

Vortrag über Trafo Physik, die Ursachen von Trafo-Einschaltstromstößen und deren Beseitigung.

Nur eine durchgebrannte Sicherung.....



Bild 1

Ist der Zufall mit im Spiel?

- Die meisten Anwender von Transformatoren wissen nicht genau wieso der Einschaltstrom entsteht.
- Er tritt **nicht** bei jedem Einschalten auf, er entsteht scheinbar zufällig.

Ursache des Trafo-Einschaltstroms

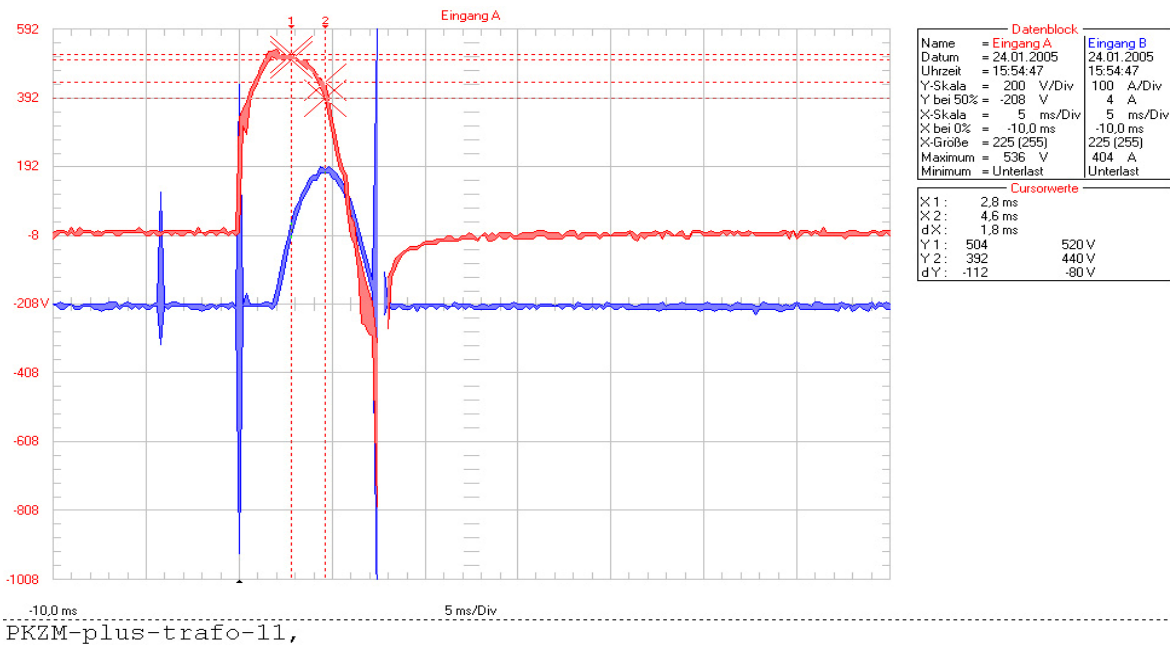
- Im Fall der Eisen-sättigung, --welche entsteht beim Trafo Einschalten zu einem ungünstigen Zeitpunkt --, ist der Kupferwiderstand der Primärwicklung, zusammen mit dem Netz-Innenwiderstand, **der einzige strombegrenzende** Widerstand im Stromkreis. Wie auch Karl Steinbuch erkannte.
- (Die Netzimpedanz ist ungefähr 0,3 Ohm bei 230V für 16-32 Ampere Netze.)

2

- Während dem Einschaltstromstoß scheint das Eisen im Trafo wie nicht vorhanden zu sein, weil seine Magnetisierung in diesem Fall der Sättigung nicht mehr durch die Netzspannung geändert werden kann. Damit fehlt der induktive Widerstand.

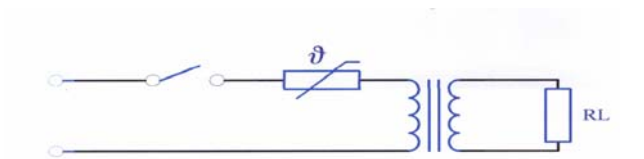
Messkurve vom Einschalten eines 1kVA Steuertrafos der mit einem Motorschutzschalter abgesichert ist.

Bild 2



I-nenn ist nur 2,5A. Nach dem Einschalten der Spannung, **rote** Kurve, entsteht ein **Überstrom von 200 A peak, blaue Kurve**, welcher die Absicherung auslöste.

Klassische Varianten der Einschaltstrombegrenzung.



- allein mit einem Heißleiter

Bild 3

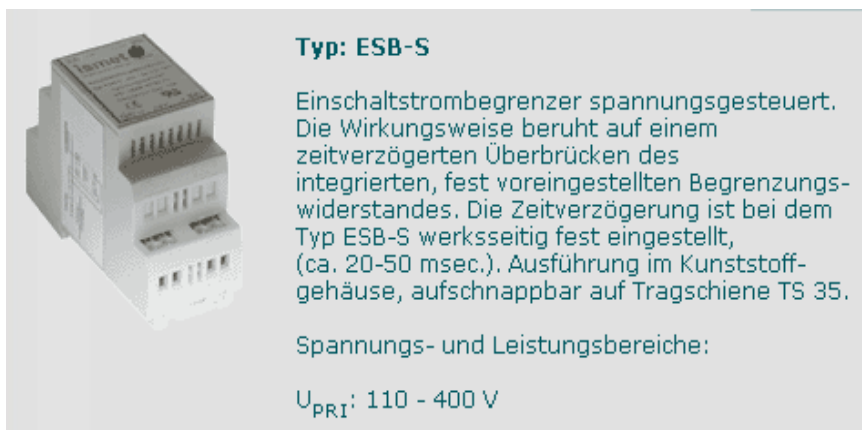
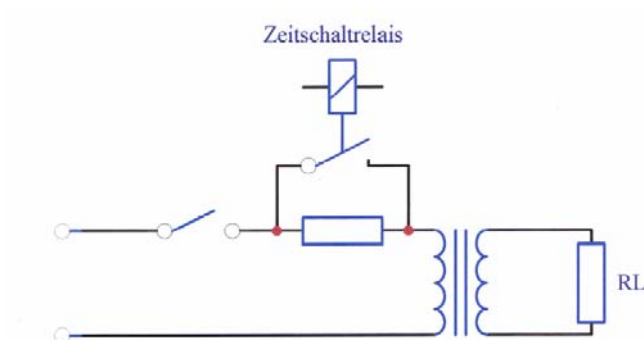


Bild 4



- mit Vor-Widerstand und Überbrückung.

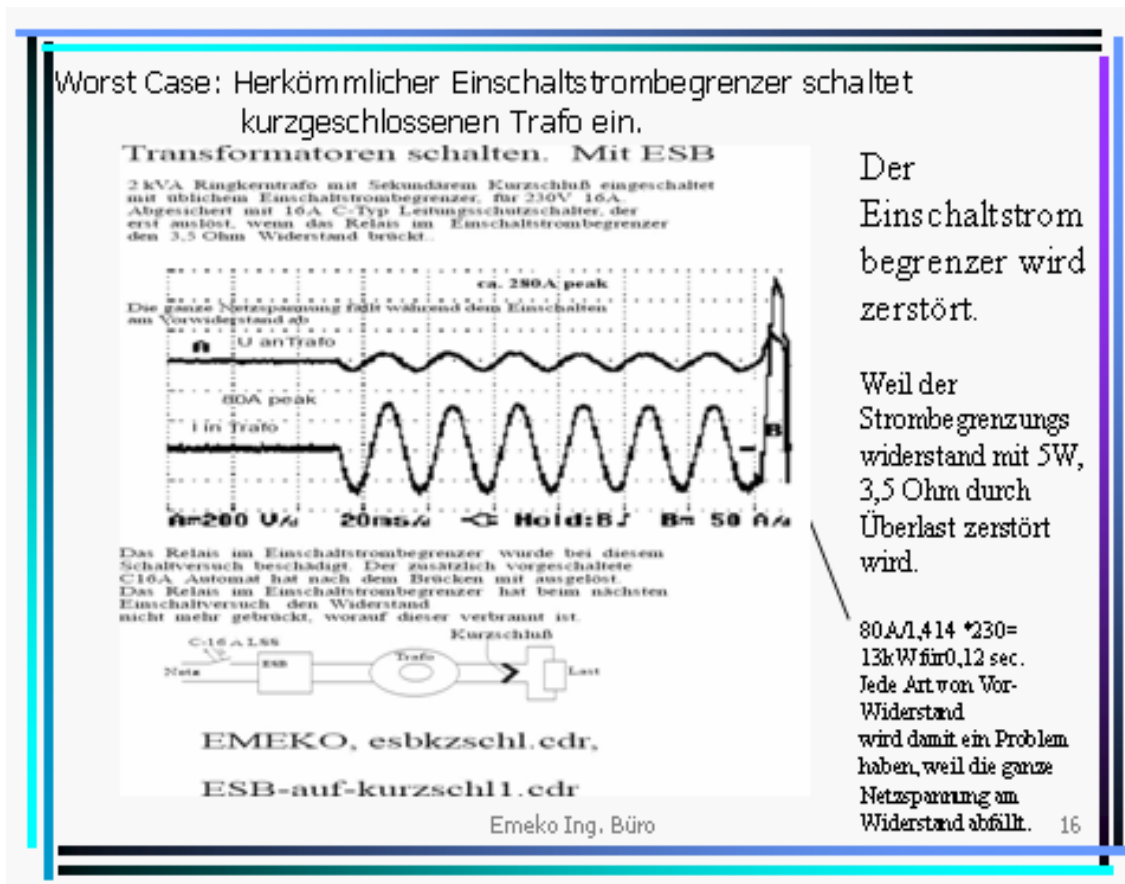
Alle Einschaltstrombegrenzer, ESB, die mit Vorwiderständen arbeiten, haben Nachteile:

- Sie sind alle **nicht** Kurzschlußfest.
- Sie können erst nach mindestens 1 Minute Wartezeit erneut einschalten. (Abkühlung.)
- Sie sind nur bis 25A erhältlich.
- Sie können nicht auf so genannte „Voltage Dips“ reagieren, weil das Brückrelais zu träge abfällt.

Trotz der Nachteile werden sie aus Preisgründen in den meisten Fällen eingesetzt.

Wenn ein ESB auf Kurzschluß einschaltet:

Bild 5



- Der Einschaltstrombegrenzer wird zerstört.
- Weil der Strombegrenzungswiderstand mit 5W, 3,5 Ohm durch Überlast zerstört wird.
- $80A/1,414 * 230 = 13kW$ für 0,12 sec. Das ist viel zu viel.
- Jede Art von Vorwiderstand wird damit ein Problem haben, wenn die ganze Netzspannung am Widerstand abfällt.
-

Defekte NTC Widerstände.

Defekte NTC's durch Über-Stromspitzen. Diese entstehen wenn die Wartezeit zum abkühlen nicht eingehalten und neu eingeschaltet wird.

Bild 6



Ein NTC hat ein Durchbrennloch der andere ist halbiert durch Einschaltstromstöße. Mit NTC's hat man eine preiswerte und wirkungsvolle Strombegrenzung aber nur in Fällen wo die Wartezeit immer eingehalten wird und wo das Einschalten auf einen Kurzschluss nicht vorkommen kann und die Erhöhung des inneren Widerstands des Trafos nicht stört.. Bei Netzumschaltlücken oder Halbwellenausfällen ist die Wartezeit niemals gegeben und führt dabei zu Einschaltstromstößen und unter Umständen zur Zerstörung der NTC's.

Artikel in DE 12 / 2006 über defekte Einschaltstrombegrenzung und defekte Umschaltvorrichtung, die nicht verschweißsicher ausgelegt war.

Diese Einschaltstrombegrenzung bestand aus einem gebrückten Widerstand.

Bild 7

Elektroinstallation

Richtig
↓

einen Ausfall des gesamten Systems zu vermeiden. Die Belastung des Transformators und seine Temperatur wird während des laufenden Betriebs überwacht. Die Anforderungen der DIN VDE 010-710 und der Vorgängernorm DIN VDE 0107 richten sich ausschließlich auf diese wichtigen Schutzziele aus.

Was kann man also falsch machen?

In dem bereits genannten Klinikum fand man Endstromkreise vor, die von einem IT-System über eine Entfernung von ca. 140 m und über mehrere Brandabschnitte hinweg Steckdosen in Bereichen der Gruppe 2 versorgt wurden. Hier verwendeten die Errichter Kabel mit erhöhtem Querschnitt und mit Funktionserhalt E90.

Diese Ausführung entspricht in keiner Weise den allgemein anerkannten Regeln der Technik. Die DIN VDE 0107 fordert unter 3.3.3.3 für jeden Raum oder jede Raumgruppe mindestens ein eigenes IT-System. Außerdem verletzt diese Ausführung die Anforderung der DIN VDE 0107 unter 3.2.3.4, wonach die Überstromschutzvorrichtungen auch für das medizinische Personal leicht erreichbar sein müssen.

In den Erläuterungen zur Norm gibt es außerdem die Empfehlung, dass sich die IT-Systeme benachbarter Räume einer Raumgruppe oder auch zwischen Patientenplätzen »kreuzen« sollten, um die Versorgungssicherheit zu erhöhen. Dieser Empfehlung wurde hier ebenfalls nicht gefolgt.

Ein weiterer Fehler besteht in der nicht richtigen Zuordnung der ersten und zweiten Leitung. So wurden IT-Verteiler mit der ersten Leitung ZSV und zweiten Leitung SV eingespeist, obwohl die Versorgung durch eine rotierende ZSV erfolgt. Eine rotierende ZSV sichert keine ständige Versorgung der ersten Leitung, sondern speist über den internen Bypass nur die Spannung aus dem SV-Netz. Demzufolge lag an beiden Einspeisungen der Umschaltvorrichtung im Normalbetrieb das SV-Netz an. Hier muss die erste Leitung entsprechend DIN VDE 0107 Punkt 3.3 SV und die zweite ZSV sein. Umgekehrt darf man das nur bei einer unterbrechungsfreien Versorgung ausführen.

In einer etwas älteren Anlage einer Praxisklinik installierten die Errichter IT-Trenntransformatoren in Ringkernausführung mit einer elektronischen Einschaltstrombegrenzung. Durch einen Kurzschluss an der Leiterplatte einer Strombegrenzung (Bild 4) kam es zum



Bild 4: Kurzschluss an der Leiterplatte einer elektronischen Strombegrenzung

Verschweißen der Schützkontakte in der Umschaltvorrichtung.

Bei der weiteren Untersuchung musste festgestellt werden, dass die Errichter Umschaltvorrichtungen der »Marke Eigenbau« verwendeten. Die Umschaltung übernahmen hier einfache Installationsschütze, die weder verklinkt noch verschweißsicher ausgeführt sind.

Wie wurde hier der normgerechte Zustand hergestellt?

