

## Netzspannungs-Halbwellenausfälle, sogenannte „Voltage Dips“, lösen Trafo- Sicherungen aus!

Mit einem Halbwellenausfall von 10 msec. werden Geräte nach der EN 61000-4-11 geprüft.

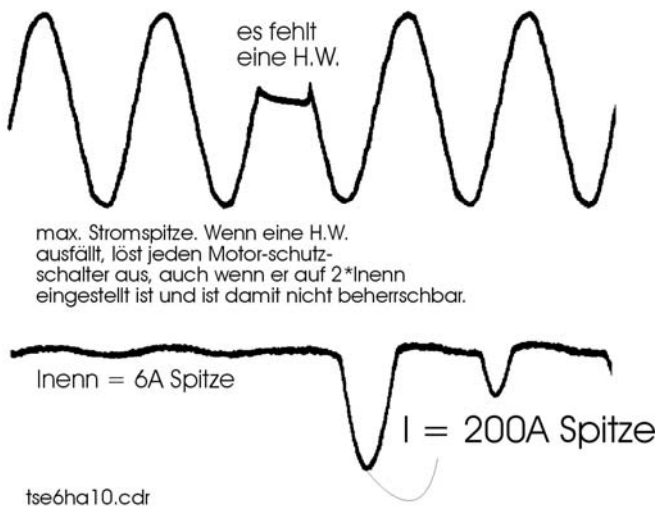
Diese Norm ist als Prüfung in der Medizingeräte-Prüfnorm, IEC 60601-1-2 enthalten.

Medizingeräte müssen diesen Test bestehen, ohne dass die Sicherung vor dem Trafo auslöst, wenn ein solcher eingebaut ist.

Die nächsten Bilder Zeigen die Wirkung von Netzhalbwellenausfällen ohne und mit einem Trafoschaltrelais, TSRL, vor einem Trafo. (Ein Trafoschaltrelais verhindert Einschaltstromstöße an Trafos.) Bild 11 zeigt ein Trafoschaltrelais.

**Bild 1**, gemessen ohne Trafoschaltrelais vor dem Trafo.

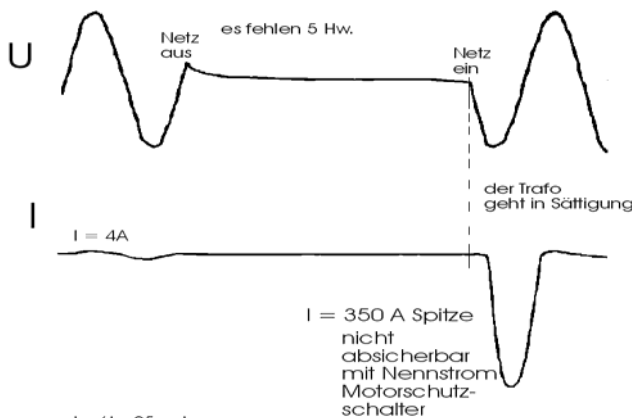
Halbwellenausfall-Simulation  
an einem geschweißten 1 kVA EI Trafo  
mit 1 kW belastet. (weicher Trafo)



Nebenstehendes Bild 1 zeigt mit der oberen Kurve die Netz-Spannung und mit der unteren Kurve den Stromstoß, der in die Primärwicklung fließt. Der Spannungsausfall dauerte nur 10 msec. Danach bekommt der Trafo erneut die gleiche Netzspannungspolarität, hier negativ, die er vor der Lücke bekommen hat. Das führt dann zu einem hohen Stromstoß. Siehe auch das in den Bildern 6 bis 9 zu den Spannungszeitflächen gesagte.

**Bild 2**, ohne Trafoschaltrelais vor dem Trafo.

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



Beim länger dauernden Halbwellenausfall mit einer ungeraden Anzahl von fehlenden

Halbwellen, in Bild 2, mit gleich poliger Auswie Einschaltung entstehen ebenfalls hohe Stromstöße, die in Bild 2 aufgrund der geringeren Kupferverluste des optimierten Trafos größer sind als beim weichen EI- Trafo mit geschweißtem Kern, von Bild 1. Manchmal lösen Sicherungen mitten im Gerätebetrieb aus und man nicht weshalb. Netzhalbwellen-unsymmetrien könnten der Grund sein.

