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: 15

Artikel: Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren : Teil 4

Autor: Fassbinder, Stefan

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855436

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: 09.12.2025

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

Bedarfsgerechte Auswahl von Kleintransformatoren – Teil 4

Bereits haben wir in den Teilen 1 bis 3 dieser fünfteiligen Folge vieles über Bauformen von Kleintransformatoren gelernt und uns zu Mittelpunktschaltungen, Halogenlampentrafos, Ringkernen und Gleichspannungsnetzteilen Gedanken gemacht. In dieser vierten Folge weist uns der Autor auf die Möglichkeiten hin, den Wirkungsgrad im Kleinen zu verbessern – denn viele Kleinsparer zusammen sparen viel.

Stefan Fassbinder

Bei Grosstransformatoren achten Energieversorger seit Jahr und Tag peinlich genau auf den Wirkungsgrad. Die Verluste werden dort bewertet, also ein entsprechender Preiszu-/abschlag für Über-/Unterschreitung der Nennverluste vereinbart. Die Werte liegen etwa bei 1 €/W für den Lastverlust und bei ungefähr 4 €/W für den Leerlaufverlust. So sollte im Prinzip auch bei Kleintransformatoren vorgegangen werden.

Bei betriebseigenen Industrienetzen und einigen ausländischen Unternehmen bestehen hier allerdings auch bei den Gross- und Verteiltransformatoren noch Defizite. Sicher erscheint es im ersten Moment auch unsinnig, von einer weiteren Verbesserung des Wirkungsgrades zu reden, wenn man bedenkt, dass die Wirkungsgrade der grössten Baugrössen um 99,75% liegen. Bedenkt man aber weiterhin, dass diese Baugrössen bis 1100 MVA reichen und ¼% mehr als 2,5 MW bedeutet, macht es sehr wohl Sinn, hierüber nachzudenken [13].

Auch bei Kleintrafos keine Kleinigkeit: der Wirkungsgrad

Ein solcher «Grenzleistungs-Transformator» mit 2,5 MW Verlust kostet übrigens um 7,5 Mio. Euro, ein Kleintransformator von 11 VA kostet etwa 7,5 Euro und hat 2,5 W Verlustleistung. Preise und Verluste stehen also im gleichen Verhältnis zueinander. Somit wären aus Gründen der wirtschaftlichen Vernunft in beiden Fällen die gleichen Massstäbe anzulegen. Dies geschieht aber nicht, weil bei den Kleintransformatoren wie bei den erwähnten kundeneigenen Anlagen die Stromrechnung und die Investitionen von verschiedenen Kostenstellen bezahlt werden, wenn auch beide Rechnungen vom selben Unternehmen beglichen werden müssen. So erscheint bei Kleintransformatoren das Wort «Wirkungsgrad» allenfalls im Ausdruck eines Berechnungsprogramms und wird danach in der Regel nie wieder erwähnt. Die Wirkungsgrade liegen hier jedoch viel niedriger, bei der Kerngrösse EI30 (etwa 1 bis 3 VA) um 50%, im Bereich EI60 bis EI96 bzw. UI39 bis UI60 (etwa 40 bis 200 VA) um 80%, je nach Auslegung und Bauform. Das Potenzial für Verbesserungen ist also relativ betrachtet viel grösser. Zwar durchfliesst der grösste Teil aller erzeugten elektrischen Energie mehrere Grosstransformatoren, aber nur ein kleiner Teil einen Kleintransformator, was das absolute Sparpotenzial kleiner werden lässt. Das ändert aber nichts an der Tatsache, dass die in der Herstellung billigste Auslegung in den meisten Fällen über die Lebensdauer gerechnet auf die in den Gesamtkosten teuerste Variante hinausläuft. Als Beispiel sei nur noch einmal an die Einführung eines neuen Klingeltransformators erinnert, der bei einem renommierten Hersteller mit Kerngrösse UI30 und billigst möglichem Dynamoblech Dyba V800 ausgelegt wurde. Die Leerlauf-Verlustleistung lag bei 1,6 W. Durch genau die gleiche Auslegung, jedoch mit etwas höherwertigem kornorientiertem Blech Armco VM111 hätte sie sich auf 0,6 W reduzieren lassen. Die Mehrkosten in der Herstellung hätten zwischen 50 Cent und 1 Euro gelegen und sich also innerhalb von 6 bis 12 Monaten amortisiert, wobei ein solcher Klingeltransformator durchaus 30 Jahre ununterbrochen im Betrieb bleiben kann.

