

Messungen an Hochvolt Transformatoren

**Mitteilungen aus dem
Institut für Umwelttechnik
Nonnweiler - Saar
Dr. rer. nat. Schau
DL3LH**

Einleitung:

Bei Röhrendstufen ist für erlaubte Leistungen eine hohe Betriebsgleichspannung U_b im Kilovolt-Bereich erforderlich [1]. Diese Hochspannung wird meistens mit einem Netz-Transformator und entsprechender sekundärer Hochvoltwicklung mit nachfolgender Gleichrichtung, manchmal die einer Spannungsverdopplerschaltung, erzeugt. Beim Selbstbau von Endstufen hat so mancher OM ungewollt Bekanntschaft mit einer hohen Gleichspannung gemacht und wurde ruckartig davon überzeugt, dass es besser ist eine Hand in der Tasche zu lassen.

Der Netztransformator ohne Streuung:

Bei kleiner Streuung verhalten sich Primär- und Sekundärspannung eines Trafos angenähert wie die Windungszahlen der beiden Wicklungen

$$U_1/U_2 \approx N_1 / N_2.$$

Zweck des Trafos, auch Umspanner genannt, ist es eine elektrische Leistung $P_1 = \underline{U}_1 * \underline{I}_1$ bei gegebener Spannung \underline{U}_1 , möglichst verlustlos mit einem anderen Spannungsniveau \underline{U}_2 auf einen Verbraucher zu übertragen, so dass angenähert $P_1 \approx P_2$ gilt oder auch

$$\underline{U}_1 * \underline{I}_1 \approx \underline{U}_2 * \underline{I}_2.$$

Daraus folgt, dass sich die Ströme bei Vernachlässigung des eingangsseitigen Leerlaufstromes angenähert umgekehrt wie die zugehörigen Spannungen verhalten $\underline{I}_1 / \underline{I}_2 \approx \underline{U}_2 / \underline{U}_1$.

Die Sekundärspule arbeitet mit der induzierten Spannung \underline{U}_2 auf einen Verbraucherwiderstand \underline{Z}_2 und wird vom Wechselstrom $\underline{I}_2 = \underline{U}_2 / \underline{Z}_2$ durchflossen. Das dabei durch \underline{I}_2 entstehende Magnetfeld schwächt nach der „Lenzschen Regel“ das ursprüngliche Magnetfeld. Dabei sind sekundärer und primärer Strom annähernd in Gegenphase.

Aus der Größe des Kernes ergibt sich die übertragbare Leistung (VA - Voltampere) und der sekundäre Nennstrom I_n .

Will man Messungen an einem Hochvolttransformator durchführen, ist äußerste Vorsicht angesagt. Die Messung der primären Spannung macht im Allgemeinen keine Schwierigkeiten, wenn ein Wechselspannungs-Voltmeter mit entsprechendem Messbereich zur Verfügung steht.

Die Messung der sekundären Hochvolt-Spannung - im Kilovolt Bereich - macht da schon mehr Schwierigkeiten und ist nur mit einem Hochvolt-

Tastkopf sinnvoll. Manchmal wird vorgeschlagen einen großen Vorwiderstand vor einem normalen Voltmeter zu schalten. Da meist dessen Innenwiderstand nicht bekannt ist, liegt bei einem hochohmigen Messwerk trotz hohem Vorwiderstand die gesamte Hochspannung am Messwerk an, da kein nennenswerter Strom einen Spannungsabfall am Vorwiderstand erzeugt. Meistens wird dabei das teure Messinstrument gehimmelt. Also Finger weg von diesem Vorschlag.

Bei sekundären Spannungen über 1000 V gelangen die handelsüblichen Voltmeter schon an ihre Grenzen. Dabei reichen Voltmeter mit einem Spannungsbereich von 500 V allemal aus, wenn man eine andere Messtechnik verwendet.

