

6. DER AUSGANGSÜBERTRAGER

Dieses Heft kann nicht die vollständige Anleitung zur Berechnung eines Ausgangsübertragers enthalten. Die Problematik ist sehr kompliziert und setzt einige Erfahrung voraus. Wir begnügen uns also damit, dem Leser zu helfen, über die Verwendungsfähigkeit eines Übertragers zu entscheiden bzw. die wichtigsten technischen Daten eines zu berechnenden Übertragers zusammenzustellen.

Jede Endröhre gibt (entsprechend der Röhrentabelle) eine bestimmte Niederfrequenzleistung an einen bestimmten Außenwiderstand ab. Diese Leistung ist das Produkt der Anodengleichspannung überlagerten Anodenwechselspannung und des dem Anodengleichstrom überlagerten Anodenwechselstromes. Der in den Röhrentabellen angegebene R_a (bzw. $R_{a/a}$) ist ein **W e c h s e l s t r o m** widerstand, für Gleichstrom soll der Übertrager einen möglichst geringen Widerstand besitzen.

Im allgemeinen wird die Niederfrequenzleistung Lautsprechern zugeführt. Diese haben relativ niederohmige Schwingspulen, die nicht von Gleichstrom durchflossen werden sollen.

Der Ausgangsübertrager transformiert den Widerstand der Lautsprecherschwingspule auf den vom Röhrenhersteller angegebenen Wert des R_a und bewirkt gleichzeitig die gleichstrommäßige (galvanische) Trennung des Lautsprechers vom Anodenstromkreis.

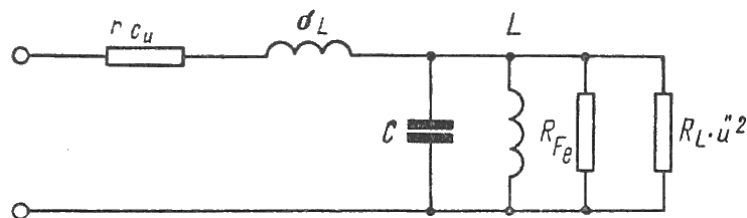


Bild 62. Ersatzschaltbild des Ausgangsübertragers, von der Röhre aus gesehen

Bild 62 macht uns die elektrischen Größen des Ausgangsübertragers anschaulich. In ihm ist (vereinfacht) dargestellt, wie die Röhre die Primärseite des (belasteten) Ausgangsübertragers „sieht“.

R_a ist der transformierte Lautsprecherwiderstand, der mit dem empfohlenen Wert des Röhrenherstellers übereinstimmen muß. Er berechnet sich (bei Vernachlässigung des Kupferwiderstandes r_{cu}) mit dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses des Übertragers, d. h. dem Verhältnis der Windungszahlen auf Primär- und Sekundärseite.

r_{cu} ist der Kupfer- oder Wicklungswiderstand, der sich aus Drahtlänge und -durchmesser ergibt. C stellt die Wicklungskapazität dar, die nur schwer rechnerisch zu bestimmen ist. Das gleiche gilt auch für die Streuinduktivität σL , die aus der mangelhaften Verkopplung der Primär- und Sekundärwicklung resultiert. Durch geeignete Wicklung gelingt es, σL beträchtlich zu senken (siehe Anhang). R_{Fe} stellt den sogenannten Eisenverlustwiderstand dar, man kann ihn für viele Berechnungen vernachlässigen. $R_L \cdot \ddot{u}^2$ ist schließlich der mit dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses multiplizierte „Lastwiderstand“ des Verstärkers, also der Schwingspulenwiderstand o. ä.

Beispiel: Für die Röhre EL 84 wird ein R_a von 5,5 k Ω empfohlen. Der Lautsprecher hat einen Schwingspulenwiderstand von 6 Ω . Wie groß muß das Übersetzungsverhältnis des Ausgangsübertragers sein?

Lösung:

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{R_a}{R_L}} \approx \sqrt{\frac{5500}{6}} = 30,3$$

Diese Rechnung ist nicht exakt, weil der Übertrager eine Kupferwicklung mit einem Ohmschen Widerstand hat (r_{Cu} im Bild). Die an ihr entstehende Sprechleistung geht dem Lautsprecher „verloren“, d. h. muß bei der Berechnung durch reichliche Bemessung des Übertragers berücksichtigt werden.

Während die Anpassung eines Verstärkerausgangs an eine Schwingspule bekannten Scheinwiderstandes relativ einfach ist, gibt es oft Schwierigkeiten bei der Anpassung eines Kraftverstärkers an den Modulationskreis eines zu modulierenden Senders. In diesem Zusammenhang interessiert lediglich die Anodenmodulation der Senderendstufe, weil diese Modulationsart den größten Wirkungsgrad bei A_3 -Betrieb und einen sehr großen maximalen Modulationsgrad (bis zu 100 Prozent) ergibt.