Die Bauform Ringkerntransformator wird zwar in der DIN VDE 0100-710 unter 710.512.1.6.2 unter Anmerkung 3 genannt. Entscheidend ist aber die Aussage der DIN EN 61558-1-15 (VDE 0570 Teil 2-15):2001-11 »Besondere Anforderungen für Trenntransformatoren

zur Versorgung medizinischer Räume«, wonach der Einbau zusätzlicher Bauteile zur Begrenzung des Einschaltstromes nicht gestattet ist. Der Grund für diese Anforderung dürfte in der Gefahr liegen, zusätzliche Fehlerquellen zu schaffen und nicht mehr definierbare Kurzschlussströme zu erzeugen. Die Ringkerntransformatoren mussten entfernt werden, weil deren Einschaltstrom das Zwölfwache des Nennstroms übersteigt.

Umschaltvorrichtungen müssen die umfangreichen Anforderungen des Abschnittes 710.537.6 der DIN VDE 0100-710 erfüllen. Von einem Eigenbau muss jedem Errichter dringend abgeraten werden, zumal die Anforderungen rein wirtschaftlich kaum zu erfüllen sind. Deshalb wurde im vorliegenden Beispiel entschieden, komplette zertifizierte Systeme eines namhaften Herstellers einzusetzen.

Richtiger Anschluss von OP-Leuchten

In einer Praxisklinik mit zwei Operationsräumen waren die Stromkreise der OP-Leuchten mit 16-A-Leitungsschutzschaltern der Charakteristik B »geschützt«. Der maximale Kurzschlussstrom der vorhandenen ZSV mit 10kVA Nennleistung beträgt im Batteriebetrieb wegen der hohen Impedanz des Trenntransformators der OP-Leuchten (230/24V) nur 41A. Die Auslösezeit liegt dann zwischen 8s und 40s, was völlig unverträglich ist.

Die Leitungsschutzschalter wurden im Zug des ohnehin erforderlichen völligen Neuaufbaus der Verteiler durch Minized-Lasttrenner, bestückt mit Sicherungen 4A träge, ersetzt. Bei einem Lampenkurzschluss beträgt die Auslösezeit jetzt ca. 3ms.

Was muss zusätzlich beachtet werden?

Für den Anschluss von OP-Leuchten gilt aktuell neben der DIN VDE 0100-710 Abschnitt 710.564.6 vor allem die DIN EN 60601-2-41 (VDE 750 Teil 2-41) »Besondere Festlegungen für die Sicherheit von Operationsleuchten und Untersuchungsleuchten« von 11/2001.

Wichtige Anforderungen dieser Norm mit Bezug auf die elektrische Anlage sind:

- Bei einem Fehler in der Stromversorgung muss automatisch auf eine ZSV umgeschaltet werden.
- Bei einem »Ersten Fehler« darf keine Gefährdung eintreten und die Haupt-

BUCHTIPP ZUM THEMA

H.-P. Uhlig, N. Sudkamp
Elektrische Anlagen in medizinischen Einrichtungen
Planung, Errichtung, Prüfung, Betrieb, Instandhaltung



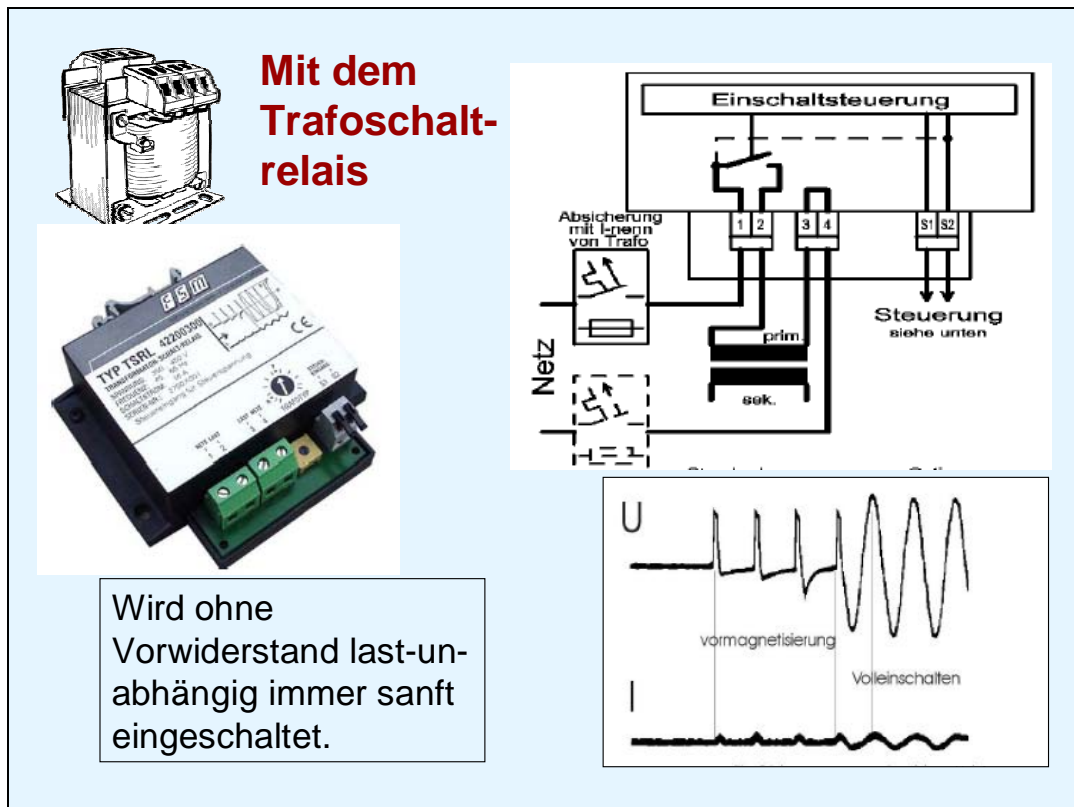
2005, 500 Seiten, gebunden,
58,00 EUR
ISBN 3-8101-0206-7
Hüthig & Pflaum Verlag

Dieses Buch behandelt in umfassender Weise die Grundsätze für Planung, Errichtung, Prüfung, Betrieb und Instandhaltung elektrischer Anlagen in Krankenhäusern, Kliniken, Ambulanzen, Arzthäusern und Praxen. Erstmals wird aufgezeigt, welche Abstimmung zwischen medizinischer, Bau- und technischer Planung notwendig ist, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Neben den anzuwendenden neuen Normen wird auch auf die zu berücksichtigenden Gesetze und Verordnungen sowie weitere relevante Vorschriften eingegangen. Die Ausführungen gelten sowohl für Neubauten als auch für die Rekonstruktion medizinisch genutzter Einrichtungen.

Zu bestellen beim Hüthig & Pflaum Verlag,
Tel. (0 6221) 489555, Fax (0 6221) 489410,
Mail: de-buchservice@de-online.info

Ein TSR ist kein Einschaltstrombegrenzer, er vermeidet die Einschaltströme.

Bild 8



Ein TSRL schaltet auf einen Kurzschluß ein und bleibt am Leben.

Ein Kurzschluß stellt für das TSRL kein Problem dar, wenn mit Nennstromwerten abgesichert ist.

Weil die Kombination von robustem Thyristor und robustem elektromechanischen Relais sich auch hierbei bewährt. Der Thyristor im TSRL widersteht für 10 msec. mehr als 500A eff.

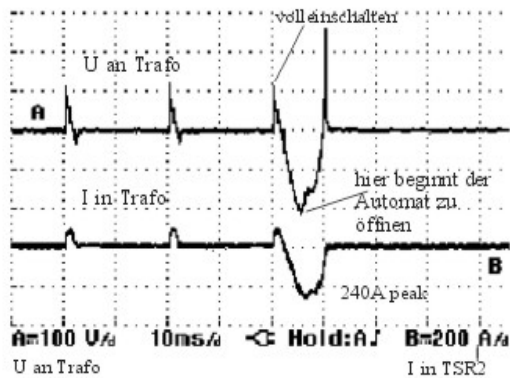
Der Überstrom wird beim Volleinschalten vom Relais übernommen, welches über 1000A eff. für 10 msec. aushält. Es fließen hier aber "nur" 240 A.

Bei Verwendung des TSRLF mit einem externen Thyristorschalter, kann dieser noch robuster ausgelegt werden. Auch der Bypasskontakt kann dann verschweißsicher ausgelegt werden.

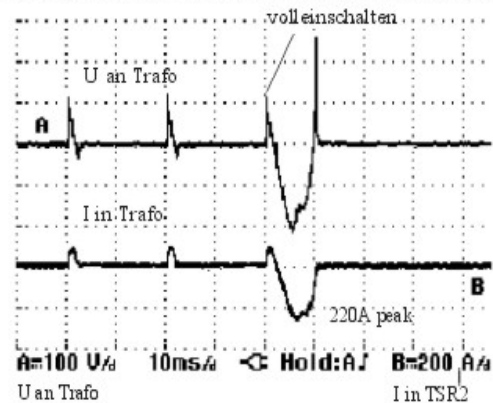
Siehe die Schaltplan Vorschläge von EMEKO für Medizin Trafos nach VDE 0570-2-15:2001-11.

Einschalten von kurzgeschlossenem Ringkerntrafo mit dem TSR

2 kVA Ringkerntrafo mit sekundären Kurzschluß mit TSR2 eingeschaltet.
 Mit 16A B-Typ Leitungsschutzschalter abgesichert, der erst bei vollenschalten auslöst.
 (Ein R-10A Automat hätte schon beim Vormagnetisieren ausgelöst.)
 Der TSR und natürlich der Leitungsschutzschalter bleiben dabei unbeschädigt.
 Der vorgeschaltete C 16A Automat hat dabei auch ausgelöst.



2 kVA Ringkerntrafo mit sekundären Kurzschluß mit TSR2 eingeschaltet.
 Mit 10A B-Typ Leitungsschutzschalter abgesichert, der erst bei vollenschalten auslöst.
 (Ein R-10A Automat hätte schon beim Vormagnetisieren ausgelöst.)
 Der TSR und natürlich der Leitungsschutzschalter bleiben dabei unbeschädigt.
 Der vorgeschaltete C 16A Automat hat dabei auch ausgelöst.

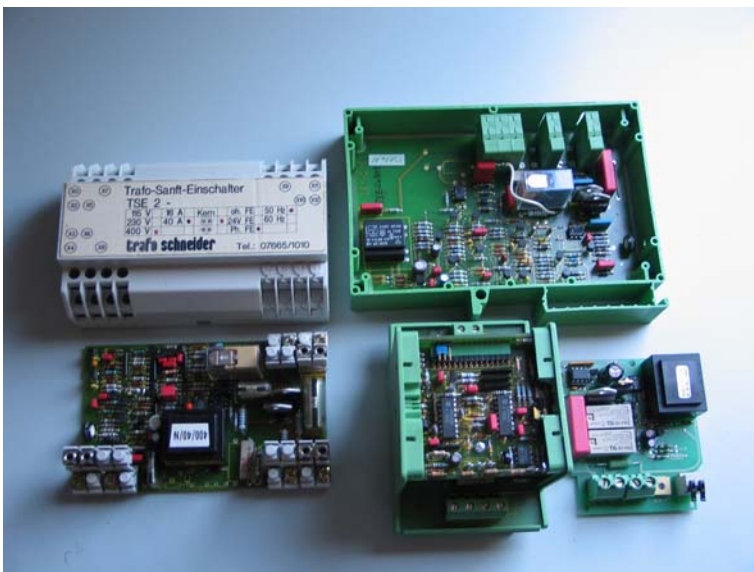


Fazit: nur ein R 10A Automat verhindert das Auslösen des vorgeschalteten C 16A Automaten
 Mit dem B 10A Automaten entsteht eine 20A weniger hohe Stromspitze als mit dem B 16A Automat.

Emeko Ing. Büro M. Konstanzer 11.12.98
 981211.cdr

Entwicklungsgeschichte vom TSE2 in 1992, bis zum TSRL im Jahr 1999.

Bild 10



links, Verschiedene TSE2, unten Mitte ein TSE3, rechts unten ein TSRL.

Das TSRL wird seit 10 Jahren unverändert gebaut.

Das TSE-, TSR- Verfahren wurde am IAF der FhG erfunden.

Aber erst mit der Fa. FSM zusammen ging es vorwärts.

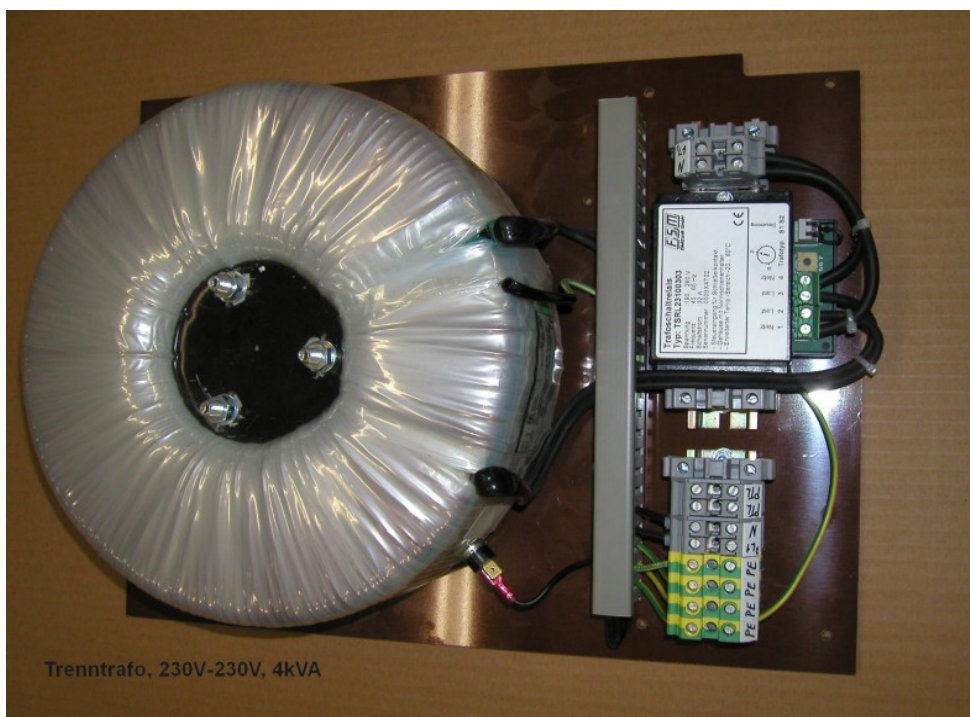
- Die Herstellung von neu entwickelten TSR-Geräten übernahm ab 1998 Fa. FSM als neuer Lizenznehmer mit der ich seither **ausschließlich** kooperiere.

Das Trafoschaltrelais-TSRL von FSM-Elektronik

- Durch ein radikales Neudesign in 1999 ist mit dem TSRL eine Verdoppelung der Schaltleistung bei nur 30% der Kosten der TSE2 möglich geworden. Das PreisLeistungsverhältnis wurde als um Faktor 6 verbessert.

Ein 4kVA Trenntrafo mit einem TSRL. Einsatz zum Beispiel in Feuerwehr Leitfahrzeugen.