Dabei war die Wahl des UI-Kernschnitts für vorliegenden Anwendungsfall mit praktisch durchgehendem Leerlaufbetrieb im Prinzip richtig. Wie schon ausgeführt, kommt hierbei relativ viel Kupfer zum Einsatz, im Verhältnis zum Kernquerschnitt doppelt so viel wie beim

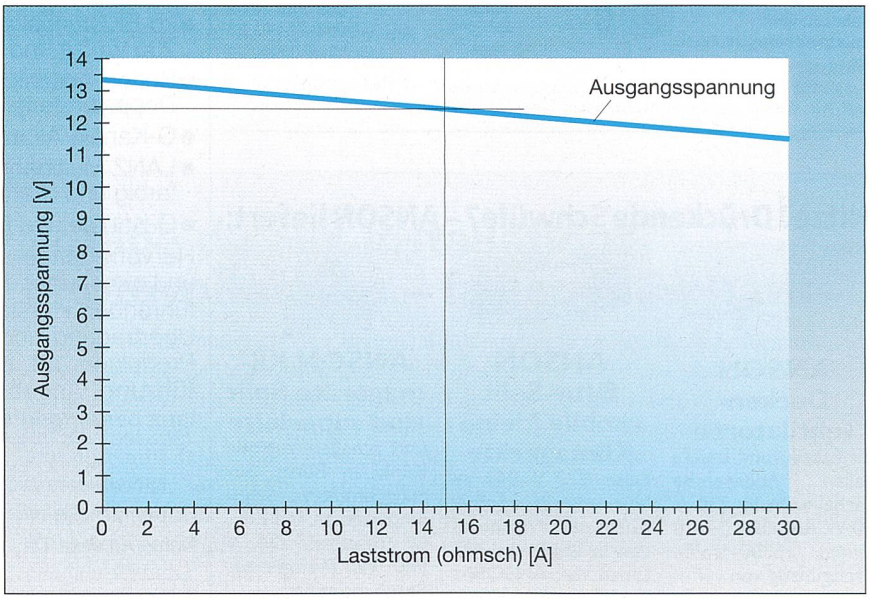

Bild 17 Verhalten eines Transformators UI66, 230 V / 12 V, 180 VA, mit 1-Kammer-Wicklung nach Bild 20a (geteilte Wicklungen)

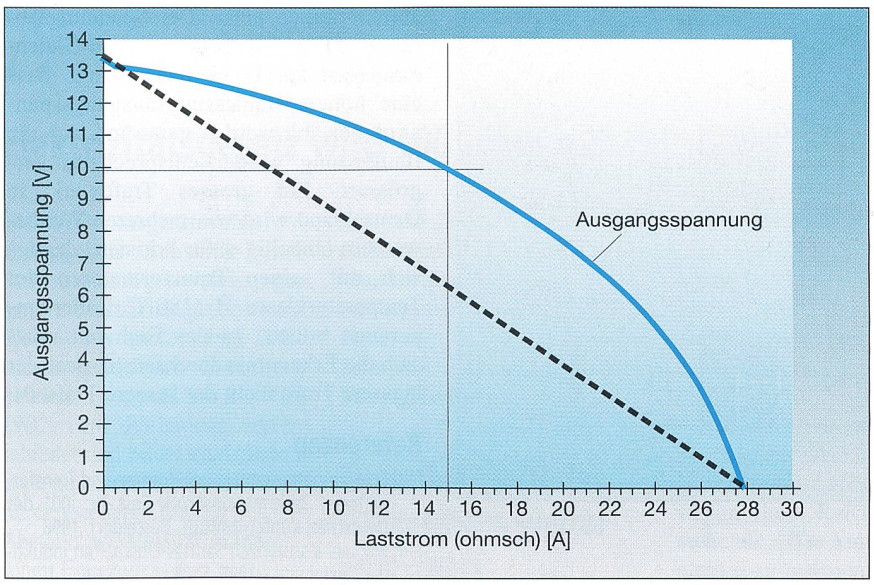

Bild 18 Verhalten eines Transformators UI66 mit den gleichen Wickeldaten wie in Bild 17, jedoch mit 1-Kammer-Wicklung nach Bild 20b (getrennte Wicklungen)

