

Der Trafo – das unbekannte Wesen

Einfache Methoden zur Abschätzung der Transformatorenleistung

von Dr. phil. nat. Hansjörg Friedli

Aufgrund einer Leserfrage habe ich mir überlegt, wie man mit leicht zugänglichen Mitteln die Leistung eines Transformators abschätzen könnte. Schliesslich ergaben sich daraus drei Verfahren (weiter unten ist eine vierte beschrieben), für die man bloss einen Meterstab, eine Küchenwaage und ein Ohmmeter benötigt. Die Verfahren habe ich anhand von Herstellerangaben aus Katalogen, mit einer Tabelle aus [1] und an meinem Lagerbestand an (angeschriebenen) Trafos getestet. Die Verfahren sind unterschiedlich genau; im Mittel ergibt sich ein Fehler zwischen 6% und 12%. Bei den angegebenen Formeln ist in Klammer die Fehlerangabe angegeben. Jedenfalls sind diese für eine Abschätzung der Leistung befriedigend gering; Trafoleistungen werden ja häufig nur überschlagsmässig ermittelt und sind im übrigen auch nicht die wichtigste Kenngrösse!

Verfahren 1: Man wägt den Trafo, sei es nun einer, bei dem man die Bleche sieht, oder ein vergossener Typ. Aus der Masse m in kg lässt sich mittels

$$P = 51.5 \cdot m - 4 \quad (16\%)$$

die Leistung abschätzen. Für Ringkerntrafos ist die folgende Formel besser:

$$P = 130 \cdot m - 23 \quad (RKT) \quad (7\%)$$

Verfahren 2: Man misst die drei äusseren Masse Breite, Höhe und Tiefe des normalen Trafos in cm, bestimmt daraus das Volumen $V = B \cdot H \cdot T$ in cm^3 und erhält eine Abschätzung der Leistung mittels

$$P = 0.011 \cdot V^{1.5} = 0.011 \cdot (B \cdot H \cdot T)^{1.5} \quad (12\%)$$

Die Bestimmung des äusseren Durchmessers d eines Ringkerntrafos in cm führt via

$$P = 0.018 \cdot d^{3.84} \quad (RKT) \quad (7\%)$$

auf eine recht gute Abschätzung der Leistung.

Verfahren 3: Man misst mit einem Ohmmeter den (Draht-)Widerstand R_p der Primärspule, die für 230V ausgelegt sein muss. Zur Kontrolle werden auch alle anderen Wicklungswiderstände ausgemessen. Handelt es sich beim Testobjekt nicht um einen Röhrentrafo, so sind die Sekundärspulenwiderstände sehr viel kleiner. Bei Röhrentrafos hat es neben einer oder zwei Wicklungen für die Heizung(en) eine für die hohe Anodenspannung, deren Spulenwiderstand üblicherweise höher ist als der Primärspule. Bei zwei getrennten 115V-Wicklungen misst man beide (gleich grossen) Spulenwiderstände, deren Summe R_p entspricht. Aus der Beziehung

$$P = \frac{1240}{R_p^{0.82}} \quad (8\%) \quad \text{für normale Trafos bzw.} \quad P = \frac{1230}{R_p^{0.85}} \quad (RKT) \quad (6\%)$$

für Ringkerntrafos (RKT) ermittelt man die gesuchte Leistung.

Wer nicht sicher ist, ob der Trafo aus einer einzigen 115V-Wicklung besteht, der soll Verfahren 1 und/oder Verfahren 2 als Kontrolle anwenden, eine Kontrolle, die ohnehin zu empfehlen ist. Ergibt Verfahren 3 eine um etwa den Faktor 4 zu grosse Leistung, hat man einen 115V-Trafo vor sich. Eine Vervierfachung des gemessenen Widerstands sollte dann eine zu Methode 1 und 2 vergleichbare Leistung ergeben.

Es empfiehlt sich, vor der Spulenmessung die Prüfspitzen des Ohmmeters kurzschliessen und die Anzeige abzulesen, dieser Offset sei z.B. 0.2 Ohm. Wenn die Spulenmessung 7.3 Ohm anzeigt, dann ist für R_p in den Formeln $(7.3 - 0.2) \text{ Ohm} = 7.1 \text{ Ohm}$ einzusetzen.

Alte Trafo sind auf 220V bzw. 110V ausgelegt. Sind solche Trafos vom Hersteller seinerzeit knapp dimensioniert worden und betreibt man sie nun mit 230V bzw. 115V, so werden sie (auch ohne Last) deutlich warm, weil der Eisenkern in Sättigung geht. Also erst einmal unter

Kontrolle laufen lassen und Temperatur beobachten. Nur wenn der Trafo sich nicht übermässig erwärmt, lohnt sich eine Wiederverwendung. Wegen $P=U \cdot I=U^2/R$ ist die via R_p abgeschätzte Leistung um 10% höher als die wahre Leistung des Trafos, nämlich etwa um den Faktor $(230/220)^2=1.09$.