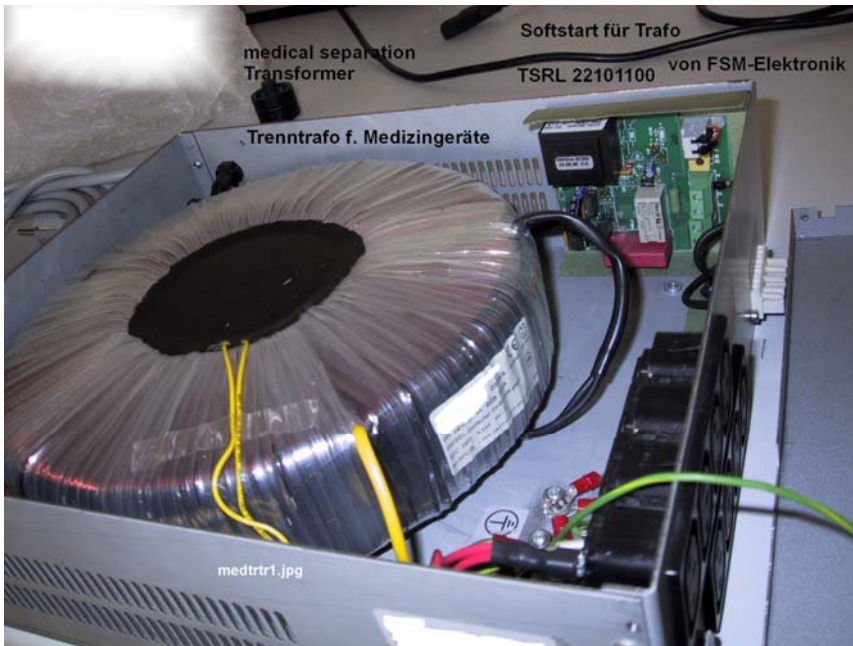
Bild 11



Eingang, 230V, 32A, und Ausgang an Klemmen

Muster von einem Kunden. Der Trafo schaltet im Leerlauf mit nur 100 mA ein.

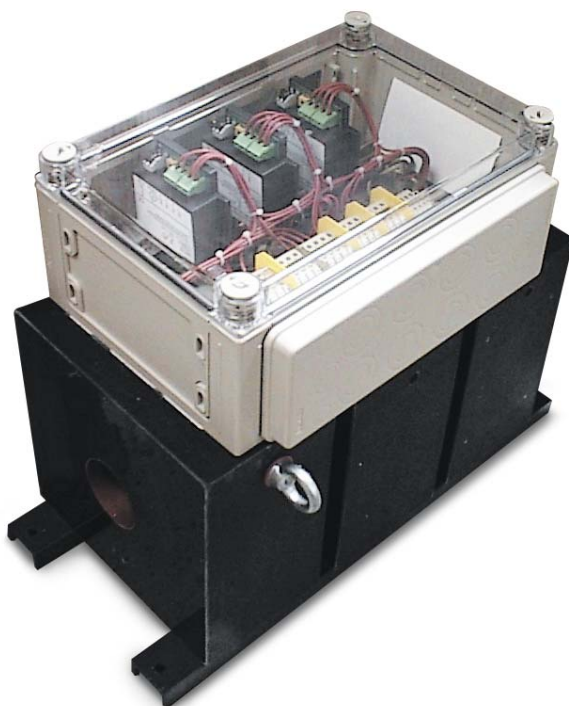
TSRL in Medizin-Trenntrafo



So ein Trenntrafo mit einer TSRL Platine sitzt in vielen Endoskopiewagen unten drin. Ca. 3000 Stück per anno wurden in 2008 alleine in Deutschland dafür eingesetzt. **Und diese Endoskopiewagen stehen im Operationsaal.**

Fa. Ruhstrat hat seit 2004 viele 100 Stück TSRL zusammen mit Ringkerntrafos für das IT Netz in Krankenhäusern nach DIN VDE 0100-710:2002-11, VDE 0570-2-15:2001-11 eingesetzt. Bisher ist davon nicht einer defekt gegangen.

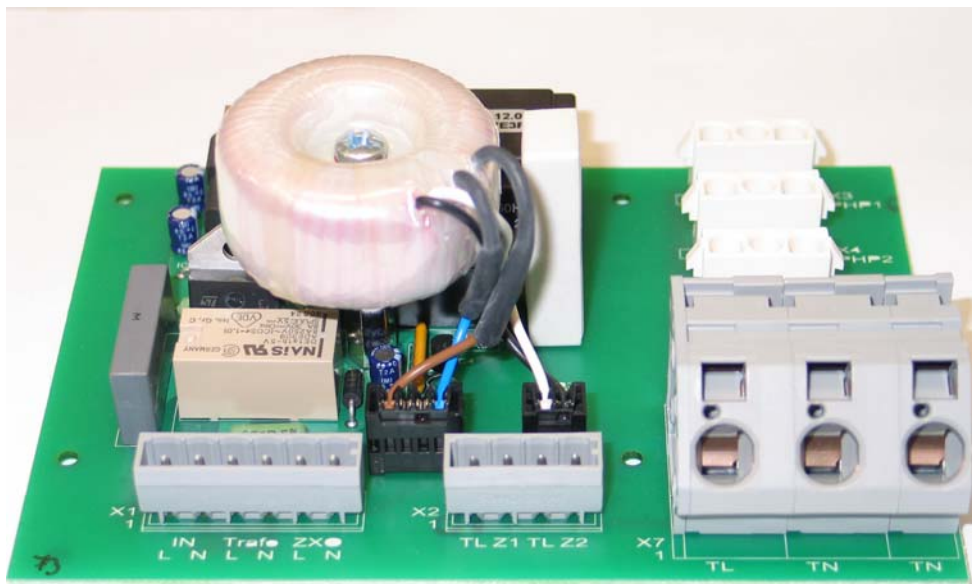
Bild 13



Auch in anderen sicherheitsempfindlichen Bereichen werden die TSRL eingesetzt.

Spezial TSRL Baugruppe für Verkehrs- Ampeln.

- TSRL speziell für Verkehrs-Ampeln mit LED Technik.
- Auch das beweist das Vertrauen der Kunden in die Technik des TSRL. **Bild 14**



Bei kurzzeitigen Netz-Halbwellendefekten, „Voltage Dips,“ entstehen erst recht hohe Einschaltstromstöße

- Im folgenden Bild ist dargestellt, wie sich ein Trafo verhält, wenn die Netzspannung kurze Einbrüche hat.
- Durch das Schalten von großen Lasten im Stromnetz entstehen kurze Spannungseinbrüche von weniger als 5 Millisekunden.
- Je nach Lage der Einbrüche zur Netzhälfte werden von diesem Netz gespeiste Trafos in die Sättigung getrieben, wenn anschließend die Netzspannung wieder ungestört ansteht..

Auswirkung einer 5 msec. Spannungslücke bei einem 1,5 kVA Ringkerntrafo ohne TSR.

Bild 15

Netzunterbrechungs-Test verschiedener Trafos im Leerlauf, nach IEC 1000-4-11.

Prüfgerät: IRST0, Inrush-Stimulator, Zuleitung mit 10m mit 16qmm an Hauptvert. und insges. 2m mit 6qmm zu IRST und Prüfling

Einschaltverfahren: Ende pos. H.W.ausgesch. u.sofort mit 0,5 der 1 neg. Halbwellen eingesch.

Trafotyp: 1,5kVA Ringkerntrafo 230V zu 24V

Leerlaufstrom: 0,5Aeff Netzspannung: 234V

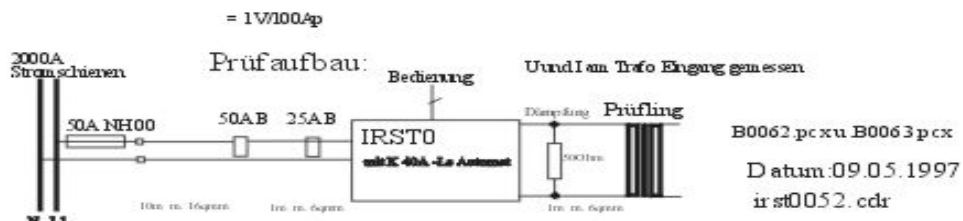
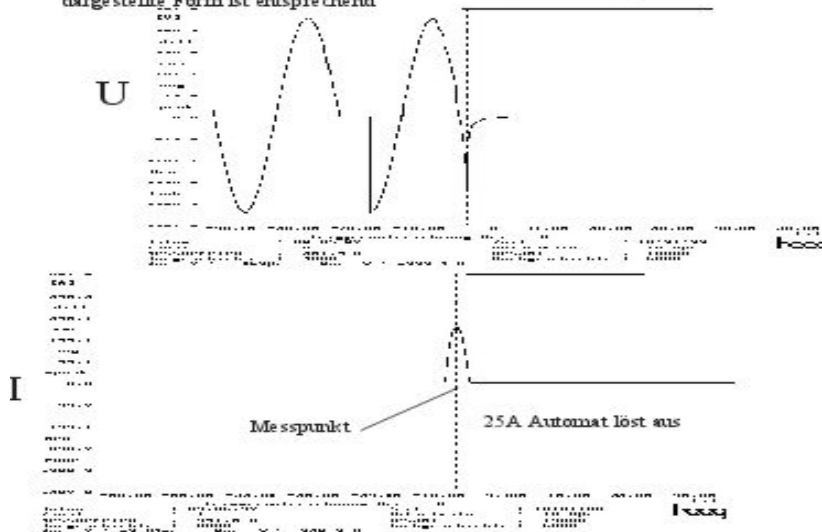
ges. Netzimpedanz: ca. 0,3 Ohm incl. Absicherung von:

50A NH 00, + 50A +25A, B-typ Ls-schalter:

Modalitäten: an 230V Wicklung des Prüflings angeschlossen

Meßergebnis des max. Einschaltstromstoßes: 250 Apeak

TEST nach EMV Norm IEC 1000-4-11 100% Einbruch für 0,5 Halbwellen
dargestellte Form ist entsprechend



250A peak = 176 A eff. Stromspitze = 27 mal Inenn. 5 msec. Netz-Spannungs-Lücke, mit Simulator IRST0 provoziert. Der 25 A Typ B-Leitungsschutzschalter löst aus.

Eine 5 msec. Spannungslücke ist ein realistischer Wert wie er im Stromnetz vorkommt. Ein 25 A B-Typ Schutzschalter löst aus, wenn kein TSR davor geschaltet ist. Für den 6,5 A Nennstrom ist der 25 A Leitungsschutzschalter, siehe Bild unten, viel zu groß. Ein PKZM0-10, dessen kleinster träge Auslöswert bei 6,3 A eff. liegt löst auch aus.

Ein PKZM0-10-T, dessen Kurzschlussauslöswert bei 224 A eff. liegt löst nicht aus.

**Betrachtung des Einschalt-stromstoßes beim seltenen Einschalten
und Vergleich mit dem Einschalt-stromstoß bei kurzen Netzhalbwellenausfällen:**

- Bei weichen Trafos, welche einen Luftspalt haben, besteht ein großer Unterschied zwischen dem normalen Einschaltstrom und dem Einschaltstrom bei Netzhalbwellen- Ausfällen.
- Bei harten Trafos - ohne Luftspalt- ist dieser Unterschied kleiner.
- Siehe die nächsten Bilder.

Einschaltstromarme Trafos haben keine Vorteile wenn Spannungseinbrüche auf dem Netz vorkommen, weil die Magnetisierung im Trafo-Eisenkern in der kurzen Zeit der Netzspannungslücke von 5-10 msec. nicht zur stabilen Ruhe-Remanenzposition zurücklaufen kann, von der die Magnetisierung beim Einschalten nach längerer Pause von > 100 msec. ausgeht.

Bild 16

Einschaltstromstoß-Test verschiedener Trafos im Leerlauf.

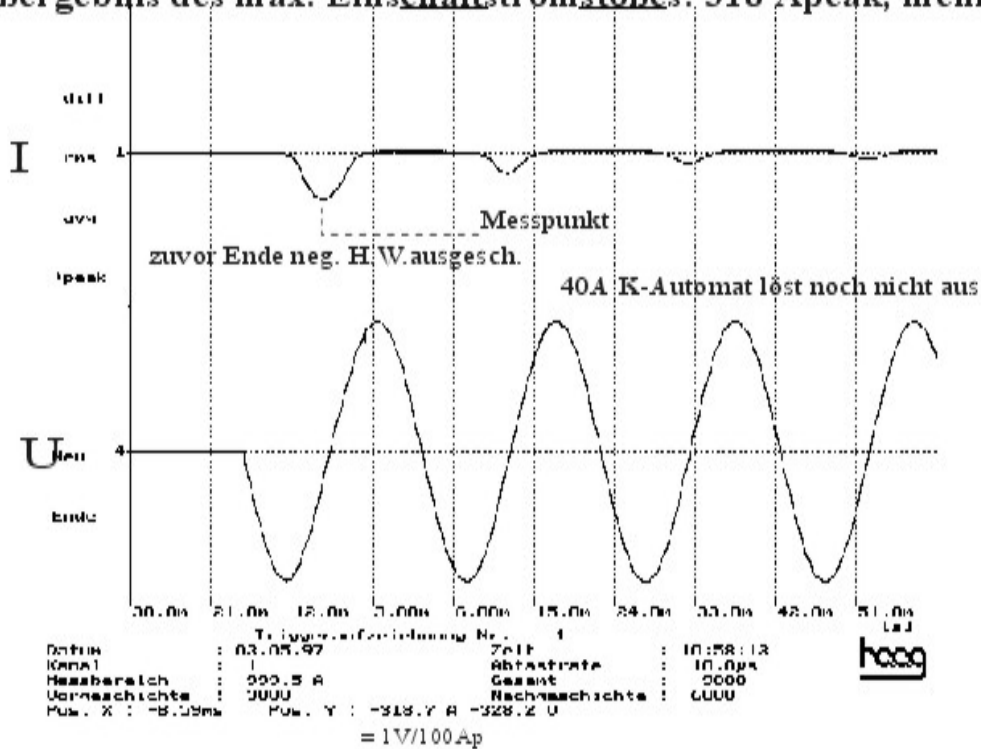
Prüfgerät: IRST0, Inrush-Stimulator, Zuleitung mit 10m mit 16qmm an Hauptvert. und insges. 2m mit 6qmm zu IRST und Prüfling.

**Einschaltverfahren: Ende neg. HW. aus- nach 1 Sec. Beg.neg. HW. ein.
Trafotyp:3,15 kVA Medizin Geräte-Trafo m. 1,0 Tesla**

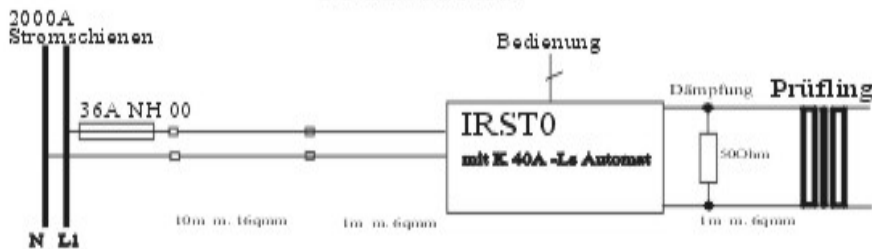
Leerlaufstrom: 0,5A Netzspannung: 234V
ges. Netzimpedanz: ca. 0,2 Ohm incl. Absicherung von:
36A NH 00, und Irst0 mit K40 LS Automat:

Modalitäten: an 230V Wicklung des Prüflings angeschlossen.

