

10.6.5 Vergleichsmessungen

Die Regensburger Hochschule bietet seit 2012 ein Röhrenverstärker-Praktikum an, für das ein modularer Gitarrenverstärker entwickelt wurde. Seine 15-W-Endstufe bietet die Möglichkeit, bis zu 10 verschiedene Ausgangsübertrager per Schalter auszuwählen, bei der 50-W-Endstufe besteht Wahlmöglichkeit unter 13 Ausgangsübertragern. Zum Einsatz kommen:

	Übertrager	Z _{aa} / kΩ	R _{aa=} / Ω	R _{8Ω=} / Ω	Kern	Verstärker	€
1	Conrad ELA 10W	7,9	280	0,70	EI-48/16	Ela	6,90
2	Conrad ELA 20 W	7,0	180	0,33	EI-48/24	Ela	9,50
3	Hammond-1750E	8,8	300	0,45	EI-57/19	Deluxe Tweed	34,70
4	TAD-1839	9,1	560	0,70	EI-66/22	Deluxe Tweed	86,20
5	TAD-125A1A	6,9	330	0,44	EI-66/22	Deluxe Reverb	69,00
6	Hammond-1760H	5,9	400	0,83	EI-66/22	Deluxe 'upgrade'	54,39
7	Hammond-1750J	8,2	180	0,35	EI-75/24	Tremolux	38,65
8	TAD-MJTM18WA	9,1	670	0,60	EI-75/24	Marshall 18Watt	79,00
9	Hammond-1750Y	6,8	300	0,50	EI-75/38	VOX AC15	77,30
10	NSC 401318-T	7,1	196	0,50	EI-66/22	z.B. Fender	17,80
11	TT-SLO50	4,5	100	0,43	EI-96/40	Soldano 50W	88,90
12	Hammond-1760L	4,1	100	0,41	EI-96/31	Bassman 'upgrade'	82,30
13	Marshall JTM-50	3,5	86	0,54	EI-96/40	Marshall 50W	86,56
14	Hammond-1750N	3,5	80	0,51	EI-96/40	JCM800	77,50
15	OTH M330-50A	3,5	53	0,17	EI-96/36	Praktikum OTH	--
16	Hammond-1750V	4,2	140	0,70	EI-96/40	VOX AC30	86,50
17	Hammond-1750Q	7,9	140	0,61	EI-96/40	JTM-45	92,25
18	Marshall JTM-45	7,8	155	0,42	EI-96/40	JTM-45	100,30
19	IG-Wickeltechnik	8,2	218	0,49	EI-96/40	JTM-45	106,20
20	Toroid-Netztrafo	3,5	60	0,21	∅81x35	Netztrafo	15,--
21	TAD-MJTM45A	8,1	360	0,49	EI-96/40	JTM-45	129,50
22	TAD-018343	4,7	100	0,20	EI-96/34	Super Reverb	110,00
23	TAD-M50A	3,7	150	0,48	EI-96/40	Marshall 50W	89,90

Die 'kleinen' Übertrager (erste Gruppe) arbeiten wahlweise an 2xEL84 oder 2x6V6-GT, die 'großen' an 2xEL34 oder 2x6L6-GC oder 2xKT66. Die über der gesamten Primärwicklung auftretende **optimale Lastimpedanz** (Anode-Anode, Z_{aa}) sollte sowohl bei der 2xEL84- als auch bei der 2x6V6-GT-Bestückung **8 kΩ** betragen, sofern man leicht zugängliche Datenblattangaben zugrunde legt. Forscht man genauer nach, findet man z.B. bei der 6V6-GT als Randbedingung: Bei 285 V Anoden- und Schirmgitterspannung. Nun wurde aber der Deluxe schon in seiner Anfangszeit mit 350 V betrieben, später dann sogar mit 420 V. Diese leichte Überlastung ☺ hat ihn nicht umgebracht (die Datenblätter erlauben maximal U_a = 315 V), aber was ist bei diesen Spannungen die optimale Lastimpedanz? Die Datenblätter schweigen sich hierüber aus, vermutlich wegen des o.a. Grenzwerts. Die heute für diese Verstärker gebauten Übertrager haben zumeist ca. 8 kΩ (frühe Deluxe-Varianten) bzw. 6.6 kΩ (spätere). Die Messwerte der Tabelle zeigen, dass diese Vorgaben 'großzügig' interpretiert werden. Bei den 'großen' Verstärkern herrscht Einigkeit, dass die korrekte Lastimpedanz eines JTM-45 exakt 8000 Ω sein sollte. Was TAD nicht hindert, dem JTM-45-Kit einen 3,7-kΩ-Übertrager beizulegen – nun gut, man kann ja für 130 Euro die 8-kΩ-Variante nachbestellen. Wechselt man zu 2x6L6-GC oder 2xEL34, so sind Impedanzwerte um 4 kΩ üblich; und auch beim AC30 (4xEL84) ist man damit gut aufgehoben. Es empfiehlt sich, alle diese Impedanzangaben nicht auf die Goldwaage zu legen – sie sind frequenzabhängig, und die Röhrendaten, zu denen diese Impedanzwerte passen sollen, streuen ja auch ziemlich stark.

Abb. 10.6.25 zeigt gemessene Impedanzfrequenzgänge. Die Übertrager wurden hierzu am 8-Ω-Ausgang mit 8 Ω belastet, gemessen wurde die Primärimpedanz der *ganzen* Wicklung (Z_{aa}). Der Tremolux-Übertrager (7) ist eigentlich für 4 kΩ / 4 Ω spezifiziert, er wurde versuchsshalber am 4-Ω-Ausgang mit 8 Ω belastet, was die Primärimpedanz in etwa verdoppelt. Die beiden Ela-Übertrager sind gar nicht für den Betrieb in einer Gegentakt-Endstufe spezifiziert, ihre Wicklungen ermöglichen aber vergleichbare Übersetzungen. Es muss jedoch betont werden, dass diese Übertrager nur für den Betrieb an 100 V gebaut werden, und nicht für die in Endstufen auftretenden 250 V (U_a , im regulären Betrieb). Entsprechende Versuche erfordern deshalb adäquate Schutzmaßnahmen. Alle Messungen erfolgten bei sehr kleiner Leistung, für die tieffrequente Impedanz ist somit die **Anfangspermeabilität** maßgeblich. Sie ist bei den beiden Ela-Übertragern besonders klein, was aber aufgrund der sehr geringen Baugröße zu erwarten war. Und, nicht zu vergessen: Die anderen Übertrager sind ca. 10x so teuer! Der hochfrequente Impedanzanstieg ist auf Wicklungsresonanzen bzw. -kapazitäten zurückzuführen, die Streuungen im mittleren Frequenzbereich auf Unterschiede im Übersetzungsverhältnis (Windungsverhältnis).

