

Berechnung ohmscher Anpassungs- und Dämpfungsglieder

In der Funktechnik wird vielfach die Aufgabe gestellt, Geräte und Leitungen phasenrein anzupassen oder Wechselspannungen zu teilen, ohne die Phase zu beeinflussen. Das einfachste Mittel zur Erreichung dieser Ziele sind Widerstandsglieder, weil sie, ohne Kapazität oder Induktivität aufgebaut, die Phase nicht beeinflussen. Im Gegensatz zu Transformatoren, die an sich das ideale Mittel zur Anpassung und Spannungswandlung darstellen, lassen sich Widerstandsglieder verhältnismäßig einfach berechnen¹⁾. Mit ihrer Hilfe gelingt es beispielsweise recht einfach, eine Antenne samt Bandkabel hoher Impedanz an den Eingang eines Fernsehempfängers mit niedrigerer Impedanz anzupassen. In der gleichen Weise gelingt es, Tonabnehmer mit dem Verstärkereingang und Aus- bzw. Eingang verschiedener Geräte unterschiedlicher Impedanz ohne Beeinflussung des Frequenzganges miteinander zu verbinden.

Berechnung von L-Gliedern

Das einfachste unter den Widerstandsgliedern ist das L-Glied nach *Bild 1*, das in seiner einfachsten Form aus zwei Widerständen besteht und notwendigerweise unsymmetrisch ist. Widerstand R_1 liegt parallel zu Ein- und Ausgang, R_2 im Zuge einer der Verbindungen zwischen Ein- und Ausgang. Daneben ist die rechts dargestellte Form möglich, bei der ein Widerstand vom halben Wert von R_2 in jeder der Verbindungen zwischen Ein- und Ausgang liegt.

$$R_1 \cdot R_2 = Z_1 \cdot Z_2 \quad (1) \qquad R_2 = \left(\frac{Z_2}{Z_1} - 1 \right) R_1 \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{Z_1}{\sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}}} \quad (3) \qquad R_2 = Z_2 \sqrt{1 - \frac{Z_1}{Z_2}} \quad (4)$$

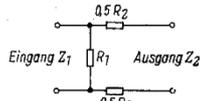
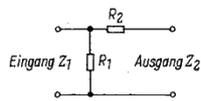
¹⁾ Ausführliche Berechnungsunterlagen für Anpassungs- und Dämpfungsglieder enthält auch der soeben im Franzis-Verlag erschienene 2. Band des „Hilfsbuch für Hodsfrequenztechniker“

Zur Berechnung eines solchen L-Gliedes geht man von den Ansätzen der Formeln (1) und (2) aus und gelangt zu den Formeln (3) und (4), die rechts nur noch die Werte der Eingangs- und Ausgangsimpedanz Z_1 und Z_2 , nicht aber Widerstandswerte enthalten. Die Tabellen bei *Bild 1* lassen die Größen der Widerstände für einige gangbare Impedanzwandlungen der amerikanischen Fernsehtechnik erkennen.

Will man die Widerstands- und Impedanzverhältnisse bei einem L-Glied überblicken, so muß man neben den Widerständen die Impedanz der angeschlossenen Geräte und Leitungen mit in Betracht ziehen, wie es in *Bild 2* angedeutet ist. Blickt man gewissermaßen in den Eingang hinein, so bietet sich das in *Bild 3* dargestellte Gefüge. Widerstand R_2 und Impedanz Z_2 liegen in Reihe parallel zu R_1 . Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß für R_1 und R_2 nicht genau die aus der Formel errechneten Werte, sondern die nächstliegenden Standard-Einzelteilwerte verwendet wurden, ergeben sich 150 Ω (genau 155 Ω).

Führt man dieselbe Betrachtung vom Ausgang in Richtung auf den Eingang durch, wie in *Bild 4*, so liegen R_1 und Z_1 parallel in Reihe mit R_2 . Jetzt ergibt die Rechnung unter Berücksichtigung der verwendeten Standard-Einzelteilwerte 300 Ω (genau 309 Ω). Leider ist diese Art der transformatorlosen Impedanzwandlung nicht verlustfrei, wie *Bild 5* erkennen läßt. Von der Eingangsspannung gelangt nur diejenige Teilspannung an den Ausgang, die durch Spannungsabfall an Z_2 entsteht.

Ein Anwendungsbeispiel für ein L-Glied läßt *Bild 6* erkennen. Hier ist ein Kristalltongeber mit einer vom Hersteller empfohlenen Belastung mit 110 k Ω an einen Verstärkereingang von 1 M Ω angepaßt. Es ist unverkennbar, daß der Frequenzgang des Tonabnehmers durch diese Art der Anpassung nicht beeinflußt wird; dagegen kann die auftretende Dämpfung durch den nachfolgenden Verstärker ohne weiteres ausgeglichen werden. Bei Verwendung eines Transformators anstelle des L-Gliedes wäre die Dämpfung wahrscheinlich geringer, doch ließe sich eine Beeinflussung des Frequenzganges nicht vermeiden.