Meßergebnis des max. Einschaltstromstoßes: 318 Apeak, mehr als berechnet.



Prüfaufbau:



Datum:02.05.1997
F0106.DL= B0022.pcx
irst0011.cdr

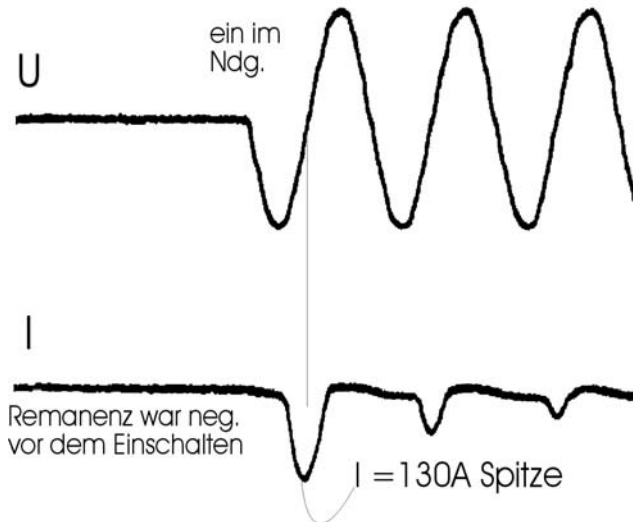
Der Trafo hat hier den 17 fachen Einschaltstrom vom Nennstrom. (Peak zu Peak.)

Verhalten eines einschaltstromarmen Trafos.

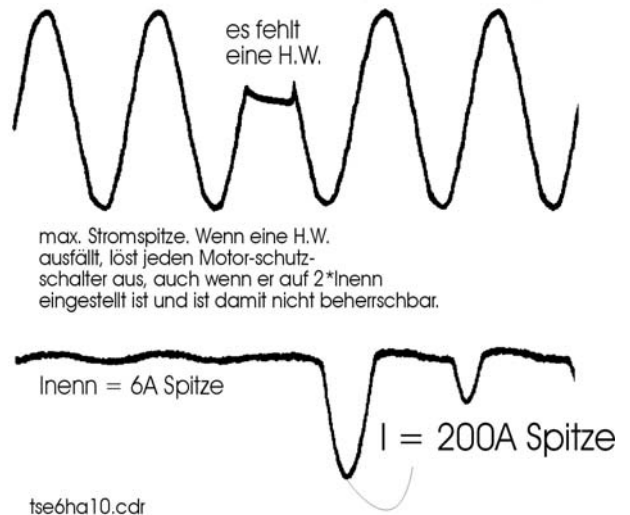
(Geschweißter EI-Kern, 1kVA gemessen mit ohmscher Nennlast.)

Bild 17

größter Einschaltstromstoß an einem 1kVA geschweißten EI-Trafo mit 1kW belastet. (weicher Trafo)



Halbwellenausfall-Simulation an einem geschweißten 1kVA EI Trafo mit 1 kW belastet. (weicher Trafo)



Der normale Einschaltstrom ist klein

Die Differenz ist = **70 A peak=35%**

Wegen dem „Nichtzurücklaufen können“ der Magnetisierung in der kurzen Spannungspause, ist die Restmagnetisierung dabei höher als nach einer längeren Spannungspause. Die durch den Luftspalt gescherte Hysteresekurve ist die Ursache der niederen Remanenz nach längerer Pause. Deshalb ist der Einschaltstromstoß nach kurzer Pause deutlich höher. Es wurde in beiden Fällen mit dem IRST0 Netzsimulator, dem gleichen Trafo am gleichen und sehr steifen Speisernetz gemessen.

Ein PKZM0-6,3 hat einen Kurzschlussauslösestrom von 88A eff. und löst bei dem Halbwellenausfall aus, weil dabei 141A eff. fließen.

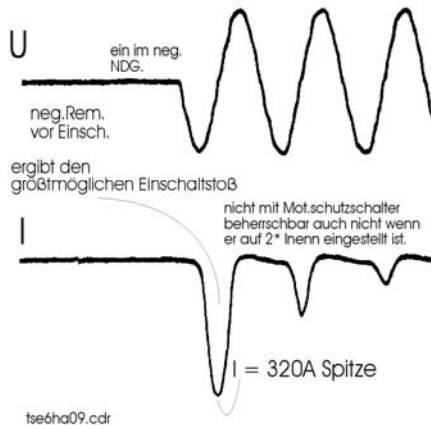
Ein PKZM0-6,3-T, extra für Trafos geeignet, hat einen Kurzschlussauslösestrom von 141 A eff. Er würde auch gerade auslösen bei dem Halbwellenausfall. Also hilft ein weicher, einschaltstromarmer Trafo nicht gegen das unbeabsichtigte Auslösen der Absicherung bei dem Auftreten von Halbwellenausfällen.

Nach einer kurzen Netzlücke ist er groß

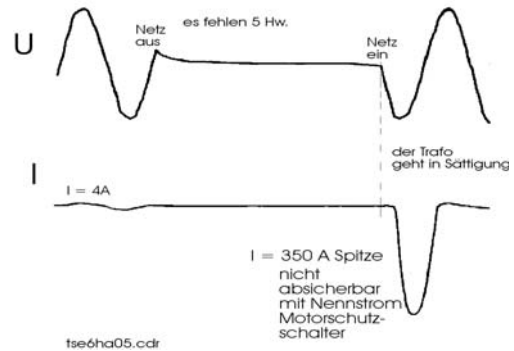
**Verhalten eines Trafos mit hohem Einschaltstrom,
1,6 kVA EI-Kern-geschachtelt, gemessen mit ohmscher Nennlast**

Nur eine kleine Differenz von = **30Apeak**, =**8,6%**. **Bild 18**

größter Einschaltstromstoß an einem
1,6kVA optimierten EI Trafo mit 1kW belastet



Halbwellenausfall-Simulation
an einem 1,6 kVA optimierten,
geschachtelten Trafo mit
1kW belastet



Der normale Einschaltstrom ist hoch

Nach Netzlücke nur etwas höher

Fazit: Weiche Trafos schützen nicht vor den hohen Stromstößen nach Halbwellendefekten.

Die Stromstöße sind dabei genau so hoch wie bei harten Trafos.

Bei verlustarmen Trafos ist der Einschaltstrom hoch.

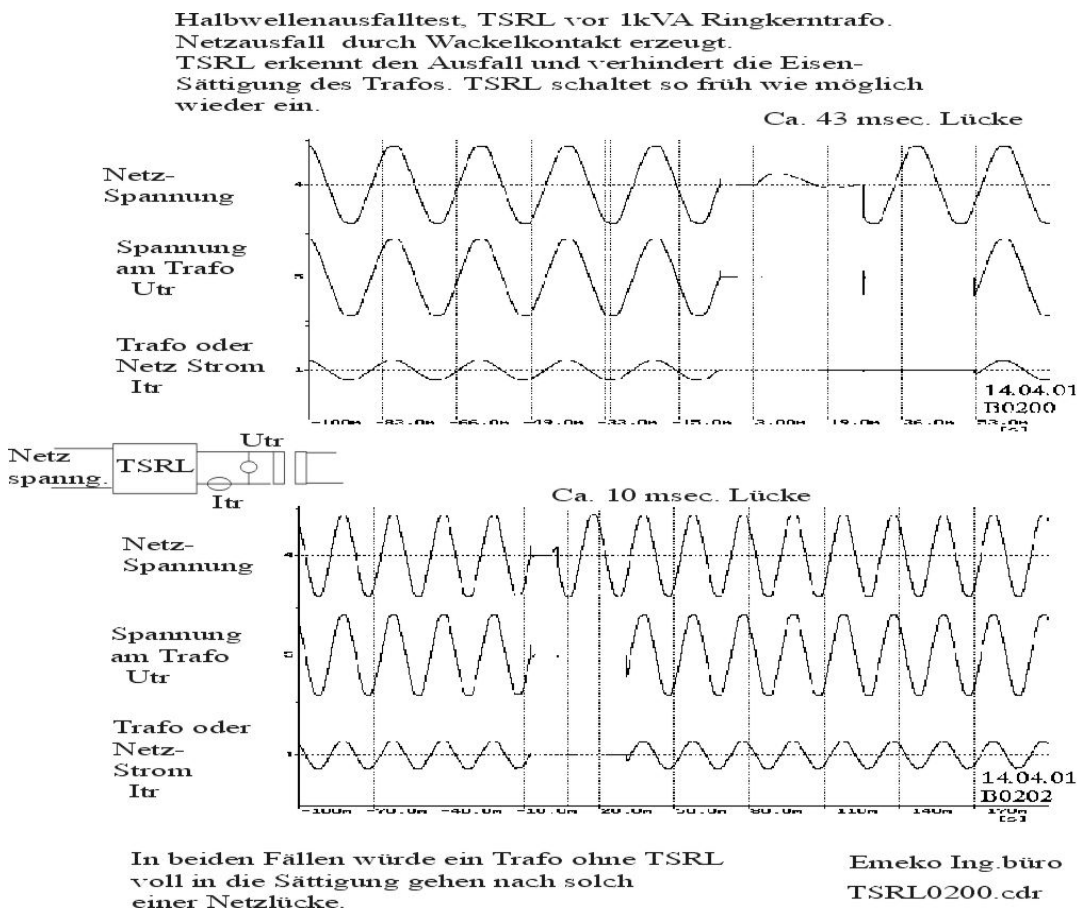
In beiden Fällen, beim ersten Einschalten und beim Halbwellenausfalls ist die Magnetisierung auf dem gleichen Remanenzpunkt, weil die Hystereseurve steil verläuft bei dem Luftspaltarmen TRAFO.

Deshalb ist der Stromstoß dann auch annähernd gleich hoch.

Ein PKZM0-10-T löst auch aus, weil er nur eine Kurzschlussauslöseschwelle von 224 A ef., hat, die für den Einschaltstromstoß mit 247 A eff. zu nieder ist.

Auswirkung von Halbwellenausfällen wenn ein TSRL vor dem 1kVA Ringkerntrafo eingebaut ist.

Bild 19



Die schnelle Reaktion des TSRL schützt den Trafo vor Sättigung im Eisenkern bei Netzwiederkehr. Schnelles Wiedereinschalten nur mit dem Nennstrom.

Der Effekt von hohen Einschaltströmen nach der Netzwiederkehr auf so genannte Netzhalbwelleneinbrüche kann durch Vorschalten eines TSRL mit Option: „schnelle Halbwellenausfall Erkennung“ verhindert werden.

IT Netz Trenntrafos in Medizinischen Räumen nutzen diese Technik. Diese Trafos sind sogar als Ringkerntrafos ausgeführt und schalten mit nur dem Nennstrom ein. (Die Norm verlangt die Einschaltstrombegrenzung auf 8 mal Inenn. Die Norm begrenzt auch den Leerlaufstrom.) Mit dem TSRL ist der Ringkerntrafo als IT –Netztrafo deutlich besser als es die Norm verlangt.

HERKÖMMLICHE IT-Netztrafos haben außerdem ein Problem bei schnellen Halbwellenausfällen wie sie beim Umschalten der Stromnetze vorkommen. Siehe Bild oben. Das wird von der Norm bisher nicht berücksichtigt.

Das TSRL mit der Option „schnelle Halbwellenausfallerkennung“, kann Netzspannungslücken von kleiner 200 msec. erkennen und mit der anschließenden Schnelleinschaltung nach der Netzspannungswiederkehr reagieren. Nach länger als 200 msec. andauernden

Netzspannungslücken, beginnt das TSRL nach der Netzspannungswiederkehr mit einem regulären Softstart der je nach Trafotyp, (siehe die Poti-einstellung), zwischen 150 msec. bis ca. 880 msec. dauert, bevor der Trafo voll eingeschaltet ist.

Die Konsequenz aus dem Verhalten der Trafos bei Halbwellenausfällen ist:

- Einschaltstromarme Trafos bringen dann keinen Vorteil wenn man die Möglichkeit von Netzhalbwellenausfällen berücksichtigen muß.
- Dann kann man gleich verlustarme Trafos verwenden, die zwar hohe Einschaltströme haben,
- aber zusammen mit einem TSR diese auch bei Netzhalbwellenausfällen vollkommen vermeiden

Die Konsequenz ist hart für sogenannte Einschaltstromarme Trafos. Solche

Netzspannungshalbwelleneinbrüche kommen zwar selten vor. Aber nur wenn auch diese Ursache von Einschaltstromstößen nicht mehr diese Wirkung entfalten kann, ist das unbeabsichtigte Sicherungsauslösen unterbunden.

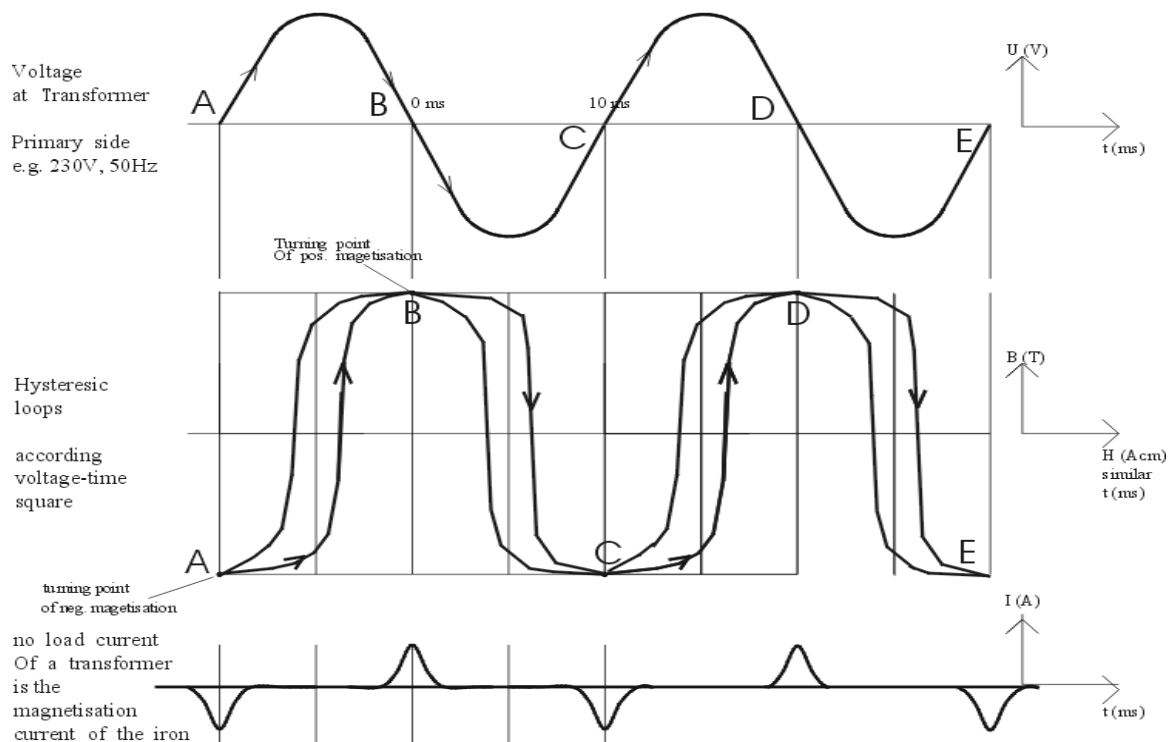
Trafo Physik: In der Fach-Literatur steht leider immer noch:

- Das Einschalten des Trafos im Scheitel der Netzspannung sei das Beste um den Einschaltstrom zu vermeiden.
- (-Nur im Fall eines Trafos mit Luftspalt ist das richtig.-)
- Leider geht der bisherige Stand der Technik immer noch davon aus, daß für alle Arten von Trafos die **Remanenz** gleich hoch und noch dazu viel zu niedrig, -in Nullpunktnähe-, ist.
- Das wird auch an Hochschulen bis heute noch so gelehrt.