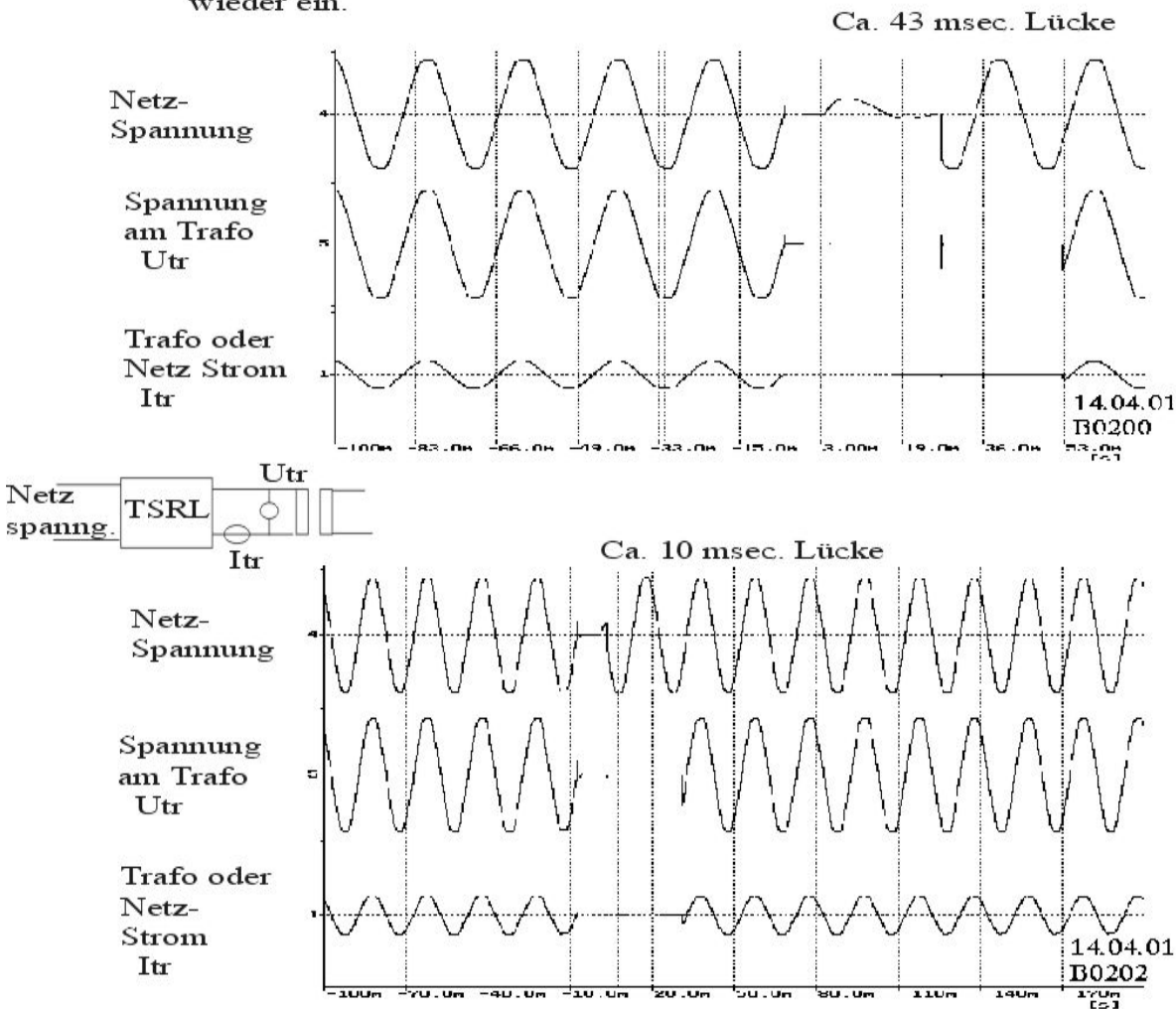
Mit diesem Halbwellenausfall von 10 msec. werden Geräte nach der EN 61000-4-11 geprüft. Diese Norm ist als Prüfung in der Medizingeräte - Prüfnorm, IEC 60601-1-2 enthalten Das ist für einen Trafo der schlechteste Wieder-Einschaltfall, der eine auf den Nennstrom bemessene Sicherung in jedem Fall auslöst, wenn kein TSRL davor geschaltet ist.

Vermeiden kann man das Sicherungsauslösen bei Halbwellenausfällen mit dem TSRL, der die „Halbwellenausfallerkennung“ Option hat.

