Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 93 (2002)

Heft: 9

Artikel: Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren : Teil 3

Autor: Fassbinder, Stefan

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855409

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren – Teil 3

In den Teilen 1 und 2 dieser fünfteiligen Folge hat uns der Autor die Vor- und Nachteile verschiedener Bauformen von Kleintransformatoren näher gebracht und uns vor verschiedenen Gefahren gewarnt, die auf den Entwickler von Mittelpunktschaltungen und Halogenlampentransformatoren lauern. In diesem Beitrag beleuchtet der Autor u.a. Dimmbarkeit und Absicherung von Kleintransformatoren.

Nachfolgend wird aufgezeigt, wie es passieren kann, dass ein in der Nähe eingesteckter Föhn einen Ringkerntrafo in die Sättigung treibt und warum gewöhnliche Dimmer dies nicht tun. Zudem werden weitere Feinheiten bezüglich der Glättung von Gleichströmen und der Absicherung gegen Kurzschlussströme vorgestellt.

Stefan Fassbinder

Die Dimmbarkeit konventioneller Kleintransformatoren

In der Regel können konventionelle Kleintransformatoren mit einem ganz normalen Glühlampendimmer geregelt werden. Die Streureaktanz sorgt dabei auch gleich für die Entstörung. Ist der Zündimpuls des Dimmers zu kurz, kann im Extremfall lediglich der Stromanstieg zu langsam sein, was zu Zündaussetzern und damit zu flackernden Lampen führen kann. Hier hilft ein RC-Glied parallel zu der als Last wirkenden Primärwicklung des Trafos (z.B. 1,5 kΩ und 1 µF in Serie). Zu berücksichtigen ist dabei, dass die Transformatoren bei Phasen-angeschnittenen Spannungen und Strömen erheblich stärker zum Brummen neigen. Nach Möglichkeit sollte daher der Transformator vergossen oder ein Ringkerntransformator gewählt werden.

Der Einfluss von Gleichspannungsanteilen

Leider sind Transformatoren – vor allem in Ringkernbauweise – empfindlich gegen Gleichspannungsanteile in der Versorgungsspannung, was der in den Bildern 11 und 12 dokumentierte Versuch deutlich macht. Dabei wurde das Netz an der dem Versuchsaufbau nächstgelegenen Steckdose mit einer Einweg-Gleichrichterlast belastet (dies könnte z.B. ein auf halbe Leistung eingestellter einfacher Haarföhn sein). Im Netz entsteht dadurch eine geringfügige Unsymmetrie. Auf Grund dieser ungleichen Belastung der positiven und der negativen Halbwelle und der entsprechend unterschiedlichen Spannungsfälle im Netz entsteht ein kleiner Gleichspannungsanteil der Netzspannung von – je nach Last und Netzwiderstand – beispielsweise 0,5 V.

Schuld an dem markanten Unterschied zwischen den beiden Messungen ist die Sättigung: Legt man eine Gleichspannung von 0,5 V an die Primärwicklung eines Ringkerntransformators mit einem Wicklungswiderstand von beispielsweise 20 Ω, so fliesst in der Wicklung ein Gleichstrom von 25 mA. Wie aus Bild 11 ersichtlich ist, tritt das Kernmaterial jedoch bereits bei rund 11 mA in den Bereich magnetischer Sättigung ein. Der Transformator befindet sich daher vollständig in der Sättigung.

Der Nachweis, dass die Impedanz[5] des Netzes für die Unsymmetrie verantwortlich ist, lässt sich auch erbringen, indem man beide Verbraucher – den leer laufenden Ringkerntrafo und den mit halber Leistung laufenden Föhn – über eine gemeinsame Verlängerungsleitung anschliesst. Der Effekt der Sättigung wirkt deutlich verstärkt. Schaltet man den Föhn anschliessend auf volle Leistung, fällt der Gleichstromanteil weg, und der Transformator gerät nicht mehr in die Sättigung.