Aus diesem Grund möchte ich hier etwas auf die Physikalischen Zusammenhänge im Trafo näher eingehen.

Zusammenhang von Netz-Spannung, Hysteresekurve, Leerlaufstrom, im Dauerbetrieb.

Continuous Hysteresic loop in the iron of a 50Hz Transformer in permanent no load situation



one Voltage Half wave, (Voltage-time area), transports the magnetisation from one to the opposite turning point.

Hystku01.cdr

EMEKO
Ing. Buezo

Oben der Verlauf der Netzspannung von links nach rechts.

Mitte: Abgewinkelte Hysteresekurven für den Dauerbetriebsfall eines geschachtelten Trafos.

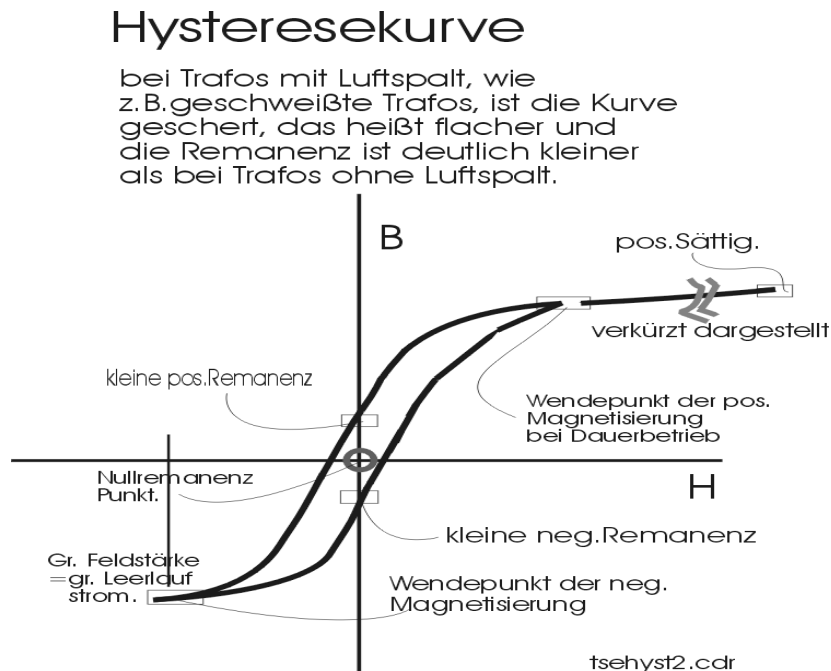
Unten der dazu gehörende Leerlaufstrom, auch Magnetisierungsstrom genannt. Der typische Leerlaufstrompeak entsteht erst, wenn die Magnetisierung nichtlinear wird und in Richtung

Wendepunkt läuft. Daher kommt auch die spitze und nichtsinusförmige typische Form des Leerlaufstromes.

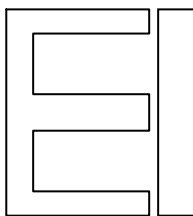
Trafos haben unterschiedliche Hysteresekurven.

- Je nach der Bauform des Eisenkerns ist der Verlauf der Magnetisierung auf der Hysteresekurve unterschiedlich.
- Die Höhe der Remanenz ist auch völlig unterschiedlich.
- Siehe die folgenden Beispiele.

Hysteresekurve eines geschweißten Trafos, EI Kern:



Durch den Luftspalt ist die Hysterese-kurve nach der Seite geneigt. Die Remanenz ist klein
EI-Trafo- Kern Schema.



Der Trafo hat 3 Luftspalte zwischen den E-I Kern-Schenkeln. Die Remanenz ist niedrig. Man spricht hier von einer geschernten Hysteresekurve. Siehe einschlägige Literatur. Der Leerlaufstrom ist groß, weil die Auslenkung der Betriebs-hysteresekurve weit heraus läuft auf der H Achse. Das ist der Grund des dann hohen Leerlaufstromes. (H ist proportional zum Primärstrom und umgekehrt). Bei diesem Trafo reichen 1 –2 Vormagnetisier-Spannungsabschnitte vom TSRL zum richtigen Vormagnetisieren.(Was die Theorie unterstützt.) Das Poti auf dem TSRL sollte dafür auf ca. 16-17 Uhr stehen.

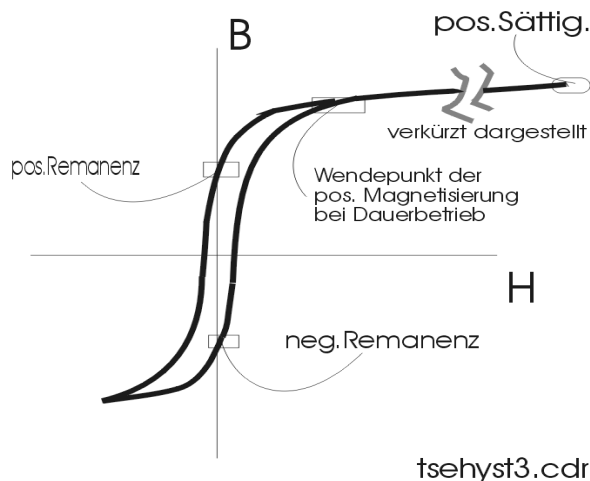
Mit einem Scheitelschalter kann man den Trafo auch einschalten, hat dabei aber immer noch Einschaltstromstöße, weil die Richtung der Einschaltung nicht auf die vorhandene Remanenz Polaritätslage Rücksicht nimmt. Ein Scheitelschalter wäre ideal wenn die Remanenz gleich Null ist. So ein Trafo hat aber kein Eisen im Kern oder einen übergroßen Luftspalt. Es gibt TRAFOS welche den Luftspalt als viele kleine Luftspalte verteilt im Kern haben. Diese sind aber sehr teuer.

Bei einem geschachtelten Trafo. (wechselseitig geschachtelt mit Blechüberlappung):

Hysteresekurve

bei geschachtelten Trafos

kleinere Remanenz als bei Ringkerntrafos
jedoch größere als bei geschweißten Trafos
die immer einen kleinen Luftspalt haben.

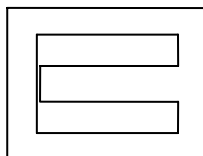


7

Die Hysteresekurve ist steiler als beim Trafo mit Luftspalt. Die Remanenz ist höher.

Die Luftspalte sind hier geringer als beim EI Trafo und entstehen nur am Mittelschenkel, wie das untenstehende Bild eines Bleches für einen Schachtelkern zeigt.

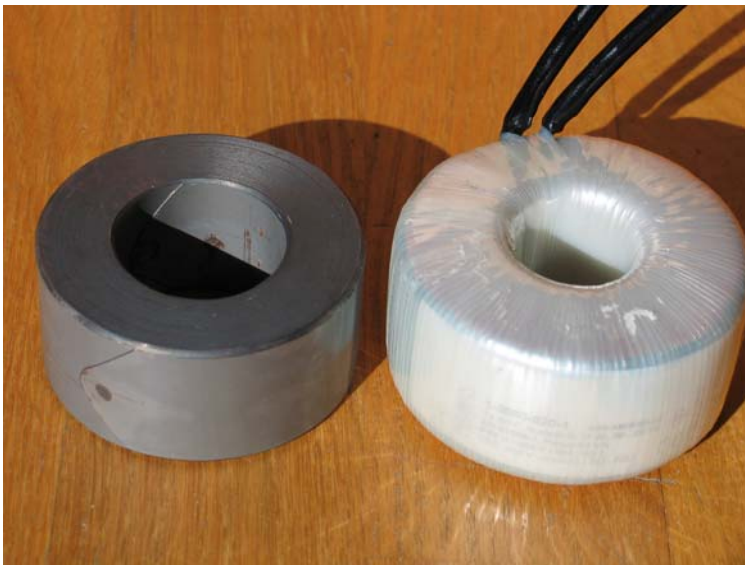
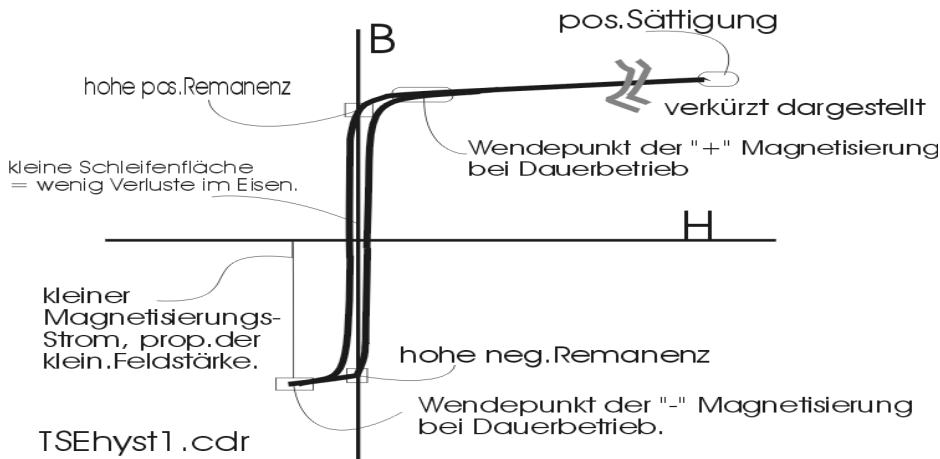
Bild von einem Schachtelkernblech. Die Bleche werden solange wechselseitig aufeinander gestapelt, bis die nötige Blechpaketdicke erreicht ist.



Hysteresekurve eines Ringkerntrafos, ganz ohne Luftspalt:

Hysteresekurve

bei Ringkern-Trafos
(Luftspaltfrei) deshalb hohe Remanenz



Die Remanenz ist hoch, fast so hoch wie der Betriebswendepunkt. Deshalb werden vom TSRL zum richtigen Vormagnetisieren nur kleine Spannungsabschnitte aber dafür mehr als beim geschachtelten Trafo benötigt. (Die unipolaren Spannungsabschnitte transportieren die Magnetisierung, im Falle wenn sie schon oben steht, vom oberen Remanenzpunkt zum oberen Wendepunkt. In der Pause läuft die Magnetisierung wieder zurück auf den oberen Remanenzpunkt). Ein breiter Vormagnetisierzipfel würde die Magnetisierung schon in die Sättigung treiben. An dem Einstellpoti am TSRL werden beide Werte, die Zipfelbreite und die Zipfelanzahl zusammen verstellt. Für Ringkerntrafos sollte das Poti auf dem TSRL zwischen 9 und 10 Uhr stehen.

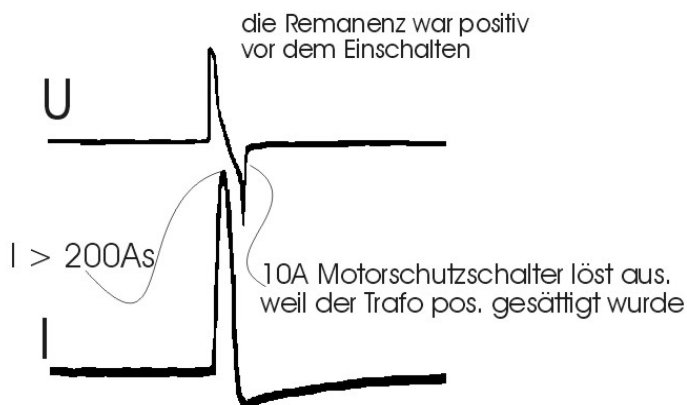
Die Eisenverluste sind gering aufgrund der Restluftspalt Freiheit und des Verlaufs der Magnetisierung immer in Blechvorzugsrichtung des verlustarmen Eisenblechs. Eine schmale Hysteresekurve zeigt

geringe Leerlaufverluste an. Die Fläche innerhalb der Kurve ist ein Maß für die Verlustarbeit. Bei einem Ringkerntrafo sind die Leerlaufverluste und damit die Leerlaufströme ca. 100 Mal geringer als bei üblichen geschachtelten oder geschweißten Trafos.

Die Einschaltströme sind aber umso höher, weil die Ummagnetisierungsarbeit, vom Remanenzpunkt bis zur Sättigung gering ist. Schon wenig mehr Spannungszeitfläche bei Einschalten als vom Remanenzpunkt bis zum Wendepunkt nötig reichen, um das Eisen in leichte Sättigung zu bringen. Aus diesem Grund sind diese Trafos schwierig einzuschalten. Mit dem TSR Verfahren geschaltet, verhalten sich diese Trafos jedoch völlig harmlos beim Einschalten.

Trafo einschalten mit Scheitelschalter-Halbleiterrelais aus positiver Remanenzlage heraus.

1 kVA Ringkerntrafo mit scheidel-schaltendem Halbleiterrelais eingeschaltet.



Tseme006.cdr

Scheitel-schalter-auf-trafo1.cdr

Nicht gut für den 1kVA Ringkerntrafo (Primär 230V.) Ein 10A Motorschutzschalter löst flink aus. Scheitelschalter eignen sich nur für Trafos mit einem definierten großen Luftspalt, wie ihn z.B. Trafos mit Konstantstromcharakter haben.

Weshalb entsteht im Bild oben ein positiver Einschaltstromstoß?

Die Remanenz im Trafoeisen war positiv vor dem Einschalten in Richtung positive Magnetisierung mit positiver Spannungshalbwelle. Das bringt die Sättigung im Eisenkern und den Einschaltstromstoß, auch wenn nur die halbe Netzspannungshalbwelle anliegt, weil zum Aussteuern der Hystereseurve vom positiven Remanenzpunkt aus nur eine kleine positive Spannungszeitfläche nötig ist beim Ringkerntrafo. Der Ringkerntrafo hat wegen seiner Luftspaltfreiheit im Eisenkern eine hohe Remanenz und eine sehr nichtlineare Hystereseurve in Richtung Sättigung.

Bei Ringkerntrafos:

- Ist das Einschalten im Scheitel der Netzspannung völlig ungeeignet.

- Das Einschalten mit dem TSRL dagegen erzeugt keinerlei Einschaltstrom.

