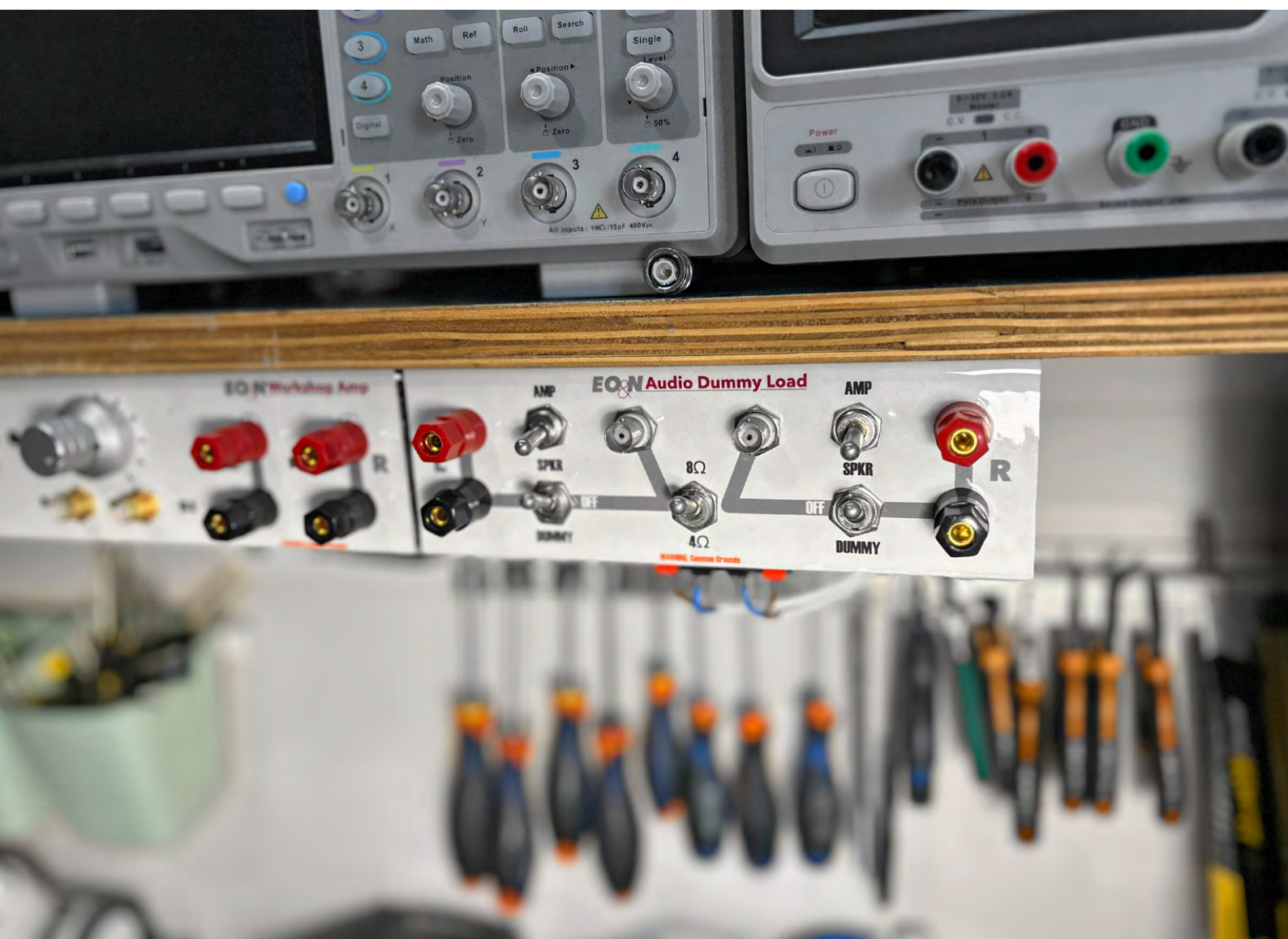


Einfach und durchdacht

Audio-Dummy-Load

von Manuel Caldeira

In diesem Beitrag stelle ich den Nachbau einer Audio-Dummy-Load vor, die den elektrischen Lastwiderstand eines Lautsprechers simuliert. Sie wird in der Regel beim Testen und Fehlersuchen von Audiogeräten verwendet und kann ebenso während der Einrichtung oder Wartung eines Verstärkers als stabile Last eingesetzt werden.



Über den Autor

Manuel Caldeira schloss sein Studium der Elektrotechnik an der University of Natal (Durban) 1985 ab. Direkt nach der Universität begann er, bei Siemens (Südafrika) zu arbeiten. Danach ging er in die Wirtschaft, anstatt in der Technik zu bleiben. Schließlich kehrte er aus Spaß zur Elektronik zurück und genießt es, alte Röhrenradios zu restaurieren und an so ziemlich allem zu tüfteln, was ihm auf dem Gebiet der Elektronik gefällt.

Er betreibt von seinem Wohnsitz auf Madeira aus mit mehr als 21200 Abonnenten und mehr als 525 veröffentlichten Videos auf YouTube den Kanal „Electronics Old and New by M Caldeira“, der sich hauptsächlich mit Röhrenradios beschäftigt.

