



Auszug aus „Magnetische Bauteile und Baugruppen“ von Gebhard Schindler

Immer wieder kommt es bei der Freigabe eines Second Source Transformators oder auch bei Spulen zu unangenehmen Überraschungen.

Beide Bauteile, gebaut nach der gleichen Spezifikation“ sind in der Applikation doch unterschiedlich, obwohl die Daten des Trafoherstellers identisch sind.

Es gibt keinen Königsweg.

Die Bauteile müssen vermessen werden um Probleme in der Serienfertigung zu vermeiden.

Bei genauer Betrachtung gibt es zumeist sehr viele Unterschiede, ABER die Unterschiede müssen auf die Applikation relativiert werden. Applikationsverständnis und Erfahrung sind deshalb bei der Beurteilung nötig.

Zwei Beispiele habe ich aufgeführt:

Die Herstellerangaben sind identisch

Beispiel 1: standardisierte Qualitätsprüfung

Beispiel 2: unterschiedliche Leistungsdaten

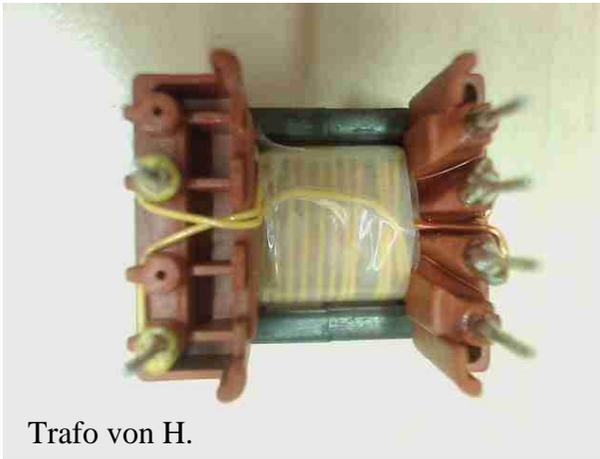
Aus Vortrag „Magnetische Bauteile“ von G.Schindler

Beispiel 1 Transformatorenvergleich – Anwendung der Simulation zur Unterscheidung
 Zwei scheinbar gleiche Transformatoren (second Source) von unterschiedlichen Herstellern nach gleicher Spezifikation:

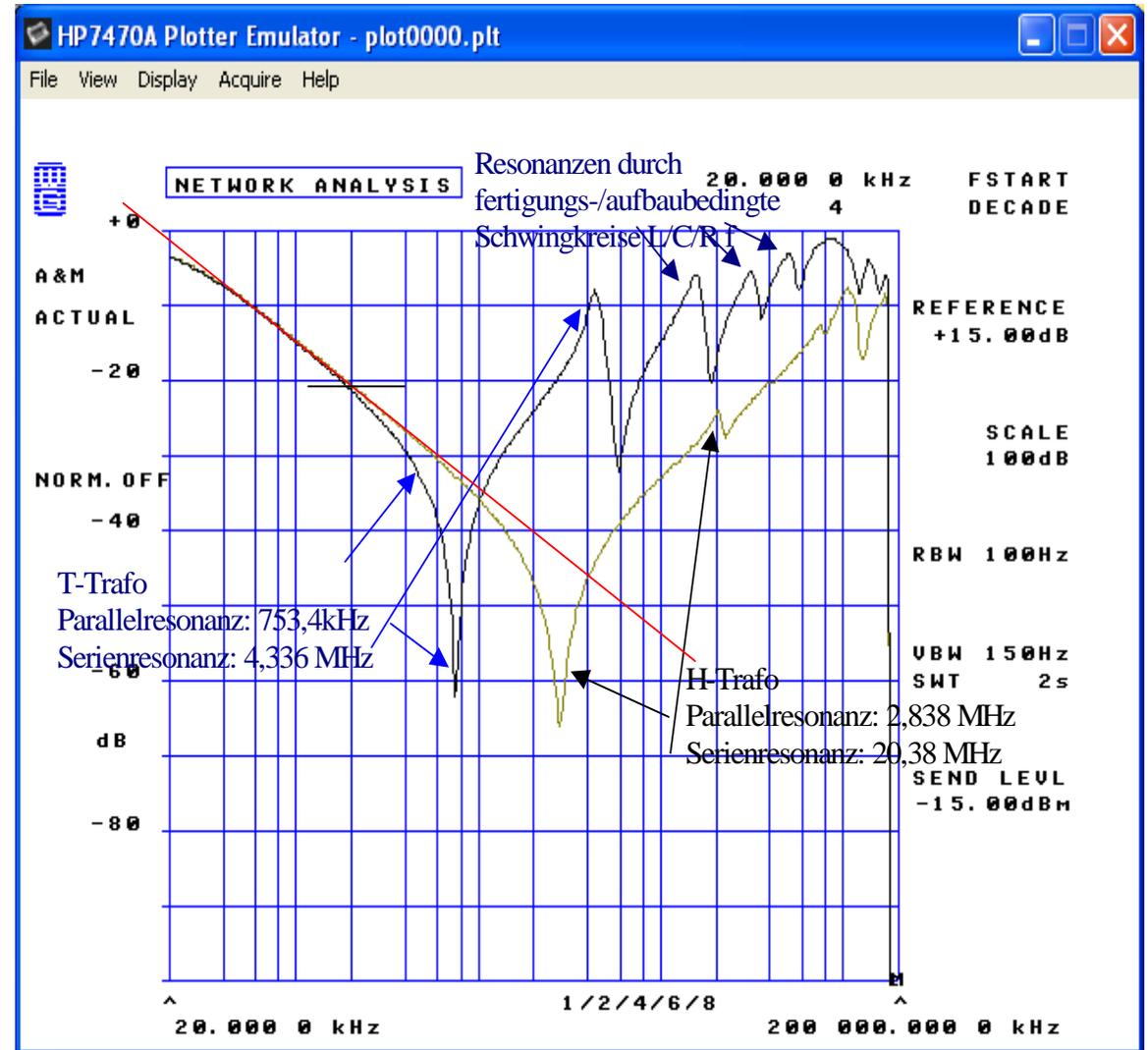
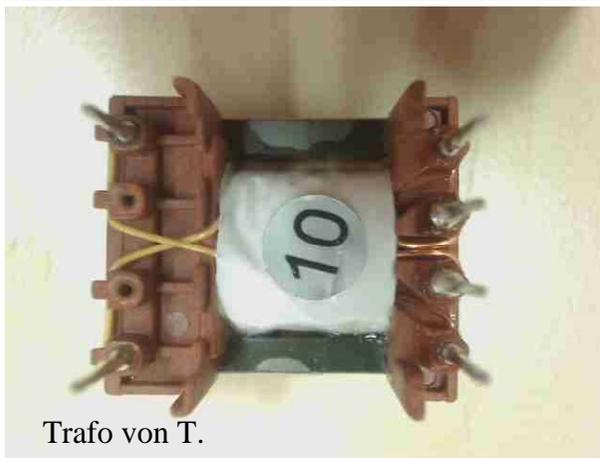
Trafo von H:

Trafo von T:

Gegenüberstellung beider Transformatoren im Z-Verlauf



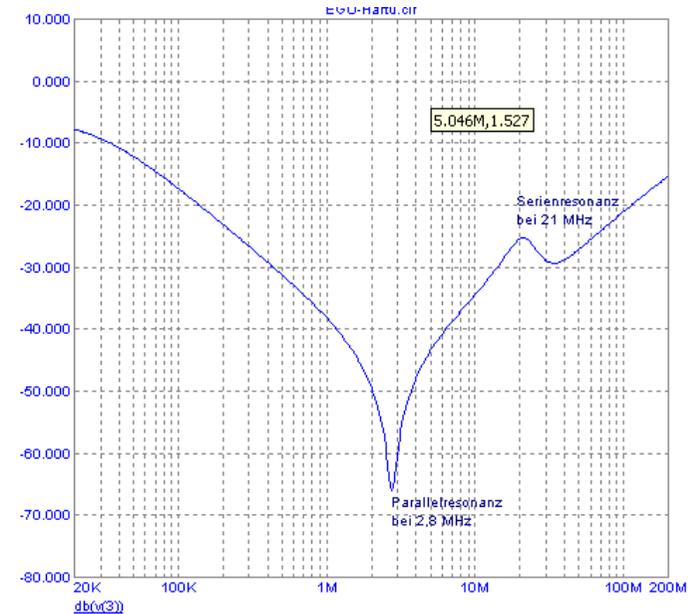
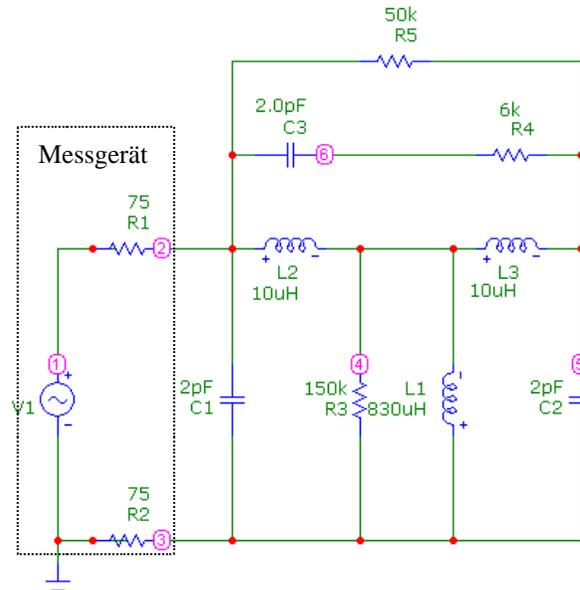
Beide Trafos haben eine Induktivität von 1,340 mH/ 200 kHz/-15dB Sendepiegel



Ersatzschaltbild H-Transformator

Primärinduktivität 200kHz : 1340 μH
 Primärinduktivität im HF-Ersatzbild: 830 μH
 Streuinduktivität: 23 μH