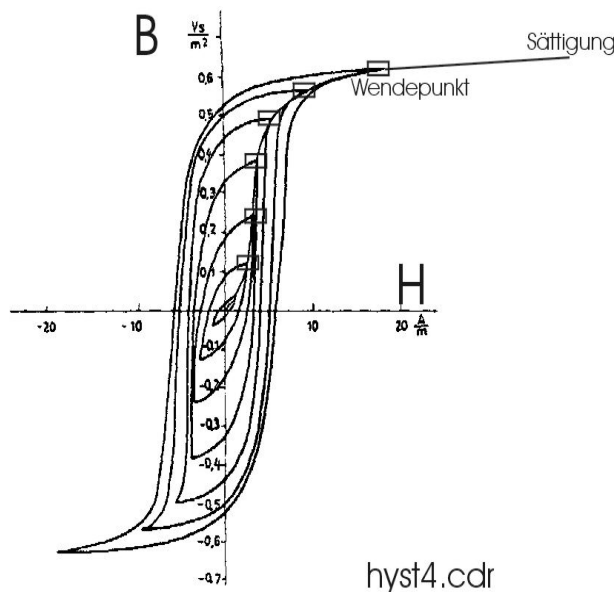
In der Medizingerätetechnik haben viele Trafos inzwischen einen TSR zum sanften Einschalten, weil in der Gebäudeinstallation besonders flinke LS-Schalter als Absicherung eingesetzt werden.

Was im Eisen passiert.

Im Dauerbetrieb: Eine Netzspannungshalbwelle transportiert die Magnetisierung von einem Wendepunkt zum anderen Wendepunkt der Hysteresekurve!!! (Z.B. Von links unten nach rechts oben mit der pos. Netzhalbwelle.) Durch die Induktionsänderung, das ist die Änderung der Flußdichte B , wird dabei in der Sekundärspule die Sekundärspannung induziert. Die Primär- und die Sekundärwicklung sind miteinander nur magnetisch gekoppelt.

Hysteresefamilie im Eisenkern eines Trafos

je größer die Spannungsamplitude der Trafoprimarywicklung und je niedriger die Frequenz desto größer die Hystereseschleife



Die Magnetisierung läuft auf einer der Kurven. Trafos werden so ausgelegt, daß die Magnetisierung bei einer Netzhalbwelle von einem Wendepunkt der Hysteresekurve zum gegenüberliegenden Wendepunkt läuft. Die Spannungszeitfläche einer Netzhalbwelle transportiert dabei die Magnetisierung. Man nutzt dabei hauptsächlich den linearen Teil der Hysteresekurve aus, damit wird die Sättigung im Eisen vermieden. Durch die ständige Ummagnetisierung wird durch das sich ändernde Magnetfeld in der Sekundärspule die Spannung induziert, was ja die eigentliche Aufgabe des Trafos ist. Die Magnetisierung im Eisenkern läuft auf einer definierten Kurve. Die magnetische Feldstärke „H“ im Trafo Eisenkern ist mit der magnetischen Flußdichte „B“ im Kern verkoppelt, wie die Hysteresekurve

es zeigt. Die Feldstärke H ist die Folge der Position von B auf der Hysteresekurve. Die Flußdichte B kann ab der beginnenden Sättigung kaum noch erhöht werden. Der Trafo ist konstruktiv so ausgelegt, daß die Kurve bei Nennbedingungen eine möglichst große Amplitude hat, weil damit der Trafo am besten ausgenutzt wird. Mit niedriger Spannung oder höherer Frequenz wird die Kurve kleiner in der Amplitude und umgekehrt. Ein für 60 Hz ausgelegter USA Trafo läuft mit 50Hz auf einer größeren Kurve und kommt beim Einschalten damit auch eher in Sättigung, weshalb diese Trafos in USA einen beherrschbaren und in Deutschland dann einen größeren Einschaltstromstoß haben. Nach dem Ausschalten des Trafos, läuft die Magnetisierung zum Remanenzpunkt auf der B Achse bei $H = 0$. Abhängig vom Ausschaltzeitpunkt auf der Netz-Spannungshalbwelle ist dieser Punkt höher oder tiefer gelegen und kann pos. oder neg. sein. Mit den unipolaren Vormagnetisierimpulsen der TSR Prozedur, wird die Position der Magnetisierung auf der Hysteresekurve beeinflusst und die Magnetisierung wird damit transportiert. Siehe Bild der Einschaltprozedur. Es entsteht damit kein Einschaltstromstoß.

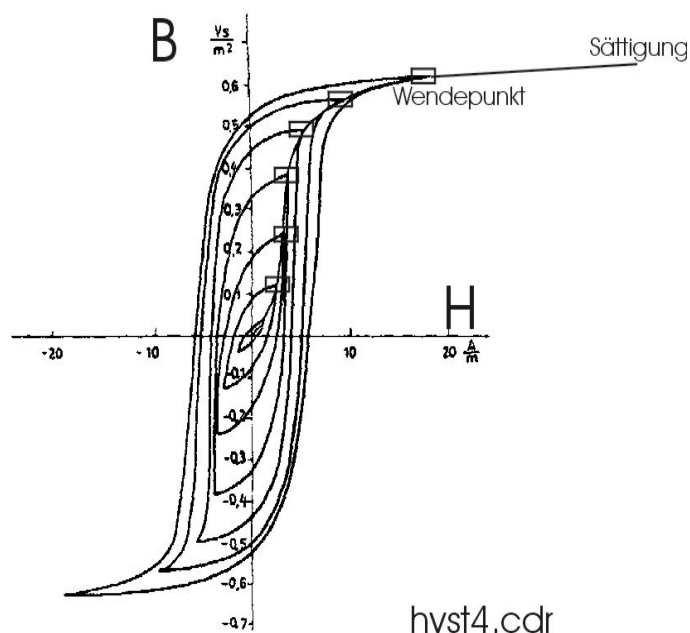
Was im Eisen noch passiert.

Auf welcher Hysteresekurve die Magnetisierung läuft, hängt von der Höhe der Netzspannung und der Dauer einer Halbwelle ab.

Bei 60Hz und 230V läuft die Magnetisierung auf einer kleineren Kurve als bei 50Hz. –Kürzere Zeit bei 60Hz.- Ebenso bei einer kleineren Spannung und umgekehrt.

Hysteresefamilie im Eisenkern eines Trafos

je größer die Spannungsamplitude der Trafo-primärwicklung und je niedriger die Frequenz desto größer die Hystereseschleife



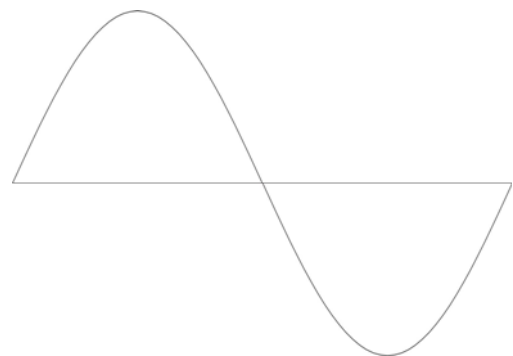
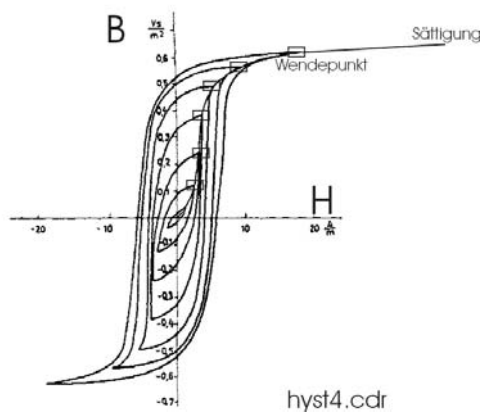
Je nach Eisenkerntyp sehen die Hysteresekurven unterschiedlich aus. Die dargestellte Kurve zeigt die Hysteresekurve eines wechselseitig geschachtelten Trafos. Die Remanenz ist hoch aufgrund der geringen Restluftspalte. Die Kernverluste sind umso größer, je breiter die Kurve ist.

Was die Sinuskurve der Netz-Spannung bewirkt.

- Die positive Spannungs-halbwellen transportiert die Magnetisierung vom negativen zum positiven Wendepunkt der Hysterese-kurve.
- Nur die **Spannungszeitfläche ist maßgebend**.
- Mit einer ganzen Vollwelle, siehe oben und unten, läuft die Magnetisierung einmal um.

Hysteresefamilie im Eisenkern eines Trafos

je größer die Spannungsamplitude der Trafo-primärwicklung und je niedriger die Frequenz desto größer die Hystereseschleife



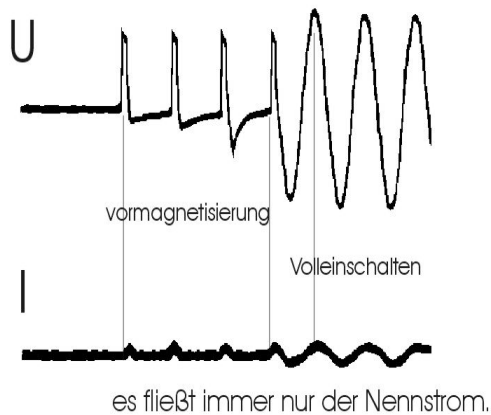
Beim Spannungsnulldurchgang von Plus nach Minus steht die Induktion B im positiven Wendepunkt der Hysteresekurve. Die beginnende neg. Halbwellen nimmt die Magnetisierung entlang der Hysteresekurve auf dem oberen Ast mit zum negativen Wendepunkt auf der Hysteresekurve. Und so weiter.

Messkurve der TSR Einschalt-prozedur.

Die unipolaren Vormagnetisier- Spannungspulse transportieren, jeder für sich ein kleines Stück, die Magnetisierung zu dem Wendepunkt rechts oben auf der Hysteresekurve. Anschliessend schaltet das TSR voll ein in die entgegengesetzte Richtung der Magnetisierung. Deshalb wird die Hysteresekurve nicht verlassen und es entsteht kein Einschaltstrom.

1kVA geschachtelter Trafo mit TSR Verfahren ** eingeschaltet. Mit Nennlast belastet.

mit unipolaren fixen Spannungsabschnitten vor-magnetisiert für 60msec.

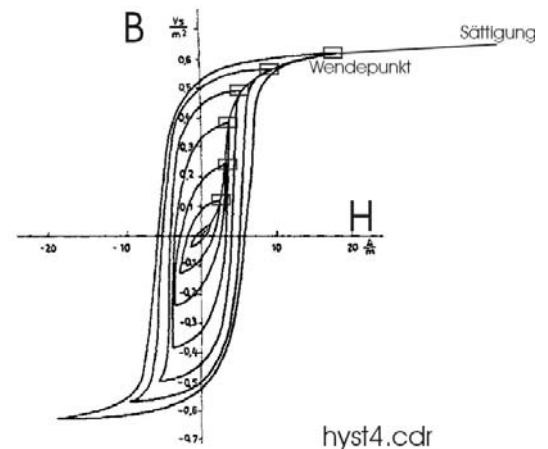


** das TSR Verfahren ist patentiert

tseme010.cdr

Hysteresefamilie im Eisenkern eines Trafos

je größer die Spannungsamplitude der Trafo-primärwicklung und je niedriger die Frequenz desto größer die Hystereseschleife



Die Einschaltprozedur ist patentgeschützt. Das preiswerte TSRL Gerät, L für Low cost, benutzt zum vormagnetisieren einen Thyristor und brückt diesen mitten im letzten Thyristor Spannungszipfel zum voll einschalten. Damit arbeitet das Relais verschleissfrei und kann deshalb über 5 Millionen Mal den Nennstrom schalten, was der reinen mechanischen Lebensdauer des Relaisantriebs gleichkommt, also so als wenn ohne Strom geschaltet würde. Bis Ende 2008 sind über 40.000 Stück der TSRL weltweit im Einsatz.

Die Spannungs-Zipfelbreite und damit auch automatisch die Anzahl der Spannungszipfel wird an einem Poti einmal auf die Trafotype eingestellt. Hierbei muß lediglich grob zwischen EI-Kern oder Ring-Kerntrafos unterschieden werden. Die Last beeinflusst die Vormagnetisierung überhaupt nicht.

Eine Beobachtung die man auch –indirekt über den Blindstrom- nachmessen kann.

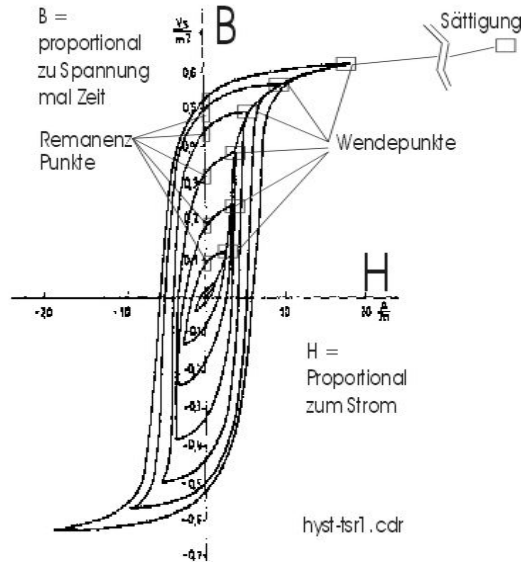
- Am Ende der positiven Spannungs-Halbwellen steht die Magnetisierung rechts oben im Wendepunkt, wenn dort ausgeschaltet wird läuft sie auf den max. positiven Punkt der Kurve, dem Remanenzpunkt.
- Je nach dem Zeitpunkt des Ausschaltens der Spannung auf der Trafoprimärseite läuft die Magnetisierung auf unterschiedliche stabile Punkte auf der Hysteresekurve. (Remanenz)

Das TSR beeinflusst die Remanenz. (bleibende Magnetisierung.)

Die Position der Remanenz-punkte, das ist die stabile Lage der Magnetisierung B, die sich nach dem zufälligen ausschalten einstellt, ist unbekannt. Sie kann klein, groß, positiv oder negativ sein. Das

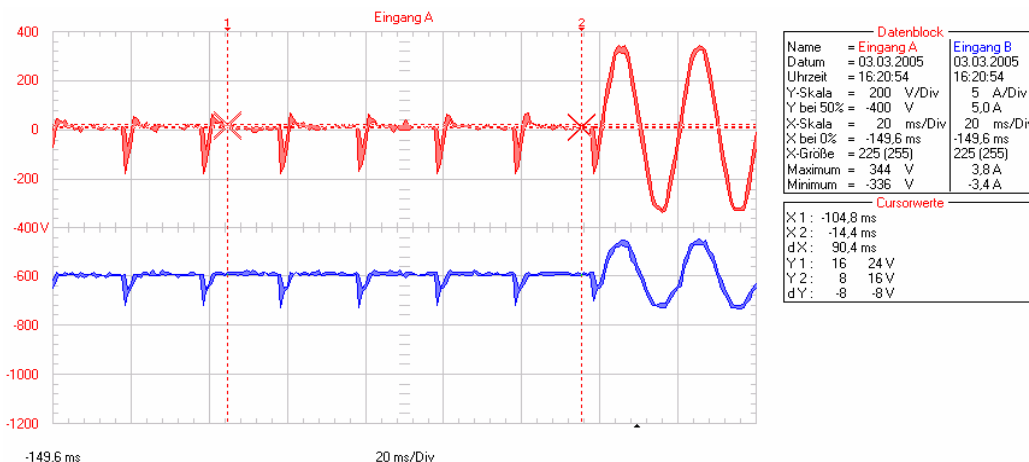
TSR Verfahren muß nicht wissen wo die Magnetisierung zufällig steht. Sie bringt sie immer an die richtige Stelle vor dem Volleinschalten. (Boxauto an die Wand fahren.)