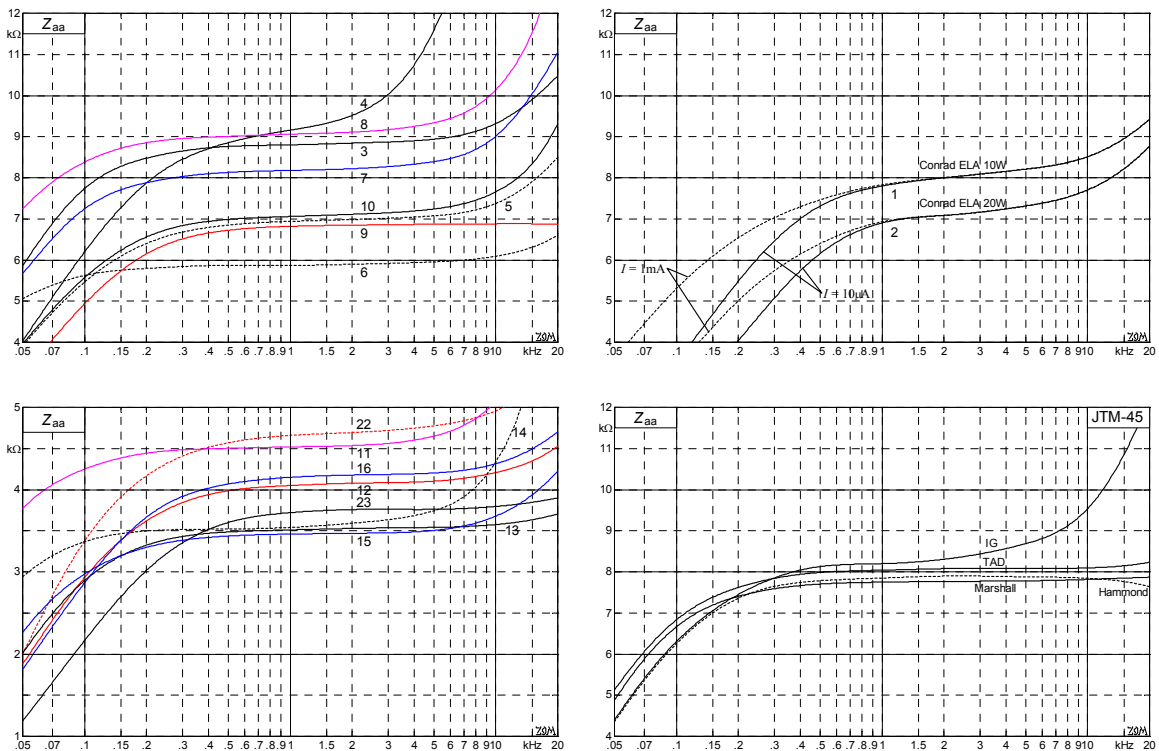


Abb. 10.6.25: Impedanzfrequenzgänge (Z_{aa}) bei Stromeinprägung (10 µA) und sekundärer 8-Ω-Last. Die im Bild angegebenen Ziffern beziehen sich auf die vorangehende Tabelle.

Es muss nicht zwingend angenommen werden, dass die unterschiedlichen Übersetzungsverhältnisse auf schlechte Fertigungsqualität zurückzuführen sind. Die Anzahl der Drahtwindungen kann man leicht und präzise kontrollieren, Abweichungen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit gewollt. Die Händler schreiben zwar z.B. $Z_{aa} = 8.1 \text{ k}\Omega$, aber wenn's dann über 9 kΩ sind, geht die Welt auch nicht unter – denn wichtiger ist: *Mit authentischen Materialien nach Original-Specs gebaut*. Deshalb auch der hohe Preis. Allein für den 5E3-Tweed-Deluxe gibt es eine unüberschaubare Vielfalt an Ausgangsübertragern, die wollen alle erst einmal mit Liebe (und authentischen Materialien) von Hand zusammengesteckt werden, das kostet Geld. Ein einziger für alle 18-W-Verstärker tät's vielleicht auch, aber nur für sehr Unemotionelle.

Weil eine reelle 8- Ω -Belastung zwar notwendig, aber nicht hinreichend ist, nun die entsprechenden Bilder mit Lautsprecherbelastung (**Abb. 10.6.26**). Wie schon in Kap. 10.5.8 erläutert: Eine Lastgerade ist ein erster Ansatz, die Realität ist aber im wahrsten Wortsinn komplexer. Die Endröhre 'sieht' keinen konstanten Widerstand, sondern eine komplexe Last, deren Betrag zwischen z.B. 7 und 30 k Ω variiert. Oder zwischen 9 und 50 k Ω , oder was eben der Übertrager als Last anbietet. Je nach Ausgangsübertrager und Lautsprecher liegt der optimale Arbeitsbereich des Verstärkers folglich in unterschiedlichen Frequenzbereichen, also beeinflusst der Ausgangsübertrager den Sound. Aber nochmals: Das ist keine Geheimwissenschaft, mit Windungszahl und Kerngröße hat man da schon das Wesentliche auf dem Tisch.

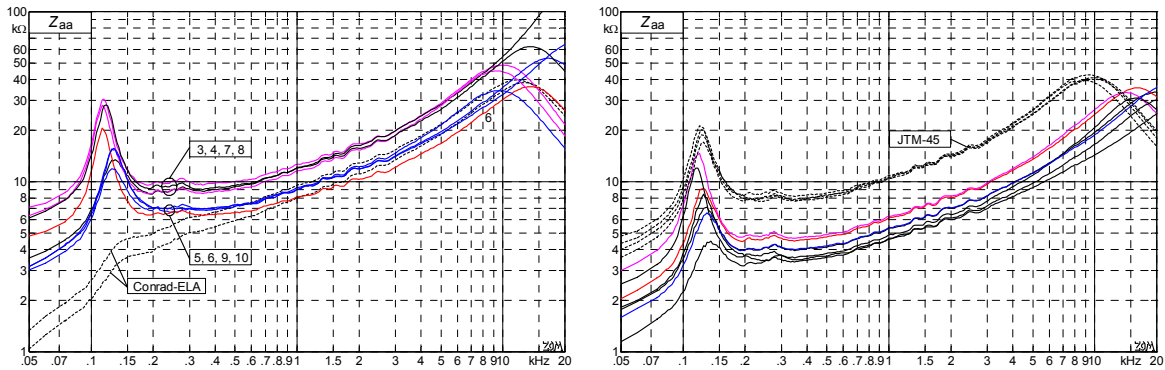


Abb. 10.6.26: Impedanzfrequenzgänge (Z_{aa}) bei Stromeinprägung (10 μ A), Last = Jensen C12N im Gehäuse. Linkes Bild: Die Übertrager der ersten Gruppe (1 – 10); gestrichelt = Conrad-ELA-Übertrager. Rechtes Bild: Die 50-W-Übertrager der zweiten Gruppe; gestrichelt = JTM-45-Übertrager (8 k Ω).

