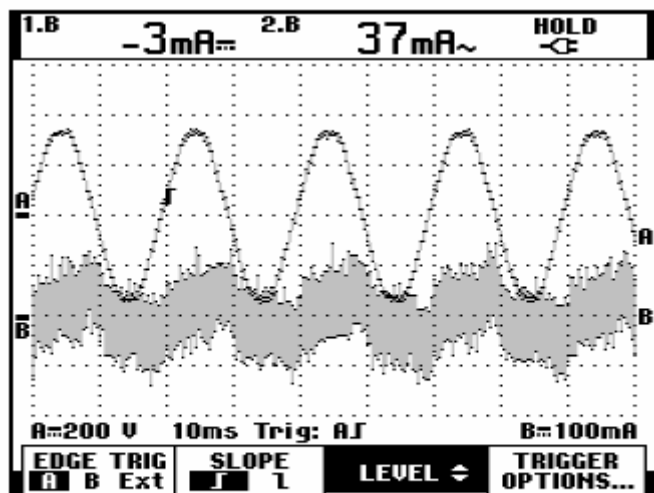


**Ringkerntransformatoren brummen im Leerlauf wenn sie über Halbleiterrelais, auch HLR genannt, gespeist werden.**

Messung von Trafo Verhalten bei besonderen Betriebszuständen.

Messung an einem Ringkerntrafo mit 1 kVA bei 230V.

Bild 1 zeigt den Leerlaufstrom des Ringkern-Trafos.



RKTR-Leerlaufstrom.BmP, 1kVA, 230V.

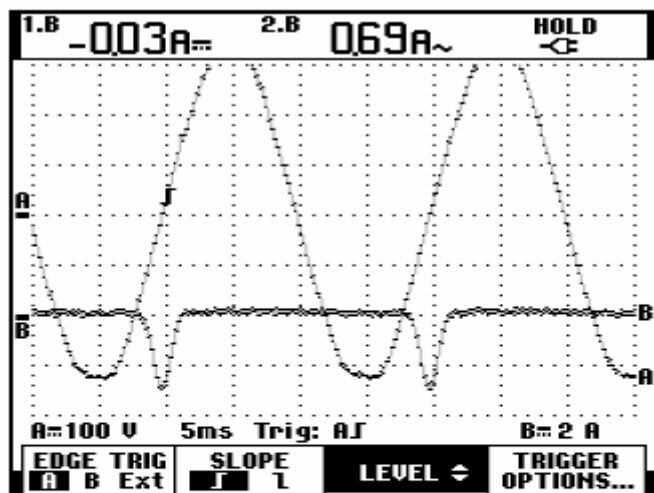
Trafo. Emeko 12.05.06

Der Trafo ist hier ohne HLR direkt vom Netz gespeist.

Der Leerlaufstrom in den Trafo ist nur ca. 50 mA eff. groß.

A= U an Trafo, B= I in den Trafo

Bild 2 zeigt den Leerlaufstrom wenn der Trafos über ein HLR gespeist wird.



RKTR-Leerl-mit-ELR1.bmp

Ringkerntrafo im Leerlauf mit Halbleiterrelais gespeist.

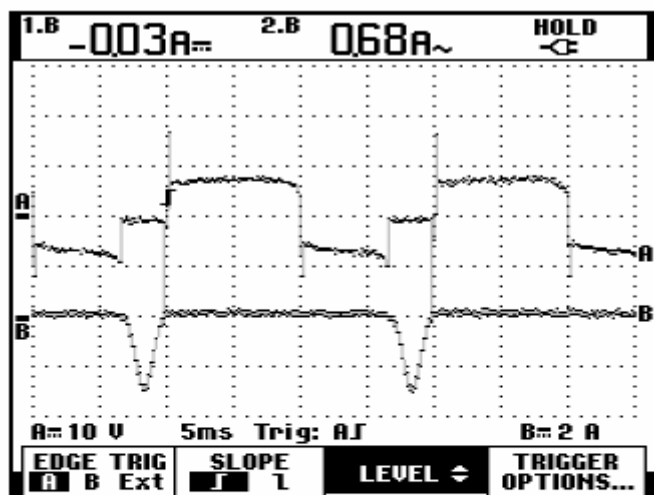
A= Spannung am Trafo, B= Strom in den Trafo hinein.