EI-Langschnitt und viermal so viel wie beim Standard-EI-Schnitt. Da die Schenkellängen (Längen des Wickelfensters) beim EI-Lang- und beim UI-Schnitt gleich sind, stehen Kernquerschnitt und Eisen-Einsatzmenge näherungsweise im gleichen Verhältnis zueinander. Beim EI-Schnitt ist, wie gesagt, die Schenkellänge genau halb so gross wie beim EI-Langschnitt, doch das Eisen-Einsatzgewicht ist deutlich mehr als halb so gross. Somit liefert der EI-Schnitt einen Trafo mit relativ hohem Eisen- und relativ geringem Kupfer-Einsatzgewicht, der UI-Schnitt dagegen sozusagen einen relativ kupferreichen und relativ eisenarmen Trafo. Weitere Variations-Möglichkeiten ergeben sich durch die unterschiedlichen Schichthöhen. Für jeden Kernschnitt nach DIN 41302 stehen Spulenkörper nach DIN 41305 in 2, 3, 4 oder sogar 5 Schichthöhen zur Verfügung, nicht zu reden von kundenspezifischen Sonderanfertigungen.

Unbemerkte Verluste

Bei gleicher Induktion, Frequenz und Eisenqualität hängt aber der Eisenverlust nur noch von der Eisenmenge ab; analog der Kupferverlust, der bei gleicher Stromdichte nur noch von der Kupfermenge abhängt. Ein Transformator, der den grössten Teil seines Lebens im Leerlauf oder mit geringer Last betrieben wird, sollte mit geringem Leerlaufverlust, also weniger Eisen und mehr Kupfer ausgelegt sein. Daher war für den vorliegenden Fall des Klingeltransformators die Wahl der minderen Eisenqualität ungünstig, die Wahl des UI-Kernschnittes jedoch günstig. Man findet auf dem Markt auch Klingeltransformatoren, bei denen in beiden Punkten die ungünstigere Variante gewählt wurde. Diese schlagen dann mit etwa 3 W Leerlaufverlust zu Buche, bzw. etwa 26 kWh pro Jahr. Das macht nur deshalb nichts aus, weil der Endverbraucher in der Regel niemals merkt, dass er hier im Verhältnis «ein bisschen Trafo und viel Strom» verbraucht.

Für Anwendungen mit permanentem Volllastbetrieb ist also umgekehrt die Wahl eines EI-Kernschnittes mit grosser Schichthöhe, also eines eisenreichen Transformators, zu empfehlen. Diese Bauform bietet in der Regel auch die grösste Spannungssteifheit, aber damit natürlich auch die grössten Kurzschlussströme mit den früher dargelegten, wenn auch lösbaren Problemen.

Es sollte nicht übersehen werden, dass jegliche Vermehrung des Einsatzes von Eisen oder Kupfer bei entsprechender Anpassung der restlichen Auslegung immer den besseren Transformator abgibt, das umgekehrte Vorgehen immer den schlechteren. Ein «eisenreicher» Trafo sollte also nicht als Kompensation für den «kupferarmen» angesehen werden.

Auch verursacht der Wirkwiderstand der Wicklungen nicht nur den grössten Teil der Energieverluste und der Erwärmung, sondern addiert sich zudem direkt zum Lastwiderstand. Bei der Prüfung wird mit ohmscher Last gemessen. Somit fehlt die Spannung, die am Wicklungswiderstand abfällt, nachher bei der Lastspannung komplett, bzw. ist bei Leerlauf und Schwachlast zu viel vorhanden. Beim induktiven Spannungsfall an der Streureaktanz ist das anders. Diese kommt erst richtig zum Tragen, wenn man sich dem Kurzschlussstrom nähert. Ein durch Streureaktanz «weich» gemachter Trafo ist also hinsichtlich Wirklast gar nicht so weich wie man vom Kurzschlussstrom her meinen sollte, ein durch Knausern am Kupfer weich gemachter aber sehr wohl.

Ein extremes Beispiel macht dies deutlich: Ist der Trafo nach Bild 17 mit seinem Kurzschlussstrom von etwa 220 A (im Bild nicht dargestellt) zu hart, kann man auch auf die Halbierung der Wicklungen verzichten und die Primärwicklung auf den einen und die Sekundärwicklung auf den anderen Schenkel aufbringen. Das Ergebnis (Bild 18) schiesst wohl für die meisten praktischen Anwendungsfälle ein wenig über das Ziel hinaus, beträgt doch jetzt der Kurzschlussstrom (nun im Bild zu sehen) nur knapp das Doppelte des Bemessungsstroms.

Eines wird jedoch deutlich: Die Spannung am Ausgang liegt immer noch weit über der halben Leerlaufspannung. Wollte man den Kurzschluss- oder den Einschaltstrom über den Wicklungswiderstand begrenzen, was kriminellerweise wirklich manchmal versucht wird [14–18], verliefe die Spannungskennlinie am Ausgang so wie die gestrichelte Linie in Bild 18.

