen.

Die Auswahl der zum Trafo passenden Absicherung ist ohne TSR trotz einschaltstromarmer Trafos gar nicht einfach, wie folgendes Beispiel zeigt. Einphasige Steuertrafos werden üblicherweise mit 400 V, also zwischen zwei Leitern im Drehstromnetz betrieben. Ausgangsseitig erzeugen sie meist 230 V AC oder 24 V AC (DC). Die primärseitige Absicherung mit zwei Schmelzsicherungen ist unzulässig, wenn diese nicht gemeinsam auslösen. Meistens werden Motorschutzschalter in einer »Trafo-Version«, so genannte Transformator-Schutzschalter, dafür verwendet (>T<-Zusatz). Wenn zum Beispiel ein einschaltstromarmer 1-kVA-Steuertrafo mit primär 400 V und 2,5 A Nennstrom ohne Einschaltstrom-Vermeider eingesetzt wird, muss ein PKZM0-4-T mit 4 A



3 Beispiel für einen verlustarmen Steuertrafo, der mit einem Trafoschaltrelais eingeschaltet wird

› Nennstrom oder ein ähnlicher Schutzschalter als Absicherung davor geschaltet werden, damit der Einschaltstrom, obwohl niedrig, den Schalter nicht auslöst.

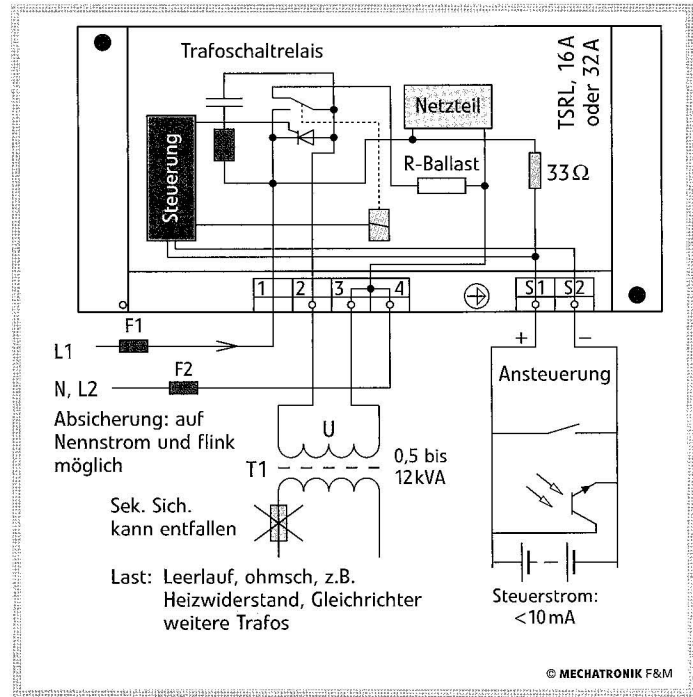
Dieser spezielle Trafoschutzschalter hat eine fest eingestellte, flinke Auslöseschwelle von $84 A_{eff}$. Diese liegt höher als beim normalen Motorschutzschalter PKZM0-4 (ohne T), der nur $56 A_{eff}$ hat und erst recht beim einschaltstromarmen 1-kVA-Trafo auslösen würde. Der einstellbare Absicherungsbereich dieses Schalters reicht von 2,5 bis 4 A. Für die Überlast-Auslösung des 4-A-Schutzschalters dreht man den Knopf für die thermische Auslöseschwelle ganz zurück auf 2,5 A, was der niedrigste einstellbare Auslösewert ist. Dieser Wert passt gerade noch zum Nennstrom des 1-kVA-Trafo.

Mit einem PKZM0-2,5-T dagegen, der auch vom Nennstrom her passen und besser den Teillastbereich abdecken würde, löst der Einschaltstrom den Schutzschalter aus, weil dessen Kurzschlussauslöseschwelle nur eine Höhe von $52,5 A_{eff}$ hat ($21 \times 2,5 A$). Einschaltstromarme Trafos liegen mit dem Einschaltstrom laut Herstellerangaben im Bereich des 15- bis 25-fachen Nennstroms, der tatsächliche Einschaltstrom liegt jedoch meistens darüber, weil er nur berechnet, aber nicht gemessen wird.