Die Primärseite des Modulationstransformators ist, wie üblich, durch den optimalen R_a der NF-Endstufe vorgeschrieben, der sekundäre Anpaßwiderstand berechnet sich

$$\frac{\text{Anodenspannung der Senderöhre}}{\text{Anodenstrom der Senderöhre}}$$

Die NF-Leistung zur Durchmodulation des Trägers ist

$$\frac{\text{Anodenspannung} \cdot \text{Anodenstrom der Senderöhre}}{2}$$

Beispiel: Ein Sender mit EL 81 in der Endstufe nehme 60 mA bei 300 V aus dem Netzteil auf. Wie ist sein Modulationstransformator (bei Anodenmodulation) anzupassen, und wie groß ist der Modulationsverstärker auszulegen?

Lösung: Der Modulationsverstärker muß $\frac{300 \cdot 0,06}{2} = 9 \text{ W}$

mit Sicherheit abgeben können. Sein Anpasswiderstand ist

$$\frac{300}{0,06} = 5000 \Omega$$

6.1 Die Primärinduktivität L

Zur Dimensionierung des Ausgangsübertragers ist die Primärinduktivität L besonders wichtig. Sie muß so groß sein, daß ihr induktiver Blindwiderstand noch keinen fühlbaren Nebenschluß für die Parallelschaltung von R_i und dem Außenwiderstand R_a bildet. Der induktive Widerstand ist bei der tiefsten Übertragungsfrequenz am kleinsten, es genügt deshalb, die Berechnung bei dieser Frequenz durchzuführen.

Bild 63 zeigt den Spannungsabfall bei der tiefsten Übertragungsfrequenz in Abhängigkeit vom Verhältnis

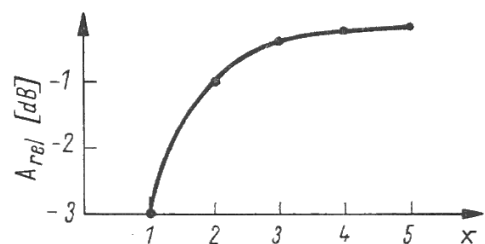


Bild 63. Einfluß X (siehe Text) auf den Abfall bei tiefen Frequenzen (gilt nur für nicht gegengekoppelte Endstufen)

$x = \frac{2 \pi f_u * L}{R_p}$. Da eine größere Induktivität mehr Windungszahlen erfordert, begnügt man

sich mit $x = 1$ bis 3. Durch die Spannungsgegenkopplung der Endstufe wird ja R_i verkleinert, d. h., der Tiefenabfall ist wesentlich kleiner, als sich aus Bild 63 ergibt. Der erste Schritt ist also die Berechnung von L aus den Werten R_a , R_i und f_u .

Beispiel: Wie groß muß die Induktivität des Ausgangsübertragers für eine EL 84 für $x = 3$ sein? Es sind $R_a = 5,5 \text{ k}\Omega$, $R_i = 40 \text{ k}\Omega$ (lt. Röhrentabelle), $f_u = 30 \text{ Hz}$. Damit ist

$$R_p = R_a \cdot R_i / (R_a + R_i) = 5,5 \cdot 40 / (5,5 + 40) = 4,85 \text{ k}\Omega$$

Für die $x = 3$ berechnet sich die Induktivität L wie folgt:

$$L = 3 R_p / 2\pi f_u = 4,85 \cdot 10^3 \cdot 3 / 2 \cdot 3,14 \cdot 30 = 77,2 \text{ H}$$

Wichtig ist ferner die Vormagnetisierung des Übertragers durch den Anodenruhestrom (Gleichstrom!). Sie setzt die Induktivität des Übertragers herab und führt zu Verzerrungen, wenn man nicht einen Luftspalt in den Trafoblechen vorsieht (Bild 64). Die einzelnen Kernbleche werden dann „gleichsinnig“ geschichtet, d. h. so, daß der Luftspalt durch den gesamten Kern hindurchgeht. Übertrager ohne Luftspalt sind im allgemeinen für Eintakt-Ausgangsstufen unbrauchbar.

Anders ist es mit der Gegentaktendstufe. Beide Teilwicklungen (für jede Anode) sind gegensinnig gewickelt und vom gleichen Anodenruhestrom durchflossen. Dadurch heben sich die Vormagnetisierungen gegeneinander auf. Gegentakt-Ausgangsübertrager können deshalb ohne Luftspalt ausgeführt werden. Die einzelnen Bleche – meist ohne Luftspalt – werden hier meist „wechselsinnig“ gestopft.