Bemerkung zur Genauigkeit: Für einige neue vergossene Trafos (era, Schaffer, Dagnall) stimmen die Abschätzungen bei allen drei Methoden recht gut. Dies gilt auch für neue Sedlmayer-Ringkerntrafos. Bei Tests an alten Trafos habe ich bei Verfahren 2 und 3 zum Teil zu hohe Werte für P ermittelt. Man darf die Volumenberechnung wohl nicht zu grosszügig machen (besser: $\text{Volumen}=\text{Mantellänge} \cdot \text{Manteldicke} \cdot \text{Spulendicke}$). Zu tiefe Spulenwiderstände deuten auf grosszügige Bemessung der Drahtdicke hin, oder aber die Primärwicklung ist auf der ganzen Wickellänge innen (die Sekundärspulen aussen) angebracht, was pro Windung weniger Drahtlänge benötigt und damit den Drahtwiderstand heruntersetzt.

Die Anwendung der Formeln ist mit einem Taschenrechner kein Problem. Zwei Beispiele seien hier der Vollständigkeit halber durchgeführt:

Ringkerntrafo	Messungen	Berechnete Leistung	aus Diagramm	Bemerkungen
Durchmesser	7cm	$0.018 \cdot 7^{3.84} = 32$	30	
Masse	0.45kg	$130 \cdot 0.45 - 23 = 36$	33	
R_p	$38 \cdot 2 = 76$ Ohm	$\frac{1230}{76^{0.85}} = 31$	30	Da 2*115V
Geschätzte Leistung(VA)		33	31	Sollwert: 30VA

Mantelkerntrafo	Messungen	Berechnete Leistung	aus Diagramm	Bemerkungen
Volumen	384	$0.011 \cdot 384^{1.5} = 83$	80	
Masse	1.255	$51.5 \cdot 1.255 - 4 = 61$	60	
R_p (230V)	21	$\frac{1240}{21^{0.82}} = 102$	100	Draht dicker als nötig?
Geschätzte Leistung(VA)		75	80	Sollwert:75VA

Die drei Verfahren habe ich an 21 alten Trafos getestet. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. (Einige Messungen sind fett gedruckt; hier habe ich Werte „nachgebessert“, die Begründung findet man unter den Bemerkungen)

Tests an alten MKT-Trafos ohne Leistungsangaben

Nr.	Messungen					Berechnungen						Bemerkungen
	m	l	b	h	rp,korr	vol	p(m)	p(vol)	p(rp)	Mittelwert	Fehler(%)	
1	0.1	2.5	3.5	2.9	2770	25	1.2	1.4	1.9	1.5	25	Kammern 2:1 getrennt
2	0.13	3.8	3.2	2.6	2230	32	2.7	2.0	2.2	2.3	16	Adapter
3	0.175	5.5	4.5	3.5		70	5.0	6.4		5.7	18	Adapter, r=3.57, vol=87 zu gross!
4	0.21	4.3	4.3	3	1089	55	6.8	4.5	4.0	5.1	29	Kammern getrennt
5	0.23	6	5	3.9	692	90	7.8	9.4	5.8	7.7	23	Adapter, vol=117 zu gross!
6	0.18	4.1	3.3	3.7	1022	50	5.3	3.9	4.2	4.5	16	K. getrennt, m samt Platine=0.255
7	0.43	5	4	5.5	210	110	18.1	12.7	15.5	15.4	18	
8	0.48	6	5	4	137.6	120	20.7	14.5	21.9	19.0	21	
9	0.485	5.8	4.8	4.5	93.2	125	21.0	15.4	30.1	22.2	33	
10	0.62	5.6	5.6	5.8	153.6	182	27.9	27.0	20.0	25.0	17	
11	0.645	6.8	5.6	4.5	89	171	29.2	24.7	31.3	28.4	12	rp=41+45, dh 2 Einzelwicklungen
12	0.66	7	6	3.4	106.1	143	30.0	18.8	27.1	25.3	23	
13	0.6	5.8	5	5	102.8	145	26.9	19.2	27.8	24.6	19	Masse samt Platine=0.855
14	0.86	6	5.5	6.5	88	215	40.3	34.6	31.5	35.5	13	
15	0.92	7.2	5	5.5	90.4	198	43.4	30.6	30.9	35.0	21	rp=22.6, dh 110V-Trafo!
16	1.06	6.5	6.5	6	59.8	254	50.6	44.4	43.3	46.1	9	
17	1.545	8.5	8.5	5	21.1	361	75.6	75.5	101.7	84.3	18	
18	1.78	8.5	5.8	7.2	24.4	355	87.7	73.6	90.3	83.8	11	rp=6.1, dh 110V-Trafo
19	1.85	8.5	9	6	24.7	459	91.3	108.2	89.4	96.3	11	
20	2.975	10.5	8	10.5	8.4	882	149.2	288.1	216.5	218.0	32	
21	15	11	14	14		2156	768.5	1101.2		934.8	25	