Das TSRL erkennt den Spannungseinbruch sofort, schaltet aus, berechnet den richtigen Einschaltzeitpunkt und schaltet nach der Netzspannungswiederkehr entweder mit seiner Softstart- Prozedur zu, siehe Bild 10 oder wie in diesem hier gezeigten Bild 3 zu dem frühest- möglichen Zeitpunkt voll ein. Die Sicherung bleibt heil, weil wie zu sehen ist, kein Einschaltstromstoß entsteht.

**Bild 3**, mit einem Trafoschaltrelais vor dem Trafo.

Halbwellenausfalltest, TSRL vor 1kVA Ringkerntrafo.  
 Netzausfall durch Wackelkontakt erzeugt.  
 TSRL erkennt den Ausfall und verhindert die Eisen-  
 Sättigung des Trafos. TSRL schaltet so früh wie möglich  
 wieder ein.



In beiden Fällen würde ein Trafo ohne TSRL voll in die Sättigung gehen nach solch einer Netzlücke.

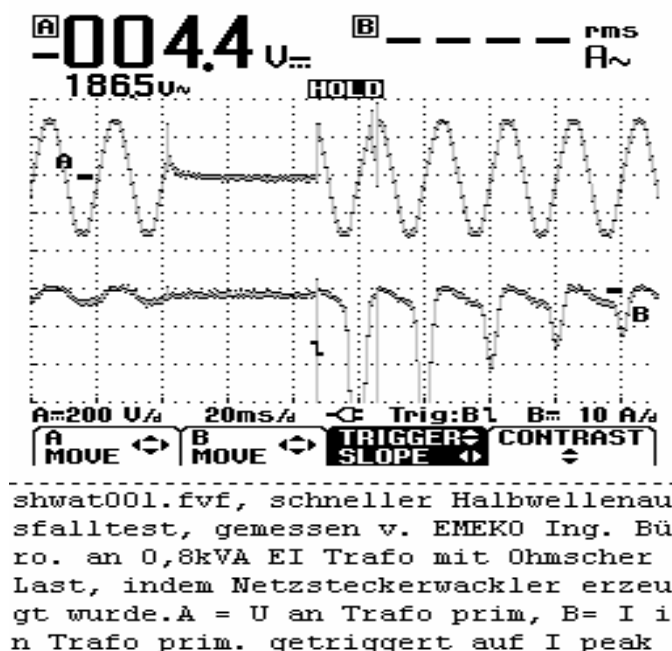
Emeko Ing.büro  
 TSRL0200.cdr

Die Dauer der Spannungslücke am Trafo dauert ungefähr 20 msec. länger als die Netzlücke dauert, weil das TSRL die richtige Einschaltposition abwarten muß.

Auch Computernetzteile sind durch ihre Filterkondensatoren für diese kurze Netzspannungsunterbrechung von 40 msec. in der Lage die Geräte-Spannungsversorgung aufrechtzuerhalten, was zahlreiche Tests von Anwendern der TSRL belegen.

Im Bild 4 ist zu sehen wie ein Trafo reagiert wenn er zufällig erzeugte Halbwellenausfälle aushalten muß. Die Ausfälle wurden durch wackeln am Steckkontakt erzeugt.

**Bild 4**, ohne Trafoschaltrelais vor dem Trafo.

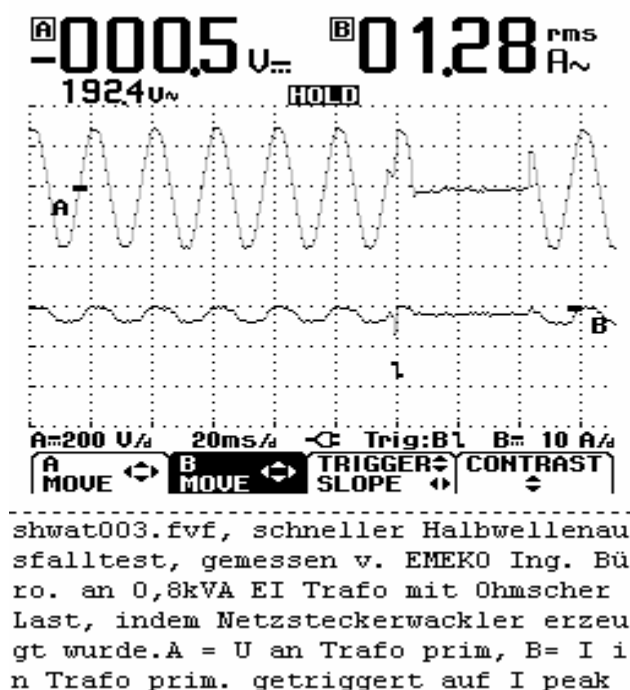


Der in Bild 4 zufällig erzeugte Spannungsausfall bringt den Trafo nach der Netzwiederkehr in Sättigung und erzeugt Stromspitzen, welche die Absicherung auslösen können.