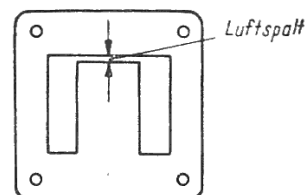


Bild 64. M-Trafoblech mit Luftspalt

Daß der Draht für die anodenseitige Wicklung einen ausreichenden Querschnitt besitzen muß, um den durch ihn fließenden Strom ohne zulässige Erwärmung auszuhalten, ist in beiden Fällen erforderlich.

Im Anhang sind einige Wickelvorschriften und -hinweise für einfache Übertrager angegeben. Es ist jedoch zu empfehlen, das Wickeln nur dann selbst durchzuführen, wenn man die erforderlichen Einrichtungen und die notwendige Erfahrung besitzt, da ein schlecht gewickelter Übertrager das einwandfreie Funktionieren des Verstärkers in Frage stellt.

6.2 Einige Hinweise für das Wickeln

Sehr gut als „Wickelmaschine“ eignet sich eine Handbohrmaschine, die waagrecht mit einer Schraubzwinde auf dem Tisch befestigt wird. Als „Windungszähler“ eignet sich ein Tourenzähler mit mindestens drei Stellen. Der Spulenkörper wird auf einem in die Bohrmaschine (statt des Bohrers) eingespannten Bolzen zwischen zwei Holzplättchen befestigt. Die Drahtrolle sitzt freilaufend auf einer Achse, die parallel zum Spulenkörper in etwa 20 bis 40 cm Abstand befestigt ist.¹⁾

Gewickelt wird lagenweise, d. h. Windung neben Windung. Das ist unbedingt erforderlich, weil bei einer „wilden“ Wicklung die Spannung zwischen zwei benachbarten Windungen zu groß werden kann (Durchschlag), außerdem nehmen Wickelkapazitäten und Streuinduktivität unkontrollierbar zu.

Je nach Wickelvorschrift wird alle 1 bis 3 Lagen eine Lagenisolation vorgesehen, d. h. eine Lage Lackpapier von angegebener Stärke. Das Papier muß möglichst glatt auf dem Wickel liegen, größere Faltenbildungen sind zu vermeiden. Die Überlappung des Papiers (bei einer Lage etwa 20 mm) soll sich nicht an der Stelle des Spulenkörpers befinden, über der später das Joch des Übertragerkernes liegt, da der Wickel sonst dort zu dick wird.

Sinngemäß gilt das gleiche für die Wicklungsisolation, die zwischen zwei Wicklungen oder Teilwicklungen liegt. Anfang und Ende von Wicklungen sind möglichst verteilt an beiden Seiten des Wickelkörpers herauszuführen, um ein Auftragen an einer Spulenseite zu vermeiden. Dünne Wicklungsdrähte (kleiner als etwa 0,25 mm) sind an der Einführung zu verstärken, d. h., es wird ein dickerer Draht für Wicklungsanfang und -ende angelötet, die Verbindungsstellen sind durch Rüschröhr zu isolieren.

Auf den fertigen Wickel kommt schließlich noch eine Deckisolation aus Lackpapier (besser Ölleinen), die die Wicklung gegen mechanische Beschädigungen schützt.

1) Siehe auch Band 9 der Broschürenreihe „Der praktische Funkamateurl“: „Praktisches Radiobasteln II“ von K.-H. Schubert.

Besteht die letzte Wicklung aus dickem Draht (Sekundärwicklung), so kann man die Deckisolation bei Platzmangel fortlassen. Zwischen Wickel und Blechsteg ist dann ein Stück Karton zu klemmen, um das Durchscheuern bzw. einen Kurzschluß mit dem Kern zu verhindern.

Im Anhang sind die Daten der wichtigsten Übertragerkerne angegeben.

Es sei nochmals ausdrücklich betont, daß diese spärlichen Hinweise nicht die eigene Erfahrung ersetzen können. Wer noch nie einen Übertrager gewickelt hat, lasse sich entweder von einem erfahrenen Amateur beraten oder beauftrage — soweit möglich — einen Betrieb mit der Aufgabe. Allerdings sind derartige Einzelanfertigungen ziemlich teuer!

In sehr vielen Fällen genügt ein handelsüblicher Übertragertyp den Anforderungen. So weist der im Einzelhandel erhältliche Neumann-Übertrager A 55/U folgende Daten auf:

primärseitige Anschlüsse für $R_a = 3,5 — 4,5 — 7 \text{ k}\Omega$,

sekundärseitige Anschlüsse für $R_L = 2,3 — 4 — 15 \Omega$.

Durch den Einzelhandel bzw. über die GST sind auch Übertrager (evtl. aus älteren Rundfunkgeräten) erhältlich. Über die Geräteherstellerwerke kann man die Daten dieser Übertrager erfahren, notfalls gibt bereits das Empfängerschaltbild einigen Aufschluß. Wichtig ist vor allem die Kenntnis der Induktivität und des Übersetzungsverhältnisses.