Auf dem Gebiet der Elektronik umfasst der Begriff „Dummy Load“ eine Vielzahl von Geräten, von denen einige möglicherweise nicht sofort unsere Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Jedoch haben alle etwas gemeinsam: Sie dienen als Ersatz einer echten Last, in Geräten, die verschiedene Arten von Leistung erzeugen.

Dieser Substitutionsprozess ermöglicht es, das Verhalten einer echten Last mit ausreichender Präzision nachzuahmen. Unabhängig davon, ob es sich bei der Energie um Audio, Hochfrequenz (RF) oder elektrischen Strom handelt, ist das Hauptziel bei der Verwendung einer Dummy-Last stets das gleiche: Die echte Last vor unvorhersehbaren, von der Quelle erzeugten Signalen zu schützen. Im Wesentlichen dient eine Dummy-Load als entscheidendes Werkzeug, um Geräte gründlich zu testen und dabei das Risiko weiterer Schäden zu minimieren.

Unter den unzähligen Einsatzmöglichkeiten dieser vielseitigen Werkzeuge finden wir drei wesentliche Beispiele:

Dummy-Lautsprecher:

Stellen Sie sich vor, Sie sollen einen Verstärker reparieren, der möglicherweise in keinem stabilen Zustand ist. Das Letzte, was Sie tun möchten, ist, ihn an teure Lautsprecher anzuschließen, wodurch ein größerer Schaden entstehen könnte. Schadhafte Verstärker setzen Lautsprecher häufig hohen Gleichspannungsspitzen aus, eine allzu häufige Gefahr. Darüber hinaus können hochfrequente Schwingungen, die manchmal außerhalb des menschlichen Hörbereichs liegen, insbesondere bei empfindlichen Hochtönern, irreparable Schäden verursachen. Durch den Einsatz eines Dummy-Lautsprechers können Sie nicht nur Ihre wertvollen Audiokomponenten schützen, sondern auch am Verstärker arbeiten, ohne Missklänge ertragen zu müssen.

Dummy-Antenne

Das Testen der Funktionalität eines Senders ist ein wesentlicher Schritt, aber die Übertragung von Testsignalen über eine echte Antenne in den Äther ist nicht klug. Dieses Vorgehen verletzt nicht nur die guten Sitten, sondern kann auch gesetzliche Grenzen überschreiten, da es das Risiko einer Verseuchung des Äthers mit unerwünschten Ausstrahlungen birgt. Mit der Dummy-Antenne kommt eine intelligente Lösung ins Spiel, um Ihre Tests zu begrenzen und gleichzeitig die gesetzlichen Standards einzuhalten.

Dummy-Load für Stromversorgungen

Zur Beurteilung des Verhaltens von Stromversorgungen ist die genaue Überwachung von Spannung und Strom von größter Bedeutung. In diesem Bereich wird eine programmierbare Dummy-Last zur Aufnahme eines gewünschten Stroms zu einer unverzichtbaren Verbündeten, die eine genaue Bewertung ermöglicht.

Für diesen Artikel konzentrieren wir uns auf den ersten Punkt – die Audio-Dummy-Load, also einen

elektrischen Lastwiderstand. Die Audio-Dummy-Load liegt mir besonders am Herzen, da sie eine zentrale Rolle in meiner Leidenschaft für die Restaurierung von historischen Audio- und Radiogeräten spielt. Im Laufe dieser Erkundung werden wir zeigen, wie die Audio-Dummy-Load von einer einfachen Anordnung von Teilen, die üblicherweise in der Vorratskiste eines jeden Bastlers zu finden sind, bis hin zu einem hoch entwickelten Testinstrument mit vielfältigen Funktionen reichen kann, was unsere Arbeit auf diesem Spezialgebiet wirkungsvoller und lohnender macht.

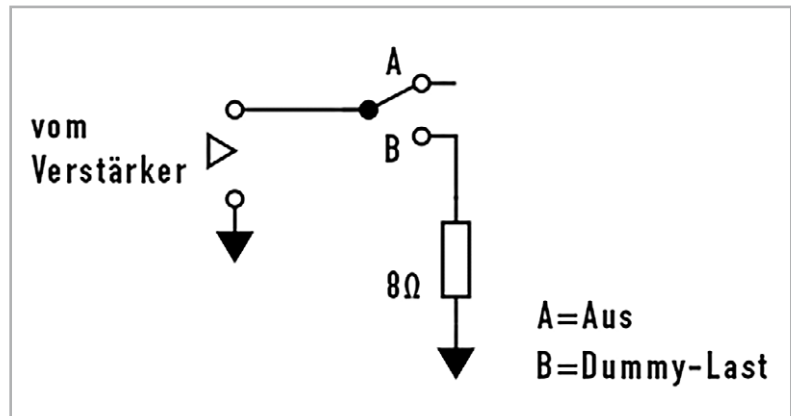


Bild 1: Ein Widerstand ist die einfachste Form einer Lautsprecher-Dummy-Last.

Was genau ist ein Dummy-Speaker?

In seiner einfachsten Form ist ein Dummy-Speaker (Ersatzlautsprecher) im Wesentlichen einfach ein Widerstand. Das ist alles. Ein Widerstand mit einem Wert in Ohm, welcher der Lautsprecherimpedanz entspricht, für deren Ansteuerung der Verstärker ausgelegt ist.