Die Impedanzbilder vermitteln einen Eindruck von der Röhrenbelastung, wichtiger ist aber die Leistungs-Übertragung (**Abb. 10.6.27**). Bei kleiner Ausgangsleistung (0.2 W / 1 kHz) sind die Unterschiede zwischen den Übertragern gar nicht mehr so groß, selbst die Ela-Übertrager haben nun eine ausreichende Bassübertragung. Im Grenzleistungsbereich (rechtes Bild) treten dann aber doch noch Unterschiede zutage. Nr. 6, der Hammond-1760H, hat die kleinste Primärimpedanz (5.9 k Ω) – er liefert folglich die größte Ausgangsleistung in den Frequenzbereichen, in denen der Lautsprecher hochohmig ist. Den Gegenpol hierzu bildet Nr. 4, der TAD Tweed-Deluxe-Übertrager. Seine Stärken liegen im Bereich kleiner Lautsprecherimpedanz, also bei mittleren Frequenzen. Bei kleiner und mittlerer Ausgangsleistung ist der Klang jedoch nahezu beliebig durch Filter formbar. Wird die Endstufe dagegen im Grenzleistungsbereich betrieben, gilt: **Für einen brillanten Sound sollte der Ausgangsübertrager primär eher niederohmig sein, für einen mittigen Sound eher hochohmig.**

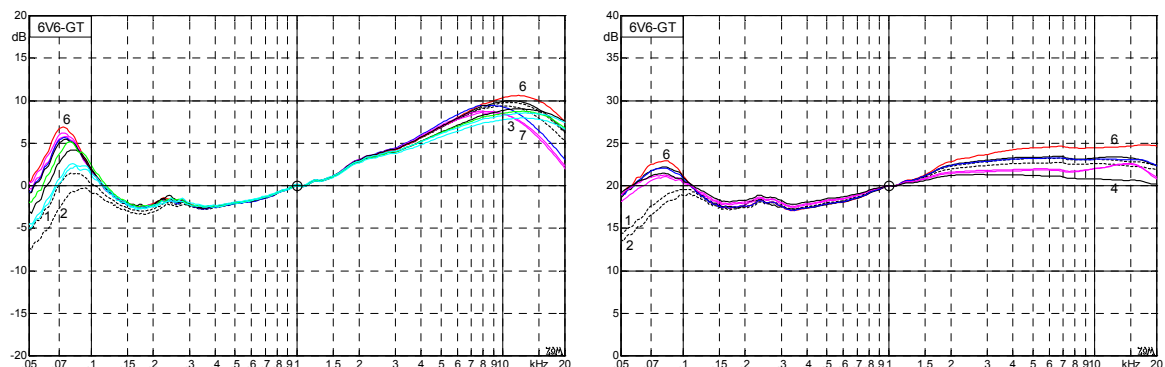


Abb. 10.6.27: Übertragungsmaß vom Phaseninverter-Eingang (ohne NFB) bis zum Lautsprecher (P12N). Auf 1 kHz normiert, kleine Aussteuerung (links), große Aussteuerung mit Endstufen-Übersteuerung (rechts).

In der nicht-normierten **Abb. 10.6.28** tritt die Übertragerwirkung deutlicher hervor: Nr. 6 mit der kleinen Primärimpedanz erzeugt im Umkehrschluss die größte sekundäre Quellimpedanz, und deshalb bildet sich die Lautsprecherimpedanz relativ stark auf den Übertragungsfrequenzgang ab. Wäre der Endstufen-Innenwiderstand null (ideale Spannungsquelle), so ergäbe sich im Bild eine horizontale Gerade. Gegenüber diesem theoretischen "Ideal" (das für Gitarrenverstärker nicht generell ideal ist) steigen im Bild die Quellimpedanzen in der Reihenfolge 4-3-9-6. Die Kompression der Kurven folgt fast in derselben Reihenfolge, nur Nr. 4 fällt aus der Reihe: Der für den Tweed-Deluxe angebotene TAD-Übertrager (4) hat den höchsten DC-Widerstand, und deshalb etwas höhere Kupferverluste. Dafür ist er der teuerste von allen. Aber wer weiß, vielleicht ist er ja auch der authentischste.

Für die **Endröhrenbelastung** gilt: Je höherohmig die Primärimpedanz, desto eher wird das Schirmgitter überlastet (Kap. 10.5.9). Betreibt man seinen 4- Ω -Verstärker mit einem 16- Ω -Lautsprecher, sollte man folglich gelegentlich einen Blick auf die Endröhren werfen.

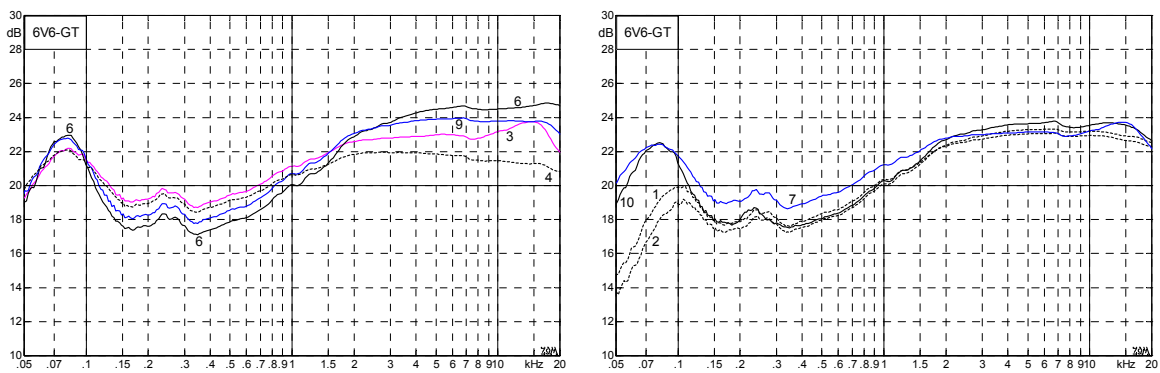


Abb. 10.6.28: Übertragungsmaß vom Phaseninverter-Eingang (ohne NFB) bis zum Lautsprecher (P12N).

Es soll nochmals auf die Unterschiede zwischen linearem und nichtlinearem Betrieb hingewiesen werden. Zwischen Endröhre und Lautsprecher ist kein Tone-Stack mehr – begrenzt die Endröhre, kann nur mehr der Übertrager Einfluss auf das Übertragungsverhalten nehmen. Deshalb ist dessen Übersetzungsverhältnis wichtig für den Sound. Die Röhren-Endstufe hat einen relativ hohen Innenwiderstand. Wäre er so klein wie bei einer Transistor-Endstufe, würde die abgegebene Leistung abnehmen, wenn der Lastwiderstand zunimmt. Stattdessen nimmt beim Röhrenverstärker die abgegebene Leistung zu, wenn der Lastwiderstand vergrößert wird. Aber nicht unbegrenzt – irgendwann kommt die Röhre an ihre Grenzen, und dann kehren sich die Verhältnisse um. In **Abb. 10.6.29** ist dies für den Tremolux-Übertrager (7) dargestellt, **Abb. 10.6.30** gibt einen Überblick über die anderen Messergebnisse.