Der meist gewählte Kompromiss zwischen den beiden dargestellten extremen Charakteristiken besteht aus aufgeteilten Wicklungen mit Zweikammer-Spulenkörpern gemäss der Bilder 19 (rechts) und 20d (bzw. c bei 115 V). Noch einmal wird hier deutlich, wie sehr sich das Betriebsverhalten des Transformators über die Anordnung der Wicklungen – beim selben Kern – variieren lässt, mehr als genug, um nicht zu Gunsten einer bestimmten Charakteristik die Verluste des Trafos künstlich erhöhen zu müssen.

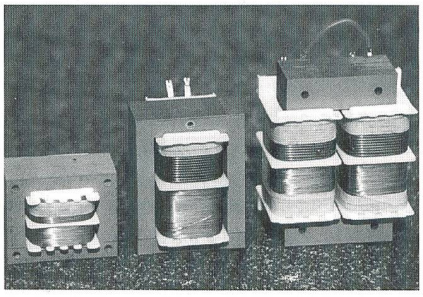

Bild 19 Gebräuchliche Kernschnitte

Transformatoren mit gleichen Eisenquerschnitten, aber unterschiedlichen Kernschnitten (EI66 Standard, EI66 lang, UI66). Obwohl alle mit Zweikammer-Spulenkörper ausgeführt, ergeben sich Unterschiede bei Masse, Volumen, Bauleistung und vor allem Betriebsverhalten.

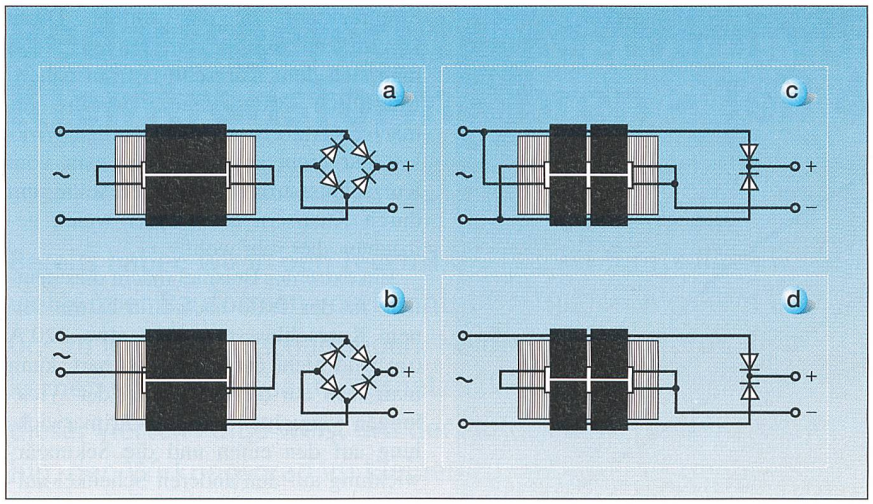

Bild 20 Schaltung des Transformators

Noch besser: Ringkerntrafos

Die besten Wirkungsgrade erreicht man mit Ringkerntransformatoren, weil sich hier die Verwendung kornorientierten Bleches geradezu anbietet, denn bei dieser Bauform verläuft das Feld im gesamten Kern in Kornrichtung. Extrem niedrige Leerlaufverluste sind die Folge. Darüber hinaus sprächen eine Reihe von technologischen Vorteilen wesentlich häufiger für den Einsatz von Ringkerntransformatoren als diese tatsächlich zum Einsatz kommen: Sehr geringe Leerlaufströme, geringes Bauvolumen und die Unabhängigkeit von irgendwelchen vorgegebenen Blechschnitten und Spulenkörpern. Die äussere Gestalt und das Verhältnis von Kupfer-zu-Eisen-Einsatz kann sozusagen «stufenlos» frei gewählt werden. Im Einzelfall kann bei sonst gleicher Fertigungs-Technologie auch von der kreisrunden Ringform abgewichen werden. Als Mischform lassen sich die Schnittbandkerne ansehen, die ähnlich gute Gebrauchseigenschaften bieten. Als Sonderform hiervon gibt es auch Ringkern-Transformatoren, deren Kern nicht ringförmig, aber deren Kernquerschnitt kreisrund ist. Hier werden kreisrunde Spulenkörper aus zwei Halbschalen in Schnapptechnik verwendet, die auf dem Kern drehbar angebracht und somit erst nach der Montage bewickelt werden.