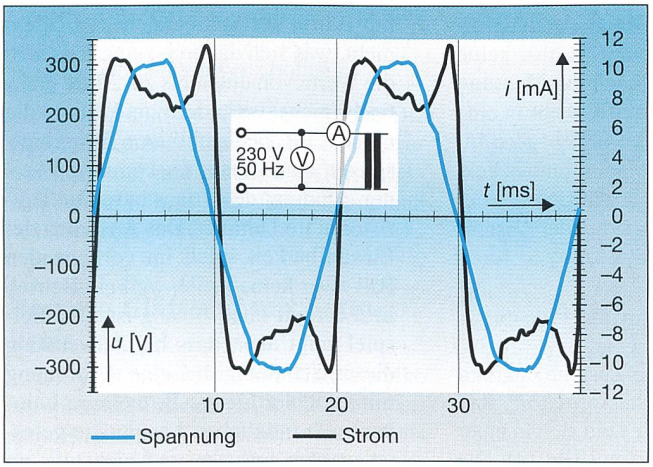

Bild 11 Leerlaufstrom eines Ringkerntransformatos 200 VA
U = 228,5 V, I = 9,2 mA, P = 1,82 W, S = 2,09 VA, Q = 1,03 VAr, LF = 0,87, cos φ = 0,99

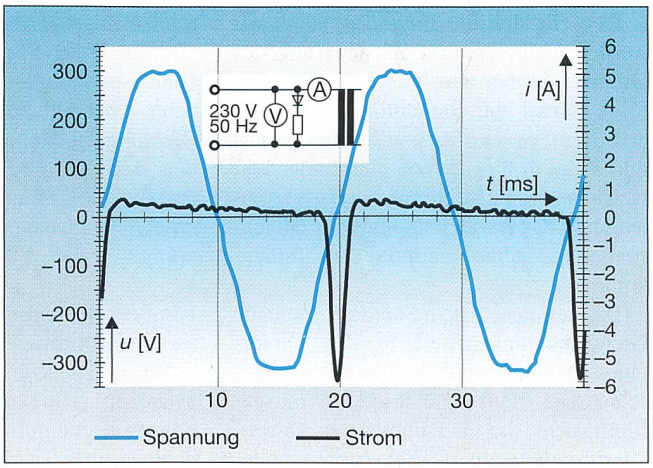

Bild 12 Leerlaufstrom eines Ringkerntransformators 200 VA bei Parallelbetrieb mit einem auf halbe Leistung eingestellten Föhn von 1500 W
U = 224,3 V, I = 1,26 A, P = 38 W, S = 286 VA, Q = 283 VAr

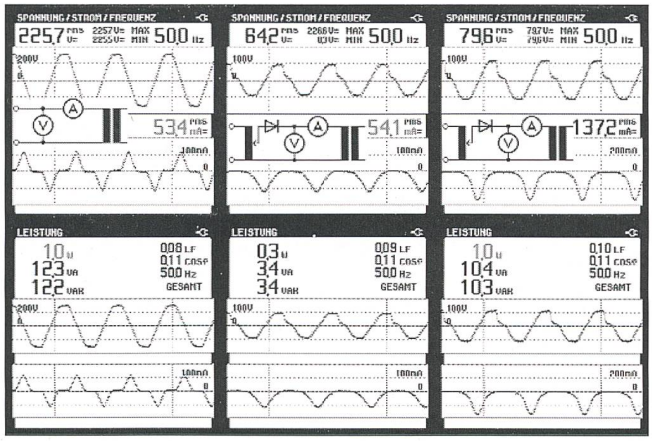

Bild 13 Betrieb eines Transformators UI48 im Leerlauf an Nennspannung (links) und über Gleichrichterdiode (Mitte und rechts)

Bild 14 Zusammenarbeit einer Halogenleuchte mit Ringkerntransformator mit einem Phasenanschnittdimmer

Umgekehrt gilt, dass jegliche Verringerung ohmscher Spannungsfälle im Netz auch das Auftreten unerwarteter und unerwünschter Überraschungen mindert, und das schon weit unterhalb jener Grenze der thermischen Belastbarkeit, die üblicherweise der Dimensionierung von Kabeln, Leitungen, Transformatorwicklungen und dergleichen zu Grunde gelegt wird.

