

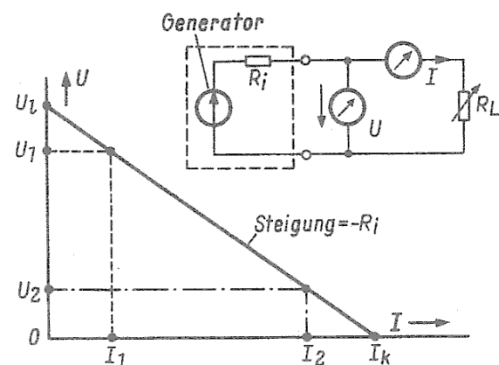
A. Messung und Darstellung des Generator-Innenwiderstandes

Die Ersatz-Spannungsquelle und die Ersatz-Stromquelle sind mathematisch in den Funktechnischen Arbeitsblättern Mth 83 behandelt. Jeder praktische Generator (Batterie, Antenne, Verstärker) weist einen inneren Widerstand R_i auf, den man für den Fall, daß es sich um einen linearen Widerstand handelt, seine Größe also unabhängig von Strom und Spannung ist, als Verhältnis von Leerlaufspannung U_l zu Kurzschlußstrom I_k definieren kann.

Da U_l und U_k meist nicht direkt gemessen werden können, geht man folgendermaßen vor: Der Generator wird mit einem einstellbaren Widerstand R_L belastet. Die Klemmenspannung U am Belastungswiderstand ist eine Funktion des ihn durchfließenden Stromes I . Diese Funktion kann man nach Bild 1 grafisch darstellen. Da der Innenwiderstand linear sein soll, ist das Bild der Funktion eine Gerade. Zum Zeichnen des Funktionsbildes reicht es also, wenn zwei (möglichst weit auseinander liegende) Meßpunktpaare für U und I zur Verfügung stehen, im Bild $U_1 I_1$, und $U_2 I_2$. Durch sie zieht man eine Gerade.

An ihrem Schnittpunkt mit der U-Ordinaten läßt sich dann die Leerlaufspannung (EMK) U_l ablesen, die für $R_L = \infty$ auftritt. Am Schnittpunkt mit der I-Abszisse ergibt sich der Kurzschlußstrom I_k , gültig für $R_L = 0$. Die Neigung der Geraden bestimmt den Innenwiderstand des Generators.

Bild 1. Messung und Kennlinien-darstellung des Innenwiderstandes eines Generators



B. Grafische Darstellung der Zusammenschaltung von Generator und Verbraucher

Betrachtet man den Punkt U_1, I_1 in Bild 1, so gehört hierzu der Strom I_1 , der durch den Lastwiderstand R_L fließt, an ihm steht die Spannung U_1 . Wird ein linearer Lastwiderstand angenommen, so kann man seine Kennlinie zeichnen, wenn man als zweiten Punkt für diese Kennlinie den Punkt $I = 0$ für $U = 0$ annimmt und durch beide Punkte eine Gerade zieht. Dies ist in Bild 2 geschehen. Die Steigung dieser Geraden ist gleich R_L . Man liest jetzt aus dem Diagramm ab, daß bei dem Strom I_1 am Lastwiderstand R_L die Spannung U_1 und am Innenwiderstand R_i die Spannung $U_i = R_i \cdot I_1$ abfällt. Die Leerlaufspannung U_l ist die Summe von beiden,

$$U_l = U_1 + R_i \cdot I_1$$

Das gilt für jeden Stromwert I ; die Klemmenspannung ist allgemein

$$U = U_l - R_i \cdot I \quad (1)$$

Das ist die Funktionsgleichung für die fallende Gerade in Bild 1 und Bild 2 mit der Steigung $-R_i$. Ferner beträgt mit der gegebenen Größe des Lastwiderstandes die Klemmenspannung:

$$U = R_L \cdot I \quad (2)$$

Das ist die Funktionsgleichung für die ansteigende Gerade mit der Steigung R_L in Bild 2.

