

Richtig auslegen – absichern – Kosten sparen

Der Einschaltstrom eines 1-kVA-Steuertrafos ist in Bild 1 dargestellt. Wenn er direkt eingeschaltet oder an die Spannungsversorgung gelegt wird, durch z. B. Hauptschalter einschalten, entsteht meistens der Einschaltstromstoss. Er ist ein Hindernis für die richtige Absicherung auf der Primärseite. Die Absicherung sollte zum Schutz eines Trafos mit Nennstrom und flink bis mittelträge geschehen.

M. Konstanzer

Wenn zum Beispiel ein schon heisser Trafo plötzlich durch einen Fehler in der zu speisenden Anlage noch höher belastet wird, sollte die Absicherung flink auslösen, damit sie den Trafo schützen kann. Das steht jedoch in vollem Widerspruch zum trägen Absichern wegen dem Einschaltstromstoss.

Eine Trafospule ist definitionsmässig die eigentlich ungünstigste Art der Verlegung von elektrischen Leitungen. Die Isolation ist dünn, es liegen viele und vom selben Strom durchflossene Drähte übereinander und nebeneinander, es bildet sich ein Wärmenest. Die Wickel-Drähte werden so dünn wie möglich dimensioniert, um Kosten zu sparen und auch um den Einschaltstromstoss zu begrenzen. – Der Einschaltstromstoss entsteht durch die Sättigung des Trafoeisens beim Einschalten. – Das Eisen ist dabei an der Bildung des induktiven Widerstandes, den ein Trafo normalerweise besitzt, nicht mehr beteiligt. Der Strom wird alleine durch den Kupferwiderstand der Primärwicklung begrenzt. Ein dünnerer Draht hat einen höheren Widerstand, wird aber auch heisser als ein dickerer Draht. Auch hier besteht für die bestimmungsgemässe Auslegung von Trafos ein Widerspruch.

Bisher waren deshalb Trafo-Zerstörungen durch Trafoüberlastungen nie ganz zu vermeiden. Jeder Fachmann kennt das Aussehen und den Geruch eines verbrannten Transformators. Die Hauptsache war meistens: Das Sicherungselement muss wegen dem hohen Einschaltstrom träger und oder grösser,

als es für den Schutz des Trafos gut wäre,
ausgelegt werden oder der Schutzschalter
war zu hoch eingestellt.

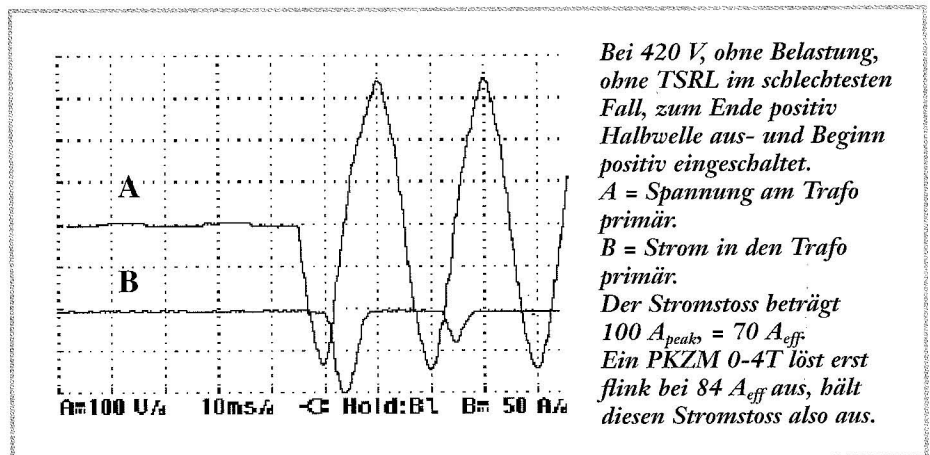
Früher veröffentlichte Fachartikel des Autors zeigen die Ursachen des Einschaltstromstosses von Transformatoren. Siehe Literatur-Hinweise am Schluss dieses Berichtes. Ausserdem gilt: Wenn ein Trafo mit niederem Einschaltstrom ausgelegt ist, dann ist er grösser, weicher und teurer als nötig, weil er bei gleicher Leistung einen grösseren Eisenkern besitzt, was von Anwendern auch nicht gewünscht wird.

Nein, nicht so! Vom Fliesenlegen.