Man kann sich mit einer ohmschen Spannungsteilerkette bestehend aus mehreren, möglichst gleichen Einzelwiderständen behelfen. An dem letzten Widerstand gegen Masse wird dann mit einem hochohmigen Messgerät die Spannung gemessen und auf die tatsächliche Hochspannung hochgerechnet.

Beispiel 1:

Wir wollen die sekundäre Spannung eines Hochvolt -Netztrafos ermitteln.

Dazu benutzen wir eine Widerstandskette von 10 gleichen Widerständen mit einem Wert von $R = 100 \text{ K}\Omega$. An dem letzten Widerstand gegen Masse messen wir mit einem hochohmigen Messwerk eine Spannung von $U = 400 \text{ V}$.

Die gesuchte Spannung ist dem Betrage nach, da durch die Widerstände des Spannungsteilers der gleiche Strom fließt: $U_2 = 10 \times 400 \text{ V} = 4000 \text{ V}$.

Auch hier ist schon Vorsicht angebracht. Die 400 V Wechselspannung sind kein Spaß mehr. Also, immer isolierte Messspitzen verwenden.

Von großem Interesse ist weiterhin der Rückgang der sekundären Hochspannung unter Belastung. Dieser Spannungsabfall kann in einfacher Weise und ganz ungefährlich ermittelt werden. Dazu sind ein einfacher Stelltransformator, meist ein Spartransformator entsprechender Leistung und ein Amperemeter für 50 Hz erforderlich. Bei kurzgeschlossener Hochspannungswicklung wird die primäre Spannung mit dem Stelltransformator so weit erhöht, bis sekundärseitig der Nennstrom I_n fließt. Die am Stelltransformator eingestellte Spannung bzw. die mit einem Voltmeter gemessene primäre Spannung ist bis auf wenige Prozent die Spannung, die bei Belastung der Hochspannungswicklung mit der Nennlast als Spannungsabfall vorhanden ist. Das Verfahren

entspricht der Ermittlung des „Kapschen Dreiecks“ /2/.

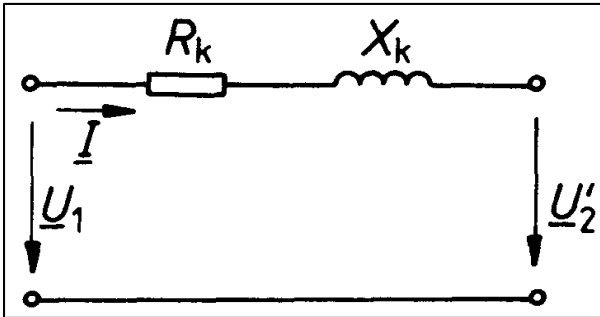


Bild 1: Vereinfachtes Ersatzbild eines Netztrafos

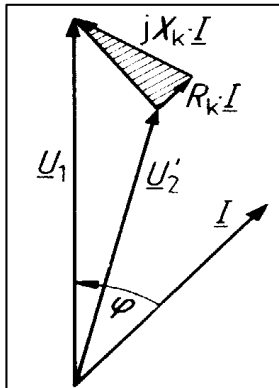


Bild 2: Zeigerdiagramm des vereinfachten Ersatzbildes mit „Kapschem Dreieck“, gestrichelt gezeichnet

Wie dem Zeigerdiagramm und dem vereinfachten Ersatzbild entnommen werden kann, ist bei $\underline{U}'_2 = 0$, \underline{U}_1 die Spannung, die über den Trafoersatzgrößen abfällt.