Bild 1 stellt dies mit einem optionalen (wahlweisen) Umschalter dar, mit dem die 8-Ω-Ersatzlast aktiviert oder von der Schaltung abgetrennt werden kann. Der Eingang dieser Anordnung ist mit den Lautsprecher-Ausgangsklemmen des Verstärkers verbunden und ersetzt den realen Lautsprecher, den man normalerweise benutzen würde.

Man beachte, dass das Schaltbild nur den Aufbau für einen einzelnen Kanal wiedergibt. Für einen zweiten in einem Stereosystem wäre eine identische Schaltung erforderlich.

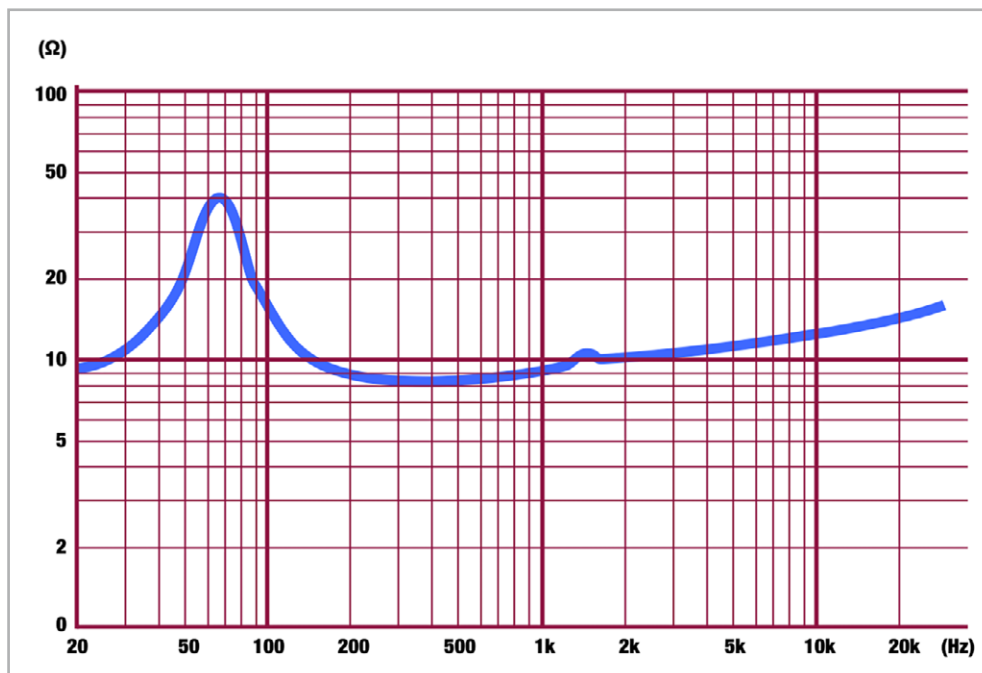
Wird diese Anordnung mit dem Verstärker verbunden, erreicht man zwei Ziele. Erstens hat man seine wertvollen Lautsprecher vom System entfernt und schützt sie damit vor möglicherweise auftretenden Verstärkerfehlern. Zweitens erhält man die Fähigkeit, das Verstärkerverhalten unter normalen Lastbedingungen zu kontrollieren.

Typischerweise wird ein Oszilloskop zur Beurteilung des Verstärker-Ausgangssignals verwendet. Durch Einspeisung eines Testsignals in den Verstärkereingang sollte man in der Lage sein, das resultierende Ausgangssignal zu beobachten. Indem man den Schalter betätigt, um die Last abzutrennen und sie wieder anzuschalten, kann man leicht überprüfen, wie sich der Verstärker unter Last- und Leerlaufbedingungen verhält. Eine Änderung des Verhaltens kann uns eine Menge über den Zustand der Ausgangsstufen verraten, weil jede drastische Veränderung der Signalamplitude den Zustand der Ausgangstreiber widerspiegelt, in welcher Form auch immer.

Man kann also einfach einen beliebigen Widerstand verwenden, oder?

Nicht ganz. Die Verwendung eines Widerstands mit dem zum Verstärker passenden Widerstandswert ist nur ein Anfang. Neben dem Widerstandswert müssen zwei weitere Eigenschaften berücksichtigt werden, nämlich die Nennbelastbarkeit des Widerstands und seine Induktivität.

Bild 2: Impedanz vs. Frequenz für den Breitbandlautsprecher Markaudio CHR-70 Gen. 3



Widerstandswert

Wir haben festgestellt, dass der Widerstandswert in Ohm gleich der erwarteten Lautsprecherimpedanz an den Ausgangsanschlüssen des Verstärkers sein muss. Das ist richtig, aber das Problem besteht darin, dass wir nie eine genaue Gleichheit zwischen diesen beiden „Lasten“ über das gesamte Frequenzspektrum erreichen werden, für das der Lautsprecher ausgelegt ist.