Der in Bild 1 dargestellte hohe Einschaltstromstoß von über 100 A muss vom Absicherungselement ausgehalten werden. Schmelzsicherungen, die auf den Nennstrom ausgelegt sind, können des-

halb nicht verwendet werden. Es gibt sie nicht mit Auslösecharakteristiken, welche für den Einschaltstrom träge genug sind. Schmelzsicherungen werden deshalb bisher mit einem 3 mal grösseren Sicherungswert als dem Nennstrom vor Transformatoren geschaltet. Damit ist dann nur die Zuleitung abgesichert, wenn sie im Querschnitt darauf angepasst ist, nicht aber der Trafo. Die dann nötige und eingesetzte Trafo-Sekundärsicherung schützt nicht vor der Überhitzung des Trafos als Folge von Spannungsüberhöhungen auf der Primärseite. Das kann nur eine auf Nennstrom ausgelegte Primärabsicherung. Die ist aber mit preiswerten Schmelzsicherungen aus besagten Gründen bisher nicht zu bekommen. Das treibt die Kosten für die Absicherung in die Höhe, denn nur mit kombinierten elektromagnetisch- und thermisch auslösenden Schutzschaltern kann der hohe Einschaltstrom beherrscht werden. Allerdings auch nur bis zu mittelmässigen Einschaltstromwerten von 20mal den Nennstrom. Ein Trafo der jedoch so ausgelegt ist, dass das Trafoeisen möglichst gut ausgenutzt wird, hat einen deutlich grösseren Einschaltstrom als 20mal den Nennstrom. Siehe auch Einschaltstromstösse von Ringkerntrafos.

Es bleibt bisher also dann doch nur wieder der Weg offen, den Trafo primärseitig zu übersichern.



Trafo direkt einschalten ohne eine Einschaltstrombegrenzung.
Einschalten eines 1kVA Standard Steuertrafos, mit mässigem Einschaltstrom, abgesichert mit PKZM0-4T Schutzschalter.

Beispiel Nr. 1.

Die Abbildung zeigt die übliche Dimensionierung und Absicherung eines 1-kVA-Standard-Steuertrafos eines bekannten Herstellers für eine Belastung, wie sie weiter unten bei «Lasten» beschrieben ist. Der Transformator ist mit seinen technischen Daten auf den angegebenen primärseitigen Schutzschalter abgestimmt, damit er diesen beim Einschalten unter Betriebsbedingungen nicht zur Auslösung bringt. Durch die sich für den Trafo dadurch ergebenden Grenzen ist dieser grösser und teurer als er es sein müsste, wenn der Einschaltstromstoss nicht zu berücksichtigen wäre. Standard-Steuertrenntrafo nach EN 61 558 und VDE 570:

Primärseitige Absicherung

Motor-(Trafo)Schutzschalter:

PKZM0-4T. Einstellbar von 2,5–4 A; flinke Auslösung nach 10 ms: ab 21 *

$I_{nenn} = 84 A_{eff}$; Auslösung nach 1 s.: ab 21 *

* $I_{nenn} = 84 A_{eff}$

- STI 1,0; 400 V; 2,71 A; zu 230 V; 4,35 A; $\bar{u} = 1,739$; ($\bar{u}^2 = 3$); 1000 VA Halte- oder Wirk-, 2800 VA Kurzzeitleistung. $u_k = 2,91\%$. Trafoimpedanz primär = $([u_k \cdot U_{pr}/100] \cdot 0,60)/I_{pr} = 2,6 \text{ Ohm}$. (Durch Messungen vom Verfasser ermittelte Formel, siehe Bild 3)

- Die Netzimpedanz sei 0,5 Ohm. (Gemessener maximaler) Einschaltstrom bei 400 V = 60 A_{eff} ; Einschaltstrom bei 420 V = 70 A_{eff} ; Einschaltstrom bei 440 V = 80 A_{eff} ; Gewicht 13,4 kg. Cu-Gew.: 3,0 kg; Abmessungen: 151 · 128 · 145 mm

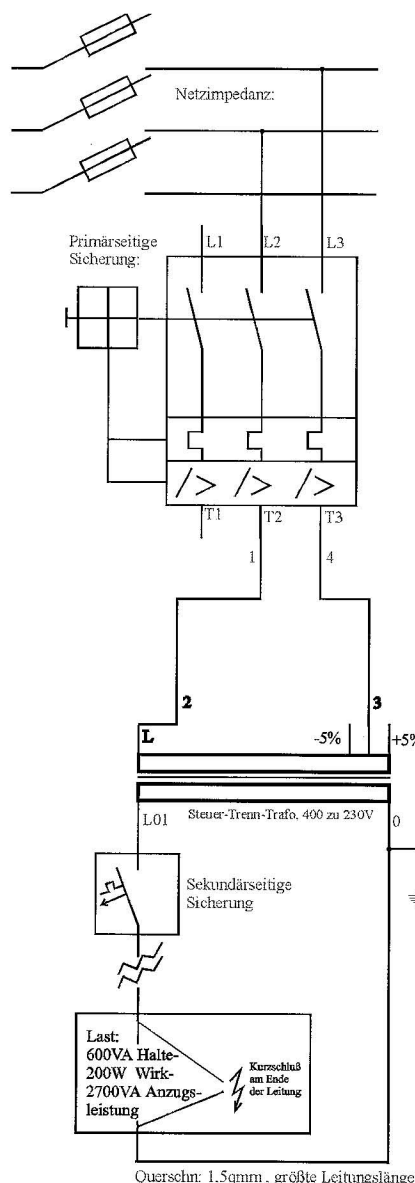
- Leerlaufverluste: 26,8 W;
Kurzschlussverluste: 28,5 W.

