

10.5.5 Das Impedanz-Paradoxon

Der Ausgangsübertrager passt den niederohmigen Lautsprecherwiderstand (z.B. $8\ \Omega$) an die höherohmige Röhrenschtaltung an. Bei Gegentaktschaltungen hat dieser Übertrager *zwei* in Reihe liegende Primärwicklungen – wie groß ist ihr Eingangswiderstand? Nimmt man als Beispiel für die Windungsverhältnisse $10:10:1$, und $8\ \Omega$ als sekundäre Last, so beträgt (bei idealem Übertrager) der Eingangswiderstand der gesamten Primärwicklung $R_{aa} = 20^2 \cdot 8\ \Omega = R_{aa} = 3200\ \Omega$. Ist dann der Eingangswiderstand einer Wicklung halb so groß, d.h. $1600\ \Omega$? Beim Gegentakt-A-Betrieb ist das zu vermuten, denn hier fließt durch die beiden Primärwicklungen derselbe Wechselstrom (Kap. 10.5.2). Aber: Rechnet man die Impedanztransformation nur für die halbe Primärwicklung, erhält man $R_a = 10^2 \cdot 8\ \Omega = 800\ \Omega$. Was stimmt nun?

Der Gegentakt-Übertrager ist ein **Dreitor**, d.h. ein System mit drei Polpaaren. Die beiden primären Tore liegen in Reihe, sodass insgesamt nur 5 Anschlusspole in Erscheinung treten. Um die Eingangsimpedanz eines Tores zu berechnen, müssen die beiden anderen Tore als Last berücksichtigt werden. Schließt man nur *einen* $8\text{-}\Omega$ -Lastwiderstand an die Sekundärwicklung an und lässt eine Primärwicklung unbeschaltet, misst man an der verbleibenden anderen Primärwicklung $800\ \Omega$, denn nun arbeitet der Übertrager als Zweitor (= Vierpol). Beschaltet man aber – wie beim Gegentakt-A-Betrieb – *beide* Primärwicklungen, so "sieht" jede Primärwicklung *zwei* Lastimpedanzen: Die sekundäre Last, und die andere Primärwicklung.

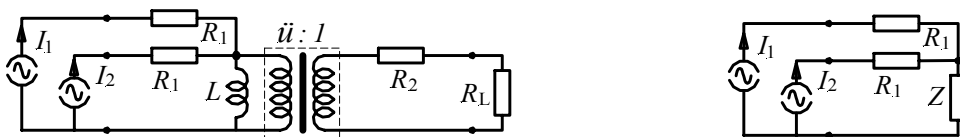


Abb. 10.5.14: Der fest gekoppelte Ausgangsübertrager als Dreitor. Rechtes Bild: Vereinfachte Schaltung.

In **Abb. 10.5.14** ist ein vereinfachtes Übertrager-Ersatzschaltbild angegeben. R_1 bzw. R_2 sind die Wicklungswiderstände, R_L ist der sekundäre Lastwiderstand, L ist die Hauptinduktivität. Im mittleren Frequenzbereich kann die Wirkung der Hauptinduktivität vernachlässigt werden, die sekundären Widerstände lassen sich mit u^2 in den Ersatzwiderstand Z transformieren. Für die im Bild rechts angegebene Ersatzschaltung kann dann ohne großen Aufwand der Eingangswiderstand berechnet werden:

$$Z_1 = R_1 + (1 + I_2 / I_1) \cdot Z \qquad Z_2 = R_1 + (1 + I_1 / I_2) \cdot Z$$

Dass für $I_2 = -I_1$ der Eingangswiderstand von Z (bzw. von R_L) unabhängig wird, ist offensichtlich, denn hierbei wird die Spannung an Z zu null. Bei der Gegentakt-A-Endstufe sind die beiden Ströme aber gleichphasig (und idealerweise auch betragsgleich), wodurch sich der Eingangswiderstand vergrößert. Vernachlässigt man R_1 , verdoppelt sich durch Beschaltung der zweiten Primärwicklung der Eingangswiderstand.

Als Zahlenwert zum obigen **Beispiel**:

Bei der **Gegentakt-A-Endstufe** ist der Eingangswiderstand einer (halben) Primärwicklung halb so groß wie der Eingangswiderstand R_{aa} der gesamten Primärwicklung, also $1600\ \Omega$. Bei der **Gegentakt-B-Endstufe** arbeitet hingegen immer nur eine Primärwicklung: Wenn die eine Röhre leitet, sperrt die andere. Deshalb beträgt in diesem Fall der Eingangswiderstand einer (halben) Primärwicklung nur ein Viertel von R_{aa} , also $800\ \Omega$. Der Widerstand R_{aa} tritt bei der Gegentakt-B-Endstufe physikalisch nicht in Erscheinung, er ist ein reiner Rechenwert.