Beide Gleichungen müssen beim Zusammenschalten von Generator und Lastwiderstand erfüllt sein, und zwar durch das gleiche Wertepaar U, I . Das bedeutet in der grafischen Darstellung, daß sich hier die beiden Geraden schneiden (z. B. Punkt U_1, I_1 in Bild 2). Die algebraische Lösung

durch gegenseitige Substitution wird aus (1) und (2)

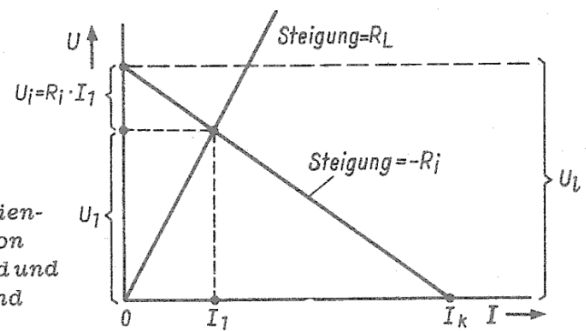
$$I = \frac{U_l}{R_i + R_L} \quad (3)$$

und

$$U = \frac{U_l \cdot R_L}{R_i + R_L} \quad (4)$$

Die grafische Lösung und Darstellung ist dann von besonderem Vorteil, wenn man es nicht mit linearen Widerständen zu tun hat: bei Röhrenkennlinien, Glimmstabilisatoren. Beispiele dafür finden sich in den Funktechnischen Arbeitsblättern Re 11.

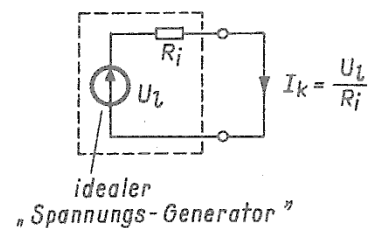
Bild 2. Kennliniendarstellung von Innenwiderstand und Lastwiderstand



C. Generator-Ersatzbilder

Für einen Generator mit Innenwiderstand, dessen Verhalten Bild 1 beschreibt, kann man nun zwei vollkommen gleichwertige, vereinfachte Ersatzbilder aufstellen, in denen man den Generator idealisiert und den Innenwiderstand gesondert herauszeichnet

Bild 3. Die Ersatz-Spannungsquelle mit dem idealen Spannungsgenerator



1. Die Ersatz-Spannungsquelle (Spannungsgenerator)

Der Innenwiderstand R_i liegt in Reihe mit dem idealen Generator, Bild 3. Dieser ideale Generator besitzt dann folgende Eigenschaften:

- Seine Spannung U_l ist absolut konstant, d. h. vollkommen unabhängig von dem durchfließenden Strom. Im Leerlauf ($R_L = \infty$) tritt diese Spannung U_l als Klemmenspannung (Leerlaufspannung U_l) an den Ausgangsklemmen des Generators auf.
- Sein Widerstand ist Null, d. h. er bildet einen absoluten Kurzschluss für alle ihn durchfließenden Ströme (auch für von fremden Generatoren herrührende).

Ein prägnantes Symbol für ein solches „idealen“ Spannungsgenerator ist in Bild 3 verwendet, der durchgehende Pfeil symbolisiert die Tatsache, daß alle Ströme ungehindert durchfließen können, also den Widerstand Null.

Bei Kurzschluss der äußeren Klemmen fließt der Kurzschlußstrom. $I_k = \frac{U_l}{R_i} \quad (5)$

2. Ersatz-Stromquelle (Stromgenerator)

Der Innenwiderstand R_i , dessen Größe z. B. durch eine Messung nach Bild 1 bestimmt wurde, wird parallel zum idealisierten Generator geschaltet gedacht und gezeichnet, Bild 4. In diesem Falle muß der ideale Generator folgende Eigenschaften aufweisen:

- Sein Widerstandswert muß unendlich groß sein, da an den Klemmen der Widerstandswert R_i gemessen wird. Ströme von fremden Generatoren fließen nicht durch den idealisierten Generator.
- Er liefert einen absolut konstanten Strom, d. h. dieser ist vollkommen unabhängig von der Größe des angelegten Lastwiderstandes.