Hysteresefamilie im Eisenkern eines Trafos



Zu viele Vormagnetisierspannungszipfel schaden nicht. Die Magnetisierung läuft dabei immer nur zum Max. Wendepunkt und in der Pause, bis der nächste gleichpolige Spannungszipfel kommt, wieder auf den max. Remanenzpunkt. Es entsteht dabei nur der Leerlaufblindstrom des Trafos, der immer dann seinen Scheitel erreicht, wenn der max. Wendepunkt auf der Hysteresekurve erreicht ist. Dieses beaufschlagen des Trafos, nur mit den Vormagnetisierzipfeln, kann permanent passieren, also ohne voll einzuschalten. Es fließt dann immer nur der Leerlaufstrompuls. Dies ist auch der Grund weshalb die Zipfelbreite justiert werden muß.

**Ein Ringkern- Senderöhren- Heiztrafo wird mit dem TSRL unter Last –ideal- eingeschaltet.
Man sieht nur die Wirkströme der Last.**



Auch die Heizwendel werden sanft eingeschaltet

Die positive Spannungs-Überschwinger auf der oberen Kurve zeigen an, daß der max. Wendepunkt auf der Hysteresekurve schon lange vor dem Volleinschalten erreicht ist. Es werden also für das richtige Einschalten alleine betrachtet, viel zu viele Zipfel auf den Trafo gegeben. Man sieht, daß zu viele Zipfel nicht schaden. Das Volleinschalten erfolgt unbeeinflusst davon ohne Einschaltstrom. Hier sind die zu vielen Zipfel gewollt, wegen der sanften Einschaltung von Röhrenheizungen oder Halogenlampen.

Vormagnetisieren ist wichtig

- Das Einschalten setzt sich demnach aus zwei Abschnitten zusammen:
- 1.) dem Vormagnetisieren.
- 2.) dem Volleinschalten
- Bei der Erfindung dieses Verfahrens war die folgende Beobachtung von entscheidender Bedeutung:
- Die bleibende Magnetisierung kann durch einzelne Spannungszeitflächen, die unipolaren Spannungszipfel, gezielt beeinflusst werden.

Die Einschaltprozedur ist patentgeschützt bis Ende 2012. Das preiswerte TSRL Gerät, L für Low cost, benutzt zum vormagnetisieren einen Thyristor und brückt diesen mitten im letzten Thyristor-Spannungszipfel zum voll einschalten. Damit arbeitet das Relais verschleissfrei und kann deshalb über 5 Millionen Mal den Nennstrom schalten, was der reinen mechanischen Lebensdauer des Relaisantriebs gleichkommt, also so als wenn ohne Strom geschaltet würde. Bis Ende 2008 sind über 40.000 Stück der TSRL weltweit im Einsatz.

Die Spannungs-Zipfelbreite und damit auch automatisch die Anzahl der Spannungszipfel wird an einem Poti einmal auf die Trafotype eingestellt. Hierbei muß lediglich grob zwischen EI-Kern oder Ring-Kertrafos unterschieden werden. Die Last beeinflusst die Vormagnetisierung überhaupt nicht.

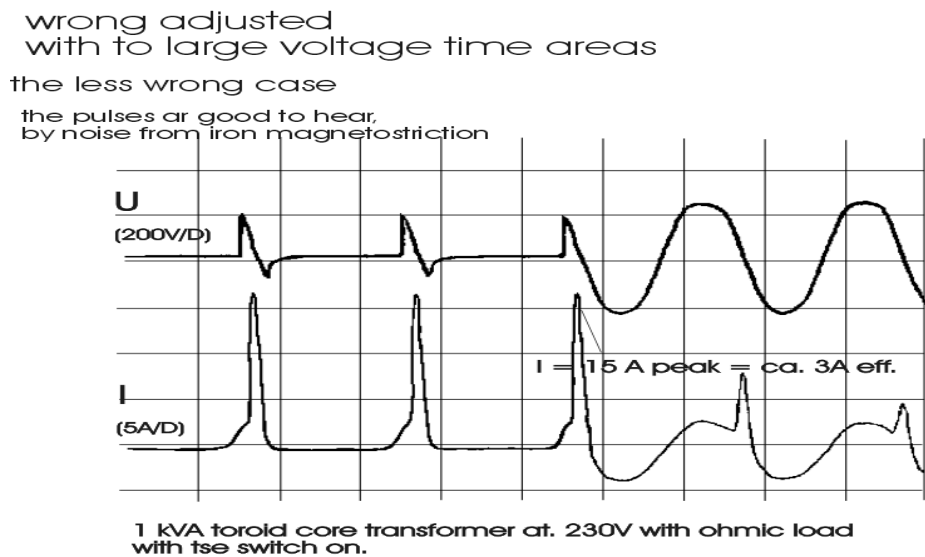
Für das Verständnis ist es wichtig zu verstehen:

- Daß die unipolaren Spannungszeitflächen nur im linear verlaufenden Teil der Hysteresekurve, bis zum maximalen Remanenzpunkt vom Eisenkern integriert werden und sie damit die Magnetisierung in eine Richtung transportieren.
- Daß diese Integration und damit der Transport in eine Richtung aufhört wenn die Hysteresekurve in Richtung Sättigung verlassen wird.
- Egal wie hoch das Eisen magnetisiert wird, es stellt sich immer nur die Maximale Remanenz ein, wenn die Magnetisierung von außen aufhört.

- Das Eisen kann eben nur bis zur leichten Sättigung magnetisiert werden.

**Messkurve zum Beweis der Wirkung der
Spannungspulse die auch Spannungs-zeitflächen genannt werden.**

Die positive Vormagnetisierung, wie im Bild unten dargestellt, ist zu stark, das Poti am TSRL ist zu weit nach rechts gedreht, das Eisen geht in die leichte Sättigung, was sich am Strom zum Ende eines jeden Zipfels zeigt

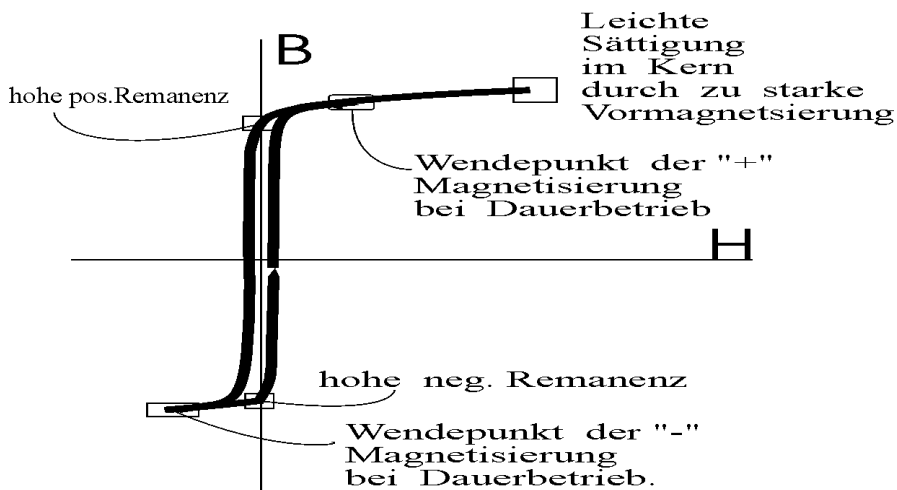


So sieht der Leerlaufstrom, untere Kurve, bei zu starker positiver Vormagnetisierung aus, weil die Magnetisierung in eine leichte Sättigung getrieben wird. Das Poti auf dem TSRL steht hier zu weit rechts. Siehe Bild zuvor.

Hysteresekurve mit kleiner positiver Sättigung bei zu starker Vormagnetisierung.

--Die gutmütige Variante der unkorrekten TSR Einstellung.-- Hier bei einem Ringkerntrafo.

B läuft proportional der Spannungszeitfläche $U \cdot t$. Aber das tut sie nur im linearen Teil der Kurve, danach kann B nicht höher steigen.



Hier wird zu stark vormagnetisiert. Jeder Spannungsabschnitt der Vormagnetsierung fährt die Magnetisierung von der pos. Remanenz ausgehend über den Wendepunkt hinaus zum Punkt der leichten pos.

Zum Verständnis ist weiterhin wichtig:

- Es spielt also keine Rolle wenn zu viele unipolare Spannungszeitflächen auf den Trafo gegeben werden. Die maximale Remanenzstärke wird dadurch niemals überschritten.
- Es müssen nur genügend unipolare Spannungszeitflächen die auch breit genug sind auf den Trafo gegeben werden, damit die maximale Remanenzlage von allen Ausgangszuständen aus sicher erreicht wird, bevor voll eingeschaltet wird.

Eine neuartige Betrachtungsweise der Physik.

- Der Strom in den leerlaufenden Trafo hinein ist die **Antwort** des Trafos auf die primärseitigen Spannungsänderungen. (Nicht umgekehrt.)
- Man sollte deshalb sagen: Nicht der Strom treibt deshalb die Magnetisierung, sondern die Spannung zusammen mit der Einwirkungszeit die an den Trafo angelegt wird transportiert die Magnetisierung im Eisenkern entlang der Hystereseurve.
- Der Leerlauf- Strom zeigt nur was im Trafo passiert- und wurde in einem früher gebauten Trafoschaltrelais-TSE 3, dafür auch abgefragt.-

Beurteilung der TSR von einer neutralen Stelle.

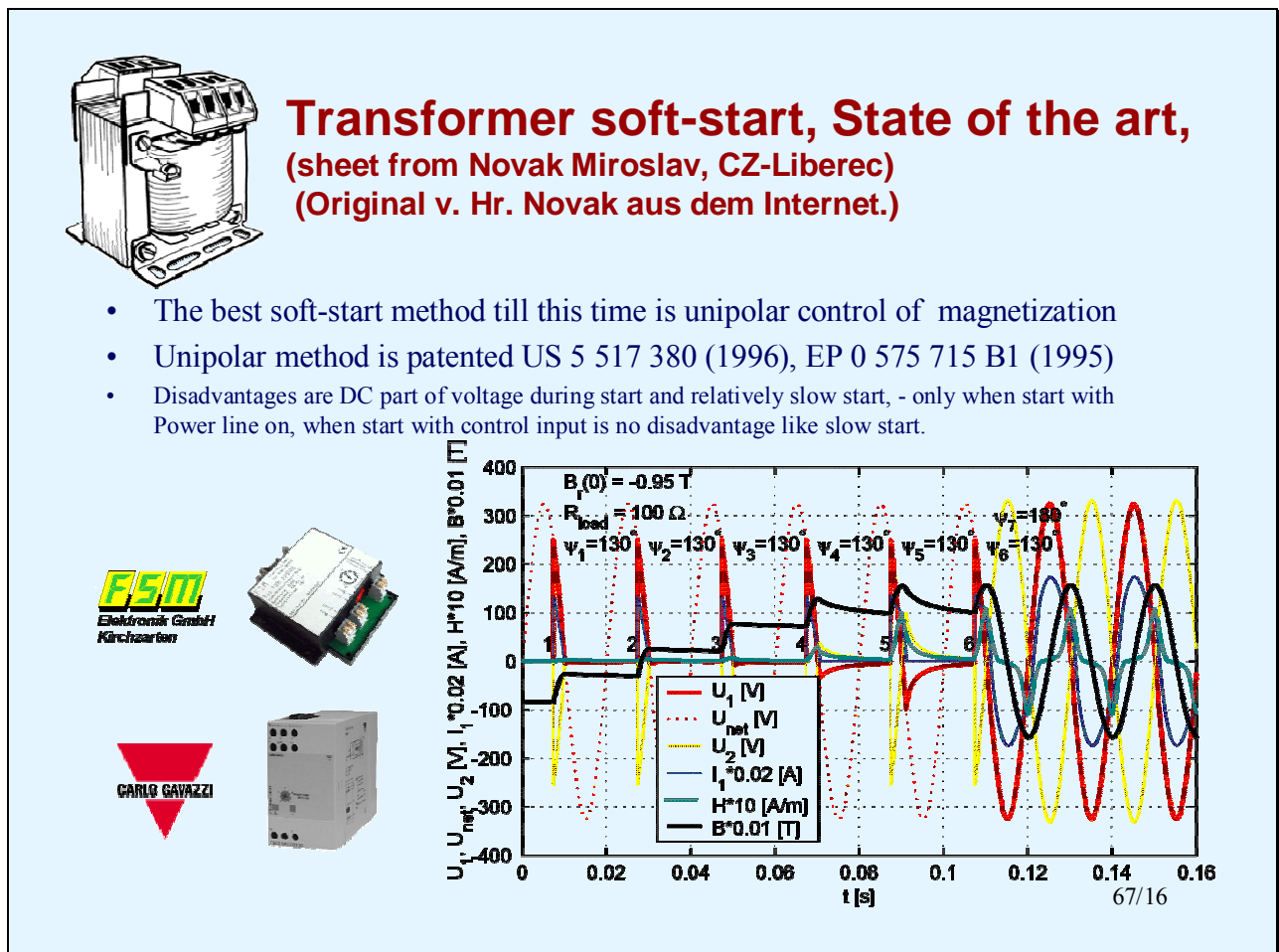
- Eine Beurteilung der TSR- Einschaltverfahren von einer Hochschule in der Czechoslowakei wird im folgenden dargestellt.

Doktorarbeit von Ing. Miroslav Novak an der Universität CZ Liberec in 2005

- Herr Novak untersuchte die bisher verwendeten Maßnahmen zum verkleinern und vermeiden des Einschaltstromstoßes von Einphasentrafos.
- Er entwickelte auf ähnlicher Basis wie die des TSRL, ein weiteres Verfahren zum Vermeiden von Einschaltströmen.
- Er baute Prototypen die bisher nicht am Markt erhältlich sind, weil sich bis jetzt kein Hersteller findet der die Geräte serienreif macht und herstellt. (Seine Mail vom 20.09.06)

Herr Novak beurteilt im Jahr 2005 in seiner Doktorarbeit:

- Das von uns 1995 entwickelte TSE Gerät was von Carlo Gavazzi „noch“ hergestellt wird,
- und das TSRL Gerät was ebenfalls von uns 1998 entwickelt wurde und seither von FSM-Elektronik hergestellt wird.
- (Schön für uns, daß die Trafoschaltrelais Geräte in einer Doktorarbeit als derzeitiger „Stand der Technik“ gewürdigt werden.)