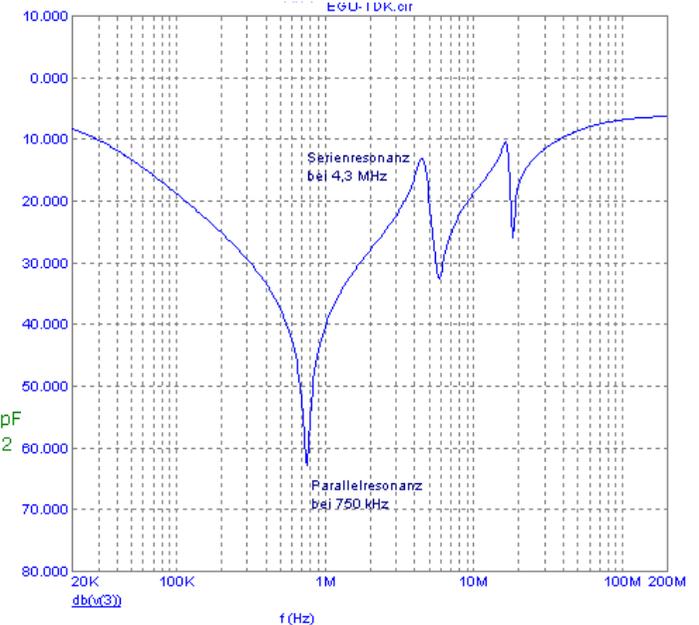
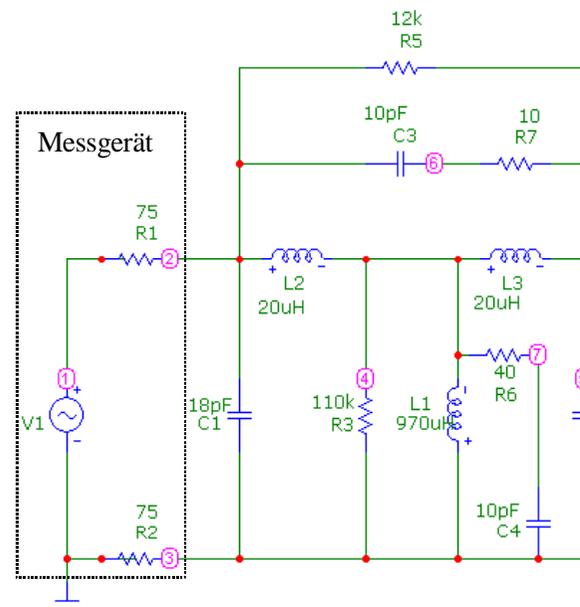
Wie ersichtlich haben beide Transformatoren die selbe Primärinduktivität, allerdings nur bei bis 200 kHz. Durch den Aufbau und die Fertigungsart unterscheiden sie sich jedoch.



Ersatzschaltbild T-Transformator

Primärinduktivität 200kHz: 1340 μH
 Primärinduktivität im HF-Ersatzbild 970 μH
 Streuinduktivität 40 μH

Der T-Trafo hat eine um Faktor 2 größere Streuung und wesentlich höhere parasitäre Kapazitäten. Diese Kombination bewirkt eine Dämpfung des Schaltimpulses (Top-Switch, etwas weniger EMV-Emissionen mit steigender Frequenz), allerdings auf Kosten der Effizienz (Wirkungsgrad).



Transformator Daten

Der H-Trafo: Hier wird eine kapazitätsarme Primärwicklung verwendet (Pilgerschritt)
Die Isolation zwischen Primär (W1) und Sekundär (W2) ist besser ausgeführt.

Vorteil: **Kapazitätsarm**
Kleine Streuinduktivitäten
Höhere Effektivität (Wirkungsgrad)

Nachteil: Oberwellen vom Schaltimpuls des Reglers (ab K3) werden weniger gedämpft
(leitungsgebundene Störaussendung 150kHz – 30 MHz)

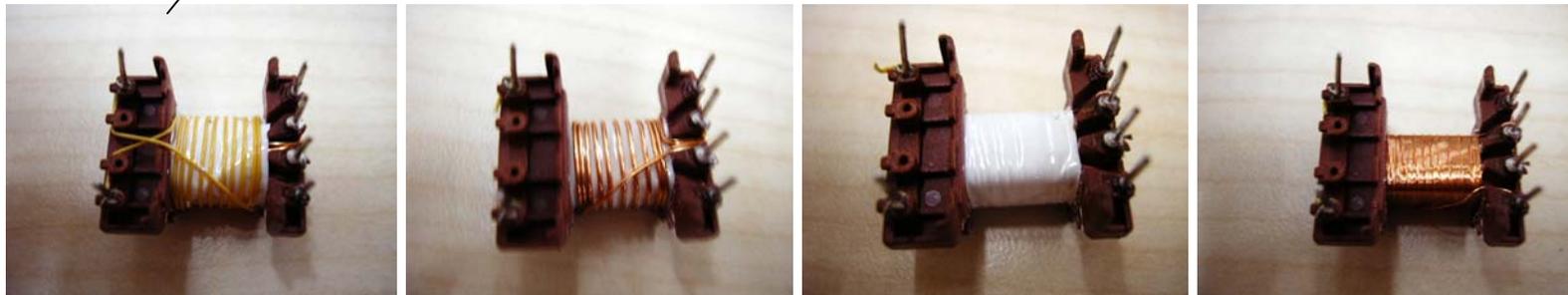
Der T-Trafo: Aufbau:

0,16 CuL	133 Wdg.	3,5 Lagen	L = 1382 μ H
3M Isotape 10/66-0,08mm		4 Lagen +180°	
0,315 CuL	11 Wdg.	1 Lage	L = 38 μ H
3M Isotape 10/66-0,08mm		1 Lage + 90°	
0,20 Tex-E	11 Wdg.	1 Lage	L = 38 μ H
3M Isotape 10/66-0,08mm		1 Lage + 90°	

Kernmaterial:

TDK PC40EF16-Z
Initialpermeabilität $\mu_e = 113$
Initialpermeabilität ohne Ls $\mu_e \sim 1600$
Al-Wert Al = 75 nH
Al-Wert ohne Luftspalt Al = 1100 nH
Luftspalt Ls = 0,5 mm

Demontierter Trafo von TDK



W3 Tex-E
Sekundär 2

W2 0,315 CuL
Sekundär 1

Isolation W1 ↔ W2
zwischen

W1 0,16 Cu2?L
Primär W1

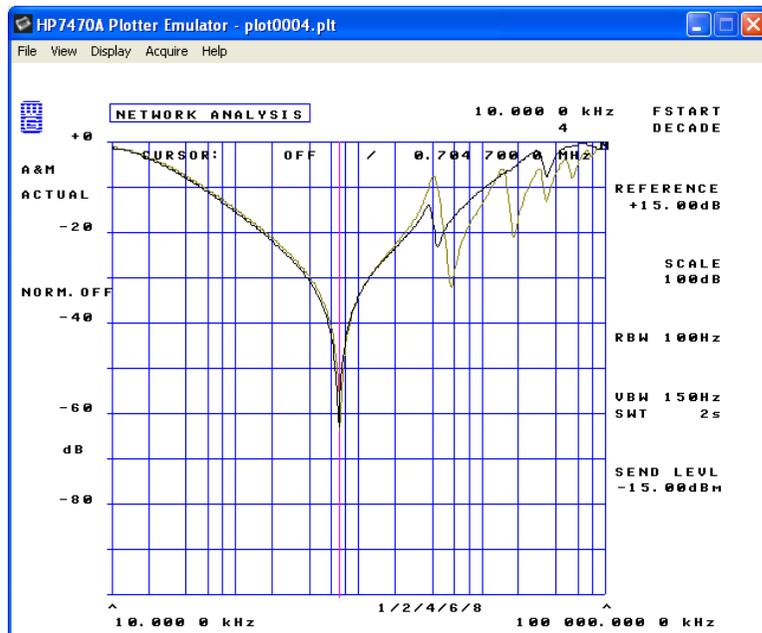
Der T-Trafo:

Hier wird eine Lagenwicklung als Primärwicklung verwendet (3,1/2 Lagen)
Die Isolation zwischen Primär (W1) und Sekundär (W2) ist einfacher ausgeführt.
(Mehrere Lagen Isolation, Isolationsspannung $W1 \leftrightarrow W2 = 1000VAC$)

Vorteil: Oberwellen vom Schaltimpuls des Reglers werden etwas besser gedämpft
(bei leitungsgebundener Störaussendung 150kHz – 30 MHz)

Nachteil: geringere Effektivität (Test erforderlich)
Isulationsfestigkeit zwischen W1 und W2 ist geringer
Höhere Streuinduktivität
Mehr parasitäre Kapazitäten, Reproduzierbarkeit?
Überprüfung des Designs auf Probleme durch Resonanzen

Vergleich T-Trafo mit Nachbau durch Attempo



W1 = 133Wdg 0,16Cu2L #

T W1 ist mit CuL gewickelt!

Unterschiede:

anstatt 0,315 CuL wurden 0,4 CuL verwendet

anstatt 0,2Tex-E wurde 0,25 Tex-E verwendet

Diese Unterschiede gehen nur geringfügig in das Messergebnis ein:

T = grau

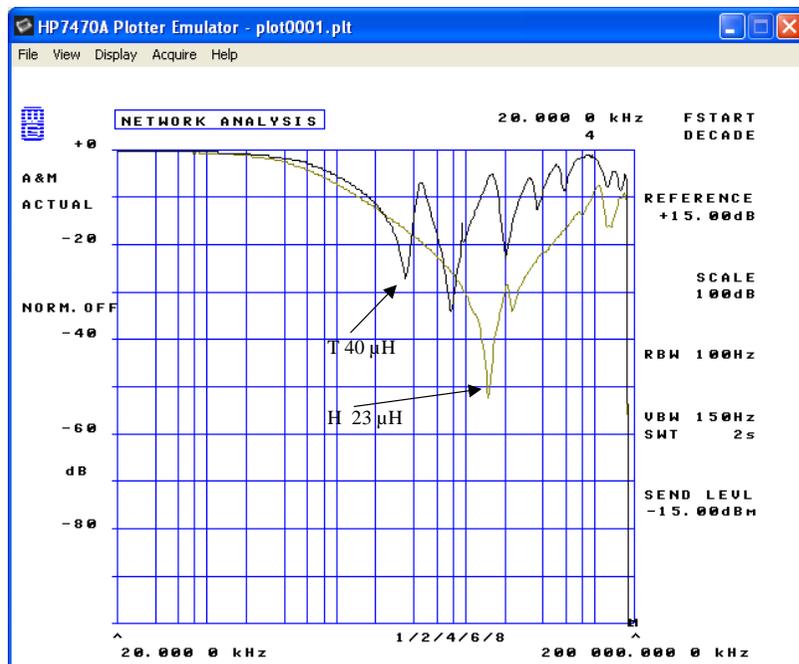
Attempo Nachbau = schwarz

Im höherfrequenten Bereich sind die Resonanzen auf Wicklungs- und Lagenkapazitäten zurückzuführen. Das Verhältnis von Primärinduktivität und Streuinduktivität ist gleich

Vergleich Streuung H-Trafo \Leftrightarrow T-Trafo

Ausschlaggebend für die Unterschiede zwischen H und T ist:

- kapazitätsarme Pilgerschrittwicklung,
- verstärkte Isolation zwischen W1 und W2 und die
- sonstige kapazitiven Verkopplungen
- unterschiedliche Drähte



Z-Verlauf der Streuinduktivität (Ausgang kurzgeschlossen)

Schwarz = T-Trafo
Grau = H-Trafo

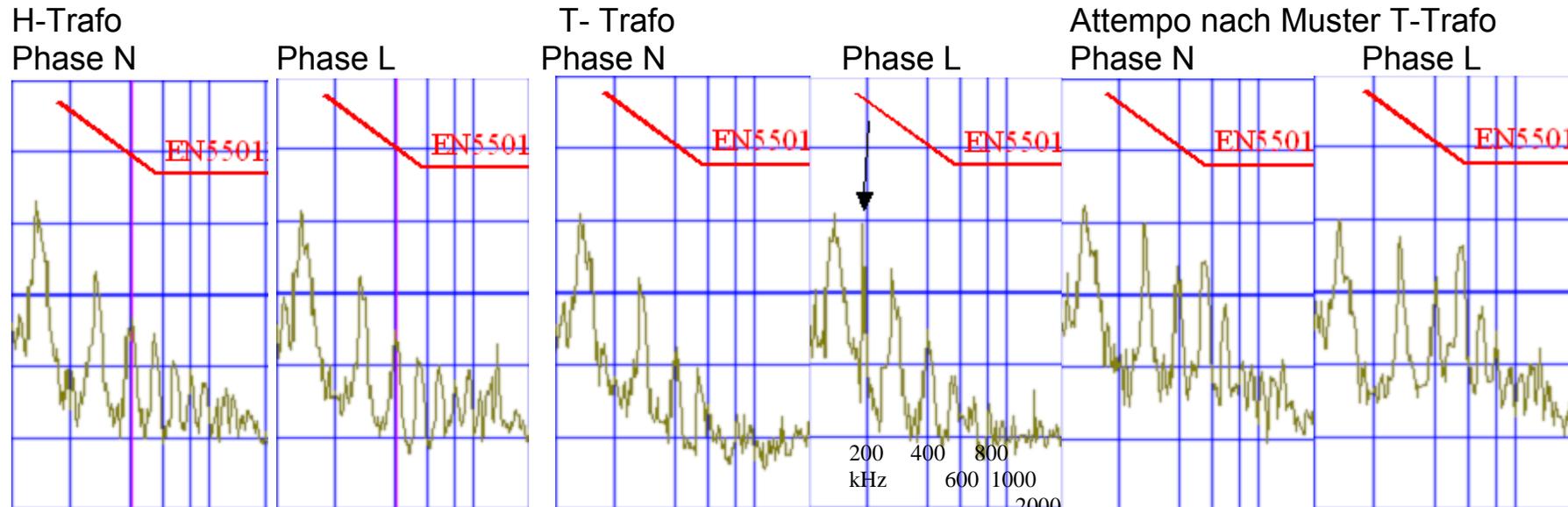
Hier ist die größere Streuung und die kapazitive Verkopplung (Resonanzen R/L/C) des T-Trafos sichtbar

EMV-Auswertung

Messprotokolle unterschiedlicher Trafos, jeweils über N- und L-Phase
Grenzwerte (rot) basieren auf EN55011A für Privatbereich

Privatbereich Peak	dB μ V
150 kHz – 0,5 MHz	66 - 56
0,5 MHz – 5 MHz	56
5 MHz – 30 MHz	60

Kopieauszug der nachfolgenden 6 EMV-Aufzeichnung zum direkten Vergleich
100 kHz–2 MHz / 68 dB μ V–8 dB μ V