--Die Netzwiederkehr erfolgt hier zufällig so, dass der Trafo zwei Mal hintereinander gleich sinnig polarisiert wird.-

Auch im Bild 5 ist zu sehen wie ein Trafo reagiert wenn er zufällig erzeugte Halbwellenausfälle bekommt. Hier wurde das Trafoeisen nicht in Sättigung getrieben, weil das Einschalten zufällig so erfolgte, dass die auf den Trafo einwirkende Spannungszeitfläche symmetrisch blieb. Die Ausfälle wurden auch hier durch wackeln am Steckkontakt erzeugt. Es ist hier kein TSRL vor den Trafo geschaltet gewesen.

**Bild 5**, ohne Trafoschaltrelais vor dem Trafo.



Im Bild 5 ist zu sehen, daß nicht immer Stromspitzen entstehen müssen, wenn Netzhalbwellen ausfallen. Hier ist die Netzwiederkehr zufällig zu einem solchen Zeitpunkt erfolgt, dass der Trafo nicht in Sättigung gelangt ist. Nach dem Ausfall der Netzspannung in Bild 5 blieb die Remanenz im Eisen fast auf dem pos. max. Punkt stehen. Fast, weil es keine ganze pos. Halbwellen war die zuletzt am Trafo angelegt war. Durch die Spannungswiederkehr, erst zum Ende einer pos. Netzhalbwellen, wird die Induktion mit dem positiven Restzipfel der kommenden Spannung gerade vom pos. Remanenzpunkt zum pos. Wendepunkt gefahren. --Siehe Hysteresekurve. --Es entsteht deshalb keinerlei Überfahren der Hysteresekurve und deshalb auch keine Sättigung im Eisen und damit kein Stromstoß.

Mit diesem im Bild 5 zu sehenden Gutfall darf jedoch die Testprozedur nach der Medizin Geräte Norm nicht durchgeführt werden.

Transformatoren in medizinischen Geräten müssen entsprechend EN 61000-4-11, getestet werden. Unter anderem mit Halbwelleneinbrüchen um 90 %, also auf 10 % der Spannung herunter, für die Dauer einer halben Vollwelle, gleich 10 msec bei 50Hz. Der Start Punkt des Ausfalls ist immer beim Beginn einer Halbperiode. Siehe Bild 1. Dabei kommen eben zwei gleich polige Netzhalbwellen hintereinander auf den Trafo was unweigerlich die Sicherung auslöst, wenn der Trafo nicht extra weich ist und extra für solche Netzanomalien ausgelegt ist. Er hat dann in diesem extremen Auslegungsfall jedoch das ca. 3 fache Gewicht gegenüber einem Ringkerntrafo und kann nur ein EI oder UI Trafo sein.

Aus diesem Grund setzen immer mehr Gerätehersteller von Medizin Geräten die TSRL zusammen mit den leichtgewichtigen Ringkerntrafos ein. Mit dem TSRL wird die Prüfung nach EN 61000-4-11 ohne Fehler bestanden.

### Weshalb entstehen am Trafo die hohen Stromstöße nach einem Halbwellenausfall?

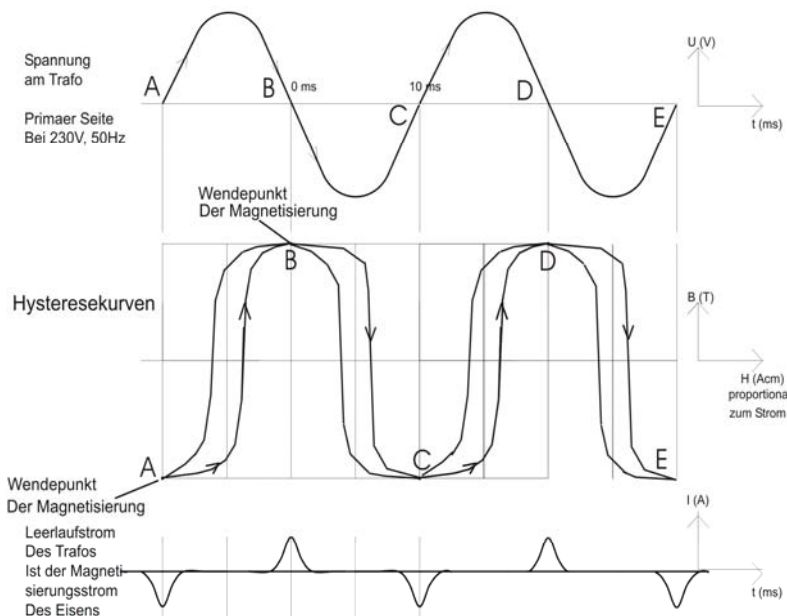
#### Die Physik bestimmt die magnetischen Vorgänge im Eisenkern eines Transformators:

Nicht der Eingangsstrom den der Transformator aufnimmt verursacht die Änderung der Magnetisierung. Es sind die Spannungs- Zeitflächen der Netzspannungshalbwellen, welche die Magnetisierung im Eisenkern entlang der Hysteresekurve transportieren. Siehe Bild 6 bis 9. Eine Spannungs- Voll- Welle mit 20 msec. Dauer bei 50Hz treibt die Induktion 1 Mal im Kreis herum, immer entlang der Hysteresekurve. Auf diesem ständigen Ummagnetisieren beruht das Trafoprinzip, bei dem in der Sekundärspule durch diese ständige Ummagnetisierung die Sekundärspannung induziert wird.

Der Eingangsstrom ist die Antwort des Trafos auf die unterschiedlichen Spannungszeitflächen die auf ihn einwirken und nicht umgekehrt. Mit dieser Erkenntnis ist das Verhalten des Trafos leichter verstehbar als bisher.

#### Bild 6.

Fortlaufende Hysteresekurve im Eisenkern eines 50Hz Transformators im Leerlauf



Eine Spannungshalbperiode, (Spannungszeitfläche), transportiert die Magnetisierung von einem zum andern Wendepunkt auf der Hysteresekurve, der Strom zeigt dabei die Position an

Im Dauerlauf gilt:

Die Spannungszeitfläche einer positiven Halbperiode, - mit einem Stromflusswinkel = 180 Grad-, transportiert die Magnetisierung entlang der Hysteresekurve vom Punkt A, zu dem anderen Ende der Kurve in Punkt B. Die negative Halbperiode bringt die Magnetisierung sofort vom positiven Wendepunkt B auf der Hysteresekurve zu dem negativen Wendepunkt A am Ende der Hysteresekurve und so weiter immer fort. Das gilt aber nur im eingeschwingenen Zustand, also im Dauerlauf, nicht beim einschalten.

Bild 7

**Noch mal: Was die Sinuskurve der Netz-Spannung bewirkt.**

Hysteresefamilie im Eisenkern eines Trafos  
je größer die Spannungsamplitude der Trafoprimarywicklung und je niedriger die Frequenz, desto größer die Hystereseschleife

Die positive Spannungshalbperiode transportiert die Magnetisierung vom negativen zum positiven Wendepunkt der Hysteresekurve.

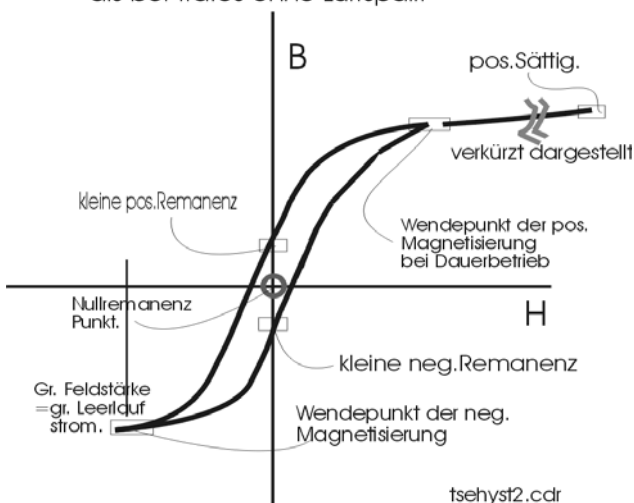
Die **Spannungszeitfläche ist maßgebend.** Mit einer ganzen Vollwelle, s.o., läuft die Magnetisierung einmal um.