Bild 2 zeigt die Impedanz eines 8-Ω-Lautsprechers (in diesem Fall eine Breitbandtype) als Funktion der Frequenz. Die Darstellung erstreckt sich über den gesamten Audiofrequenzbereich, und es fällt sofort auf, dass die Impedanz nicht mit der geraden Linie übereinstimmt, die wir vielleicht erwartet hätten. Vielmehr zeigt eine genaue Betrachtung, dass die tatsächliche Impedanz nur im Bereich von etwa 300 Hz bis 500 Hz dem Nennwiderstand von 8 Ω entspricht. Überraschenderweise steigt sie bei etwa 65 Hz auf bis zu 40 Ω an! Ist das ein schlechter Lautsprecher? Nein, im Gegenteil, es ist tatsächlich ein toller kleiner Lautsprecher, den ich persönlich mit sehr zufriedenstellenden Ergebnissen verwendet habe.

Woher rührt diese starke Abweichung von der aufgeführten Nennimpedanz? Der Grund dafür ist, dass ein Lautsprecher eigentlich keine rein ohmsche Last ist. Er hat zwar einen Widerstand, aber auch eine Induktivität, was bedeutet, dass die tatsächliche Impedanz, die der Lautsprecher für den Verstärker darstellt, eine Kombination (die Summe $R + jX$) aus dem ohmschen Widerstand (R) der Lautsprecherspule und ihrer frequenzabhängigen induktiven Reaktanz (jX) ist. Die Induktivität spielt daher eine wichtige Rolle bei der Bestimmung der Lautsprecherspulenimpedanz und macht das gesamte System frequenzabhängig. Die Nennimpedanz von 4 Ω, 8 Ω oder 16 Ω ist üblicherweise eine Annäherung an die Impedanz, die für einen Verstärker in einem erheblichen Teil des spezifizierten effektiven Frequenzspektrums angegeben wird.

Bild 3 zeigt die Messergebnisse mit dem oben genannten Lautsprecher bei unterschiedlichen Frequenzen. Wie man sieht, ist die 8-Ω-Angabe eine Annäherung und definitiv keine exakte Spezifikation.

Nennleistung

Nach der Entscheidung für einen zu verwendenden Widerstandswert (4 Ω, 8 Ω oder 16 Ω) müssen wir auch bedenken, welche Leistung dieser Widerstand problemlos bewältigen kann.

Der Lautsprecher gibt Energie in Form von Schall ab, indem er eine trichterförmige Membrane hin- und herbewegt und dabei Luftbewegungen erzeugt, die von unseren Ohren als Schall wahrgenommen werden. Darüber hinaus entsteht aufgrund des Widerstands des Spulendrahts etwas Wärme. Im Gegensatz zu einem Lautsprecher erzeugt ein Widerstand ausschließlich Wärme. Daher ist es wichtig sicherzustellen, dass der Widerstand dieser Wärme standhalten kann, ohne zu überhitzen und sich zu einer unerwünschten sekundären Rauchquelle zu verwandeln.

Die Nennleistung des Lautsprechers, den wir nachbilden möchten, dient als Ausgangspunkt für die Nennleistung des von uns verwendeten Widerstands. Es ist wichtig, einen Sicherheitsspielraum einzufügen, um eine Überlastung der Testanordnung bis zu ihrem absoluten Grenzwert zu vermeiden.

Meistens umfassen meine Arbeiten Röhrenradios, die eine sehr geringe Leistung erzeugen, typischerweise unter 10 W. In solchen Fällen würde wahrscheinlich die Wahl eines 15-W-Widerstands genügen. Bei Arbeiten an Leistungsverstärkern wäre dies jedoch nicht ausreichend. Vielen Verstärker, denen ich begegne, arbeiten mit weniger als 100 W, und dies ist eine allgemein verfügbare Nennleistung und ein vernünftiger Zielwert.

Glücklicherweise gibt es auf dem Markt hervorragende 8-Ω-/100-W-Leistungswiderstände zu vernünftigen Preisen. Ich habe solche mit Aluminiumgehäusen gemäß Bild 4 verwendet. Diese sind ideal geeignet, da man sie zur besseren Wärmeableitung einfach auf einen Kühlkörper schrauben kann und so eine bessere Leistungsbewältigung gewährleistet ist.

Induktivität

In den meisten Lautsprecher-Dummy Load-Projekten, denen man begegnet, wird häufig die Notwendigkeit von Widerständen mit sehr geringer Induk-

tivität erwähnt. Dies führt dazu, dass viele Selbstbauer ein kleines Vermögen für Widerstände mit dieser Eigenschaft ausgeben und dabei die viel günstigeren auf dem Markt erhältlichen Alternativen übersehen.

Während es in der Tat wünschenswert wäre, Widerstände zu verwenden, die über den gesamten Frequenzbereich des Audiosignals, dem sie ausgesetzt werden, möglichst frequenzunabhängig sein sollten, ist das „Problem“ der parasitären Induktivität des Widerstands übertrieben, da seine reale Wirkung in der interessierenden Anwendung tatsächlich nur wenige Spezialisten berechnet haben.

