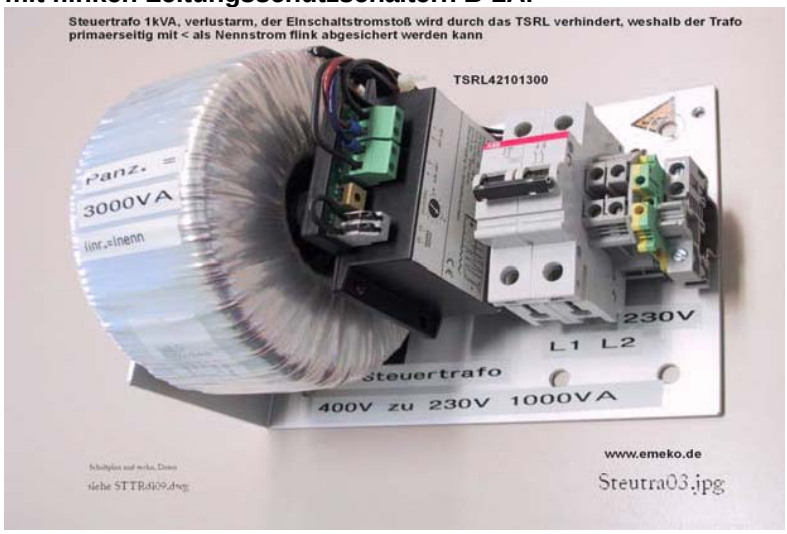
Verlustarme 50Hz Transformatoren bleiben kalt und sparen damit Verlustenergie. Sie können aber nur dann problemlos verwendet werden, wenn der hohe Einschaltstrom vermieden wird. Wie das erreicht wird zeigt dieser Artikel.

Ringkerntransformatoren lassen sich als Energiespartrafos auslegen, die sich auch unter Volllast nicht mehr als 20-40 Grad C erwärmen. Bisher verwendete, marktübliche und einschaltstromarme EI- oder UI- Kern Transformatoren können bereits im Leerlauf so heiß werden, dass man sie nicht mehr anfassen kann. Unter Volllast werden sie im Kupferwickel bis zu 130 Grad C heiß. Man nutzt dabei die hohe Temperaturfestigkeit der Lackdraht-Isolierschichten aus. Hohe Eigenerwärmung bedeutet aber immer hohe Verluste bei der Energieübertragung. So ein Trafo wird so ausgelegt, dass er möglichst billig in der Anschaffung ist, dann also wenig Kupferanteil und viel billiges und damit leider verlustbehaftetes Eisen beinhaltet.
(Die verlustbehafteten Glühbirnen werden in der Zukunft vom Markt verbannt, weshalb nicht auch solche Trafos?)
Nebenbei verursacht solch ein heißer Trafo einen geringeren Einschaltstromstoß, was dem Anlagenbauer entgegenkommt und die primärseitige Absicherung des Trafos auf Nennstromwerte erst möglich macht.
Der Nutzer bezahlt diesen billigen Trafo jedoch mit unnötig hohen Stromverbrauchskosten. Wegen dem trotzdem noch vorhandenen erhöhten Einschaltstrom, den jeder Trafo verursacht, sind besonders träge Trafoschutzschalter als Absicherung nötig. Solche Trafoschutzschalter sind teurer in der Anschaffung als einfache Leitungsschutzschalter. Was am Trafo an Kosten eingespart wird, muss dann wieder für den Trafoschutzschalter ausgegeben werden. Aber bisher geht das eben nicht anders.
Man kann Trafos entweder verlustarm und dann mit hohem Einschaltstrom oder verlustreich und einschaltstromärmer auslegen. Beides, einschaltstromarm und verlustarm zusammen geht nicht ohne einen zusätzlichen aktiven Einschaltstrom-Vermeider zu verwenden.
Mit der Bezeichnung „**einschaltstromarmer“** Trafo genügt man bisher den technischen Anforderungen, und nimmt die störende Wärmeentwicklung und den höheren Stromverbrauch in Kauf.

Bild eines verlustarmen 1kVA 400V zu 230V Ringkerntrafos zusammen mit dem Trafoschaltrelais was den Einschaltstrom ganz vermeidet und der Primär-Absicherung auf kleiner als den Nennstrom, mit flinken Leitungsschutzschaltern B-2A.