Die Empfindlichkeit gegen Gleichspannungsanteile in der Versorgungsspannung ist übrigens bei allen anderen Transformatortypen wesentlich geringer, weil diese durch die Bank Restluftspalte aufweisen, wodurch die Leerlaufströme in der Regel mehr als eine Grössenordnung höher sind. Das Verhältnis des vom Gleichspannungsanteil getriebenen Gleichstroms in der Primärwicklung zum Leerlaufstrom und die bei der Auslegung gewählte Leerlaufinduktion bestimmen das Ausmass dieses Einflusses.

Ist ein Kleintransformator dimmbar?

Es stellt sich die Frage, ob garantiert werden kann, dass die Ansteuerung des Dimmers immer absolut symmetrisch erfolgt, zumal die Bauteiltoleranzen eher erwarten lassen, dass dies höchstens durch Zufall hier und da einmal der Fall ist. In der Regel sollte man daher vermuten, dass das erwähnte halbe Volt Gleichspannung schnell einmal zusammenkommt.

Der auf diese Art zu Stande kommende Gleichspannungsanteil in der Versorgungsspannung wird aber durch die angeschlossene Induktivität wieder herausgefiltert, denn die im Dimmer zur Anwendung gelangenden Thyristoren oder Triacs bleiben nicht so lange leitend, bis die Spannung, sondern bis der Strom seinen Nulldurchgang erfährt. Das ist bekanntlich bei Induktivitäten nicht derselbe Zeitpunkt.

Ein Versuch unter Extrembedingungen

Ein Versuch unter Extrembedingungen (Bild 13) macht dies deutlich: Hierzu wird ein Transformator im Leerlauf über eine Einweg-Gleichrichtung betrieben. Es zeigt sich, dass der Leerlaufstrom nun ein welliger (lückender) Gleichstrom ist, die Spannung an der Wicklung jedoch wieder nahezu Sinusform annimmt.

Die Eingangsspannung der Versuchsschaltung muss schon auf etwa 64 V eingestellt werden (Bild 13, Mitte), ehe sich beim Leerlaufstrom der gleiche Effektivwert einstellt wie bei Nennspannung (Bild 13, links), und erst bei etwa 80 V hat man die gleiche Leerlaufleistung wie im regulären Betrieb (Bild 13, rechts).

Man muss sich das so vorstellen, dass der Strom nach dem Wechsel der Spannungsrichtung von eben dieser Spannung wieder auf null «heruntergebremst» wird. Erst danach geht im Versuch die Diode (bzw. im Dimmer der Triac) in den sperrenden Zustand über. Die an der Induktivität gemessene Spannung ist also keine Gleichspannung – wie auch die Messung zeigt –, obwohl ein Stromfluss nur in eine Richtung möglich ist. Es besteht also für den Trafo beim Betrieb am Dimmer kein Risiko, nicht einmal bei Auftreten einer erheblichen Unsymmetrie bei der Ansteuerung.

Ringkerntransformator am Phasenanschnittdimmer

Ein Beispiel für gute Zusammenarbeit zwischen Ringkerntransformator und Phasenanschnittdimmer fand sich in einer hochwertigen Tischleuchte (Bild 14). Die Leuchte wurde zweimal mit Vollaussteuerung gemessen (rechts), zweimal bei halber Leistung (Mitte) und zweimal in der unteren Anschlagstellung des Dimmers (links). Die Vorschrift verlangt eine gewisse Resthelligkeit. Ein Glühlampendimmer darf sich auch bei Betrieb an der unteren Toleranzgrenze der Netzspannung nicht so weit herabregeln lassen, dass zwar noch Strom durch die Lampe fliesst, dies aber nicht mehr am Leuchten erkennbar ist.