Z ₁	Z ₂	R ₁	R ₂
50	300	56	270
75	300	82	240
150	300	220	220

Z ₁	Z ₂	R ₁	0,5 R ₂
50	300	56	150
75	300	82	120
150	300	220	100

Bild 1. Anordnung und Berechnung von L-Gliedern samt einigen berechneten Werten

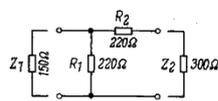


Bild 2. L-Glied mit Andeutung der angeschlossenen Impedanzen

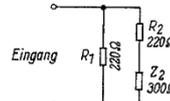


Bild 3. Betrachtung eines L-Gliedes mit angeschlossener Ausgangsimpedanz vom Eingang her

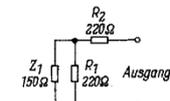


Bild 4. Betrachtung eines L-Gliedes mit angeschlossener Eingangsimpedanz vom Ausgang her

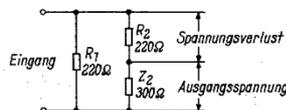


Bild 5. Verluste des L-Gliedes durch Spannungsteilung

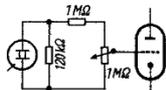
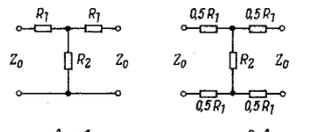


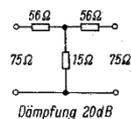
Bild 6. Anwendung eines L-Gliedes zur Anpassung eines Kristalltonabnehmers



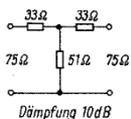
$$R_1 = Z_0 \frac{A-1}{A+1} \quad R_2 = Z_0 \frac{2A}{(A+1) \cdot (A-1)}$$

A = Verhältnis von Eingangs- zur Ausgangsspannung

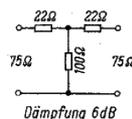
Bild 7. Anordnung und Berechnung von T- und H-Gliedern



Dämpfung 20dB



Dämpfung 10dB



Dämpfung 6dB

Links: Bild 8. Beispiele von T-Gliedern unterschiedlicher Dämpfung

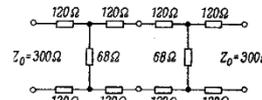


Bild 9. Zusammenfügung von T-Gliedern zu einem Widerstandsnetzwerk

Berechnung von T- und H-Gliedern

Zu Zwecken der Dämpfung, also der definierten Herabsetzung von Wechselspannungen ohne Beeinflussung der Eingangs- und Ausgangsimpedanz, werden T- und H- Glieder aus ohmschen Widerständen benutzt, deren Anordnung und Berechnung *Bild 7* erkennen läßt. Man sieht zugleich, daß das H- Glied eine Abwandlung des T-Gliedes ist, bei dem der halbe Widerstandswert der untereinander gleich großen Widerstände R_1 in jeder der Verbindungen zwischen Eingang und Ausgang liegt.

Eine Impedanzwandlung findet nicht statt, so daß Eingangs- und Ausgangsimpedanz die gleiche Größe Z_0 aufweisen. T- und H-Glieder werden vor allem zur Erweiterung des Meßbereiches von Instrumenten und besonders zur definierten Spannungsdämpfung bei Elektronenstrahl - Oszillografen verwendet. *Bild 8* gibt einige Beispiele für die Ein- und Ausgangsimpedanz von 75Ω mit der Dämpfung 20 dB, 10 dB und 6 dB entsprechend der Spannungsherabsetzung auf ein Zehntel, ein Drittel und ein Fünftel der Eingangsspannung. Aus der Tabelle lassen sich die Werte für die Widerstände R_1 und R_2 bei gegebener Impedanz und gewünschter Dämpfung entnehmen; die in der zweiten und dritten Spalte angegebenen Faktoren sind mit dem Wert der Eingangs- und Ausgangsimpedanz zu multiplizieren.

Entsprechend *Bild 9* können H-Glieder auch zu einem Widerstandsnetzwerk zusammengefügt werden, wobei die Werte der an den Verbindungsstellen zusammentreffenden Widerstände zusammengezogen sind. Zur Berechnung der Gesamtdämpfung einer solchen Kette sind die Dezibelwerte der Glieder zu addieren.

Eldrige, B.: The „Ins" and „Outs" of Resistor Pads. Electronics World, Juli 1959, Seite 112

Zur Berechnung von T- und H-Gliedern

Dämpfung in dB	$R_1 \cdot Z_0 \cdot \text{Faktor}$	$R_2 \cdot Z_0 \cdot \text{Faktor}$
6	0,3323	1,3389
10	0,5195	0,7027
12	0,5985	0,5362
18	0,7764	0,2558
20	0,8182	0,2020
24	0,8813	0,1267