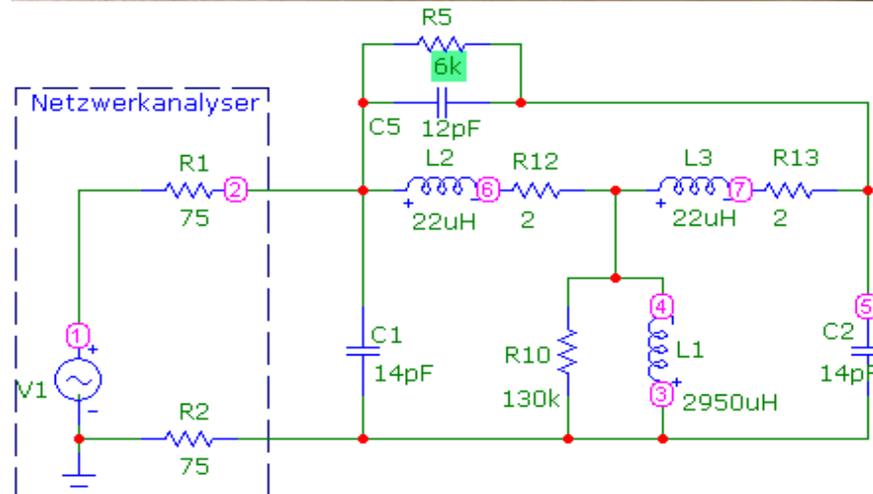
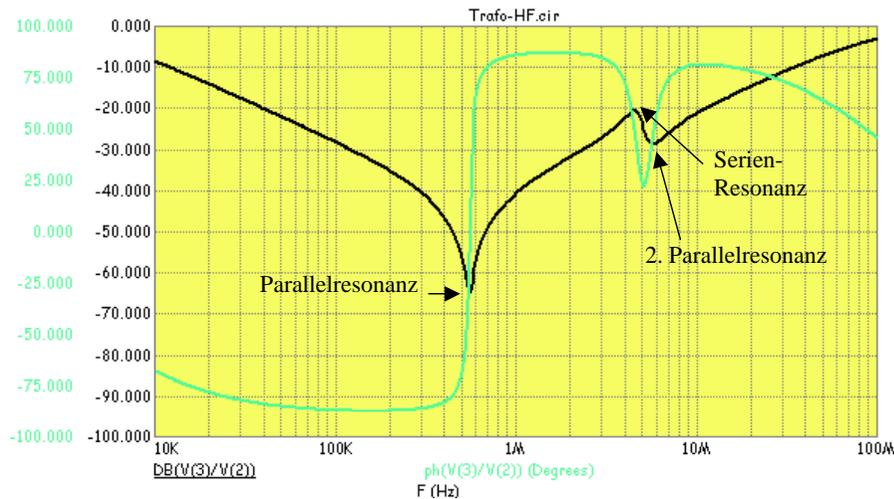
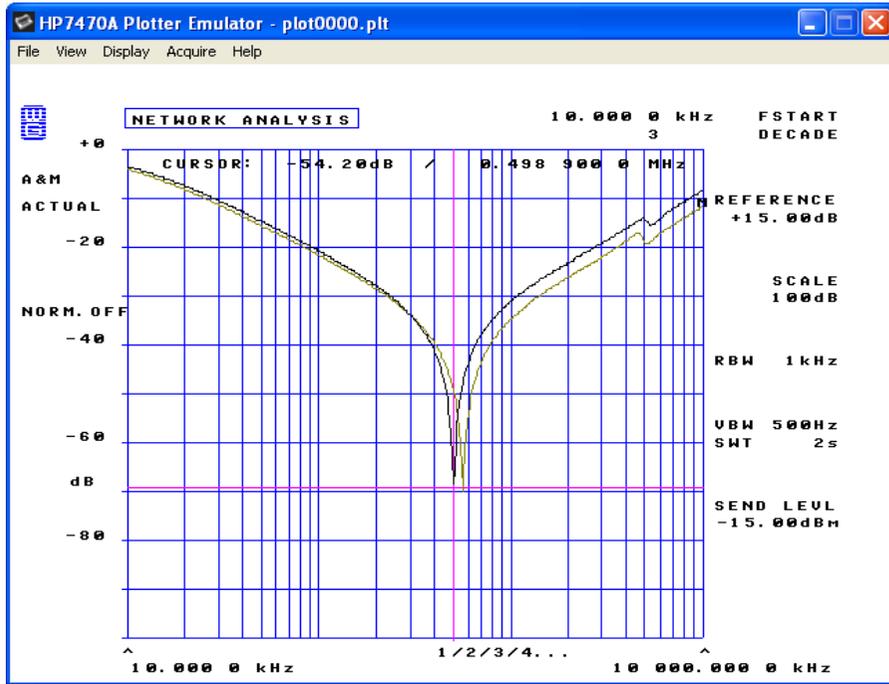


Der T-Trafo dämpft mit höherem Frequenzbereich aufgrund seiner höherkapazitäten minimal stärker.