Sekundärseitige Absicherung

Mit Flachautomat: Charakteristik C; 4 A. Flinke Auslösung nach 10 ms: ab $9 \cdot I_{nenn} = 36 A_{eff}$; Auslösung nach 1 s: ab $7 \cdot I_{nenn} = 28 A_{eff}$. (Für Charakteristik B mit flinker und 1 s Auslösung bei $4 \cdot I_{nenn} = 16 A_{eff}$, ist der I_{Anzug} auf der Sekundärseite mit 16 A_{eff} zu gross.)

Lasten

Diverse Schütze mit zusammen 600 VA Halteleistung, Lampen, Netzteile usw. mit zusammen 200 Watt Wirkleistung. Grosse Schütze nicht zusammen einschaltend, wobei jeder max. 2700 VA An-



zugsleistung hat oder mehrere Schütze gemeinsam betätigt mit zusammen 2700 VA Anzugsleistung. $I_{Anzug \text{ sekundär}} = 16 A_{eff}$; $I_{Anzug \text{ primär}} = 9,5 A_{eff}$; $I_{Last \text{ max. sekundär}} = 800/230 = 3,47 A_{eff}$.

Ergebnis

Der Trafo fällt nach Gewicht, Grösse und Preis gemessen gross aus, weil er einen mässigen Einschaltstromstoss haben muss, den der primärseitige Schutzschalter aushalten kann. Der Schutzschalter für 4A muss auf seinen kleinsten einstellbaren Wert von 2,5 A eingestellt werden, damit der Trafo vor Überlast geschützt ist. Wird der Schutzschalter höher eingestellt, so kann der Trafo bei Überlast oder Fehlern in der Anlage überlastet werden, ohne dass der Schutzschalter schnell genug oder überhaupt auslöst. Dann bringt der Schutzschalter nur den Trafo-Kurzschlussschutz. Deshalb ist nötig: Einsatz der angegebenen sekun-

därseitigen Absicherung mit einem C4A-Automaten für die Sicherheit gegen Kabelschäden, bei Kurzschluss am entferntesten Punkt der Steuerleitung, (1 Sek. Auslösung):

Grösste sekundärseitige Leitungslänge, (hin und rück), bei 1,5 mm² Querschnitt **ohne sekundärseitige Absicherung**: = $([U_{netz}/1 \text{ s Auslösewert}] - [Trafoimpedanz + Netzimpedanz])/ \bar{u}^2 \cdot \text{Leitungslänge für 1 Ohm} = ([400V/84A] - 3,1)/3 \cdot 80 \text{ m} = 40 \text{ m}$. Das ist zu wenig für Anlagen, der PKZM0-4T schützt nur den Trafo vor Kurzschluss, aber nicht die sekundärseitigen Leitungen.

Sicherheit gegen Kabelschäden bei Kurzschluss am entferntesten Punkt der Steuerleitung, (1-s-Auslösung)

Grösste sekundärseitige Leitungslänge Für Hin- und Rückleitung, bei 1,5 mm² Querschnitt **mit sekundärseitiger Absicherung**: = $([U_{sekundär}/1 \text{ s Auslösewert sekundäre Sicherung}] - \text{primärseitige Impedanz}/\bar{u}^2) \cdot \text{Leitungslänge für 1 Ohm} = ([230 \text{ V}/28 \text{ A}] - 3,1/3) \cdot 80 \text{ m} = 570 \text{ m}$.

Kosten

Brutto-Preise eingesetzt, für die Gewährung von 40% Rabatt auf das Einzelstück, ohne Rabatte gerechnet:

Mit STN-Trafo: nach VDE 0570, 2–4 A \triangle PKZM0-4T: 83,- DM; Transformator STN 1,0: 184,- DM; C4A-Automat: 62,- DM. Summe: 329,- DM.

Mit STI-Trafo: nach VDE 0570, 2–6 B \triangle PKZM0-4T: 83,- DM; Transformator STI 1,0: 300,- DM; C4A-Automat: 62,- DM. Summe: 445,- DM.