EMEKO 12.05.06

Bild 2 zeigt die Messung von Spannung am Trafo und Strom in den Trafo, wenn der Ringkerntrafo über ein Nullspannungs- schaltendes Halbleiterrelais gespeist wird.

Das Halbleiterrelais verursacht einen unipolaren erhöhten Leerlaufstrom von ca. 3 A peak. Weil die dabei auftretende Magnetostriktion nicht sinusförmig ist, ist diese als ein lautes Brummen hörbar. Dieser Stromverlauf ist bei einem leerlaufenden Ringkerntrafo stationär. Je nach Trafo Auslegung und Netzspannungshöhe kann dieser Strom auch wesentlich größer sein.

Bild 3 zeigt den unsymmetrischen Restspannungsabfall am HLR.



Rktr-Leerl-mit-ELR2.BmP  
 Ringkerntrafo im Leerlauf mit Halbleiterrelais gespeist. Unsymmetrisches Zünden, Trafo brummt.  
 A= U über Halbleiterrelais, B= Strom in den Trafo hinein.  
 EMEKO 12.05.06

Die Spannung die über dem HLR abfällt, ist mit Kanal A gemessen und zeigt in Bild 3 indirekt, dass der Trafo in der negativen Spannungshalbperiode eine größere Spannungszeitfläche bekommt als in der positiven Spannungshalbperiode.

**Achtung:** Wenn die Spannungs- Zeitfläche einer Halbperiode über dem HLR gemessen größer ist, dann bekommt der Trafo tatsächlich eine etwas kleinere Spannungszeitfläche und umgekehrt, weil er ja in Reihe zum Halbleiterrelais geschaltet ist.

Deshalb läuft der Trafo dann mit einer unsymmetrischen Spannungszeitflächen- Aussteuerung. Die Ursache ist wieder die Wirkung und umgekehrt, weil die etwas größere negative Spannungszeitfläche am Trafo einen negativen Blind- Strom hervorruft, ruft dieser wiederum durch die dadurch frühere Zündung des Halbleiterrelais eine größere negative Spannungszeitfläche am Trafo hervor. Das macht den Zustand stabil ohne in von alleine beenden zu können. –Nur eine Erhöhung des ohmschen Laststromes auf ca. 150 mA, also in Phase zur

Netzspannung, lässt das HLR dagegen symmetrisch zünden und den Brummeffekt beseitigen.--

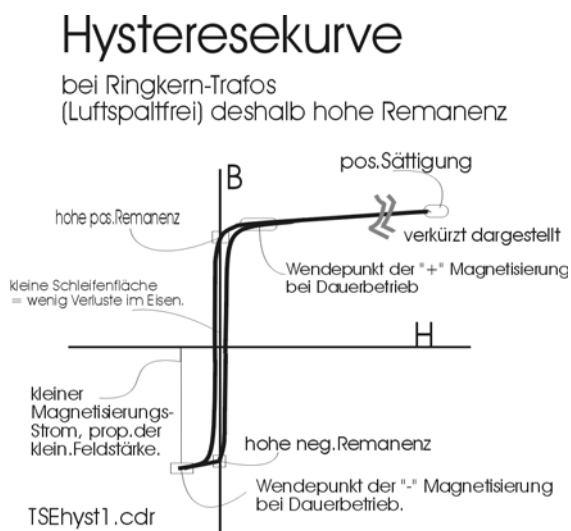
In der positiven Halbwelle von Bild 3 wird der leer laufende Trafo nur über die Zündschaltung des HLR gespeist, weshalb über dem HLR für die ganze Halbwelle die 9V anstehen. Die interne Zündschaltung im Halbleiterrelais benötigt ca. 9V und einen gewissen Einraststrom von mindestens 50 mA damit das HLR leitend wird. In der negativen Halbwelle im Bild 3 zündet das Halbleiterrelais 3 msec. vor dem Ende der neg. Halbwelle, weil der unipolar negativ erhöhte Leerlaufstrom des Trafos dann zum fließen kommt, weil der Trafo hier eine leichte negative Vormagnetisierung besitzt und die Hystereseurve über den negativen Wendepunkt hinaus steuert. Bei der positiven Halbwelle genügt die geringe Blind- Stromhöhe von weniger als 50 mA nicht das HLR, so wie in der negativen Halbwelle zu sehen, einrasten zu lassen. –Das HLR braucht offensichtlich in der positiven Halbwelle einen größeren Einraststrom als in der negativen Halbwelle.--