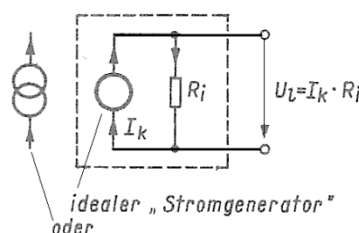


Bild 4. Die Ersatz-Stromquelle mit dem idealen Stromgenerator

Welchen Stromwert muß nun der Generator konstant liefern, damit beide Ersatzbilder vollständig äquivalent sind? Im Leerlauf soll also auch die Ersatz-Stromquelle die Klemmenspannung U_l (wie

die Ersatz-Spannungsquelle) aufweisen. Wenn U_I an den Klemmen, also an R_i abfallen soll, muß nach (5) der Kurzschlußstrom I_k durch R_i fließen, denn

$$U_I = R_i \cdot I_k \quad (6)$$

Somit ist der Strom, den der ideale Stromgenerator konstant liefert, gleich dem (z. B. aus Bild 1 ermittelten) Wert von I_k .

Ein zweckmäßiges Symbol für einen solchen Stromgenerator ist in Bild 4 angewendet, der offene Kreis; der durch ihn unterbrochene Pfeil deutet an, daß den Generator kein Strom durchfließen kann, daß er den Widerstand Unendlich hat. Die Pfeilrichtung gibt die Richtung des Stromes I_k an. Er teilt sich auf in den Strom durch R_i und den durch den evtl. angeschlossenen Lastwiderstand R_L fließenden Strom I_L , entsprechend dem Verhältnis R_L/R_i .

Die besprochenen Ersatzbilder gelten für jeden Generator (aktiven Zweipol), auch wenn es sich um einen solchen mit komplexen inneren Widerständen in verwickelter Schaltungsanordnung handelt. Als Ersatz-Innenwiderstand tritt dann ein komplexer Widerstand $Z_i = R_i \pm jX_i$ auf.

D. Leistung des Generators

Welche Leistung kann man einem gegebenen Generator entnehmen und einem äußeren Lastwiderstand zuführen und wie ist dazu der Lastwiderstand an den Innenwiderstand anzupassen?

1. Die innere Leistung des Generators

Multipliziert man rein formal die Leerlaufspannung U_I des Generators mit seinem Kurzschlußstrom I_k , so erhält man den Wert der sogenannten „inneren Leistung“, das ist die Leistung, die bei Kurzschluß am Innenwiderstand verbraucht wird. Sie ist eine reine Rechengröße und hat keine praktische Bedeutung.

2. Die verfügbare Leistung (available power) des Generators

a) bei reellem Innen- und Lastwiderstand

Zunächst wird ein reeller Innenwiderstand R_i und ein reeller Lastwiderstand R_L angenommen. Die Leistung P_L an der Last errechnet sich aus dem Strom durch die Last

$$I_L = \frac{U_I}{R_i + R_L}$$

und der Klemmenspannung an der Last $U_L = R_L \cdot I_L$

Damit wird die Leistung an der Last $P_L = U_L \cdot I_L = R_L \cdot I_L^2 = \frac{U_I^2 \cdot R_L}{(R_i + R_L)^2} = \frac{U_I^2}{R_i} \cdot \frac{\frac{R_L}{R_i}}{\left(1 + \frac{R_L}{R_i}\right)^2}$ (7)

Aus (7) kann man den Maximalwert von P_L in Abhängigkeit von R_L ermitteln, er tritt auf bei einem Wert des Lastwiderstandes von

$$R_L = R_i \quad (\text{für } P_L = P_{\max}) \quad (8)$$

Dabei ist die Leistung am Lastwiderstand ein Maximum, nämlich:

$$P_{\max} = \frac{U_I^2}{4R_i} \quad (9)$$

Diese Leistung P_{\max} heißt die verfügbare Leistung, sie ist die maximale Leistung, die einem Generator mit der Leerlaufspannung U_I und dem Innenwiderstand R_i entnommen werden kann. Ausgedrückt durch die Ersatz-Stromquelle mit dem Innenleitwert G_i und dem Kurzschlußstrom I_k ist die

$$P_{\max} = \frac{I_k^2}{4G_i} \quad (10)$$

b) bei komplexem Innen- und Lastwiderstand

Der Innenwiderstand sei $Z_i = R_i + jX_i$
 und der Lastwiderstand $Z_L = R_L + jX_L$