Beispiel 2 zeigt, wie man für die gleiche Aufgabe eine primärseitige Absicherung mit auf den Nennstrom ausgelegten Schmelzsicherungen wählen kann, wenn man auf den Einschaltstromstoss des Transformators keine Rücksicht mehr zu nehmen braucht. Diese Art der Absicherung ist die preiswerteste und sicherste von allen.

Beispiel Nr. 2

Die Abbildung und die folgende Beschreibung zeigen die kostengünstigste Variante für die Dimensionierung und Absicherung eines 0,8-kVA-Steuertrafos. Der Trafo-Hersteller dimensioniert die Trafos für die Anwendung der Trafo-Schalt-Relais, ohne die Beschränkungen durch den Einschaltstrom. Dieser kleinere Trafo hat eine grössere Anzugsleistung als der Trafo von Beispiel 1.

Der Transformator muss mit seinen technischen Daten **nicht mehr** auf einen primärseitigen Schutzschalter abgestimmt werden, weil der Einschaltstrom nicht entsteht. Durch den Wegfall der für den Einschaltstrom existierenden Grenzen ist der Trafo kleiner und preiswerter, als er es bisher sein musste, wenn der Einschaltstromstoss zu berücksichtigen ist. Die primärseitige Schmelzsicherung ist mit ihrem Nennstrom genau auf den Trafo-Nennstrom abgestimmt. Die primärseitige Absicherung muss nicht mehr mit im Nennstrom 3mal zu grossen g/L-Sicherungen vorgenommen werden, wie es ein bekannter Hersteller von Transformatoren und Schaltgeräten bisher mit Recht vorgeschrieben hat. (Wegen dem Trafo-Einschaltstromstoss). Der kleinere belastungssteifere Trafo mit 800 VA, erlaubt mit 3200 VA eine grössere Kurzzeitleistung als der grössere Standardtrafo mit 1000 VA Nennleistung (2700 VA).

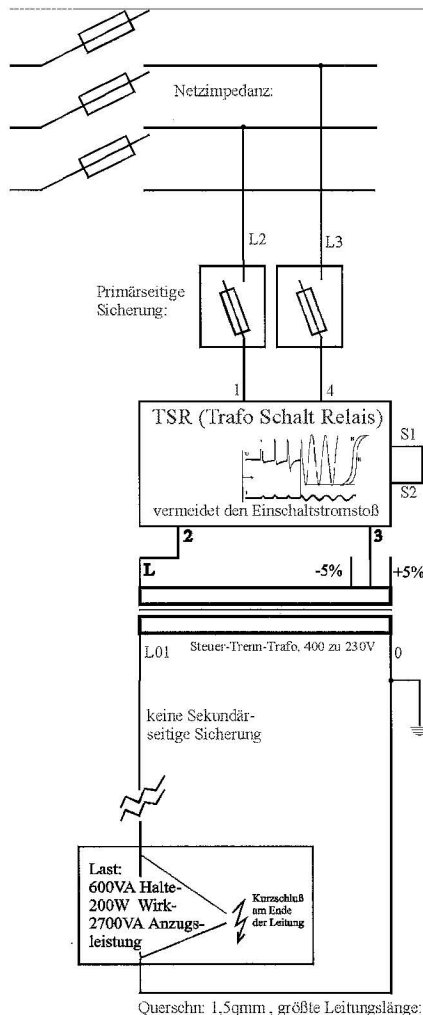
Primärseitige Absicherung

mit Schmelzsicherungen als 10 · 38-mm-Patronen mit g/L-Charakteristik, 2 A Wert mit «ZS-Modul» Halter von Siba oder in 2 Haltern «UK 10,3-Hesi» von Phoenix, usw.; flinke Auslösung nach 10ms: ab $12 \cdot I_{\text{nenn}} = 24 \text{ A}_{\text{eff}}$, Auslösung nach 1s: ab $7 \cdot I_{\text{nenn}} = 14 \text{ A}_{\text{eff}}$.

oder mit Motor-(Trafo)Schutzschalter: PKZM0-2,5. Einstellbar von 1,6–2,5 A; flinke Auslösung nach 10ms: ab $14 \cdot I_{\text{nenn}} = 35 \text{ A}_{\text{eff}}$ (kleiner als bei T-Typ.), Auslösung nach 1s: ab $14 \cdot I_{\text{nenn}} = 35 \text{ A}_{\text{eff}}$.