19% =mittl. Fehler Mittelwert

(Da der Fehler einer einzelnen Methode in den Fehler der Mittelwertberechnung eingeht, ist der Fehler der Einzelmethode kleiner, dh. $19/\sqrt{3} = 11\%$, was mit den Fehlern aus der Regressionsrechnung etwa übereinstimmt.)

Die Leistung eines Transformators lässt sich auch durch die Kernquerschnittsfläche abschätzen. Aus der sehr lesenswerten Homepage <http://www.jogis-roehrenbude.de/Transformator.htm> habe ich für MKT's Leistung P(in VA) und Kernquerschnittsfläche A (in cm²) herausgelesen und folgende Abschätzung bestimmt:

$$P = 0.3 \cdot A^2 + 5.6 \cdot A - 11 \quad (9\%)$$

Diese Abschätzung ist für E-I-Schnitte und M-Schnitte brauchbar.

Ergänzung: Bestimmung der sekundären Leerlauf- und Nennspannungen

Sind alle Anschlussdrähte einzelnen Wicklungen zugeordnet, schliesst man an die als 230V-Wicklung erkannte Spule eine Wechselspannung U_{PT} von einigen Volt an und misst an einer Sekundärwicklung die Spannung U_{ST} . Wenn die Zuordnung in Ordnung ist, so fällt U_{ST} sehr viel kleiner aus, nur bei Röhrentrafos wird die Anodenspannungswicklung (die dann meist auch eine Mittelanzapfung aufweist) eine höhere Spannung als U_{PT} anzeigen. Aus

$$U_{SL} = 230V \cdot \frac{U_{ST}}{U_{PT}}$$

ergibt sich die Leerlaufspannung U_{SL} . So verfährt man mit jeder weiteren Wicklung. Sicherheitshalber dreht man den Spiess um: es wird an einer Sekundärwicklung eine der errechneten Leerlaufspannung entsprechende Wechselspannung angelegt und überprüft, ob an der Primärspule tatsächlich 230V anliegen.

Achtung: diese Spannung ist bereits lebensgefährlich!

Also: zuerst Voltmeter an die Primärspule anschliessen, isolieren, dann erst die Spannungsquelle an die Sekundärwicklung anschliessen, eine Hand in den Hosensack. Die Leerlaufspannung ist immer höher als die eigentliche Nennspannung (zB. 16.3V statt 15V). Der sogenannte Verlustfaktor f berücksichtigt alle Verluste im Trafo und ist um so kleiner, je grösser die Trafoleistung ist. Aus einer Tabelle aus [1] habe ich eine Formel abgeleitet, mit der man f abschätzen kann:

$$f = \frac{0.6}{P^{0.43}} + 1 \quad (4\%) \quad \text{bzw.} \quad f = \frac{0.56}{P^{0.36}} + 1 \quad (RKT) \quad (4\%)$$

Nun kann aus U_{SL} die Nennspannung U_N ermittelt werden:

$$U_N = \frac{U_{SL}}{f}$$

Besteht die Sekundärspule nur aus einer Wicklung, so ergibt sich aus Leistung und Nennspannung der Nennstrom zu