Beispiel 2:

Ein Netztransformator für eine Röhren-Endstufe habe eine sekundäre Hochspannungswicklung. Mit einem Stelltransformator wird bei Leerlauf der Sekundärseite eine Sekundärspannung von $U_2 = 200$ Volt eingestellt. Die primäre Spannung am Stelltransformator wird gemessen und beträgt z.B. $U_1 = 20$ V. Das Spannungsverhältnis ist $\ddot{u} = 200 : 20 = 10$. Mit diesem Verhältnis kann die tatsächliche Spannung bei Betrieb mit 230 V berechnet werden. Es ergibt sich aus einem einfachen Dreisatz die sekundäre Leerlaufspannung Spannung zu $U_2 = 10 * 230$ V = 2300 V.

Hat man für den einfachen Spannungstest keinen Stelltransformator zu Verfügung, kann auch der Transformator für die Heizung einer Röhre mit 5, 6.3, 10 oder 12.6 V oder eine beliebige kleine Spannung verwendet werden. Da der Test im Leerlauf verläuft, ist keine große Leistung erforderlich.

Wird z.B. die Heizspannung für eine GS35B $U = 5$ V verwendet, wäre die Ausgangsspannung $U_{2L} = 50$ V und das Verhältnis ebenfalls $\ddot{u} = 10$.

Da der Umspanner reziprok ist, kann die Ermittlung des Übersetzungsverhältnisses auch mit vertauschten Klemmen erfolgen. Man speist auf der Hochspannungsseite ein und misst die Leerlauf-Spannung am anderen Klemmenpaar – also an der eigentlichen Primärseite.

Beispiel 3:

Der in Beispiel 1 genannte Netztransformator habe nach der Größe des Kernes (400 VA) einen Nennstrom der sekundären Wicklung von $I_n = 0.2$ A.

Um den Spannungsabfall der sekundären Spannung bei Nennlast zu ermitteln, schließen wir die sekundäre Wicklung kurz und verbinden die Primärwicklung (230 V Seite) mit einem Stelltransformator. In die Sekundärwicklung schließen wir ein Wechselstrom-Amperemeter ein und erhöhen die Spannung am Stelltransformator von Null beginnend so lange, bis sekundär der Nennstrom von $I_n = 200$ mA fließt.

Bei einem Übersetzungsverhältnis 1:10 ist der primäre Strom ungefähr $I_1 = 10 * 200$ mA = 2.0 A, der natürlich auch mit einem Amperemeter gemessen werden kann.

Wir messen die Eingangsspannung zu 200 V. Diese primär gemessene Spannung ist der Spannungsabfall der sekundären Leerlaufspannung bei Nennlast $I_2 = 200$ mA. Die Scheinleistung beträgt $P_s = 200$ V * 2.0 A = 400 VA.

Die Leerlaufspannung $U_{20} = 2300$ V (bei $U_1 = 230$ V) verkleinert sich bei Nennlast durch die inneren Widerstände und Blindelemente auf $U_{2L} = 2300$ V – 200 V = 2100 V. Mit dem Formfaktor für sinusförmigen Größen ergibt sich unter Nennlast eine mittlere Gleichspannung von $U_{-} = 0.637 \sqrt{2} * U_2 = 0.9 * 2100$ V = 1891 V.

Wir haben mit dieser einfachen Methode - ganz ungefährlich - den Spannungsabfall auf der Hochspannungsseite und das Übersetzungsverhältnis des Netztransformators ermittelt.

Diese Messtechnik erlaubt es mit relativ niedrigen Spannungen zu arbeiten. Damit ist die Gefahr im Umgang mit hohen Spannungen reduziert aber nicht behoben!

Achtung:

Es soll nicht darüber hinweg täuschen, dass Spannungen oberhalb von 50 Volt nach VDE als gefährlich und lebensbedrohend eingestuft werden. Vorsichtiges handeln ist immer angebracht. Also OM's, isolierte Messspitzen verwenden.

vy 73, DL3LH, Walter

wa-schau@t-online.de
www.heide-holst.de



Literatur:

- /1/ „Theoretische Grundlagen von Leistungsendstufen, Teil I“,
- /2/ „Stromwandler für HF“
- /3/ „Messungen an Leistungsstufen“

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.