Neu! Transformator Schalt-Relais, TSRL, 400 V, 16 A, für Hutschienenmontage:

Beim Anstehen der Netzspannung an den Eingangsklemmen des TSRL, beginnt dieser den Transformator zuerst vorzumagnetisieren und nach ca. 100 Millisekunden voll einzuschalten. Es fliesst unter allen Umständen beim Ein-



schalten, je nach Belastung, immer nur der Leerlauf- oder der Nennstrom des Transformators. Der TSRL nimmt beim Einschalten auf einen Kurzschluss nach dem Trafo keinen Schaden. – Im Gegensatz zu Einschaltstrombegrenzern, welche dabei beschädigt werden. – Siehe Messkurven am Schluss. *Steuertrenntrafo nach EN 61558*: (Extra belastungssteifer Typ mit geringen Verlusten und kleinerer Baugrösse und geringeren Kosten.)

Sekundärseitige Absicherung

Nicht nötig, weil der Trafo und die Leitungen durch die primärseitige Absicherung auf den Nennstrom voll geschützt sind. (Die unterschiedlichen Lasten auf der Sekundärseite können natürlich mit zusätzlichen Sicherungselementen abgesichert werden, deren Stromsumme wegen der primärseitig vorhandenen Überlastsicherung auch insgesamt grösser sein darf als der Sekundärnennstrom des Trafos.)

Lasten

Wie beim Beispiel Nr. 1: Diverse Schütze mit zusammen 600 VA Halteleistung,

Lampen, Netzteile usw. mit zusammen 200 Watt Wirkleistung. Grosse Schütze nicht zusammen einschaltend, wobei jeder max. 2700 VA Anzugsleistung hat oder mehrere Schütze gemeinsam betätigt mit zusammen 2700 VA Anzugsleistung. $I_{\text{Anzug sekundär}} = 16 \text{ A}_{\text{eff}}$, $I_{\text{Anzug primär}} = 9,5 \text{ A}_{\text{eff}}$, $I_{\text{Last max. sekundär}}: 800/230 = 3,47 \text{ A}_{\text{eff}}$.

Ergebnis

Der Einsatz von preiswerten Schmelzsicherungen auf der Primärseite, ist die kostengünstigste Lösung und bietet den optimalen Schutz für den Trafo, bei grösster sekundärseitiger Leitungslänge. Auf der Trafosekundärseite werden seit jeher Schmelzsicherungen zum Absichern von unterschiedlichen Lasten verwendet. Auf der Trafoprimärseite war das bis jetzt jedoch nicht möglich, wegen dem hohen Einschaltstromstoss der Trafos, der die Sicherungen wenn auch nicht gleich auslöst, so doch stresst und altert und nach mehrmaligen Stromspitzen dann unverhofft ausgelöst hat.

Sicherheit gegen Kabelschäden bei Kurzschluss am entferntesten Punkt der Steuerleitung, (1-s-Auslösung)

Grösste sekundärseitige Leitungslänge (hin und rück), bei 1,5 mm² Querschnitt **ohne** sekundärseitige Absicherung: = $([U_{\text{Netz}}/1 \text{ s Auslösewert}] - \text{primärseitige Impedanz})/\bar{u}^2 \cdot \text{Leitungslänge für 1 Ohm} = ([400 \text{ V}/14 \text{ A}] - 3,2) / 3 \cdot 80 \text{ m} = 670 \text{ m}$.

Kosten

Ohne Rabatte gerechnet mit Trafo nach VDE 0570, 2–4:

A: 2-fach-Sicherung mit Halter 24,- DM; Trafo fiktiv: 165,- DM; TSRL: 136,- DM; Summe: 325,- DM.

Mit Trafo nach VDE 0570, 2–6:

B: 2-fach-Sicherung mit Halter 24,- DM; Trafo ETK1650086: 228,- DM; TSRL: 136,- DM; Summe: 388,- DM.

Das ist 57,- DM billiger als die Standardlösung in Beispiel 1 mit Möller Trafoschutzschalter und Trafo B.

Aber es geht auch anders!!

Ein Stromstoss entsteht gemäss Bild 2 durch das Vorschalten des TSRL nicht mehr. Das Einschalten geschieht mit dem Leerlaufstrom von hier $0,6 A_{peak}$ oder eben dem Laststrom. Die primärseitige Absicherung braucht sich deshalb nur nach dem Strom zu richten, der von der Sekundärseite her auf der Primärseite entsteht. Das ist der Trafo-Nennstrom. Deshalb kann flink oder mittelträge auf der Primärseite abgesichert werden, so wie es die Last verlangt. (siehe auch die Beispiele 1 und 2) Der überall spürbare Kostendruck veranlasst Elektro-Planer für Anlagen und Maschinen, bei steigenden Qualitätsansprüchen, die Ausrüstungskosten immer weiter zu reduzieren.

Der Aufsatz zeigt, wie man Steuertransformatoren elektrotechnisch sicherer und dennoch kostengünstiger als bisher einsetzen und absichern kann. Durch das Vorschalten der inzwischen preiswert gewordenen Transformator-Schalt-Relais, welche den bisher unüberwindlichen Einschaltstromstoss der Transformatoren vermeiden, lassen sich technische- und

Kosten-Grenzen verschieben. Beispiel 1 zeigt die klassische Trafodimensionierung und Absicherung.