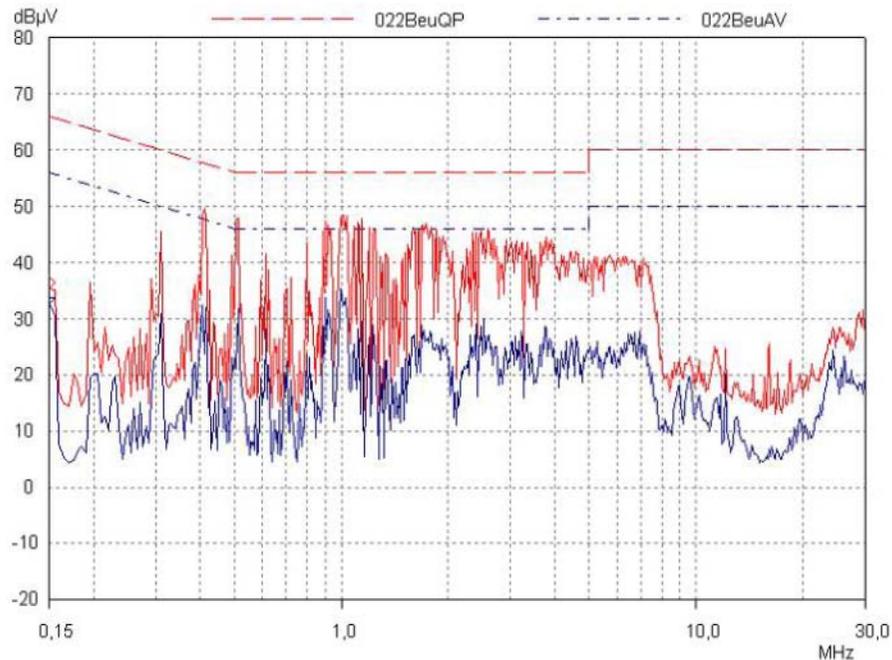
Der Schaltimpuls K1 ist bei allen Trafos identisch.

Beim Attempo-Trafo kommt die kapazitätsärmere und direktere Wickeltechnik mit doppelt isoliertem Draht zur Geltung

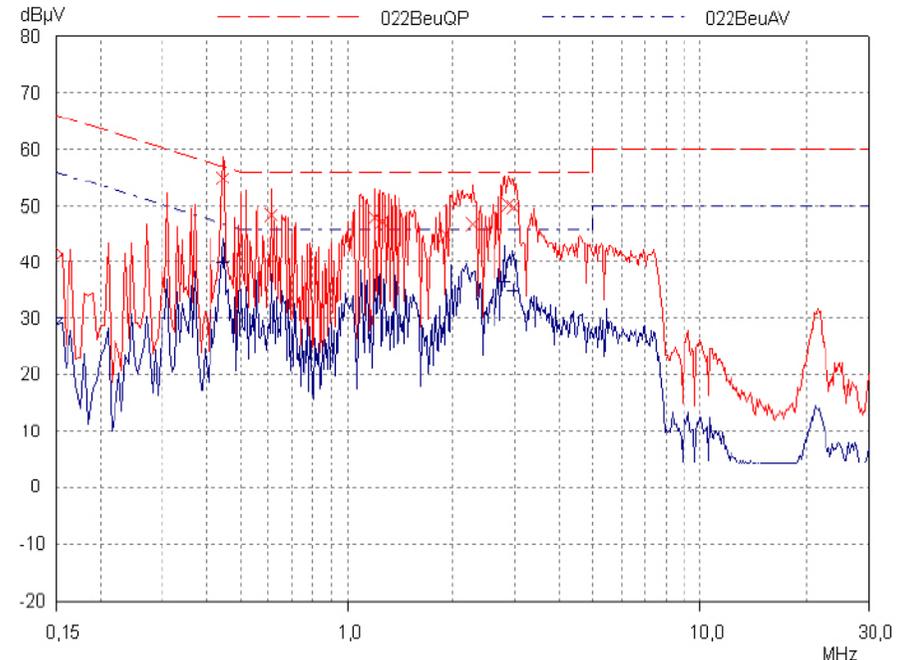
2. Beispiel: Zwei „gleiche“ Trafos, aber mit unterschiedlichen Leistungsdaten



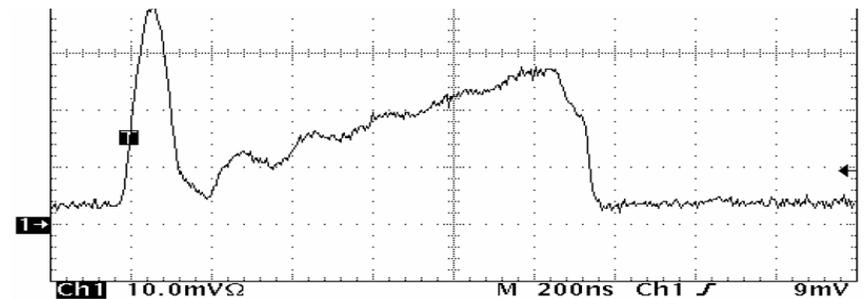
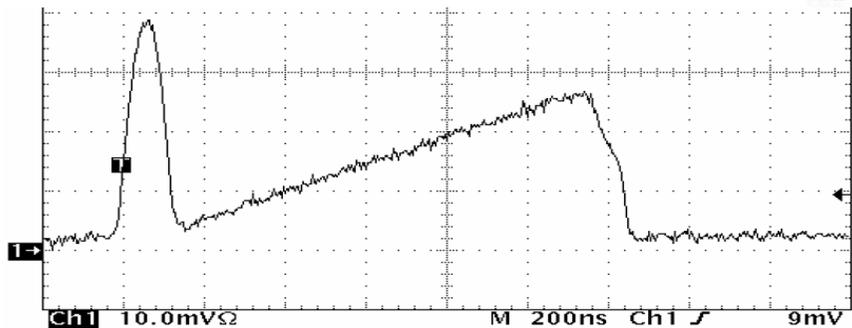
Muster 1	Leerlauf	Mit 4 Relais	Mit Ext. Last	Last und 4 Relais		Muster 1 Nennsp.	Leerlauf	Mit 4 Relais	Mit Ext. Last	Last und 4 Relais
+ 5V	5,27V	5,22	5,02	4,60		+5V	5,32	5,27	4,82	3,82
+15V	16,68V	16,20	15,99	14,70		+15V	16,86	16,46	15,41	12,44
U_{Relais}	13,69V	10,59	13,04	9,11		U_{Relais}	13,93	10,87	12,53	6,90