Zunächst wurde die Leuchte im regulären Betrieb, also mit der vorgesehenen Glühlampe 12 V/50 W, gemessen (Bild 14, oben) und dann ohne Leuchtmittel, also im Leerlauf des Transformators (Bild 14, unten). Dabei lässt sich Folgendes feststellen:

- Offenbar wurde hier das erwähnte RC-Glied eingesetzt, wie die Stromspitzen im Einschaltpunkt zeigen, die immer dann und nur dann auftreten, wenn die Einschaltflanke der Spannung vergleichsweise hoch ist, denn nur dann fliesst ein registrierbarer Ladeimpuls in den Kondensator des RC-Gliedes.
- Die Steuerung funktioniert bei leer laufendem Trafo offenbar in der unteren Hälfte des Stellbereiches trotzdem nicht, was sich dadurch zeigt, dass sich die Werte von unten bis zur Mitte praktisch nicht verändern und auch die unter Last beobachtbaren Einschaltspitzen ausbleiben: Es kommt zu keiner Zündung des Triacs bzw. der Thyristoren im Dimmer. Das Ausfallen der Einstellbarkeit spielt im vorliegenden Fall zwar keine Rolle, weil ein Betrieb im Leerlauf ohne Belang ist. Das Beispiel zeigt aber, dass bei Anwendung dieser Schaltung auf eine Anordnung mit variabler Last (z.B. mehrere Lampen) alle möglichen Lastpunkte getestet werden müssten und nicht nur im Fall von Volllast.
- EMV-Probleme und die für den Ringkerntrafo fatale Gleichstrom-Vorbelas-

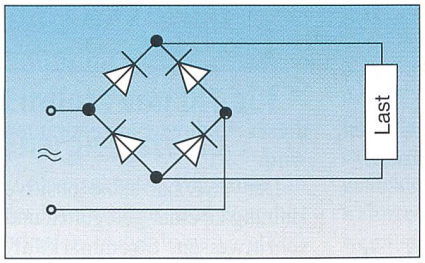

Bild 15 Darstellung einer B2-Brücke

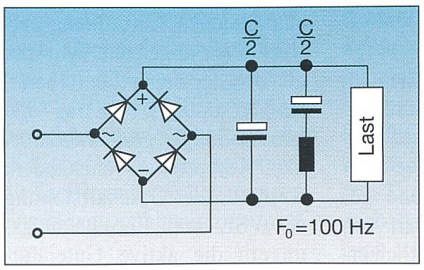

Bild 16 Bessere Glättung mit Saugkreis

tung treten weder im Leerlauf noch unter Last auf.
- Die Leerlaufleistung ist gering.
- Im Leerlauf zeigen die Stromkurven wegen des parallel angeordneten Kondensators eine Überlagerung mit Hochfrequenz. Das weist auf Vorhandensein solcher Frequenzen in der Netzspannung hin.
- Die Magnetisierungsblindleistung des Ringkerntrafos ist gering: Bei dieser Baugrösse ist etwa 1 VA typisch. Hingegen tritt im unteren und mittleren Stellbereich unter Last das Phänomen der bei Phasenanschnitt induktiv wirkenden Glühlampe auf: Das Messgerät errechnet einen erheblichen Blindleistungsanteil, obwohl nirgends Bereiche mit ungleichen Vorzeichen von Spannung und Strom auftreten. Das ist aber korrekt. Zerlegt man die angeschnittene Kurve in ihre harmonischen Bestandteile (Fourier-Analyse), so stellt man fest, dass die Grundschwingung des Stroms gegenüber der Netzspannung nach hinten verschoben ist.

Was aus Bild 14 nicht hervorgeht: Die Leuchte arbeitet dank dem Ringkerntransformator und einem massiven Messinggehäuse in allen Betriebspunkten vollkommen geräuschlos.

Bessere Glättung mit Saugkreis

Die Gleichspannung am Glättungselko in einer B2-Brücke (Bild 15) hinter einem Einphasen-Kleintransformator weist normalerweise noch eine beträchtliche Restwelligkeit auf, bzw. sie ist von einer Vielzahl von Frequenzen überlagert. Die Aufgabe des Glättungskondensators ist es, für die Gleichspannung zu sperren und die darin noch enthaltenen Wechselspannungen abfliessen zu lassen. Das gelingt aber niemals ganz, weil die Kapazität endlich und damit die Reaktanz grösser als null ist.