Gefordert ist die Belastung des Steuertrafos mit einer *hohen Anzugsleistung*, weil grosse Schütze gleichzeitig zum Anzug gebracht werden müssen. Berücksichtigt wird auch die Leitungslänge bis zu der bei einem Kurzschluss am entferntesten Punkt die Absicherung noch innerhalb einer Sekunde auslöst. Das ist die Zeit, welche Kabel ohne Schaden bei Kurzschlüssen aushalten.

Vorteile der Einschaltstromvermeidung

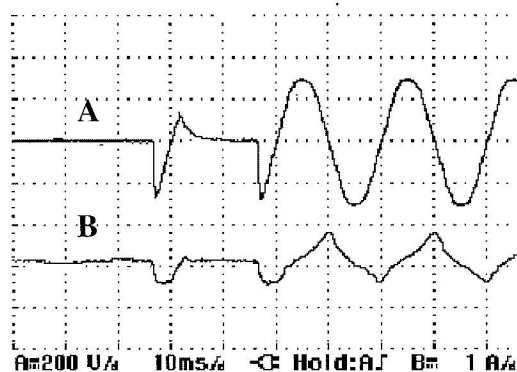
Die Vorteile von Schmelzsicherungen zur Absicherung auf der Primärseite von Steuertrafos zusammen mit den Leitungen auf der Sekundärseite lassen sich durch die Vermeidung des Trafo-Einschaltstromstosses kostengünstig nutzen.

Mit Schmelzsicherungen in Nennstromstärke lässt sich ein Rundumschutz für Steuertrafo und Steuerleitungen erreichen.

Die Vorteile von Schmelzsicherungen, wie hohes Ausschaltvermögen, kompakte Abmessungen, hohe Zuverlässigkeit und das sichere Abschalten im Fehlerfall immer zur sicheren Seite hin sind nach wie vor ein schlagendes Argument für ihren Einsatz. Bisher musste allerdings der Sicherungs-Nennstromwert dreimal grösser gewählt werden als der Trafo-Nennstrom, damit dessen Einschaltstrom die Schmelzsicherung nicht auslöste. (Nach vielen Einschaltungen löste die Sicherung dann doch aus, weil die Sicherung durch die hohen Stromstösse gestresst wurde.) Durch die Überdimensionierung war die so ausgelegte Primärabsicherung jedoch nicht mehr zum Überlastschutz für den Trafo und die sich dahinter befindlichen Steuerleitungen zu gebrauchen. Diese dem primärseitigen Überlastschutz im Wege stehende Hürde ist durch die Vermeidung des Einschaltstosses mittels der Trafo Schalt Relais, TSRL, nun beseitigt. Die Trafo Schalt Relais sind äusserst robust und sind innerhalb der beim Schalten von Steuertrafos sich ergebenden Grenzen, kurzschlussfest und nicht mit bisher verwendeten Einschaltstrombegrenzern zu vergleichen, welche beim Einschalten des Trafos auf einen Kurzschluss beschädigt oder zerstört werden. Die Wirkungsweise der TSRL ist international patentiert.

Die gezeigten Beispiele sind nicht starr vorge-schrieben. Die oben beschriebenen zwei Beispiele lassen sich natürlich auch untereinander mischen. Das heisst, es kann natürlich auch ein Standard Steuertrafo auf der Primärseite mit Schmelzsicherungen oder C-Automaten abgesichert werden, wenn vor den Trafo der TSRL geschaltet wird. Die geschützte Leitungslänge ist dann durch die wesentlich flinkere Auslösung bei Überströmen innerhalb einer Sekunde, welche für die Steuerleitungen wichtig ist, auch ohne Sekundärsicherung wesentlich grösser als beim Beispiel 1. Die Kosteneinsparungen sind dann nicht zu haben, aber die technischen Vorteile sind interessant genug, so zu verfahren.

Wenn ein Elektroplaner die Kostenvorteile nutzen will, die sich durch den Einsatz der TSRL ergeben, wie im Beispiel 2 beschrieben, dann muss er jedoch konsequent den vorgezeigten Weg gehen und darf nicht einen Motorschutzschalter, einen weichen Standardtrafo mit einem TSRL und einen zusätzlichen Automaten auf der Sekundärseite einsetzen. Das wird dann teuer. Durch den Einsatz eines kleineren jedoch steiferen Steuertrafos, der



Einschalten eines 1-kVA-Standard-Steuertrafos, ohne Belastung, mit TSRL per Steuereingang, S1-S2 eingeschaltet.

A = Spannung am Trafo primär.