Ringkerntransformatoren, die sich einer immer größeren Beliebtheit erfreuen, haben eine Hysteresekurve die senkrecht steht und sehr schmal ist, siehe Bild 9. Deren Eisenkern hat keinerlei Luftspalt. Der Leerlaufstrom und damit die Leerlauf Verluste sind sehr klein. Die Verluste entstehen durch die Ummagnetisierungsarbeit und sind umso kleiner, je geringer die von der Hysteresekurve eingeschlossene Fläche ist. Die Verluste sind um circa Faktor 100 geringer als bei geschweißten EI- Trafos. Ringkerntrafos sind deshalb auch Energiespartrafos.

Bild 8.

### Hysteresekurve

bei Trafos mit Luftspalt, wie z.B. geschweißte Trafos, ist die Kurve gescherzt, das heißt flacher und die Remanenz ist deutlich kleiner als bei Trafos ohne Luftspalt.

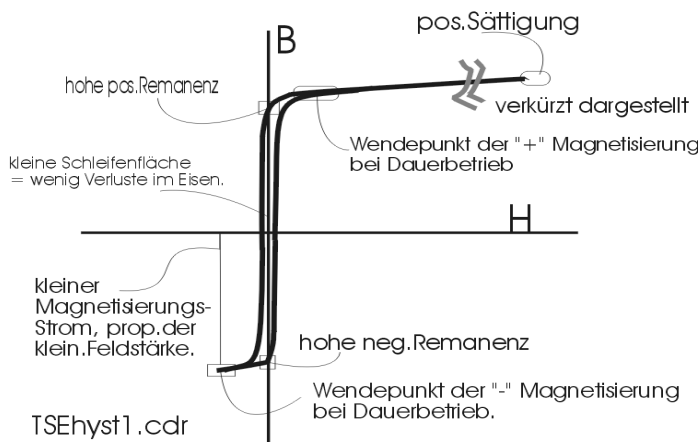


Die Magnetisierung im Remanenzpunkt bleibt so lange bestehen bis der Trafo erneut eingeschaltet wird.

Remanenz bedeutet bleibende Magnetisierung. Die Induktion im Remanenzpunkt ist wesentlich niedriger als die Induktion im Wendepunkt der Hysteresekurve. Aus diesem Grund treibt die Spannungszeitfläche, die beim Einschalten auf den Trafo einwirkt, die Magnetisierung nicht so weit in die Sättigung, wie sie es beim Ringkerntrafo tut. Es ist beim Einschalten in die „falsche „Richtung beim EI- Trafo immer noch Ummagnetisierungsarbeit zu verrichten.

## Bild 9. Hysteresekurve

bei Ringkern-Trafos  
(Luftspaltfrei) deshalb hohe Remanenz



Die Induktion in dem Remanenz punkt ist fast genau so groß wie die Induktion im Wendepunkt der Hysterese Kurve.

Die Magnetisierung im Remanenzpunkt bleibt so lange bestehen bis der Trafo erneut eingeschaltet wird. Remanenz bedeutet bleibende Magnetisierung.

Deshalb ist bei Ringkerntransformatoren auch das einschalten meist mit höheren Einschaltstromstößen verbunden, wenn kein TSRL verwendet wird.