Der zum Einsatz kommende Trafo muss also wegen des bei einem Trafo immer vorkommenden Einschaltstromstoßes genau zum Schutzschalter passen. Diese Forderung ist, wie gesagt, nur von einschaltstromarmen und nicht von spannungssteifen und verlustarmen Steuertra-

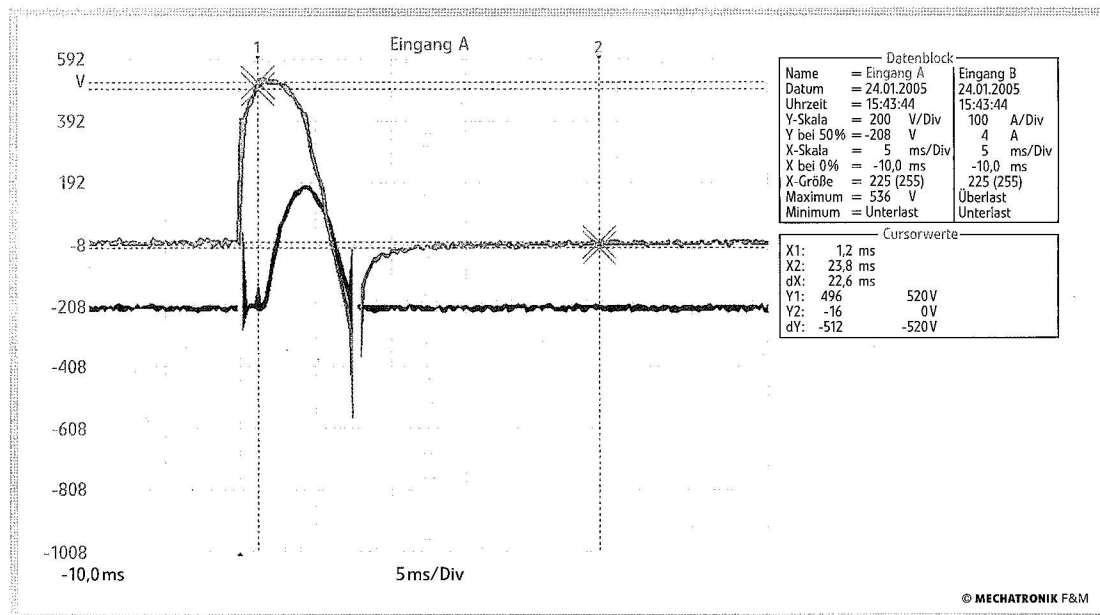
fos zu erfüllen. Letztere müssen wegen der geringen Verluste mit einem kleinen Innenwiderstand der Kupferwicklungen ausgelegt sein. Der primärseitige Wicklungswiderstand begrenzt auch den Einschaltstromstoß. Ein hoher Innenwiderstand ergibt einen kleinen Einschaltstrom, aber höhere Verluste, und umgekehrt.

Außerdem gilt für die Auslegung der Absicherung von langen Abgangsleitungen nach dem Trafo, wie sie im Anlagenbau vorkommen, dass ein Kurzschluss am äußersten Ende der Leitung die Absicherung schnell genug auslösen muss. Dabei ist der Kurzschlussstrom wegen des höheren Widerstands der langen Leitung gering. Dazu passt nun die hohe Schwelle nicht mehr für den flinken Auslösestromwert des Schutzschalters mit 21-mal dem Nennstrom von 4 A in diesem Beispiel. Es ist deshalb eine zusätzliche sekundärseitige, flinke Nennstrom-Absicherung erforderlich.



4 Blockschaltbild eines Trafoschaltrelais

Zum sicheren Abschalten bei so genannten weichen Kurzschlüssen ist es nötig, dass der Trafo-Innenwiderstand möglichst gering ist, was wiederum einen geringeren Querschnitt des abgehenden Kabels erlaubt. Denn die Summe der Widerstände bestimmt den Kurzschlussstrom, der die Sicherung auslösen muss. Was im Trafo an Kupfer eingespart wird, muss unter Umständen für die Leitungen nach dem Trafo mehrfach ausgegeben werden. ■



5 Einschaltvorgang ohne ein TSR an einem verlustarmem 1-kVA-Trafo, bei dem der Trafoschutzschalter PKZM0-4-T auslöst (Eingang A, oben: Spannung am Trafo; Eingang B, unten: Strom in den Trafo)

Autor

Dipl.-Ing. MICHAEL KONSTANZER betreibt in Freiburg das Ingenieurbüro Emeko (Elektronik-Mechatronik-Entwicklung Konstanz). Der Schwerpunkt seiner Tätigkeit liegt auf der Applikationsberatung für die patentierten Transformatorschaltrelais und allgemein beim einschaltstromstoßfreien Einschalten von Trafos jeder Art.