Ringkerntrafos haben deutliche Strom-Spar-Vorteile gegenüber herkömmlichen, „eckigen“ Trafos. Sie haben einen um mehr als Faktor 40 geringeren Leerlaufstrom und geringere Leerlaufverluste, weil die Kornorientierung der Bleche stets in der Magnetflussrichtung verläuft. Deshalb macht es Sinn gerade Ringkerntrafos mit weniger Wirkverlusten zu bauen, indem man auf einen größeren Kern dickere Kupferdrähte wickelt. Dabei entsteht aber bisher das Problem des sehr hohen Einschaltstromes, der dann die richtige Absicherung schwierig bis unmöglich macht, weshalb man von solchen Trafos im Anlagen- und Maschinenbau bisher die Finger ließ.
Der Einschaltstrom entsteht durch Sättigung des Trafoeisenkernes. Ein Ringkerntrafo gerät durch die Rest-Luftspaltfreiheit des Kernes eher in Sättigung als ein EI Trafo.
Die Höhe des maximalen Einschaltstromes berechnet sich beim Ringkerntrafo ganz einfach aus der Primärspannungshöhe mal 0,9, dividiert durch den Kupferwiderstand der Primärwicklung und der Netzzuleitung. Der Faktor 0,9 resultiert aus der Remanenzhöhe, die 0,9 mal der Nenninduktion beträgt. -- (Bei einem EI Trafo liegt die Remanenz bei nur 0,4 mal der Nenninduktion durch die Scherung der Hysteresekurve.)— Wird ein Trafo durch eine Netzspannungshalbwelle, ausgehend von der Remanenz über die Nenninduktion hinaus magnetisiert, so geht das Eisen in Sättigung und ist für den Rest der Spannungshalbwelle physikalisch nicht mehr vorhanden, weshalb nur noch der Leitungs- und

Wicklungswiderstand den Primär-Strom begrenzt. Werden nun durch größere Wickel-Drahtquerschnitte, zwar die Verluste verkleinert aber auch der Primärwiderstand verkleinert so erhöht sich der Einschaltstrom zusätzlich. Der Trafo ist dann zwar energiesparend aber nicht mehr absicher- und einschaltbar.

Damit wird klar weshalb man bisher Trafos mit höheren Wicklungswiderständen und mit Kernen mit Rest-Luftspalten ausgelegt hat, weil diese helfen den Einschaltstrom als inhärente, konstruktive Faktoren zu begrenzen.

Wird ein so genanntes „Trafoschaltrelais“, TSR, vor den Trafo gesetzt, dann ist dieses Einschaltstrom Problem gelöst und der Trafo kann nun sehr verlustarm ausgelegt werden ohne dass der Einschaltstromstoß überhaupt entsteht. Er entsteht dann auch nicht nach Kurzzeitunterbrechungen der Netzspannung. -Das „Trafoschaltrelais“ ist an zahlreichen Stellen im WWW in seiner Funktion beschrieben.- Die Auswahl der Primärseitigen Absicherung ist dann ganz einfach, weil der Einschaltstromstoß nicht nur begrenzt, sondern ganz vermieden wird. (Ein Trafo kann dann zum Beispiel auch auf weniger als den Nennstrom, nur entsprechend seiner Last flink abgesichert werden.) Anders als herkömmliche Einschaltstrom- Begrenzer ist ein Trafoschaltrelais Kurzschluss- und Überspannungsfest und kann oft hintereinander ohne Pause schalten.
Die Kombination von Trafoschaltrelais plus verlustarmer Ringkerntrafo kommt deshalb einem idealen Trafo nahe.
Eine mögliche Auslegung solch eines Energiespar-Trafos im Vergleich zu herkömmlichen Trafos, zeigen untenstehende Beispiele:

Mit der verlustarmen Auslegung können Transformatoren in luftdichten Gehäusen auch Staub- und Feuchtigkeitsdicht gekapselt werden, weil sie sich kaum erwärmen und deshalb keine Fremdkühlung mehr benötigen.
Auch beim EMV Test nach EN 61000-4-11, der Prüfung mit „Voltage-Dips“, löst die flinke Absicherung nicht aus, weil sie das Trafoschaltrelais davor schützt. (Damit bestehen Transformatoren in Medizingeräten die EMV Prüfung, die in der Medizingeräte Norm, EN 60601-1-2, gefordert ist, in der die EN 61000-4-11, der Prüfung mit „Voltage Dips enthalten ist.)

Tabelle 1: Für die beispielhafte Auslegung eines 5kVA, 400V zu 80V Ringkern-Trenntrafos in Isolationsklasse T40A = max.105 grad. (Einschaltstromberechnung mit Ri vom Stromnetz von 0,2 Ohm und Rprim-kalt, bei 90% der Scheitelspannung weil die Remanenz 90% von Bmax beträgt.).
Das Delta T ist an Oberfläche gemessen.
Die Werte für die Leerlaufverluste sind mit einem Trafoberechnungsprogramm ermittelt worden.

Berechnungsprogramme setzen für alle Trafos, egal welcher Kern verwendet wird, eine Remanenzhöhe von 0,35Tesla ein. Beim Ringkerntrafo liegt dieser Wert jedoch bei 90% von Bmax und hat damit bei 1,55 Tesla eine Höhe von 1,4 Tesla, ist also 4 mal höher, was in den Programmen zu Einschaltstromberechnungen führt, welche gegenüber der Messung und in der Praxis viel zu klein sind. In diese Tabellen sind die mit dieser Faustformel berechneten Einschaltstromamplituden eingetragen.
Tabelle 1 für Ringkerntrafos:

Nr.	Delta T in grd. C bei Nenn-last	Leer lauf-strom in mA	R-Prim In Ohm kalt	Ein-Schalt -strom In Aeff	Eisen-Verlu-ste in W	Kupfer Verluste in W	Kupfer-ge-wicht in Kg	Eisen-ge-wicht in Kg	Maße in mm Durchm. / Höhe	Preis in Euro bei 500 Stück vom März 2010	Strom verlust-Kosten in €
1	80	83	0,186	932	18	101	11,4	19,2	300 / 115	226	211,1
2	55	80	0,136	1071	21	71	13,6	23,7	315 / 115	262	160,9
3	40	90	0,127	1100	23	66,4	12,3	26,8	320 / 125	264	158,8
4	20	60	0,08	1285	21	38	30,9	42	360 / 180	501	105,4

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.1 per anno, bei 0,2€ / kwh: 211,0 €
Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.2 per anno, bei 0,2€ / kwh: 160,9 €
Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.3 per anno, bei 0,2€ / kwh: 158,8 €
Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.4 per anno, bei 0,2€ / kwh: 105,4 €

Eine Erwärmung um Delta T = 40 Grad beim Trafo Nr. 3, erscheint als eine sinnvolle Auslegung für einen verlustarmen Transformator, welche auch die Kosten berücksichtigt.
Deshalb wird, nun der Trafo Nr. 3 mit dem Trafo Nr. 5 verglichen und Verbrauchs-Kosten Vorteile damit errechnet.

Tabelle 2: Für die beispielhafte Auslegung eines 5 kVA UI- Kern Trafos mit üblicher Auslegung in Isolationsklasse T40B = 130 grad. (Einschaltstromberechnung mit Ri vom Stromnetz von 0,2 Ohm und Rprim-kalt, bei 60% der Scheitelspannung weil die Remanenz 60% von Bmax beträgt.).
Das Delta T ist an Oberfläche gemessen.
Die Werte für die Leerlaufverluste sind mit einem Trafoberechnungsprogramm ermittelt worden.

Berechnungsprogramme setzen für alle Trafos, egal welcher Kern verwendet wird, eine Remanenzhöhe von 0,35Tesla ein. Beim UI Trafos liegt dieser Wert jedoch bei ca. 60% von Bmax und hat damit bei 1,44 Tesla eine Höhe von 0,85 Tesla, ist also 2,5 mal höher, was in den Programmen zu Einschaltstromberechnungen führt, welche gegenüber der Messung und in der Praxis viel zu klein sind.

Tabelle 2 für UI Trafos.

Nr.	Delta T in grd. C bei Nenn-last	Kern größe	Leer lauf-strom in mA	R-Prim In Ohm Kalt	Ein-Schalt-strom In Aeff	Eisen-Verluste in W	Kupfer Verluste in W	Kupfer-gewicht in Kg	Eisen-gewicht in Kg	Maße in mm Durchm./ Höhe	Preis in Euro bei 500 Stück vom März 2010	Strom verlust-Kosten in €
5	80	UI 150 / 77	800	0,375	417	34	162	11,3	17,5	150/140/130	214	344,3
6	80	MSE192/130	600	0,320	461	53	122	6,0	32	208/208/205	200	307,4
7	55	UI150/92	996	0,254	461	39	105	13	20,4	150/150/150	377	256,5
8	40	UI168/92	1380	0,148	690	51	675	16,2	25,5	168/168/150	480	144,9
9	20	UI210b/133	480	0,054	944	75	26	33,8	58	240/210/200	687	175,7

Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.5 per anno, bei 0,2€ / kwh: 344,3 €.
Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.6 per anno, bei 0,2€ / kwh: 307,4 €.
Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.7 per anno, bei 0,2€ / kwh: 256,5 €
Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.8 per anno, bei 0,2€ / kwh: 144,9 €
Stromverlustkosten im 100% Lastbetrieb des Trafos Nr.9 per anno, bei 0,2€ / kwh: 175,7 €

Vergleich:

Wird nun anstatt des Trafo Nr. 5 ein Trafo Nr. 3 verwendet, so werden bei Volllastbetrieb ca. 344,5 minus 158,8 € = **185,7 € per anno an Stromkosten eingespart.**

Bei 500 Stück Trafoschaltrelais TSRL 42101300 per anno, weil auch die Trafopreise mit 500 Stück per anno eingesetzt wurden, kostet ein Trafoschaltrelais € 61,22. (Nach der Preisliste von 2010.)

Folglich hat sich die Kombination aus dem Ringkerntrafo Nr. 3 und dem Trafoschaltrelais schon nach wenigen Monaten amortisiert.
Die Einsparungen durch die weniger dicken Zuleitungen, wegen der nun möglichen Absicherung auf Nennstrom und nicht auf den 2-3 fachen Nennstrom, wurden hierbei noch nicht berücksichtigt.

In den Folgejahren beträgt die Einsparung an Stromkosten bei Volllast dann ca. 190.- €.

Die Lebensdauer des Trafoschaltrelais ist mit 5 Millionen Schaltspielen so groß bemessen, dass eine Neubeschaffung auch bei 60 Schaltungen pro Stunde erst in mehr als 10 Jahren nötig würde.
Bei wenigen Einschaltungen pro Tag ist die Lebensdauer von Trafoschaltrelais vergleichbar mit der des Trsfos.