Der Leerlaufstrom fließt erst wenn die Hystereseurve den senkrechten Teil verlässt. Siehe die in Bild 4 gezeigte Hystereseurve, die in Wirklichkeit im senkrechten Teil ca. 100 mal schmaler ist als die Kurve in Bild 5. Die 50mA peak fließen also erst gegen Ende jeder Halbwelle.

Siehe auch der Lehrgang von EMEKO: „Trafophysik verstehen“ oder „TSR-Funktion“...

In Bild 4 ist der Magnetisierungsverlauf mit einer positive Sättigung dargestellt. Tatsächlich läuft die Hystereseurve des Trafos bei einem Spannung- und Stromverlauf wie in Bild 2 und 3 gemessen, in eine leichte negative Sättigung.

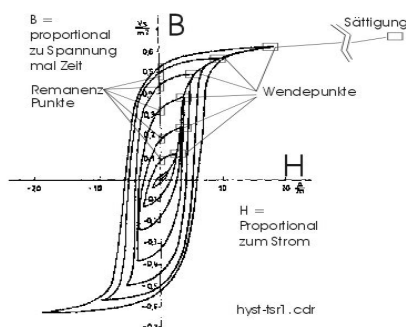
Bild 4 zeigt die Hystereseurve eines Ringkerntrafos.



Der Ringkerntrafo hat eine schmale und steile Hystereseurve, siehe Bild 4. Der Strom fließt erst wenn die Kurve den senkrechten Abschnitt in Bild 4 verlässt.

Bild 5 zeigt die Hysteresekurve eines EI Trafos

Hysteresefamilie im Eisenkern eines Trafos



Die Hysteresekurve in Bild 5 ist in Wirklichkeit um Faktor 100 breiter als die Kurve in Bild 4.

Beim EI Trafo ist die Hysteresekurve, siehe Bild 5 wesentlich breiter und der Leelaufstrom fließt schon im senkrechten Teil der Hysteresekurve.

Dieser Trafo ist außerdem unempfindlicher gegenüber unsymmetrischer Spannungszeitflächen-Aussteuerung, weil er immer einen Restluftspalt im Eisenweg hat, der den höheren Leerlaufstrom verursacht. Ein HLR bekommt mit einem EI- Trafo im Leelauf deshalb weniger Probleme, weil die Zündschaltung zu jedem Zeitpunkt auf der Spannungshalbwelle genügend Strom zum Einrasten bekommt und geringe HLR- Unsymmetrien im Einraststrom dabei nicht zum Tragen kommen. Außerdem reagiert der EI Trafo bei einer geringen unsymmetrischen Spannungshalbwellenansteuerung, durch den Luftspalt nicht mit unsymmetrischen Blindströmen.