B = Strom in den Trafo primär (anderen Massstab im Vergleich zu Bild 1 beachten). An der Kurvenform des Stromes ist zu sehen, dass kein korrosionsorientiertes Blech verwendet wurde bei diesem Trafo.

Bild 2 Trafo mit TSRL einschalten.

A = Spannung am Trafo auf der Primärseite.

Primärseitige Impedanz Bestimmung: $220 V_{peak} / 70 A_{peak} = 3,1 \text{ Ohm} =$

Gesamt-Impedanz. $R_{tr. prim} =$

Gesamt-Impedanz -

Netzimpedanz = $2,6 \text{ Ohm} =$

$(U_k \cdot U_{netz} \cdot x) / 100 \cdot I_{nenn}$

Daraus folgt $x = 0,6$.

B = Strom in den Trafo auf

der Primärseite

Es fliessen maximal $70 A_{peak}$

zum Ende der Halbwelle

hin, weil der flinke Auslöse-

strom der Absicherung

geringer ist als der schon bei

der Vormagnetisierung flies-

sende Strom.

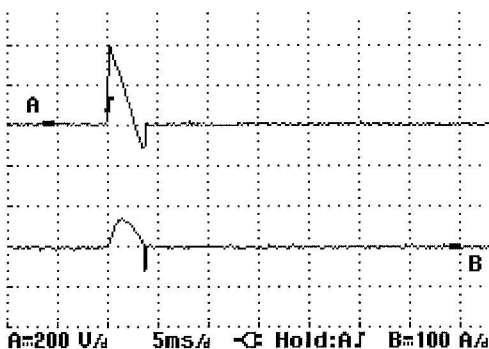


Bild 3 Einschalten mit dem TSRL auf einen kurzgeschlossenen Trafo mit richtig dimensionierter Absicherung von C4A für einen 1,6-kVA-Steuertrafo. Der Kurzschlussstrom wird automatisch begrenzt.

Impedanzbestimmung gemäss Messung:

$440 V_{peak} / 140 A_{peak} = 3,1 \text{ Ohm}$ Ges. Impedanz Trafo primäre Impedanz = Gesamt-Impedanz - Netz-Impedanz = 2,6 Ohm. $2,6 \text{ Ohm} = (u_k \cdot U_{netz} \cdot x) 100 \cdot I_{nenn}$

Daraus folgt $x = 0,6$.

(Vom Verfasser auf Grund dieser Messungen ermittelte Formel.)

A= Spannung am Trafo auf der Primärseite.

B= Strom in den Trafo auf der Primärseite.

Der PKZM 1-4 löst erst nach dem Volleinschalten der TSRL, nach einer Halbwelle aus. Die bei den Spannungspulsen entstehende Stromhöhe von $70 A_{peak}$ genügt nicht, den PKZM 1-4 auszulösen. Erst der Stromstoss nach dem Volleinschalten von $140 A_{peak}$ löst den PKZM 1-4 aus.

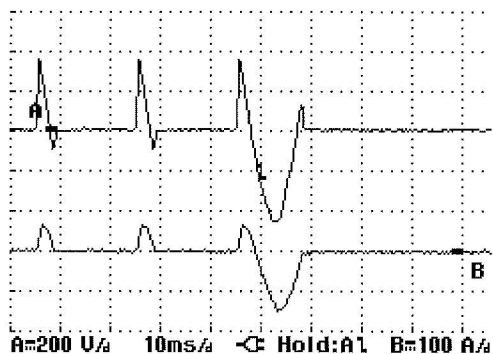


Bild 4 Einschalten mit dem TSRL auf den sekundärseitig kurzgeschlossenen Trafo mit zu grosser und zu träger Absicherung (schlechtester Fall), wird vom TSR ohne Schaden ausgeschaltet.

für sich alleine einen hohen Einschaltstromstoss hat, der mit Trafoschutzschaltern nicht beherrschbar wäre, lässt sich also noch kein Geld sparen und keine technisch sichere Lösung erreichen. Es muss das TSRL (Trafo Schalt Relais) plus die primärseitige und alleinige Absicherung mit Schmelzsicherungen dazukommen bzw. den Schutzschalter ersetzen.

Das Verhalten des TSRL und der Absicherung, wenn der Trafo sekundärseitig kurzgeschlossen ist, zeigt das Bild 3. Die primärseitige Absicherung ist dabei auf die Sicherheit für sekundärseitige grosse Kabellängen ausgelegt.

Schon beim ersten Vormagnetisierzipfel, den der TSRL zum Trafo mit hier 1,6 kVA schickt, ist der in den Trafo fließende Strom so gross, dass die Absicherung mit einem C4A-Automaten sofort auslöst.