Ich setze Widerstände ein, die denen in Bild 4 sehr ähnlich sind, und habe die Induktivität dieser Widerstände in meinem Aufbau gemessen. Dazu verwende ich vier davon in einer umschaltbaren 8-Ω-/4-Ω-Anordnung, wie weiter unten in diesem Artikel beschrieben. Dabei liegt der durchschnittliche Messwert bei etwa 2 µH. Ist das nun von Bedeutung oder nicht? Wir wollen das berechnen. Wir wissen, dass die tatsächliche Impedanz einer Widerstands-/Induktivitätskombination wie folgt berechnet wird:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

Dabei gilt: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

f = Frequenz, L = Induktivität

Wenn wir die tatsächliche Impedanz (Z) berechnen, die unsere Widerstände für einige der interessierenden Frequenzen aufweisen, erhalten wir die folgenden Ergebnisse:

bei 100 Hz: 8,000000099 Ω

1 kHz: 8,0000099 Ω

10 kHz: 8,00099 Ω

20 kHz: 8,0039 Ω

Diese Werte weichen höchstens um 0,05 % von den „reinen“ 8 Ω ab, was für alles außerhalb eines Forschungslabors unbedeutend ist! Zugegeben: Wenn wir zwei 8-Ω-Widerstände parallel schalten, um 4 Ω zu erhalten, ist die Abweichung ca. 0,8 %. Dennoch bleibt der Wert so niedrig, dass er einen zu vernachlässigenden Einfluss auf die Betriebseigenschaften unseres Geräts hat.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Sie in den meisten Fällen nahezu jeden Widerstand mit dem gewünschten Widerstandswert und einer sicher ausreichenden Belastbarkeit verwenden können, ohne ein Vermögen für Komponenten mit unglaublich niedriger Induktivität auszugeben, insbesondere für den Einsatz im Audiobereich, was an dieser Stelle unser Hauptziel ist.



Bild 3: Impedanz gemessen bei verschiedenen Frequenzen: (a) DC; (b) 100 Hz; (c) 1 kHz; (d) 10 kHz

Zum Entwurf

Nachdem wir nun die Eigenschaften der Kernkomponenten, der Widerstände, skizziert haben, wollen wir die genauen Anforderungen an unsere Dummy-Load klären. Wie bereits erwähnt, besteht der herkömmliche Ansatz darin, anstelle eines Lautsprechers einen Widerstand an den Ausgang der Tonquelle anzuschließen. Aber ist das alles, was wir anstreben? Ich glaube, wir haben das Potenzial, weit mehr zu erreichen.

Lautsprecher oder kein Lautsprecher?

Wir werden den Lautsprecher durch unsere Last ersetzen, aber die Möglichkeit, nahtlos zwischen der Dummy-Last und einem Lautsprecher umzuschalten, ist von großem Wert.

In meinem Aufbau verwende ich ein Paar Werkstattlautsprecher mittlerer Qualität mit einer Nennleistung von über 100 W, die ich günstig in einem Second-Hand-Laden gekauft habe. Sie sind im Regal über meiner Werkbank untergebracht. Ihr Aussehen hat keine Priorität. Obwohl mir bewusst ist, dass sie während des Gebrauchs beschädigt werden könnten, bereitet mir das keine großen Sorgen.

Mit einem Kippschalter (siehe Bild 5) kann ich einfach zwischen der Dummy-Load und dem Lautsprecher wechseln. Diese Anordnung ermöglicht es mir nicht nur, falls gewünscht das Audiosignal zu hören, sondern schützt auch teure Hi-Fi-Systemlautsprecher vor möglichen Schäden. Normalerweise beginne ich mit dem Einschalten der „Dummy Load“, überprüfe, ob am Verstärkerausgang ein Gleichspannungsoffset vorliegt und wechsele dann in den „Lautsprecher“-Modus, um den Ton selbst zu beurteilen. Das ist ein einfaches und bequemes Vorgehen.

Welche Impedanz? 4 Ω , 8 Ω oder 16 Ω ?

Wenn man seine eigenen Geräte herstellt, kann man sich leicht von Designvorgaben hinreißen lassen, daher ist ein Hauch von gesundem Menschenverstand von entscheidender Bedeutung. Meistens sind die Verstärker, denen ich begegne, darauf ausgelegt, sowohl 4- Ω - als auch 8-Ohm-Lautsprecher zu versorgen, wobei die 8- Ω -Option der



Bild 4: Diese 8- Ω /100-W-Widerstände sind ideal, da sie gute Wärmeableitungseigenschaften bieten.

„Standard“ ist. Systeme, die 16- Ω -Lasten ohne eine 8- Ω -Option antreiben können, sind selten zu finden. Daher habe ich mich entschieden, die 16- Ω -Fähigkeit auszuschließen und mich darauf zu konzentrieren, die Dummy-Last für die Aufnahme von 4 Ω und 8 Ω zu gestalten, die je nach Bedarf oder Vorzug ausgewählt werden kann.

Diese Konfiguration lässt sich leicht erreichen, indem man einen weiteren 8- Ω -Widerstand parallel zum Hauptwiderstand schaltet, um die 4- Ω -Option zu erreichen. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass sich die Nennleistung dieser Kombination verdoppelt, weil die Leistung zwischen den beiden Widerständen aufgeteilt wird.

Wie Bild 6 zeigt, dient ein zweiter Kippschalter diesem Zweck. Durch die Verwendung von einem zweipoligen Kippschalter werden beide Kanäle gleichzeitig umgeschaltet. Ich hatte noch nie die Anforderung, einen Kanal an 4 Ω zu testen, während der andere an 8 Ω belassen wurde, daher scheint das gleichzeitige Umschalten beider Kanäle einfach die praktische Wahl zu sein.