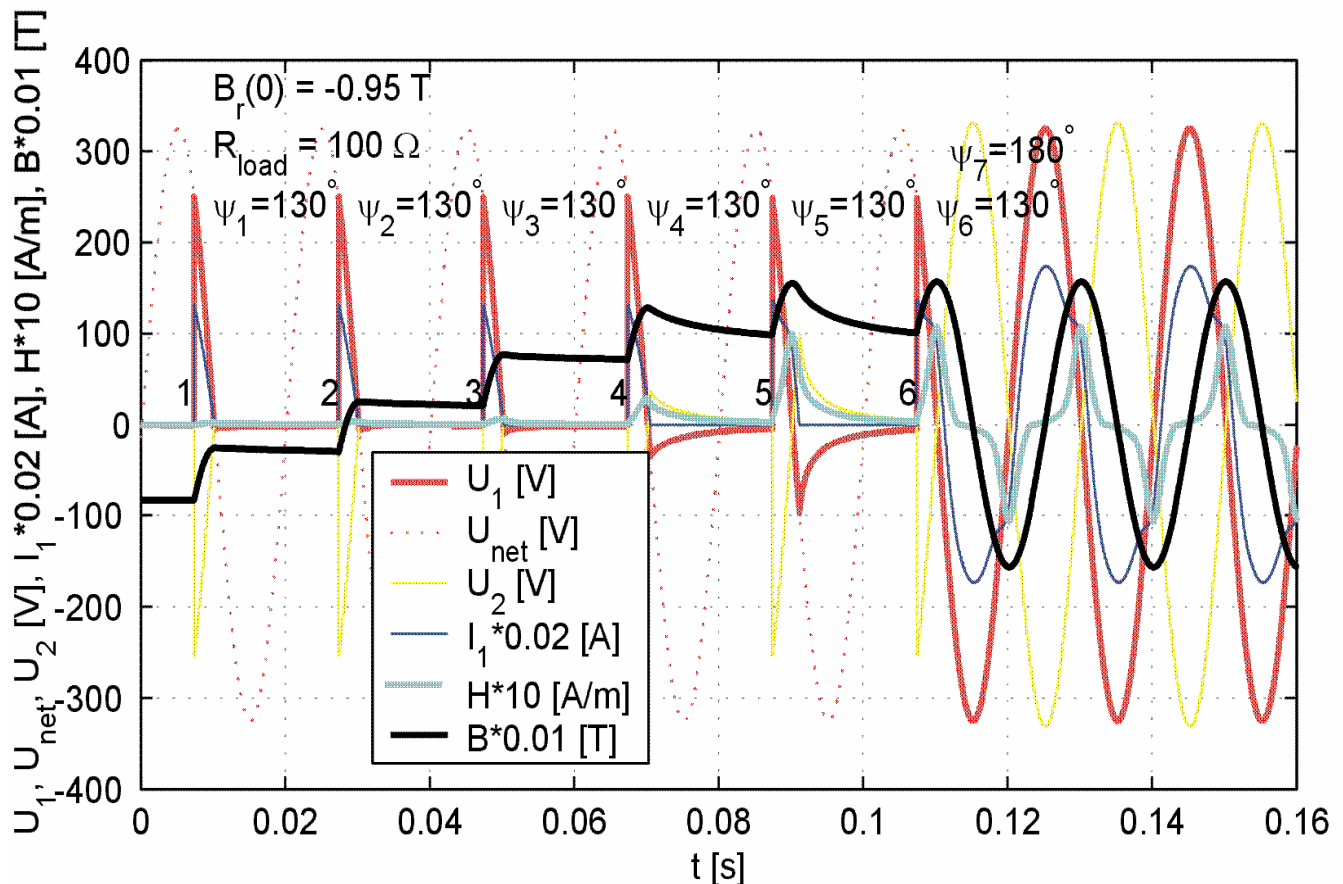
Ringkerntrafos sind um bis zu 50 % leichter als EI Trafos und sind auch aus kaufmännischer Sicht, aufgrund der steigenden Preise für Eisen und Kupfer, den zum Beispiel geschweißten Trafos gegenüber immer mehr im Vorteil. Allerdings haben Ringkerntrafos einen großen Nachteil, den hohen Einschaltstrom, der bis zum 100 fachen des Nennstromes reichen kann. Aus diesem Grunde werden fast immer Einschaltstrom- Begrenzer dafür benötigt, die dafür sorgen, dass beim Einschalten die Sicherung nicht auslöst.

Allerdings haben fast alle Einschaltstrom Begrenzer den Nachteil, dass sie für wiederholte Einschaltungen nur nach 2 Minuten Wartezeit erneut einschalten können. Mit einem Trafoschaltrelais lässt sich dieser Nachteil jedoch elegant umgehen. Ein Trafoschaltrelais kann außerdem nach einer kurzen Netzunterbrechung von wenigen Millisekunden sehr schnell aus und sofort wieder einschalten, ohne dass ein erhöhter Einschaltstrom entsteht. Die Reaktion auf sehr kurze Netzunterbrechungen wird bei Medizingeräten seit 2 Jahren bei der EMV Abnahmeprüfung geprüft. Eine Sicherung darf dabei nicht auslösen. Mit den TSRL wird diese Prüfung ohne Probleme bestanden. Mit einem TSRL ausgerüstet hat ein Ringkerntrafo dann wirklich große Vorteile.

Weiter Infos unter [www.emeko.de](http://www.emeko.de).

Erklärung des Softstartverfahrens siehe nächste Seite.

**Bild 10.** Demonstriert das Softstartverfahren von EMEKO und FSM-Elektronik, an einem belasteten Trafo mit geschichtetem Kern.



Die Y-Achse ist mit der Netzspannung, die X-Achse mit der Zeit skaliert.

Die rote gepunktete Kurve ist die Netzspannung,  $U_{net}$ .

Die rote Kurve ist die Primärspannung  $U_1$ .- Am Anfang eben nur mit den schmalen Spannungspulsen.