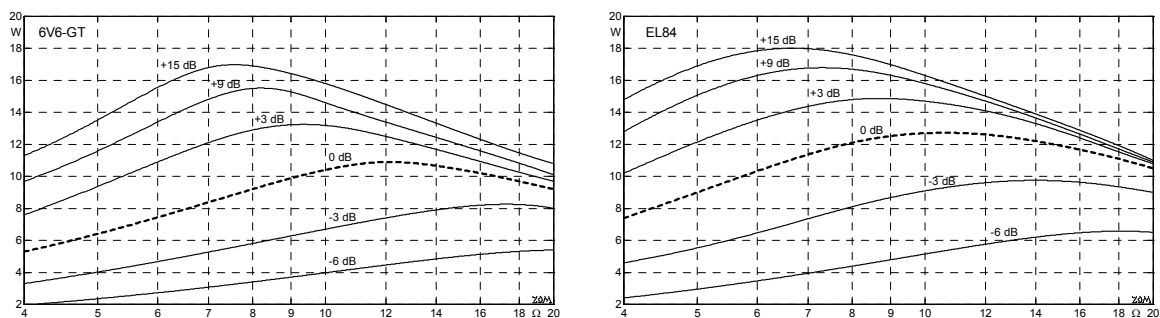


Abb. 10.6.29: Abgegebene Leistung in Abhängigkeit vom Lastwiderstand für unterschiedliche Aussteuerung. Bei der gestrichelten Kurve beginnt die Endstufen-Übersteuerung. Endstufe ohne Gegenkopplung, 1 kHz.

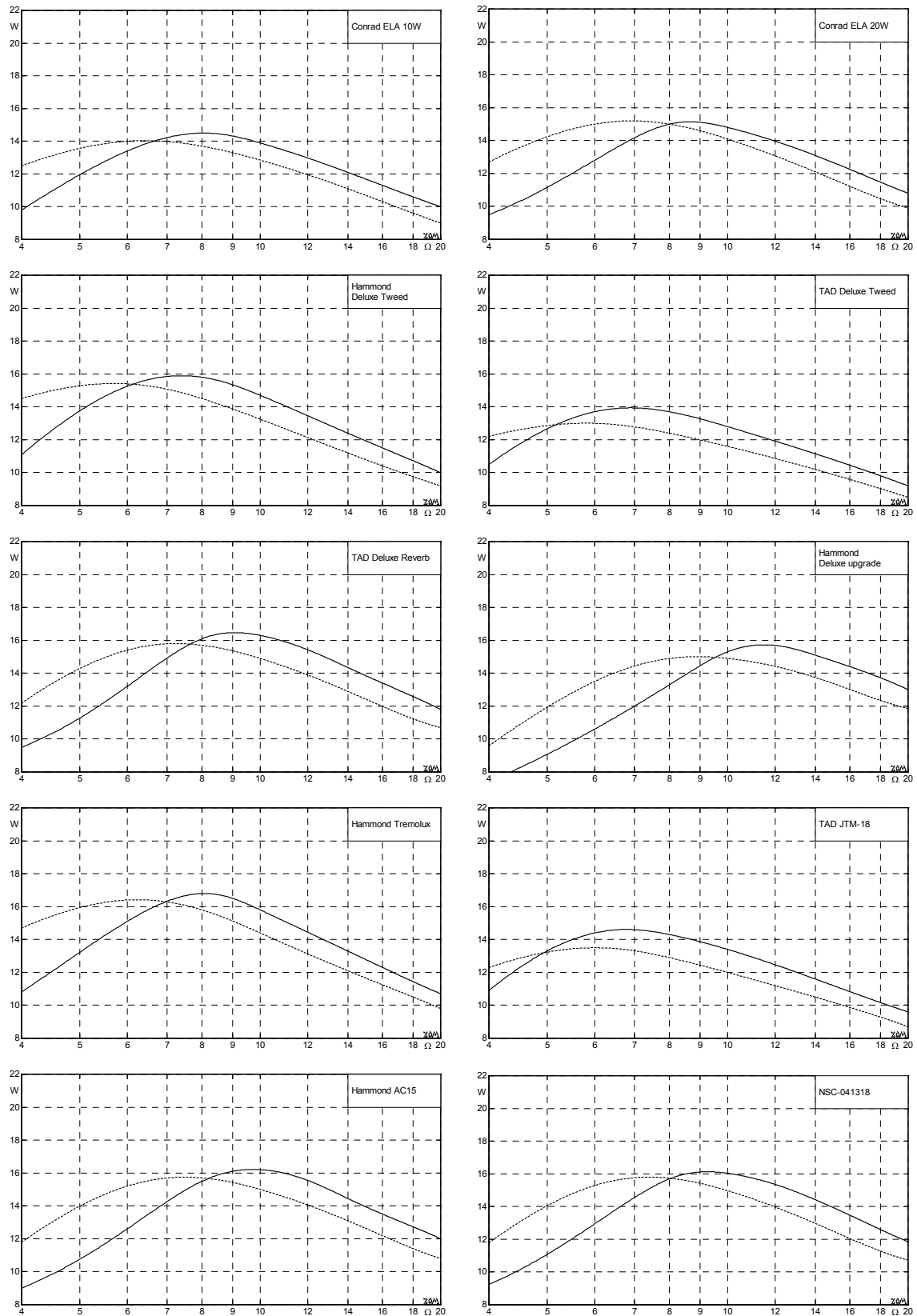


Abb. 10.6.30a: Maximal-Leistung über (reellem) Lastwiderstand; Endstufe um 14 dB übersteuert, 1000 Hz; Zwei verschiedene 6V6-GT-Paare: Ultron (—), TAD (----); $R_K = 270 \Omega // 250 \mu\text{F}$.