– Der Einschaltvorgang ist jedoch für ein HLR mit jeder Art von Trafo ein ungelöstes Problem.—

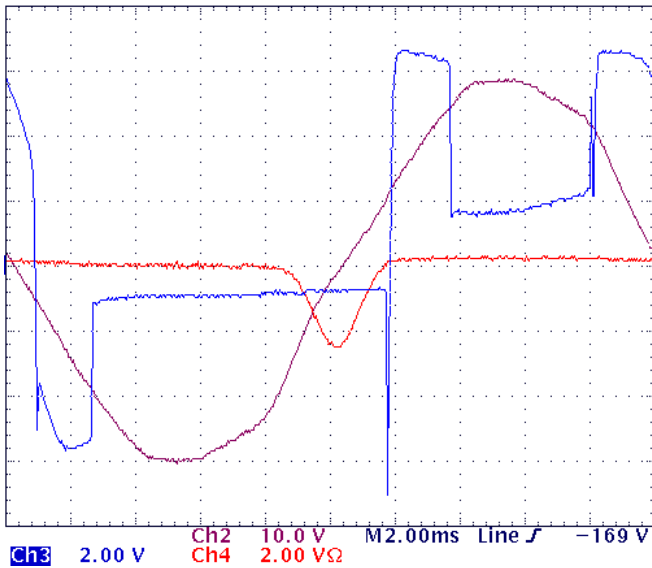
Weil der Ringkerntrafo keinen Luftspalt im Eisen hat, ist er empfindlich gegen unsymmetrische Netzspannungshalbwellen. Siehe Bild 6.

Fazit:

Die Zündschaltung des HLR lebt vom Strom der bei einem „Zweidrähter- HLR“ nur über die Last zum fließen kommt. Beim Ringkerntrafo fließt aber erst am Ende der Spannungs- Halbwellen ein geringer nichtlinearer Leerlaufstrom, der nur symmetrisch ist, das heißt in der pos. und neg. Halbwelle gleich groß ist, wenn die Hysteresekurve durch die speisenden Spannungszeitflächen auch symmetrisch angesteuert wird. Siehe auch der Vortrag von EMEKO:“TSR-Funktion“ und „ Trafophysik verstehen.“

Geht der Ringkerntrafo vom Last- in den Leerlaufbetrieb, erfolgt die Aussteuerung der Hysteresekurve wegen der asymmetrischen Zündschaltung im HLR dann nicht mehr symmetrisch.

Bild 6 zeigt das unsymmetrische Zündverhalten eines anderen HLR das vor einem 2-kVA Ringkerntrafo sitzt, bei 9Watt ohmscher Last nach dem Trafo.

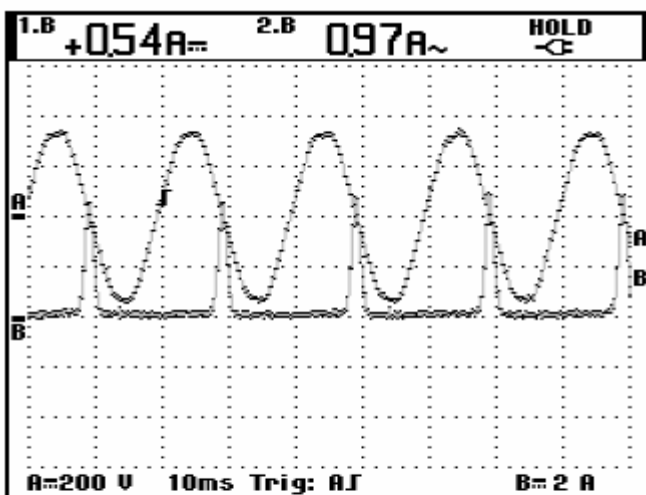


CH 2 zeigt die Netzspannung mit 100 V pro Div., CH 3 zeigt die Restspannung über dem HLR mit 2 V pro Div., CH 4 zeigt den Strom in den Trafo hinein mit 2 A pro Div.

In der negativen Halbwelle rastet die Zündung bei ca.- 180V der Netzspannung ein, bei der positiven Halbwelle zündet es an der selben Stelle, sperrt aber wieder vor dem Ende der Netzhalbwelle.

Diese Erkenntnisse, der Auswirkung von unsymmetrischen Spannungszeitflächen auf Ringkerntrafos werden auch durch die folgenden Messungen gestützt.