Ausgerechnet die am stärksten vorhandene niedrigste Frequenz von 100 Hz wird aber am wenigsten durchgelassen. Es bietet sich daher an, die Kapazität ganz grob in zwei Hälften zu teilen und eine davon mit einer geeigneten Drossel in Reihe zu schalten, so dass sich ein Reihenresonanzkreis für 100 Hz ergibt. Diese Frequenz kann dann praktisch impedanzlos abfliessen, wodurch sich die Restwelligkeit erheblich reduziert – je nach den Parametern der Schaltung um fast die Hälfte (Bild 16).

Feiner als die Feinsicherung: Temperaturschalter

Die eleganteste Art, einen Kleintrafo abzusichern, ist ein Temperaturschalter. Damit wird der Trafo nicht nur gegen zu hohe Strombelastung, sondern auch gegen überhöhte Umgebungstemperaturen geschützt. Problematisch ist jedoch bei grösseren Kleintrafos stets die zu schnelle Erwärmung im Kurzschlussfall, die dem Schalter nicht ausreichend Zeit zum Reagieren lässt. Ausnahmen stellen wiederum die diversen beschriebenen Formen von streufeldreichen Bauformen dar.

So würde sich bei dem im Teil 1 dieser Beitragsserie angeführten Vergleich der beiden UI48-Trafos der Typ mit 20 A Kurzschlussstrom im Kurzschlussfall fast fünfmal so schnell erwärmen wie der Typ mit 9,5 A Kurzschlussstrom, was zwar wieder für Letzteren spricht; doch wie bereits erwähnt, ist für die meisten Anwendungen der spannungssteife Trafo im Normalbetrieb zweckmässiger. Für diese Fälle bauen die Hersteller in die Temperaturschalter einen «Beschleuniger» in Form eines Serienwiderstands ein, der den Schalter bei erheblicher Überschreitung des Bemessungsstroms schnell erwärmt und zum Auslösen bringt. Nun wächst aber die Erwärmung im Quadrat zum Strom, und wird ein bestimmter Grenzstrom überschritten, so ist der Schalter nicht einmal mehr flink genug, um sich selbst zu schützen; der Widerstand brennt also durch, ehe der Kontakt öffnet.

Ist der Kurzschlussstrom des Trafos grösser als dieser Grenzstrom, ist der Schalter ungeeignet. Der nächstkleinere Widerstandswert kann aber schon wieder zu klein und der Beschleunigungseffekt somit zu gering sein. Abhilfe könnten die Schalterhersteller bieten, indem sie den Längswiderstand durch zwei antiparallele Dioden ersetzen. Dann steigt die Erwärmung nur noch näherungsweise linear mit dem Strom, vor allem im oberen Strombereich, wodurch sich die Spanne zwischen minimalem Abschaltstrom und höchstzulässigem Strom vergrössert. In Laborversuchen hat sich diese Methode schon mehrfach bewährt, vor allem dann, wenn im Zuge einer Mittelpunkts-Gleichrichterschaltung ohnehin zwei Dioden zum Einsatz kommen, auch wenn diese in diesem Fall in den Ausgangskreis geschaltet werden. Die entsprechenden Isolierungen und Abstände sind meist schon durch das Schaltergehäuse allein eingehalten. Ausserdem kann ein Transformator auch ausgangsseitig geschützt werden.

Adresse des Autors

Deutsches Kupfer-Institut e.V., D-40474 Düsseldorf: *Stefan Fassbinder*, Tel. +49 211 47 96 300, sfassbinder@kupferinstitut.de

[5] Im vorliegenden Beispiel handelt es sich lediglich um die ohmsche Komponente, da die reaktive bei Gleichstrom nicht vorhanden ist.

Le choix de petits transformateurs en fonction des besoins – 3e partie

Dans les deux premières parties de cette série en cinq parties, l'auteur nous a exposé les avantages et les inconvénients de diverses formes de construction de petits transformateurs et mis en garde contre divers dangers qui guettent le développeur de circuits à prise médiane et transformateurs pour lampes à halogène. Le présent article montre comment il peut arriver qu'un sèche-cheveux branché à proximité amène un transformateur toroïdal à saturation et pourquoi les variateurs conventionnels ne le font pas. En outre, il expose diverses finesses sur le lissage des courants continus et la protection contre les courants de court-circuit.