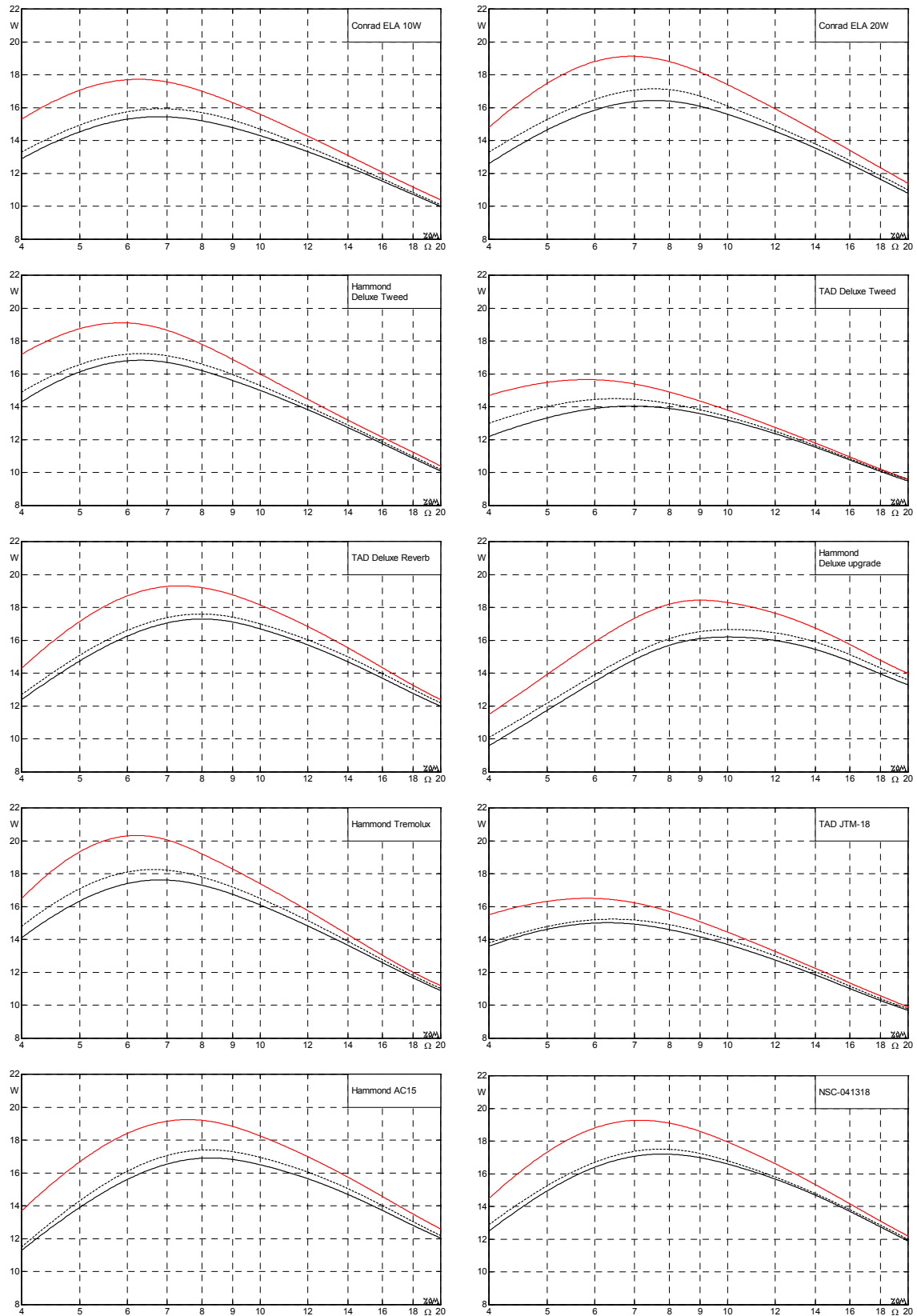


Abb. 10.6.30b: Maximal-Leistung über (reellem) Lastwiderstand; Endstufe um 14 dB übersteuert, 1000 Hz; Drei verschiedene EL84-Paare: JJ (obere Kurve), Ultron (-----), TAD (untere Kurve); $R_K = 120 \Omega // 250 \mu\text{F}$.

Die vorhergehenden Diagramme zeigen, dass Ausgangsübertrager – selbst wenn für dasselbe Verstärkermodell angeboten – unterschiedliches Betriebsverhalten ergeben. Ein Parameter ist hierbei der Volllast-Frequenzgang (Abb. 10.6.28), ein weiterer die Maximalleistung (Abb. 10.6.30), ein dritter der **Klirrfaktor**. Der für diese Messungen verwendete Hammond-Übertrager arbeitet (mit Ultron-6V6-GT) am effizientesten bei $12\ \Omega$ Last, ein Ergebnis, das auch durch **Abb. 10.6.31** dokumentiert wird. Mit anderen Röhren ergeben sich jedoch andere Werte, und das zeigt wieder einmal, dass erst das Zusammenspiel mehrerer Komponenten das Übertragungsverhalten der Endstufe festlegt.

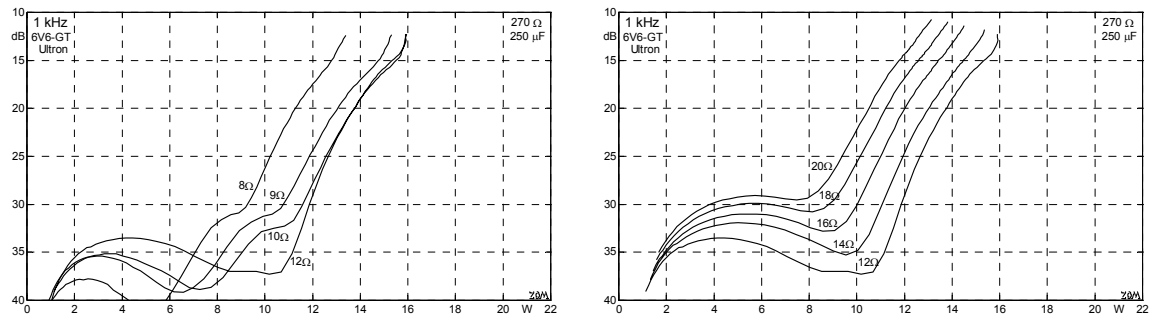


Abb. 10.6.31: Endstufen-Klirrdämpfung für verschiedene Lastwiderstände; Hammond Deluxe-upgrade. 20 dB Klirrdämpfung entspricht einem Klirrfaktor von $k = 10\%$.

Abb. 10.6.32 zeigt Messergebnisse für zwei verschiedene Röhren (6V6-GT, EL-84) und zwei verschiedene Kathodenbeschaltungen. **EL-84** mit R_K ist typisch für den VOX AC-15 und den 18-W-Marshall (Typ 1958), **EL-84** ohne $R_K =$ Mesa/Boogie Studio-22, **6V6-GT** mit R_K ist z.B. im Tweed Deluxe, **6V6-GT** ohne R_K im Deluxe Reverb. Durch ihr unterschiedliches Übersetzungsverhältnis belasten die Übertrager die Endröhren unterschiedlich und verursachen dadurch unterschiedliche Klirrdämpfungen. Bei 1 kHz! Denn jetzt kommt noch ein Parameter ins Spiel: **Die Frequenz**. Und damit beginnen die Darstellungen, unübersichtlich zu werden. Dass daneben ja auch noch die Anodenspannung, der Schirmgitterwiderstand und der Phaseninverter variieren können, sei nur am Rande erwähnt.