Oszilloskop-Überwachung

War es das? Nicht ganz. Wir benötigen außerdem die Fähigkeit, das Signal auf einem Oszilloskop zu überwachen, um visuell zu überprüfen, was vor sich geht. Was für unsere Ohren gut klingt, kann auf dem Oszilloskop oft nicht so gut aussehen.

Obwohl wir unsere Oszilloskopkabel einfach an die Widerstände oder sogar direkt an den Ausgang des Verstärkers anschließen könnten, gibt es eine effizientere Methode.

Durch den Einbau einer BNC-Buchse am Eingang unserer Dummy Load können wir das Oszilloskop über ein geeignetes Kabel nahtlos damit verbinden. So können wir sofortigen Zugriff auf das Signal haben, ohne mühsam nach einem idealen Punkt für den Anschluss unseres Oszilloskop-Tastkopfs suchen zu müssen.

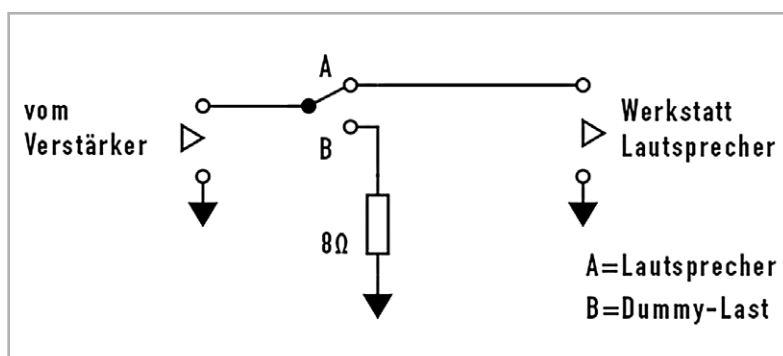


Bild 5: Ein Schalter ermöglicht die Wahl zwischen Dummy-Load und Werkstattlautsprecher.

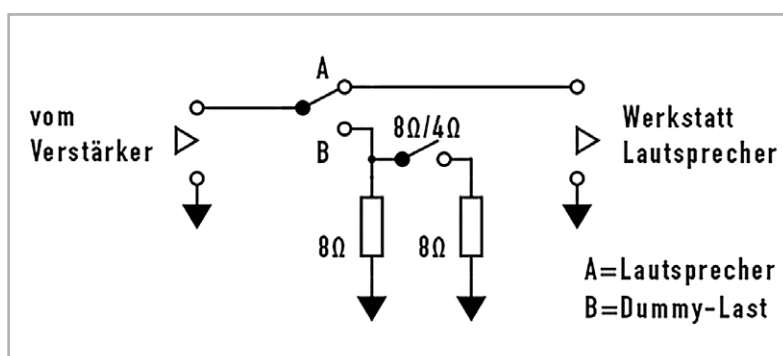


Bild 6: Ein zweiter Schalter erzeugt eine 4- Ω -Last mit der doppelten Nennbelastbarkeit.

Diese in Bild 7 dargestellte Konfiguration dient als vollständiges Schema für einen Kanal unserer Dummy-Last. Die Eingangsimpedanz des Oszilloskops von $1\text{ M}\Omega/15\text{ pF}$ hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Impedanz der Last, da $1\text{ M}\Omega$ erheblich größer als $8\ \Omega$ oder $4\ \Omega$ ist und daher keine Rolle spielt. Für genaue Messwerte am Oszilloskop sollte es auf „1x“ eingestellt werden und nicht auf die üblichen „10x“, was typisch bei Verwendung eines 10x-Tastkopfes ist.

Bild 7 zeigt auch eine leichte Änderung in der Art des Schalters, der zur Auswahl zwischen „Dummy-Load“ und „Lautsprecher“ verwendet wird. Er ist jetzt ein EIN-AUS-Kippschalter mit einer stabilen Mittelstellung, in der keiner der Pfade aktiv ist. Dieses Set-up erweist sich als nützlich, wenn wir das Signal am Oszilloskop ohne angeschlossene Last überwachen möchten.

Zwei „Gefahren“

Der Schaltplan in Bild 7 ist vollständig, jedoch sind zwei wichtige Warnungen zu beachten.

Das erste Problem besteht darin, dass die Mittelposition (ohne angeschlossene Last) nicht bei Röhrenverstärkern verwendet werden sollte. Röhrenverstärker funktionieren ohne Last nicht gut, da die Anodenimpedanz der Endstufenröhre durch die Wirkung des Ausgangstransformators von der Lastimpedanz abhängt. Der Betrieb eines Röhrenverstärkers im unbelasteten Zustand kann die Endröhre und in manchen Fällen auch den Ausgangstransformator selbst beschädigen.

Das zweite Problem betrifft die Tatsache, dass die Erdungen des linken und des rechten Kanals der Dummy-Load bisher völlig getrennt sind. Wenn ein Oszilloskop zur Überwachung beider Audiokanäle verwendet wird (ein Audiokanal pro Oszilloskop-Kanal), werden die Erdungen beider Seiten über die Masseleitungen des Oszilloskop-Tastkopfs verbunden. Diese Leitungen sind intern und meistens auch mit dem Schutzleiter verbunden. Obwohl dies normalerweise kein Problem darstellt, haben die Kanäle L und R in einigen Fällen, insbesondere bei Klasse-D-Verstärkern, keine gemeinsamen Massen und sollten nicht miteinander verbunden werden. In solchen Fällen sollten Sie den Anschluss eines Oszilloskops an das Gerät unterlassen, um mögliche schwere Beschädigungen des Verstärkers zu vermeiden.