Die Spulenkörper herkömmlicher Transformatoren aber werden, wenn die geforderte Leistung gerade noch ein wenig unter der prinzipiellen Leistungsfähigkeit der gewählten Baugrösse liegt, häufig noch nicht einmal voll gewickelt, gerade so, als müsse eine bestimmte Mindesterwärmung unbedingt erreicht werden. Im völligen Einklang hiermit hat sich eine Mentalität unter Produzenten wie Anwendern breitgemacht, die einen Trafo höherer Isolierstoffklasse als den besseren ansieht. Physikalische Tatsache ist: Der Trafo mit der höheren Temperaturklasse darf definitionsgemäss heisser werden, und das tut er in der Regel auch. Warum sonst sollte der Hersteller die teureren Isolierstoffe einsetzen? Die Temperatur liegt höher, die Verluste liegen höher, und der Trafo bringt entsprechend mehr Wärme in das Gerät ein, in dem er zum Einsatz kommt. Er ist allenfalls ein wenig kleiner, aber das ist sein einziger Vorteil, und der wird oft genug schon dadurch mehr als aufgezehrt, als dass man wegen der höheren Temperatur mehr Abstand halten und wegen der höheren Verlustleistung mehr Aufwand zur Wärmeabfuhr treiben muss. Der Spannungsabfall wird ebenfalls höher, was bei Gleichrichterlast zur Folge haben kann, dass eine höhere Bemessungsausgangsspannung gewählt werden muss und sich die Bauleistung wieder entsprechend vergrössert. Ein grosses Trafowerk in Deutschland wird von mehreren Wettbewerbern einhellig dafür kritisiert, dass es sich mit seinen Transformatoren der Temperaturklasse H (180 °C Dauertemperatur) brüstet. In der Fachwelt muss sich die Erkenntnis durchsetzen, dass der heissere Trafo nicht der bessere Trafo ist.

Referenzen

[13] Energiesparpotentiale bei Motoren und Transformatoren. Informationsdruck Best.-Nr. i001 des Deutschen Kupfer-Instituts, Düsseldorf, 1998

[14] *Michael Konstanzer:* Sanftes Einschalten induktiver Lasten. etz 1/1995, S. 28.

[15] *Michael Konstanzer:* Drehstromtransformatoren sanft einschalten. etz 8/1995, S. 34.

[16] *Michael Konstanzer:* Transformator-Sanft-Einschalter spart Kosten. Elektro-Praktiker 6/1998, S. 524.

[17] *Michael Konstanzer:* Blindstrom-Kompensations-Kondensatoren sanft schalten. etz 16/1995, S. 44.

[18] *Michael Konstanzer:* Trafo-Einschalt-Stromstoss – beherrschen, verkleinern, begrenzen oder vermeiden. de 17/2000, S. 26.

Weiterführende Literatur

Stefan Fassbinder: Geld zahlen für's Nichtstun? «de» 10/1998, S. 915

Adresse des Autors

Stefan Fassbinder, Deutsches Kupfer-Institut e.V., D-40474 Düsseldorf
sfassbinder@kupferinstitut.de

Le choix de petits transformateurs en fonction des besoins – 4e partie

Dans les parties 1 à 3 de cette série en cinq parties, nous avons déjà beaucoup appris sur les formes de construction des petits transformateurs et nous sommes livrés à des réflexions sur les montages à point médian, transformateurs pour lampes à halogène, noyaux toroïdaux et alimentations réseau à tension continue. Dans cette quatrième partie, l'auteur nous indique les possibilités d'améliorer le rendement en petit – car en effet, de nombreux petites économies en donnent une grande.

Pour les grands transformateurs, les fournisseurs d'énergie attachent depuis toujours le plus grand soin au rendement. Les pertes y sont évaluées, et l'on convient d'une augmentation ou d'une réduction de prix lorsque les pertes nominales sont dépassées en plus ou en moins respectivement. Les valeurs tournent autour de 1 €/W pour les pertes de charge et 4 €/W pour les pertes à vide. En principe, on devrait faire la même chose pour les petits transformateurs.

Dans les réseaux industriels d'entreprises et dans quelques entreprises étrangères, il y a ici encore certains déficits. A première vue, il semblerait qu'il n'y ait aucun intérêt à parler d'une nouvelle amélioration du rendement si l'on songe que les plus grands transformateurs ont des rendements de l'ordre de 99,75%. Mais si l'on songe au fait que ces transformateurs vont jusqu'à 1100 MVA et qu'un quart de pour-cent représente 2,5 MW, il vaut certainement la peine d'y réfléchir.