Bild 7



Rktr-leerl+foen-st-h-1.bmp,  
 Ringkerntrafo im Leerlauf plus Foen  
 mit Stufe 1/2 am gleichen Netz.  
 A= Spannung am Trafo prim, B= Strom  
 in den Trafo alleine. emeko12.05.06

Ein Ringkerntrafo von 1 kVA wird am gleichen Stromnetz betrieben wie ein Föhn der auf halber Leistung über eine Diode vor der Heizwicklung betrieben wird.

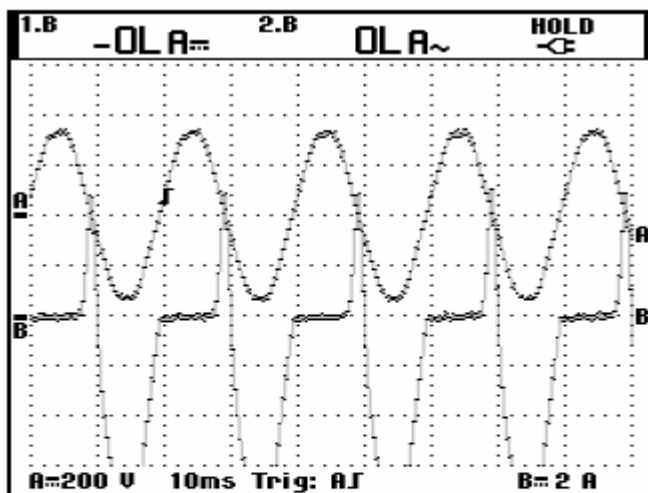
**Der Föhn wird also nicht über den Trafo betrieben.**

Der Last- Strom verursacht am Netzzinnenwiderstand einen geringen Spannungsabfall, was zur Folge hat, dass die belastete, hier die negative Spannungshalbwellen die am Trafo anliegt kleiner ist.

Die positive Netzspannungshalbwellen die am Trafo anliegt ist dadurch etwas größer als die negative, weshalb der Trafo am Ende der Hystereseurve, über den Betriebspunkt hinaus in eine leichte Sättigung getrieben wird, was sich in der Blindstromspitze am Ende jeder positiven Netzhalbwellen zeigt. Siehe auch Bild 4.

Im nächsten Bild 8 ist zu sehen dass der Föhn nur in der negativen Halbwellen Strom aus dem Netz entnimmt. Dieser Strom ist ein Wirkstrom weil er von einer ohmschen Last verursacht wird und deshalb in Phase zur Netzspannung liegt.

Bild 8 zeigt das Verhalten des Ringkerntrafos an einem asymmetrisch belasteten Netz.



Rktr-leerl+foen-st-h-2.bmp  
 Ringkerntrafo im Leerlauf plus Föhn  
 mit Stufe 1/2 am gleichen Netz.  
 A=Spannung am Trafo prim, B= Strom  
 von Trafo und Föhn zusammen.  
 EMEKO 12.05.06

Der Föhn zieht nur in der negativen Halbwellen Strom, wie in Bild 8 zu sehen ist. Deshalb ist die negative Halbwellen am Trafo kleiner und die positive Netzhalbwellen größer was damit den Trafo am Ende jeder pos. Halbwellen in eine leichte positive Sättigung bringt, was an den schmalen positiven Stromnadeln zu sehen ist. Es genügt schon ein Gleichspannungsoffset von wenigen Volt, um den Ringkerntrafo in eine leichte Sättigung zu bringen.

Siehe auch der Lehrgang von EMEKO: „Trafophysik verstehen“ und „TSR-Funktion“.

Bild 9 zeigt das Verhalten eines 50 VA Ringkerntrafos unter den Bedingungen wie bei Bild 8 beschrieben.