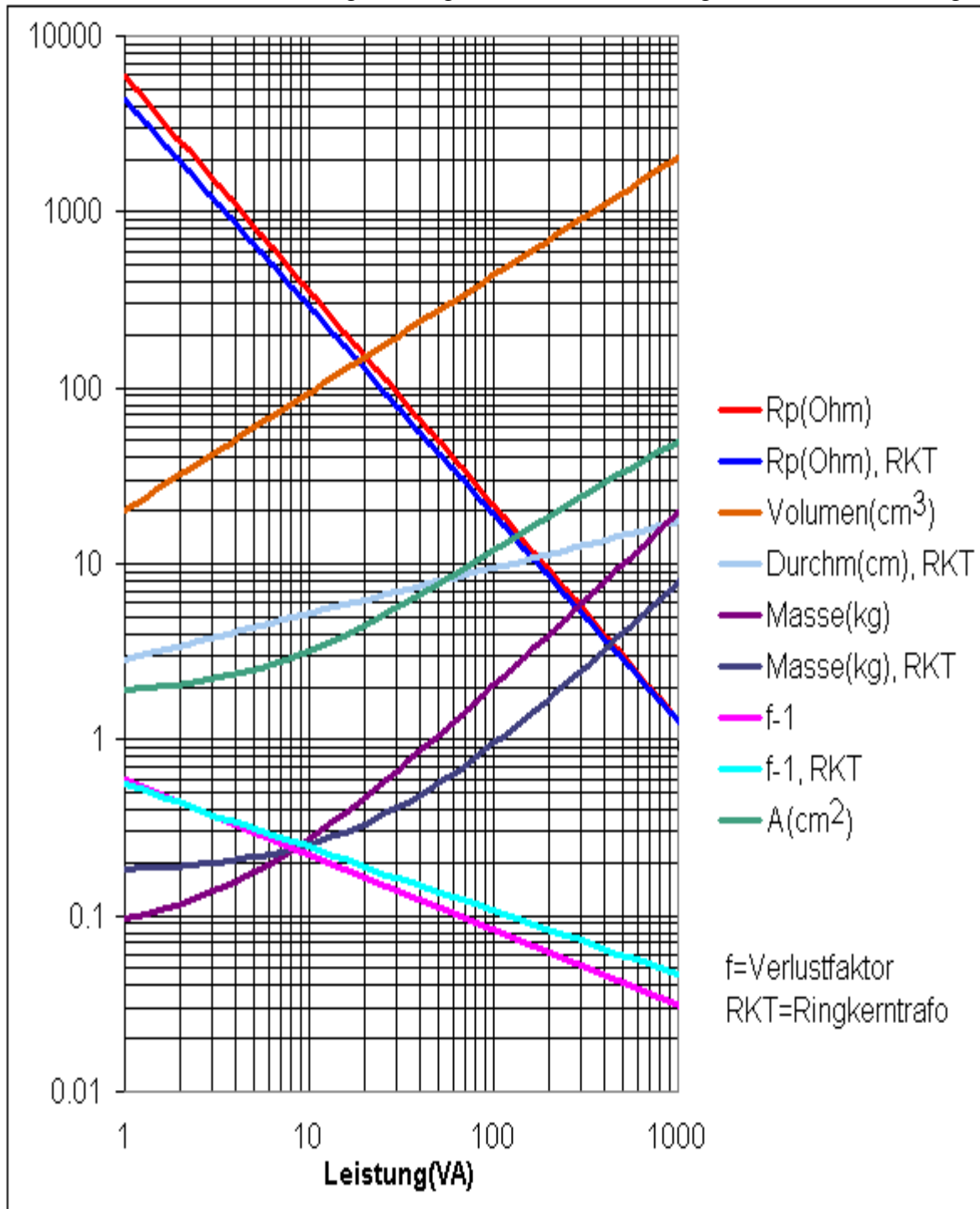
$$I_N = \frac{P}{U_N}$$

Aus einer Tabelle nach [1] habe ich eine Funktion abgeleitet, mit der aus der Drahtdicke d in mm die Nennstromstärke I_N in A abgeschätzt werden kann:

$$I_N = \left(\frac{d}{0.00048 \cdot P + 0.62} \right)^2 \cong \left(\frac{d}{0.65} \right)^2 \quad \text{bzw.} \quad I_N = \left(\frac{d}{0.43 \cdot P^{0.07}} \right)^2 \cong \left(\frac{d}{0.56} \right)^2 \quad (RKT)$$

Bei mehreren Sekundärwicklungen ist abzuklären, wie sich diese die Gesamtleistung aufteilen. Hier schätzt man die Nennströme der einzelnen Wicklungen aus dem Drahtdurchmesser ab und überprüft, ob die Summe der Einzelleistungen etwa der Gesamtleistung entspricht. Andernfalls ist man auf Vermutungen angewiesen.

Mit Hilfe des unten abgebildeten Nomogramms ist die Trafoleistung aus Spulenwiderstand, Volumen, Durchmesser, Masse direkt ablesbar. Wie die Querschnittsfläche und der Verlustfaktor von der Leistung abhängen, ist der Vollständigkeit halber auch aufgeführt.



Literatur:

[1] U. Tietsche, Ch. Schenk, **Halbleiter-Schaltungstechnik**, Springer-Verlag, 1989, 9. Auflage, S. 534 ff

Anregungen und Kommentare an H. Friedli, hafree@gmx.net