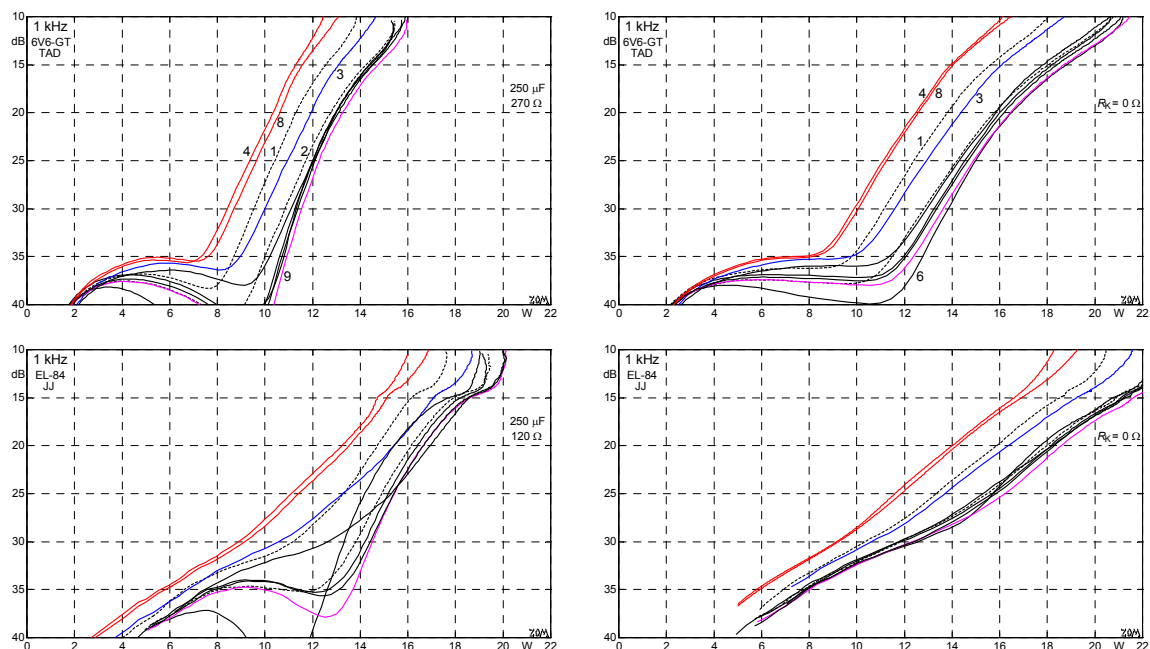


Abb. 10.6.32: Endstufen-Klirrdämpfung bei verschiedenen Ausgangsübertragern. Rechts oben im Bild sind die Kathodenbeschaltungen angegeben (gemeinsamer R_K durch 250- μ F-Elko überbrückt, bzw. Fixed-Bias). $8\ \Omega$.

Bei all diesen Übertragermessungen hat sich bis hierher nur das Windungsverhältnis als relevant erwiesen. Verzerrungsmessungen im Bereich **tiefer Frequenzen** lenken das Augenmerk aber auf die **Hauptinduktivität**, bzw. auf Kernmaterial und -größe. Ist die Windungszahl zu gering, wird die Tiefenwiedergabe schwach und verzerrt. Mehr Windungen lassen sich wegen des begrenzten Wicklungsraumes aber nur bei gleichzeitiger Reduktion des Drahtdurchmessers unterbringen, und damit steigt der Kupferwiderstand. Wenn, wie beim Hammond 1760H, der sekundäre Kupferwiderstand 0.83Ω beträgt, bleiben 10% der abgegebenen Leistung in der Sekundärwicklung. Und nochmals ungefähr derselbe Prozentsatz in der Primärwicklung. Will man guten Wirkungsgrad *und* gute Tiefenwiedergabe, bleibt nur der Wechsel zu einem besseren Kern, also zu mehr Gewicht und/oder höherem Preis. Hier kann keiner zaubern: Der kleine Conrad-ELA-Übertrager (1) hat mit seinem EI-48-Kern gerade einmal 2.4 cm^2 Eisen-Querschnittsfläche, auf minimalen Luftspalt wurde auch nicht geachtet, das Ergebnis sieht man in **Abb. 10.6.33**: Sehr starke Bass-Verzerrungen. Der AC15-Übertrager (9) mit stolzen 8.7 cm^2 tut sich da natürlich leichter. Dass der 20-W-Übertrager (2) noch schlechter ist als (1), stellt keinen Widerspruch dar: er ist besonders niederohmig, deshalb noch kleineres L .

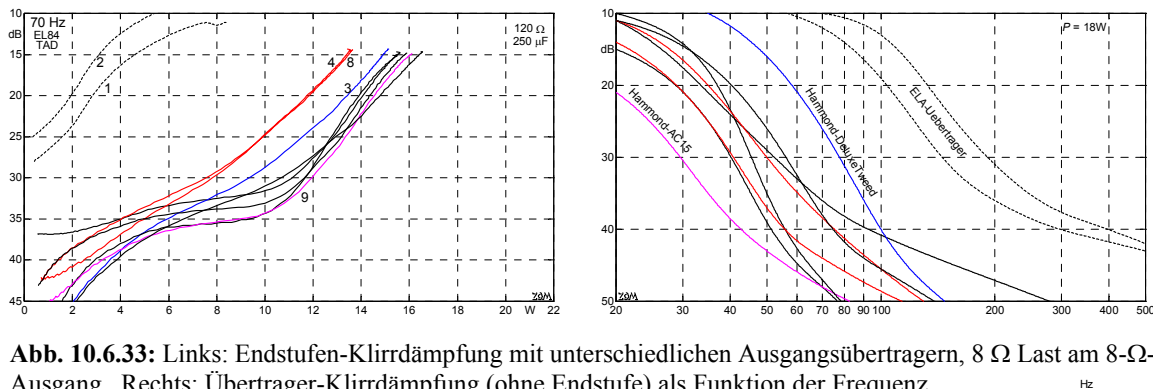


Abb. 10.6.33: Links: Endstufen-Klirrdämpfung mit unterschiedlichen Ausgangsübertragern, 8Ω Last am $8\text{-}\Omega$ -Ausgang. Rechts: Übertrager-Klirrdämpfung (ohne Endstufe) als Funktion der Frequenz.

Die im linken Bild der Abb. 10.6.33 dargestellten Verzerrungen kommen teils vom Ausgangs-Übertrager, teils von den Endröhren. Nur vom Ausgangsübertrager kommen die im rechten Bild dargestellten Verzerrungen. Die ELA-Übertrager werden tieffrequent stark übersteuert, sie taugen bestenfalls für Distortion-Sounds. Ihre mittelfrequente Primärimpedanz passt zwar zu den Röhren, aber ihre Induktivität ist zu klein. Alle anderen Übertrager sind aber für Gitarrenverstärker geeignet, kosten sie nun 18 oder 86 Euro. Solange man nicht krasse Fehler begeht, gilt der einfache Lehrsatz: **In dem für E-Gitarren wichtigen Frequenzbereich ist das Windungsverhältnis (also die Primärimpedanz Z_{aa}) der wesentliche Parameter, alles andere ist von untergeordneter Bedeutung.** Doch, die Übertrager-Hersteller verwenden unterschiedliche Kernbleche, und ja, sie investieren viel Zeit in den "authentischen" Nachbau. Beschaffen sich alte (also veraltete) Isolierpapiere, suchen antiquiert isolierten Draht, kopieren furchterregende Verschachtelungen, und müssen sich dieses ganze Buhei natürlich fürstlich honorieren lassen – ist ja fast eine Einzelstückfertigung. **Stupidies Reproduzieren veralteter Technologien auf der Basis unverständlicher Zusammenhänge?** Ja, bei so manchem Übertrager drängt sich diese Erkenntnis auf. Aber ganz so eng sollte man das vielleicht doch nicht sehen, und lieber an die Placebo-Pharmakologen denken: Wo ein Wille ist, ist auch ein Markt. Und spätestens, wenn man aus den 18-W-Schuhen rausgewachsen ist, und trotz Bandscheibenvorfalles seinen 30-kg-Boliden auf die Bühne wuchtet, seufzt man zufrieden: Zwei ganz dicke Trafos, also ganz dicker Sound.