Die blaue Kurve ist der Primärstrom  $I_1$ , er ist die Antwort des Trafos auf die Einwirkung der Spannungszeitflächen.

Die schwarze Kurve ist die Induktion  $B$ .

--Weil der EI- Kern Trafo zuvor am Ende einer negativen Spannungshalbwelle ausgeschaltet wurde, steht seine Remanenz im negativen max. Punkt, eben den -0,95Tesla.

Die Magnetisierung bleibt dort solange stehen, bis sie durch ein Einschalten wieder von dort wegbewegt wird.--

Der Startpunkt ist also der Remanenzpunkt  $B_r(0) = -0,95 \text{ T}$ .

Am Punkt eins wirkt die erste Vormagnetisierungs- Spannungszeitfläche auf den Trafo.

Jeder Vormagnetisierungspuls 1-6, hebt die Induktion, schwarze Kurve, ein Stück höher auf der Hysteresekurve.

Nach dem Punkt 6, dem Zeitpunkt des Volleinschaltens, ist die Spannung  $U_1$  gleich der Netzspannungskurve  $U_{net}$ .

Die Pulse  $U_1$ , Nr. 1-6 sind unipolare Phasen-Anschnitt Pulse mit ca. 130 Grad Anschnitt.

Sie transportieren die Induktion, - die mit der schwarzen Linie dargestellt ist-, in Richtung der positiven Remanenz.

Nur 5 Pulse werden benötigt um die Magnetisierung von der negativen Remanenz zum positiven Wendepunkt zu bringen.

Dieser Trafo TYP mit einem EI -Kern, hat kleine Luftspalte im Eisenkern an den Stoßstellen der Blebschenkel und die unterschiedlichen Blebschenkel haben nicht alle eine optimale Orientierung der Magnetdomänen. Deshalb ist hier die Remanenz deutlich kleiner als die Induktion im Wendepunkt.

Ein Ringkerntrafo benötigt schmalere Pulse aber dafür mehr an der Zahl, weil er keine Luftspalte hat und deshalb die Hysteresekurve senkrecht steht und eine hohe Remanenz hat. Der senkrechte Abstand der max. Remanenz zur Betriebsinduktion im Wendepunkt der Hysteresekurve, bestimmt die Breite der Vormagnetisierungspulse. Siehe der Unterschied der Hystereskurven von Ringkerntrafo, siehe Bild 8 und EI-Trafo, hier nicht dargestellt.

Nach dem Ende des Pulses 5, läuft die Magnetisierung zur maximalen Remanenz zurück. Schon nach dem Ende von Puls 4, und am Ende von Puls 5 und 6, ist die maximal erreichte Induktion höher als die maximale stabile positive Remanenz. Sie ist direkt nach dem Puls 5 und 6 jeweils gleich hoch wie die Induktion im Wendepunkt.

Das ist gut zu sehen am nach unten gehen der schwarzen Linie in der Pausenzeit zwischen den Pulsen 4 und 5 und 5 und 6, bis zum Erreichen des stabilen Remanenzpunktes. --Der Remanenzpunkt ist der Schnittpunkt der Hysteresekurve mit der senkrechten Achse bei Feldstärke Null.—

Die Induktion geht nach dem Vormagnetisierungspuls 4 soweit herunter bis sie die Induktion am Beginn des Pulses 5 erreicht hat. Man sieht daraus, daß schon zum Ende des Pulses 4, kurz vor dem Beginn des Pulses 5, die maximale Remanenz erreicht wurde. Der Puls 5 und 6 schadet aber nichts, weil die Remanenz ja nicht mit zusätzlichen Pulsen überschritten werden kann. Besser mehr Pulse auf den Trafo geben, als zu wenig.

Zum Ende des Pulses 6, kommt die Magnetisierung wieder in den pos. Wendepunkt und anschließend wird voll eingeschaltet, wie an U1 zu sehen ist.

Am Strom I1 ist zu sehen, dass die Magnetisierung für die pos. Wendepunkte der Dauerlauf-Hysteresekurve leicht überschritten wird. Das ergibt aber nur einen geringen Anstieg des Leerlaufstromes der weit unter dem Laststrom liegt.

Die etwas zu starke ist besser als eine zu schwache Vormagnetisierung, bei der der pos. Wendepunkt nicht erreicht würde und dann beim Volleinschalten dann zu etwas höheren gegenpoligen Stromspitzen führen würde.

**Bild 11.** 4kVA Trenntrafo mit TSRL