Der Kurzschluss wirkt sich für alle Beteiligten sehr «harmlos» aus. Es fließen maximal $70 A_{peak} = 50 A_{eff}$ für die kurze Zeit von nur etwa 3 Millisekunden. «Da brennt noch nichts an.» Weil der Stromfluss dabei zum Ende einer Netzspannungshalbwelle stattfindet, ist er nach dem Beginn nie zu-, sondern immer abnehmend, was sich damit von selbst strombegrenzend auswirkt. Der C4A-Automat löst laut Kennlinien ab $36 A_{eff}$ flink aus. Was er bei $50 A_{eff}$ offensichtlich schon in deutlich weniger als 10 Millisekunden tut. Man kann hierbei von einer «quasi vorausschauenden Sicherung» sprechen, die inhärent im Einschaltverfahren durch die Vormagnetisierung mit den Span-

nungspulsen und der richtigen Absicherung enthalten ist. Das erklärt auch die Aussage, weshalb der TSRL kurzschlussfest ist, wenn die Absicherung flink bis mittelträge im Nennstrombereich erfolgt. Der Thyristor im TSRL für 16 A, kann für 10 ms $400 A_{peak}$ aushalten. Bei zeitlichem Abstand von wenigen Sekunden kann er das viele Male, ohne Schaden zu nehmen. Das erklärt die Sicherheit gegenüber Beschädigungen durch Überströme und die Robustheit der TSR.

Es ist leicht einsehbar, dass bei einem Kurzschluss auf der Trafosekundärseite, am Ende von langen Steuerleitungen, eher eine Sicherungsauslösung auf der Primärseite erfolgt, wenn diese flink und auf den Nennstrom ausgelegt ist, als wenn die Sicherung träge ausgelegt ist. Im ersten Fall ist die Sicherheit gegen Beschädigungen der Kabel wesentlich grösser.

Das Verhalten des TSRL und einer zu trügen Absicherung wenn der Trafo sekundärseitig kurzgeschlossen ist, zeigt das Bild 4.

Hierbei ist die Absicherung wegen des Einschaltstromstosses zu träge gewählt. In diesem Fall mit einem PKZM 1-4, der bei $56 A_{eff}$ flink auslöst ($78 A_{peak}$). Mit dem TSR entsteht der Einschaltstrom jedoch nicht.

Der TSRL nimmt dabei aber keinen Schaden. Siehe oben gestellter Vergleich.

Es fließen wegen der strombegrenzenden «Trafo-plus Netzimpedanz» nur 140

A_{peak} , wobei das den Thyristor brückende Relais schon geschlossen ist und diesen zusätzlich schützt.

Das kann bei niederohmigerer Einspeisung, wegen der Trafoimpedanz von ca. 2,6 Ohm nicht viel anders aussehen, obwohl dort die strombegrenzende Wirkung einer weiteren Vorsicherung, z.B. NH00, 32 A, von Vorteil ist. ($564 V_{peak} / 400 A_{peak} = 1,4 \text{ Ohm}$ für kleinste Gesamt-Impedanz. Bei richtiger Absicherung tritt dieser Fall jedoch nicht auf, weil dann die Sicherung schon früher auslöst. Beim Auftreten eines Kurzschlusses auf den schon eingeschalteten TSRL, kann dieser mehr als $1000 A_{eff}$ aushalten, weil der Thyristor dabei mit einem robusten Relais gebrückt ist, welches diesen Strom für 10 ms aushalten kann. Bei dieser steil beginnenden Stromhöhe wird jede halbwegs genügende Absicherung ab wenigen 100 Ampere eff. schon nach weniger als 2 Millisekunden auszulösen beginnen und den Strom damit in der Höhe auf weniger als 1000 A begrenzen.

Lebensdauer des TSRL: Die Gesamtzahl aller Schaltungen, auch ohne Pause im Sekundentakt ausgeführt, liegt bei mehr als 5 Millionen Schaltungen. Das reicht für den beschriebenen Einsatz sicher aus.

[ET07]

M. Konstanzer
Emeko Ingenieurbüro
Britzingerstr. 36
D-79114 Freiburg
Tel. 0049 761/44 18 03

- Lieferant und Hersteller der TSRL: FSM-Elektronik, Bundesstr. 15, D-79199 Kirchzarten.
- Eine umfangreiche Literaturliste ist beim Autor erhältlich.

Fachzeitschriften aufbewahren lohnt sich immer!

Jede Nummer griffbereit dank der praktischen

Sammelbox

aus weissem, standfestem, und verstärktem Plastik

Nur Fr. **15.-**
(inkl. Porto, Verpackung und MwSt.)

AZ Fachverlage AG, «Elektrotechnik»,
Neumarktstrasse 1, 5001 Aarau,
Fax 062/836 65 66