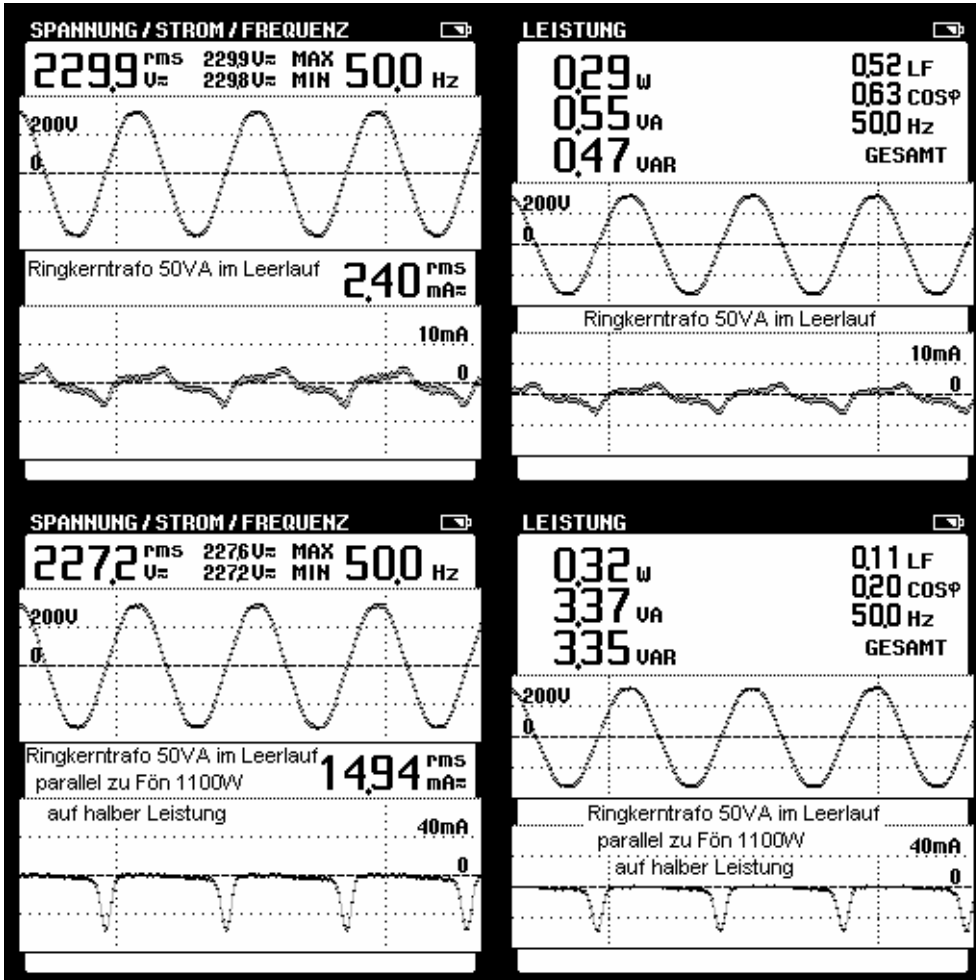
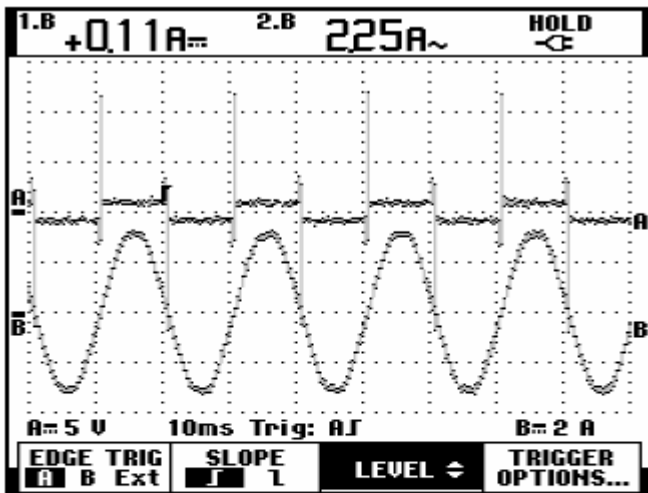


Bild 9 zeigt das unsymmetrische Verhalten ebenfalls bei einem 50VA Ringkerntrafo hier jedoch in umgekehrter Polarität und mit geringerer Stromhöhe als in den Bildern zuvor beschrieben.