Den "kleinen" 18-W-Übertragern war nun viel Platz eingeräumt worden – fast zu viel, denn ein Mehr an Diagrammen bedeutet nicht zwangsläufig ein Mehr an Übersichtlichkeit. Bei den 'großen' **50-W-Übertragern** soll deshalb eine Kurzbeschreibung reichen. Die Frequenzgänge wurden schon abgebildet, Maximalleistung und Verzerrung verlaufen ähnlich wie bei den 18-W-Übertragern, nur eben bei größerer Leistung. Wobei die Qualität etwas höher ist, weil bei größeren Übertragern das induktivitätsbestimmende Verhältnis Eisenfläche : Eisenlänge günstiger wird. Alle untersuchten 50-W-Übertrager erwiesen sich als gut, haben sie nun 3.5 k Ω oder 4.7 k Ω (jeweils R_{aa}). Als Ergänzung zu Abb. 10.6.26 sind in **Abb. 10.6.34** die Übertragungsfrequenzgänge der kompletten EL34-Endstufe abgebildet. Man sieht, dass in dem für E-Gitarren wichtigen Frequenzbereich alle Übertrager praktisch gleich gut arbeiten*.

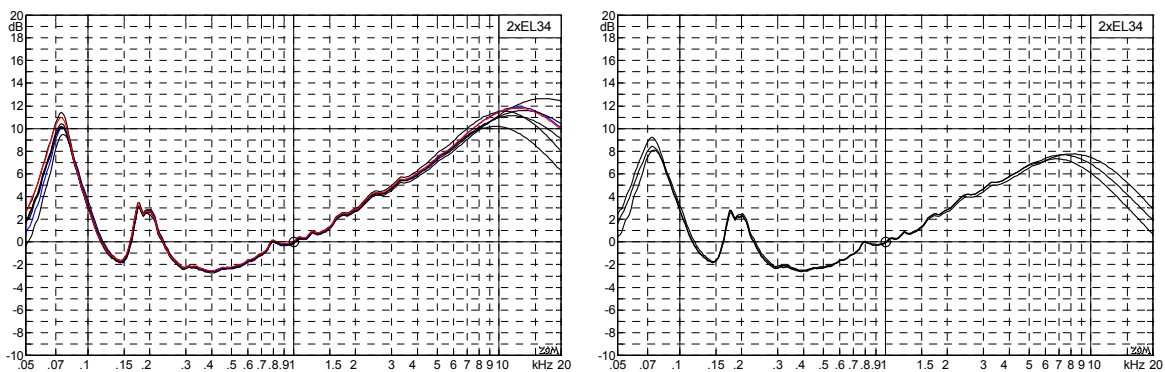


Abb. 10.6.34: Übertragung vom Phaseninverter-Eingang bis zum Lautsprecher (Vintage-30 im Gehäuse). Zum linken Bild gehören die Übertrager Nr. 11 – 16 und Nr. 20, zum rechten die 8-k Ω -Übertrager Nr. 17 – 19.

Bei den nichtlinearen Verzerrungen ergeben sich größere Unterschiede (**Abb. 10.6.35**). Dass die 8-k Ω -Übertrager für eine EL34-Endstufe unzuweckmäßig sind, wird später erläutert. Alle anderen Übertrager zeigen bei und über 90 Hz ein ähnliches Verhalten, das gegenüber den Röhren in den Hintergrund tritt. Der selbstgewickelte M330-50A (vergl. Abb. 10.6.23) war der erste Versuch dieser Art – geeignet. Mit nur 10% mehr Windungen könnte man die Verzerrungen in den Bereich der anderen Übertrager bringen (genug Platz wäre, selbst bei gleicher Drahtstärke), doch das wurde als unnötig erachtet. Die rote Kurve gehört zu einem besonderen "Ausgangsübertrager": Einem **Netztransformator**. Doch, das funktioniert auch. Nicht mit jedem, da muss man etwas suchen, aber der hier passt. Ein Ringkerntrafo, für **15 €**. Kleiner, weniger Verluste, um 1.5 kg leichter, und viel billiger (weil in Mengen hergestellt). Warum es trotzdem immer noch ein EI96 sein muss? Weil das seit über 60 Jahren so gemacht wird. Und weil Kleinstunternehmer gerne mal 100 – 300 Euro verdienen wollen.

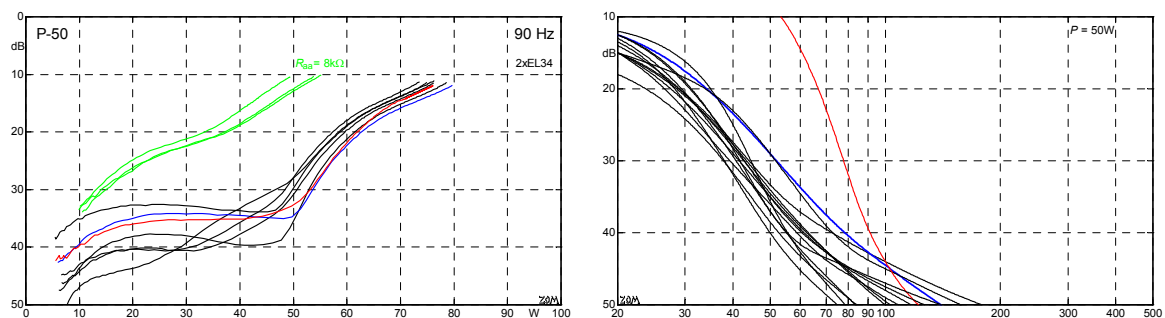


Abb. 10.6.35: Klirrdämpfung. Im linken Bild für die gesamte Endstufe mit 10 verschiedenen Ausg.-Übertragern, im rechten Bild nur für die Ausgangs-Übertrager; *blau* = M330-50A, *rot* = Netztrafo als Ausgangsübertrager.

* Zum Unterschied 3.5 k Ω vs. 8 k Ω siehe später.

Netztrafos sind auf guten Wirkungsgrad optimiert, so exotische Dinge wie "Klirrfaktor" interessieren da niemand. Deshalb wird dicker Draht gewickelt und der Kern ordentlich ausgesteuert, um einen guten Kompromiss zwischen Leistungs-Verlusten und Kosten zu gewährleisten. Der Kupferwiderstand ihrer als 8- Ω -Wicklung missbrauchten 9-V-Wicklung beträgt bei diesem Ringkern-Netztrafo nur 0.2 Ω , im Gegensatz zu 0.4 Ω bis 0.7 Ω bei den echten Ausgangsübertragern. Mit etwas höherer Windungszahl könnte man ohne wesentliche Verschlechterung (und vor allem ohne Kostensteigerung) die Hauptinduktivität erhöhen, und damit den Klirrfaktor reduzieren. Das heißt nun nicht: "Leute, steckt billige Netztrafos in die Endstufe", sondern: Richtig berechnet, und in industrieüblichen Massen hergestellt, kann ein Ringkerntrafo in der Endstufe eine kleine, leichte und preiswerte Alternative sein. Und der Frequenzgang? Voll im grünen Bereich, wie Abb. 10.6.34 zeigt. Und der Vollständigkeit halber auch noch an reeller Last: **Abb. 10.6.36**. Alle perfekt – auch der Ausgangs-Netztrafo.