Mein eigentlicher Aufbau

Ich habe meine Dummy-Load in ein Stück Aluminiumprofil integriert und dieses durch Entfernen des oberen Abschnitts so modifiziert, dass es genau auf die Unterseite des ersten Regalbretts über meiner Werkbank passt. Dieses Set-up ermöglicht mir bequemen Zugriff, ohne meinen Arbeitsbereich zusätzlich zu überladen.

Dieses System vereinfacht auch die Verbindung der beiden BNC-Anschlüsse mit den beiden direkt darüber positionierten Kanälen meines Oszilloskops (siehe Bild 8), wodurch die Arbeitsfläche auf der Werkbank nicht zusätzlich in Anspruch genommen wird.

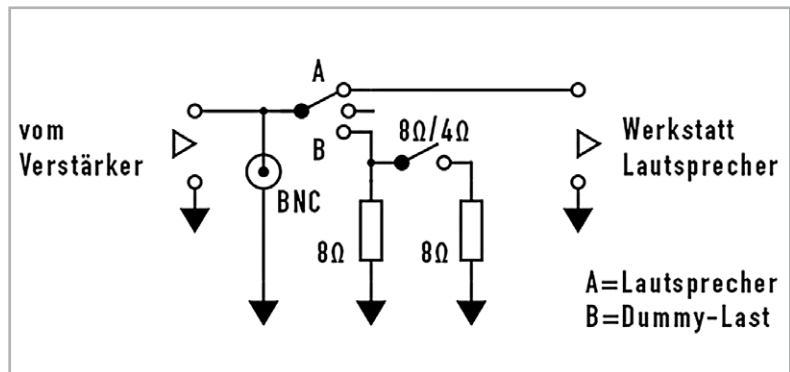


Bild 7: Das Hinzufügen einer BNC-Buchse ermöglicht eine einfache Überwachung mit dem Oszilloskop.

In Bild 8 sehen Sie ein weiteres Paar Kippschalter, das ich noch nicht beschrieben habe. Mit diesen Schaltern kann ich zwischen zwei möglichen Eingangssignalquellen für das System wählen. Diese sind:

- Der Eingang der Lautsprecherbuchsen an der Vorderseite, die vom Verstärker kommen
- Der Ausgang meines Werkstattverstärkers direkt links von der Dummy-Load. Ich habe dies implementiert, um die Verwendung mehrerer Kabel zu umgehen, die zum Anschluss des Werkstattverstärkers an die Lautsprecher erforderlich sind. Dieser Schalter ermöglicht die direkte Speisung der Lautsprecher-Dummy-Last intern. Dies ist eine hilfreiche Funktion, wenn ich Signale auf dem Oszilloskop beobachten muss, insbesondere wenn ich an einem Vorverstärker arbeite und den Werkstattverstärker als Endstufe verwende.

Zu beachten ist, dass sich mit dieser Option meine beiden Kanäle eine gemeinsame Masse teilen, da der von mir verwendete Eingangswahl-Kippschalter nur die Signalleitungen und nicht die Massen schaltet, die im Werkstattverstärker intern verbunden sind. Um davor zu warnen, habe ich auf der Vorderseite deutlich „WARNUNG: Gemeinsame Massen“ markiert. Dennoch ist beim Arbeiten an einem unbekannten Verstärker Vorsicht geboten.



Bild 8: Das Unterregalsystem macht die Verbindungen zum Anschluss eines Oszilloskops einfach und übersichtlich.