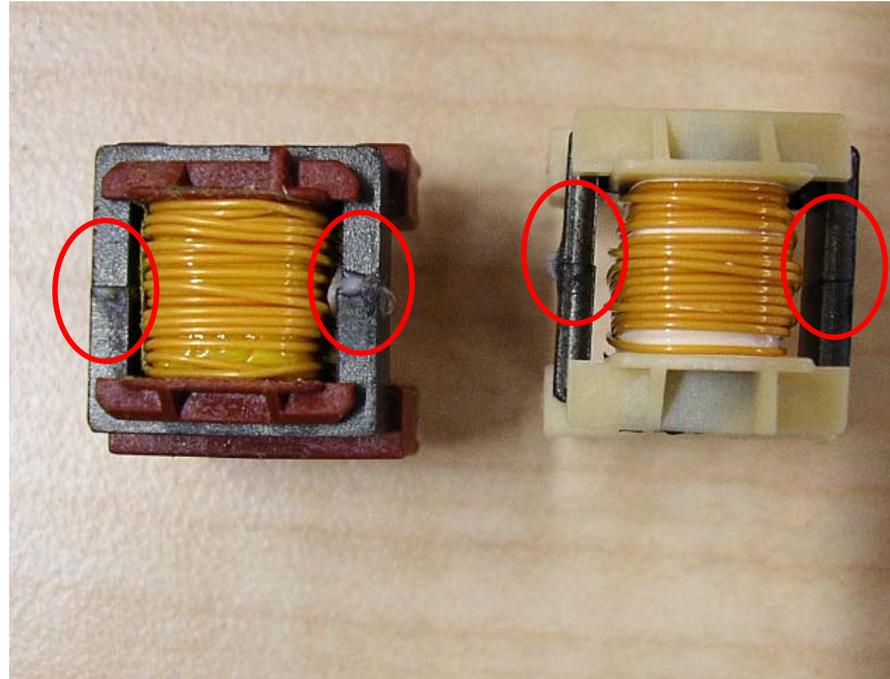
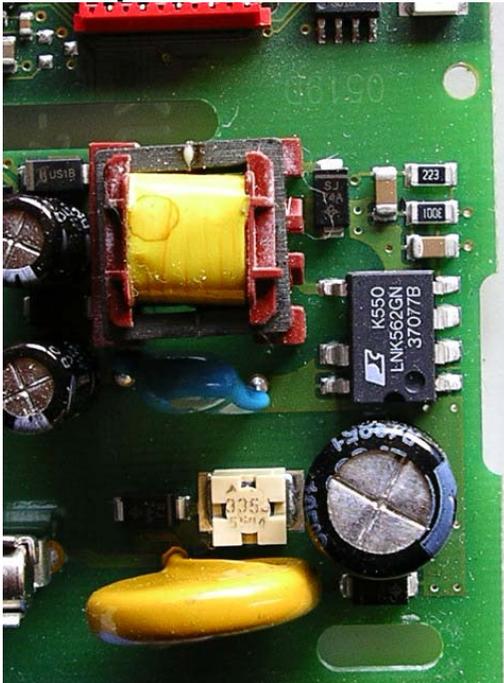
EMV
< 30 MHz



Stromanstieg
am Schalter
1,24 µs
⇔ 1,12 µs
 $f_0 = 100 \text{ kHz}$



Das Corpus Delicti



Der Querschnitt ist an den Schenkeln kleiner bei gleichem Material, dadurch kommt es zu folgenden Auswirkungen:

- weniger magnetisch wirksame Fläche und Volumen -

Der Magnetisch Fluss wird kleiner

Die Feldstärke im Kern wird höher

Die magnetische Flussdichte wird kleiner

Der magnetische Widerstand wird größer

$$\Phi = B \cdot A_e \quad [\text{Vs}]$$

$$H = \Phi / (\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A_e) \quad [\text{A/m}]$$

$$R_{\text{mag}} := \frac{l_{\text{Fe}}}{\mu_0 \mu_r \cdot A_{\text{Fe}}} + \frac{l_{\text{Luftspalt}}}{\mu_0 \cdot A_{\text{Luftspalt}}}$$

$$B := \frac{\int_0^t U \, dt}{N \cdot A_e} \quad [\text{Vs/m}^2]$$

Weniger Energie übertragbar!