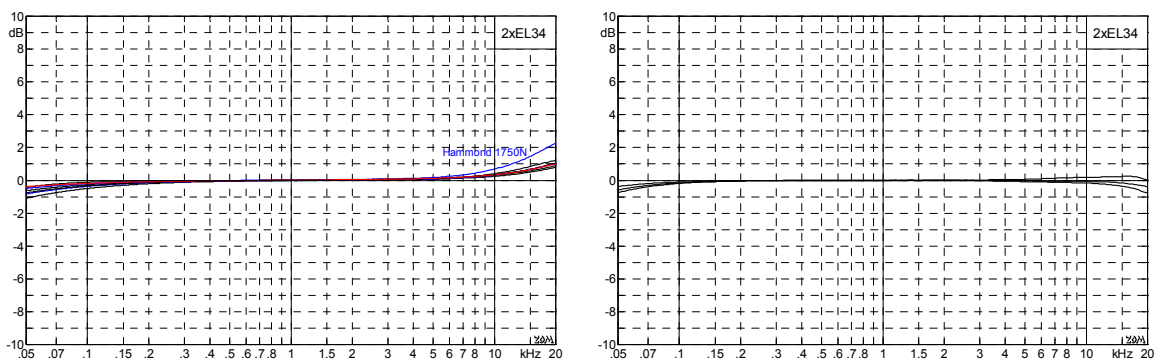


Abb. 10.6.36: Übertragungsfrequenzgang an reelle Last (8 Ω); rechts die 8-k Ω -Übertrager. Natürlich ist im linken Bild auch der Frequenzgang des (als Ausgangsübertrager missbrauchten) Netztransformators enthalten.

Ein kurzer Nachsatz, **um Missverständnisse auszuschließen**: Gitarrenverstärker sind keine HiFi-Anlagen. Deren Frequenzumfang ist beträchtlich größer, ihr Klirrfaktor deutlich kleiner. Die Botschaft lautet nicht: Als Ausgangsübertrager taugt generell auch ein Netztrafo, sondern: Die hohen Preise der Ausgangsübertrager resultieren aus ihrer kleinen Stückzahl, und dem mehr oder weniger authentischen Nachbau veralteter Vorbilder. Wenn's nicht ganz so authentisch sein soll, kann in der Endstufe eines Gitarrenverstärkers ein Netztrafo eine preiswerte Alternative zum speziellen Ausgangsübertrager sein. Was als geeignet bewertet werden kann, muss aber jeder selbst herausfinden (!), zu unterschiedlich sind die Erwartungen.

Eine Besonderheit stellen die speziellen **JTM-45**-Übertrager dar, die – ganz authentisch – für $R_{aa} = 8 \text{ k}\Omega$ gewickelt werden. Für eine EL34-Endstufe ist das sicher unpassend, aber in einem Original-JTM-45 stecken ja keine EL34, sondern zwei KT66. Und die brauchen einen 8-k Ω -Übertrager? Ja. Oder nein – je nach Quelle. Nach Doyle's Marshall-Buch war **Radiospares** mit dem "De Luxe Output Transformer" der erste Hoflieferant. Radiospares war aber kein Hersteller, sondern ein Distributor (später wurde daraus RS-Components). Wer diese frühen Radiospares-Übertrager fertigte, ist Gegenstand ausufernder Diskussionen (angeblich kommen bis zu fünf Hersteller in Frage). Der RS-Übertrager war ein typischer Universal-Übertrager, mit mehreren Primär-Impedanzen: 6.6 k Ω (mit Ultralinear-Anzapfung) für EL34 und KT66, sowie 8 k Ω oder 9 k Ω für 6L6, 6V6 und EL84. Die JTM-45-Endstufe arbeitet nicht im Ultralinear-Modus, die Experten sehen 2xKT66 mit $R_{aa} = 8 \text{ k}\Omega$ als Standard-Bestückung an. Auch der nach dem RS-Übertrager verwendete Drake-Übertrager arbeitet mit dieser Primär-Impedanz. Und auch das GEC-Datenblatt der KT66 (1956) spezifiziert 8 k Ω , allerdings für "Cathode-Bias", beim JTM-45 nicht verwendet.

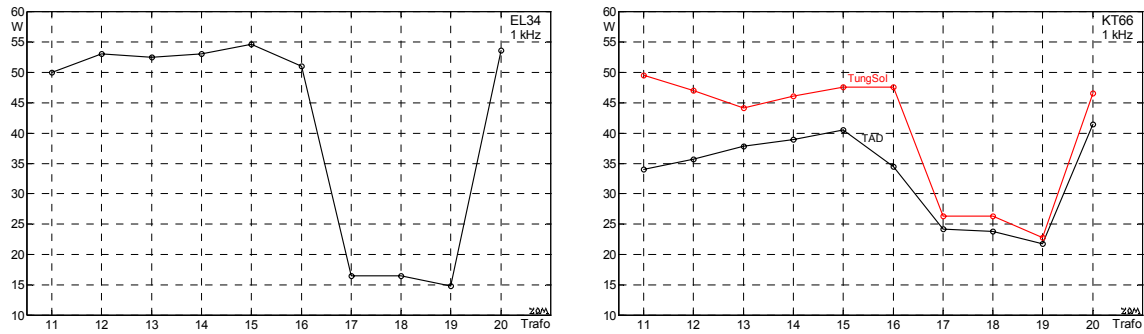


Abb. 10.6.37: Ausgangsleistung an 8 Ω, für 30 dB Klirrdämpfung; Trafo-Nummern gemäß Tabelle.

Abb. 10.6.37 zeigt Messergebnisse für 400 V Betriebsspannung. Mit zwei EL34 erreicht man gut 50 W, wenn die Primärimpedanz um 3.5 kΩ liegt. Mit 8 kΩ sinkt die Leistung auf magere 15 – 16 W, das ist sicher nicht optimal. Mit zwei KT66 erreicht man bei 8 kΩ Impedanz circa 25 W, das ist in etwa datenblattkonform. Wer seinen JTM-45 mit zwei KT66 und einem 3.5-kΩ-Übertrager betreibt, kommt auf höhere Leistungen – auf knapp 50 W mit einer russischen TungSol-KT66, auf deutlich weniger mit einer TAD-KT66 (Abb. 10.11.3: Messergebnisse).

Neben der maximalen Ausgangsleistung zeigen sich auch in der Quellimpedanz Unterschiede. Pentoden sind hochohmig, und deshalb ist auch die Quellimpedanz (der Innenwiderstand) der Endstufe relativ groß. So ungefähr 100 Ω, wenn zwei KT66 an einem 3.5-kΩ-Übertrager arbeiten, aber nur ca. 40 Ω bei einem 8-kΩ-Übertrager (jeweils ohne Gegenkopplung). Die Auswirkungen wurden schon mehrfach erläutert, sie zeigen sich z.B. in Abb. 10.6.34.

So, Feierabend, hat lang genug gedauert. Was – eine Empfehlung? Weil gemäß einer OECD-Studie viele Leser Schwierigkeiten mit längeren Texten haben? OK, das ist ein Grund. Also:

Laut = 2xEL34 mit 3.5 kΩ;
Authentisch = 2xKT66 mit 8 kΩ;
Risikofreudig = 2xEL34 mit speziellem Netztrafo;
Dödelig = Teurer Austauschtrafo aus fernen Landen.

Kurz genug, und trotz dreier Multiplikationszeichen verständlich? Bitte, gern geschehen.

Es sind nicht die Dinge, die uns begeistern, sondern die Meinungen,
die wir von den Dingen haben*

* frei nach Epiktet