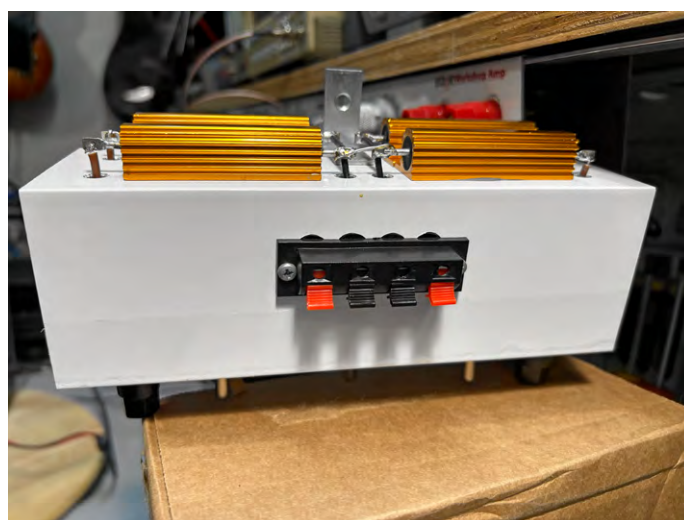
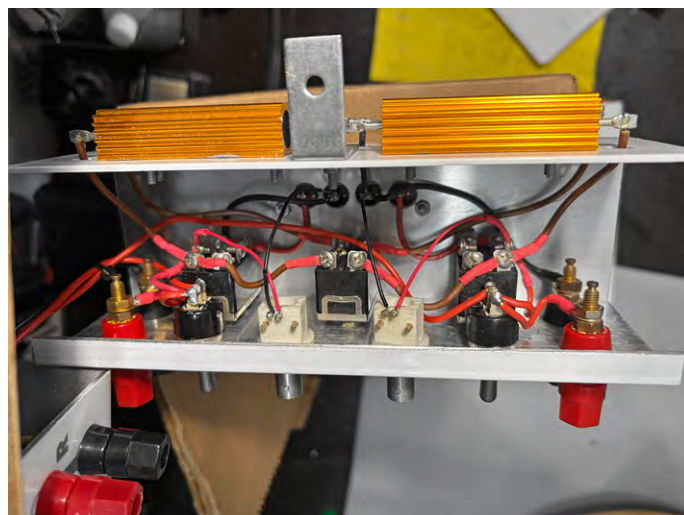
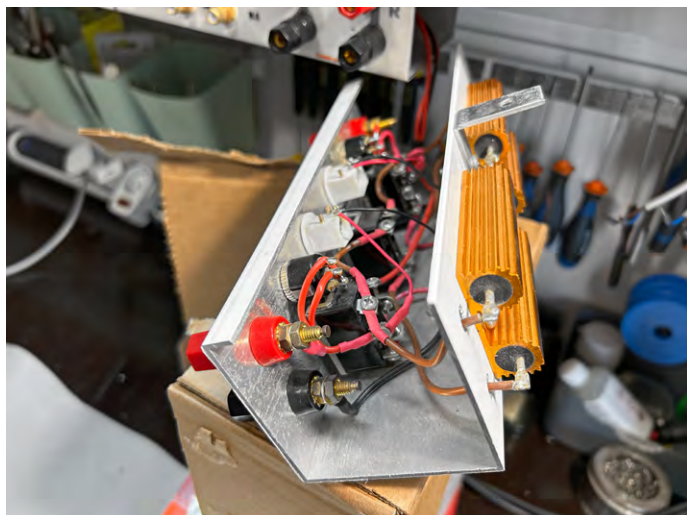


Bild 9: Die interne Verkabelung erfolgt vollständig Punkt zu Punkt, mit guter Qualität. Die Widerstände befinden sich auf der Rückseite, was die Wärmeableitung verbessert.

Komponentenauswahl

Wie wir bereits festgestellt haben, ist die Wahl der Widerstände kein großes Problem, solange sie der Leistung standhalten. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist jedoch die Auswahl der Schalter. Die Entscheidung für kleinere, moderner aussehende Miniatur-Kippschalter mag zwar verlockend sein, könnte aber zu einem Fehler führen.

Das Hauptanliegen ist die tatsächliche Strombelastbarkeit dieser Schalter. Bei einem 100-W-Signal an $4\ \Omega$ beträgt der Strom 5 Ampere! Kleinere Kippschalter verarbeiten normalerweise 2 oder 3 Ampere und könnten bei diesen Stromstärken überfordert sein.

Um solche Probleme zu vermeiden, verwende ich robuste 16-Ampere-Schalter. Diese größeren Schalter geben bei Aktivierung ein deutlich hörbares „Klicken“ von sich, und ich hatte noch nie Probleme mit ihnen.

Fazit

Bild 10 zeigt das vollständige Schema der Audio-Dummy-Last, wie ich sie aufgebaut habe – eine Anordnung, die sich für meine Anforderungen als unglaublich vorteilhaft erwiesen hat.

Mit diesem Aufbau muss ich mir beim Testen von Audiogeräten mit höherer Lautstärke keine Sorgen mehr um die Beschädigung wertvoller Lautsprecher machen oder darum, dass die Nachbarn unbeabsichtigt gestört werden. Solch eine Audio-Dummy-Load ist ein Muss für jeden Bastler oder Techniker, und das Schöne ist die Einfachheit und Kosteneffizienz des eigenen Aufbaus. **ELV**

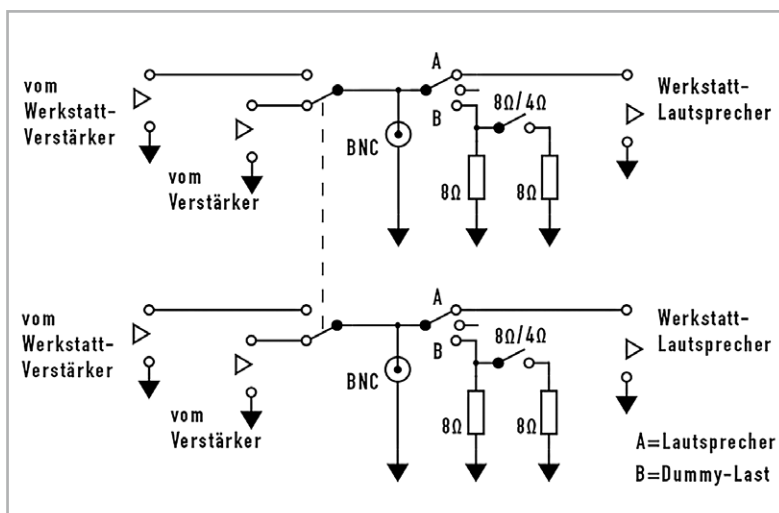


Bild 10: Die endgültige vollständige Schaltung der Audio-Dummy-Load