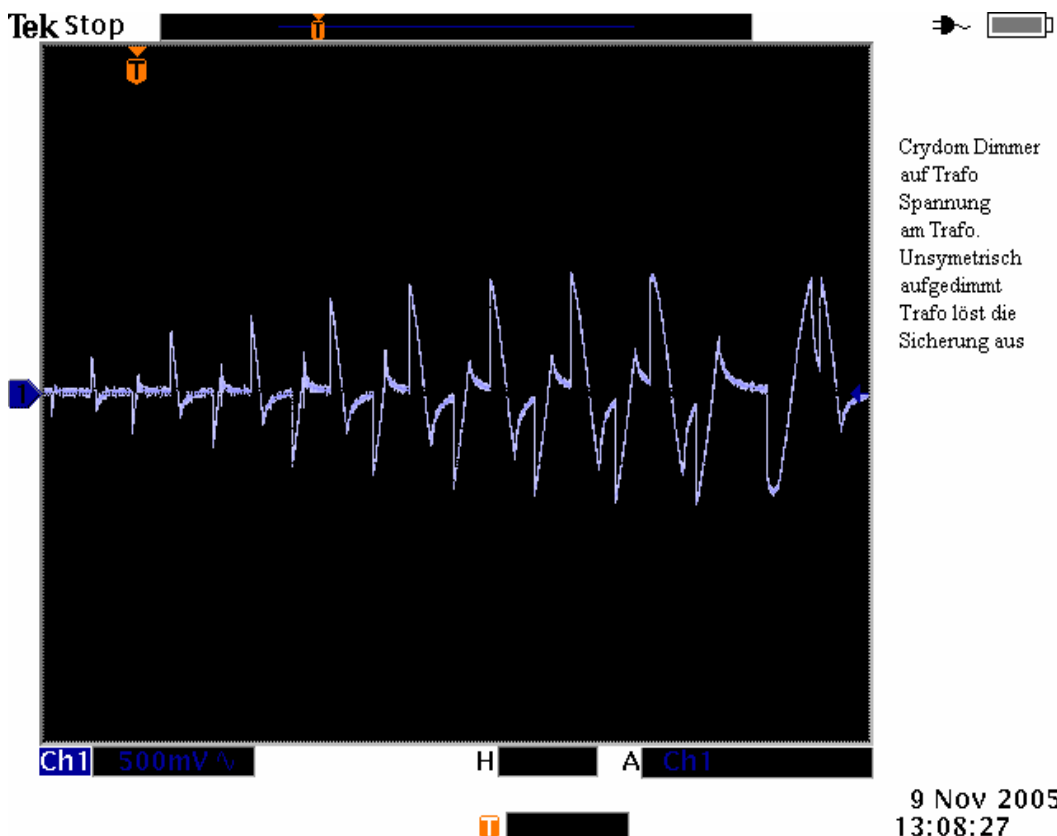
Die rote Kurve U1 zeigt die aufgeprägten, unipolaren, Spannungszeitflächen. Die blaue Kurve I1 zeigt den Strom der nur durch die ohmsche Last auf der Trafosekundärseite verursacht wird. Die graue Kurve H zeigt die Feldstärke im Trafoeisen. Die schwarze Kurve B zeigt die Induktion im Trafoeisen. An der schwarzen Kurve B, sieht man sehr gut, wie die Induktion nach dem Spannungszipfeln 4 und 5, immer wieder auf die Max. Remanenz zurückläuft. Man sieht sehr gut, daß eine Sättigung vermieden wird.

Verlauf der Induktion B durch die Vormagnetisierung.

- Im vorigen Bild ist der Verlauf der Induktion B, der Magnetisierung, als schwarze Kurve sehr schön dargestellt.
- Man sieht dabei gut, wie die Magnetisierung ab einem bestimmten Betrag nicht mehr größer wird und dann nach jedem Vormagnetisierungspuls immer wieder zum gleich hohen Wert, zur max. Remanenz zurückläuft.

Das Dimmen von Trafos ist dagegen problematisch.

- Kunden-messung der Trafospannung:
- Leider wurde der Strom nicht gemessen.
- Sicherung löst aus, rechts von der Messkurve.
- Fazit: Dimmen im Leerlauf oder bei Teillast des Trafos ist immer problematisch



Man sieht wie im letzten Drittel des Dimmvorganges eine positiv, angeschnittene Spannungshalbwellen plötzlich fehlt, was eine starke Asymmetrie der Aussteuerung auf der Hystereseurve zur Folge hat.

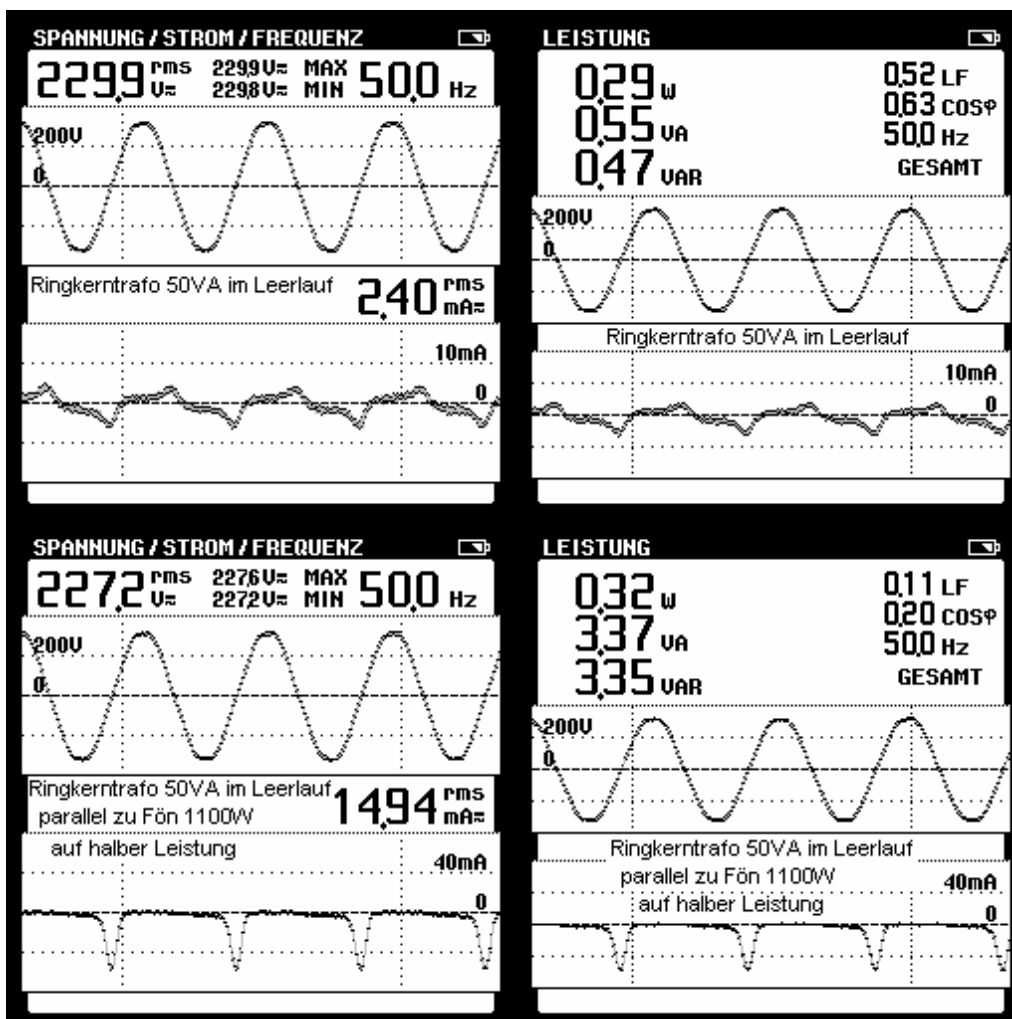
Trafos deshalb besser nicht symmetrisch dimmen.

- Nur Präzisionsdimmer, die allerdings ihr Geld kosten, können auch leerlaufende Trafos sauber dimmen. (Vierdrahtdimmer)
- Leerlauf kommt vor, wenn die Last abgeschaltet wird, durch zum Beispiel einen Fehler oder eine sekundärseitige Sicherungsauslösung.
- Dann sollte nicht auch die primärseitige Sicherung in Folge auslösen.

Trafos sind empfindlich gegen unsymmetrische Spannungszeitflächen der Netzhalbwellen.

- Es gibt länger dauernde Unsymmetrien durch einseitige Netzbelastung. -DC offset-
- Es gibt aber auch nur kurzzeitige Unsymmetrien durch Schaltvorgänge. –“Voltage Dips.“

Beispiel für eine länger dauernde Unsymmetrie.- Quelle: Kupfer-Institut.



Durch das Belasten des Netzes nur in den positiven Halbwellen mit einem Föhn in halber Heizstufe über eine Diode, sind die negativen Netzhalbwellen größer und steuern den Trafo in die leichte negative Sättigung.

Warum baut man bisher Steuer-Trafos mit geringem Einschaltstrom?

- Den Einschaltstrom kann man auch ohne externe Mittel verkleinern, indem man die Trafo-Konstruktion anpasst.
- Ein Steuertrafo darf nur einen max. 12 mal I-nenn Einschaltstrom haben, damit er auf gerade noch vertretbare Weise absicherbar ist.
- Ein „guter“ Trafo hat 40-80 mal I-nenn.

Durch die Konstruktion des Trafos kann man den Einschaltstrom auch von vornherein begrenzen.

- 1.) Bei der Gestaltung der Wicklungen, die hochohmiger gemacht werden.
- 2.) Bei der Gestaltung des Eisenkernes, der mit mehr Verlusten -Luftspalt- gebaut wird und dann nur eine kleine Remanenz hat.
- Beides zusammen wird bis heute gemacht, kostet aber unnötige Energieverluste.

Kompromisse beim Kupfer im Trafo:

- Ein höherer Kupferwiderstand der Primärwicklung reduziert den Einschaltstromstoß. (z.B. Primärwicklung außenliegend und dünnerer Draht.)
- Aber das bringt mehr Verluste und damit höhere Verbrauchskosten und erfordert nicht selten zusätzliche Maßnahmen wie Kühlung mit Ventilatoren. Und braucht unnötig Strom.

Kompromisse beim Eisen im Trafo:

- Ein Luftspalt im Eisen senkt die Remanenz. Eine niedere Betriebsinduktion im Trafoeisen ergibt mehr Magnetisierungs-Reserve bis zur Sättigung.
- Das ergibt aber ein dickeres Blech-Paket und wiederum mehr und längere und hochohmiger Windungen was zusätzlich den Einschaltstrom reduziert.
- Ein Luftspalt muß vom Magnetfeld durch mehr Energie von außen überwunden werden.

Weitere Kompromisse beim Standard-Trafo:

- Ein Luftspalt ergibt aber auch mehr Streufeld und eine schlechtere Kopplung zwischen primär und sekundär.
- Alles das macht einen Trafo schwerer, weicher, teurer und bringt mehr Verluste im Trafo und bringt also Nachteile für den Endverbraucher. -Höhere Stromkosten-. Auch der Leerlaufstrom ist dann höher. Um Faktor 100 gegenüber einem Ringkerntrafo.

Die meisten der verwendeten Steuertrafos sind mit diesen Kompromissen gebaut:

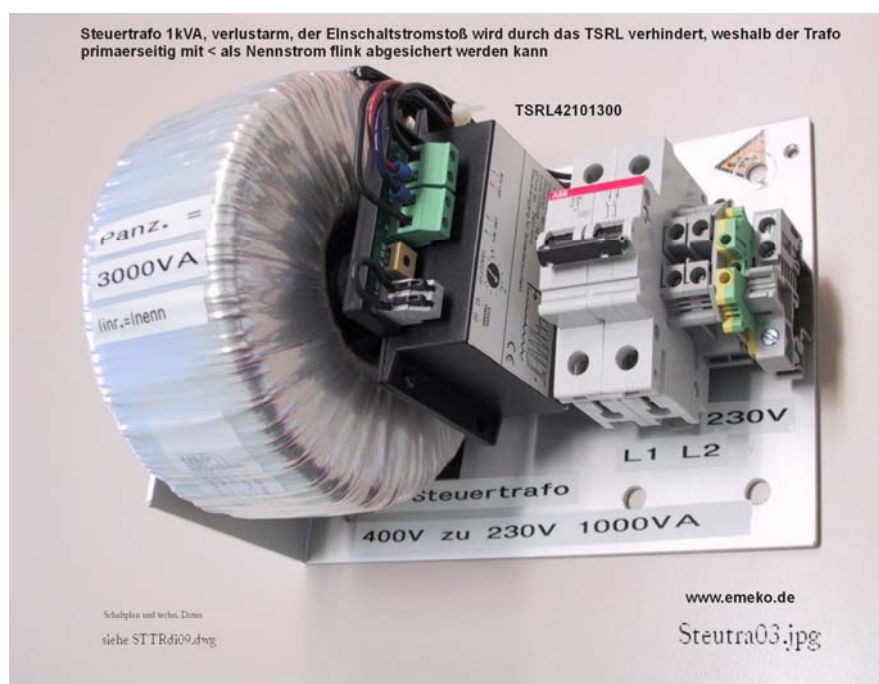
- Man bekommt zwar einen Trafo bei dessen Einsatz man dann speziell dafür entwickelte Trafoschutzschalter als Absicherung verwenden kann. -max. 20 mal I-nenn.-
- Aber man hat damit Trafos die schon im Leerlauf so heiß werden, daß man sie nicht mehr anfassen kann. (Ein Steuertrafo läuft meistens im Leelauf.).

Öko-Trafos sind nur mit dem Trafoschaltrelais- TSR möglich.

- Wenn ein TSR vor den Trafo gesetzt wird braucht man keinen Kompromiss bei der Trafokonstruktion einzugehen.
- Man kann Ringkerntrafos einsetzen, die dann ihre einzige schlechte Eigenschaft, den sehr hohen Einschaltstrom, verloren haben.
- Die Absicherung ist dann auch ganz einfach.

Dieser Trafo bleibt kalt.

Ein 1 kVA, 400V Ringkern-Trafo. I-nenn =2,5A, ist nur mit einem B 2 A Automaten abgesichert auf der Primärseite. Das geht nur wenn der Einschaltstrom unterbleibt.



Der Trafo ist primärseitig mit nur mittelträgen Nennstromsicherungen ausgerüstet und hat sekundärseitig keine Sicherungen nötig um geschützt zu sein.

Im Leerlauf oder bei Teillast bleibt der Trafo kalt, aufgrund der geringen Eisen und Kupferverluste die er hat. Das ergibt einen sehr steifen Steuertrafo, dessen Ausgangsspannung bei Belastung kaum einbricht.

Weshalb Trafos in Zukunft immer mehr in Verbindung mit dem TSR eingesetzt werden.

- Ein Trafodesign **ohne** Trafo-Schalt-Relais bedeutet immer Kompromisse am Trafo zu machen.
 - Es bleibt außerdem immer noch die Absicherungsproblematik wenn kein TSR verwendet wird.
 - Ohne TSR gibt es „Voltage Dip“- Probleme für bestimmte Anwendungen. (Vorgeschriebene Tests in der Medizintechnik.)
 - Ein Öko-Trafo der Strom spart ist nur mit dem TSR möglich.
-
- **Ende des Vortrags . Noch mehr zu sehen gibt es unter:**
 - WWW.EMEKO.de/wissenwertes
 - **Letzte Korrektur am 10.12.2012**