Bild 9 wurde von Herrn Fassbinder vom Deutschen Kupferinstitut gemessen und aufgezeichnet.

Bild 10 zeigt das Verhalten eines HLR an ohmscher Last.



Crydom-ohmsche-last-1.

Spannung über Halbleiterrelais bei ohmscher Last.

A= Spannung über ELR,

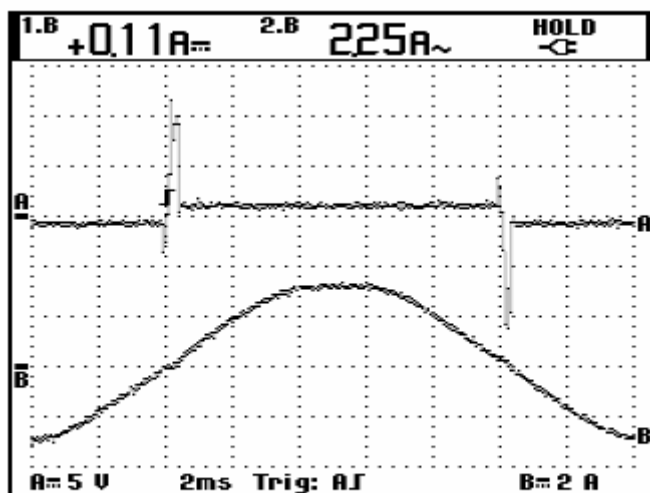
B= Strom in Last.

EMEKO, 12.05.06

Bei ohmscher Last, wie in Bild 10 zu sehen, tritt dieser asymmetrische Effekt des Halbleiterrelais nicht auf.

Das Halbleiterrelais wird kurz nach dem Nulldurchgang einer jeden Halbwelle leitend. Die Halbwellen beider Polaritäten sind gleich groß. Ein zusätzlich angeschlossener Trafo wird symmetrisch angesteuert und erzeugt keine Blindstromspitzen.

Bild 11 zeigt das Verhalten eines HLR bei ohmscher Last.



Crydom-ohmsche-Last-3

wie Bild 1 aber gedehnt

Bild 11 ist wie Bild 10 aufgenommen nur mehr gedehnt.

Die Zündung erfolgt bei ca. 10V und ca. 0,4 msec. nach dem Spannungsnulldurchgang in der positiven und negativen Spannungshalbwelle gleich. Die Zündspannung steigt zuerst steil auf ca. 9 V an und bricht dann zusammen, weil das HLR einrastet.



Die Spannung erscheint in Kanal A mit 5 V / Div gemessen, im Bild 11 sehr steil ansteigend, weil sie in Wirklichkeit  $310\text{V} / 5\text{ V} = 62\text{ Div.}$  in jeder Halbwelle hoch ist.

Man erkennt das Ausschalten des HLR kurz vor dem Nulldurchgang, wobei eine kleine Spannungsspitze von ca. 4 V entsteht. Das Zünden erfolgt nach dem Spannungsanstieg auf ca. 9 V.

Der Zündvorgang des Halbleiterrelais, der jedes Mal am Beginn einer Halbwelle neu stattfindet verursacht auch EMV Störungen.

Fazit:

Die Ansteuerung von Ringkerntrafos, die auch in den Leerlauf gehen können, sollte nicht über Halbleiterrelais ohne Bypasskontakte geschehen und aus den oben genannten Gründen vermieden werden.

Das HLR kann durch ein TSRL der Fa. FSM-Elektronik, mit der Option Nullspannungsschaltverhalten ersetzt werden, welches nach dem Einschalten den Thyristor mit einem elektromechanischen Kontakt überbrückt.

Gemessen von EMEKO Ing. Büro, M.Konstanzer, am 12.05.06