Damit wird der Strom durch den Lastwiderstand $I_L = \frac{\underline{U}_i}{\underline{Z}_i + \underline{Z}_L} = \frac{\underline{U}_i}{R_i + R_L + j(X_i + X_L)}$ (11)

Sowie die Leistung am Lastwiderstand $P_L = R_L |I_L|^2 = \frac{|\underline{U}_i|^2 R_L}{(R_i + R_L)^2 + (X_i + X_L)^2}$ (12)

Diese Leistung wird zunächst einmal ein Maximum, wenn $X_i = -X_L$ gewählt wird, außerdem, wenn wiederum $R_L = R_i$ ist. Unter diesen Bedingungen ergibt sich wieder als maximale Leistung

$$P_{\max} = \frac{|\underline{U}_i|^2}{4R_i} \quad (13)$$

Die verfügbare Leistung des Generators mit komplexem Innenwiderstand hängt also nur vom Betrag seiner Leerlaufspannung und dem Real teil seines Innenwiderstandes ab. Bedingung für die Auskopplung dieser maximalen, verfügbaren Leistung ist die Anpassung mit $R_L = R_i$ und $-X_L = X_i$, d. h. der Abschluß des Generators mit seinem konjugiert komplexen Innenwiderstand:

$$R_L - jX_L = R_i + jX_i \quad (14)$$

Physikalisch ausgedrückt heißt das, daß das Gesamtsystem Innenwiderstand und Lastwiderstand auf Resonanz abgestimmt sein muß für diejenige Frequenz, bei der die maximale Leistung gefordert wird und außerdem muß $R_L = R_i$ sein.

Haben Generator und Last reelle Widerstände, so erreicht man die Anpassung $R_L = R_i$ mit einem Transformator. Sind beide oder einer der Widerstände komplex, so kann man Transformationsschaltungen verwenden, wie sie in den Funktechnischen Arbeitsblättern Fi 31 und Fi 32 beschrieben sind.

Die verfügbare Leistung ist eine charakteristische Größe für einen aktiven Zweipol (Generator), ähnlich wie der Innenwiderstand R_i und die Leerlaufspannung U_i .

E. Begriffsbestimmung von Leistung, Verlust und Leistungsverstärkung

Die aus einem Generator entnommene Leistung kann durch einen Vierpol geschickt werden, in dem entweder die Leistung verstärkt werden oder Leistung verlorengehen kann. Die Begriffe Leistungsverstärkung und Leistungsverlust bedürfen einer besonderen Definition, da sich sonst Unklarheiten bei der Angabe der Verstärkungs- und Dämpfungseigenschaften von Vierpolen ergeben können.

1. Leistungsverlust (power loss)

Diese Größe hat die Dimension einer Leistung, die Einheit ist 1 Watt.

Leistungsverlust ist derjenige Teil der Gesamtleistung in einem System, der nicht für den gegebenen Zweck zur Verfügung steht (z. B. die in Wärme umgewandelte Anodenverlustleistung einer Verstärkerröhre).

2. Verlust (loss)

Diese Größe ist als Verhältnis P_a/P_e zweier Leistungen dimensionslos.

Ist P_a , die abgegebene Ausgangsleistung und P_e die aufgenommene Eingangsleistung eines Vierpols, so ist P_a/P_e , eine dimensionslose Größe; sie wird 1, wenn $P_a = P_e$ ist und damit der nach Ziffer 1 definierte Leistungsverlust Null beträgt.

Das Leistungsverhältnis, den Verlust, drückt man häufig in logarithmischen Maßeinheiten aus, siehe hierzu Ma 11, zweite Ausgabe.

Für ein lineares System bleibt der Verlust immer derselbe, wie hoch auch immer die Leistungspegel sein mögen. Die Angabe des Verlustes kennzeichnet also die Eigenschaften eines Systems, und zwar unabhängig vom Wert des Stromes, der Spannung oder der Leistung.

3. Zwischenschalt-Verstärkung (insertion gain)

Um diese Größe zu bestimmen, braucht weder die Eingangs- noch die Ausgangsseite des Übertragungs-Vierpoles, dessen Zwischenschalt-Verstärkung angegeben werden soll, angepaßt zu sein. Sie bezieht sich jedoch auf einen konstanten, in seiner Größe anzugebenden Lastwiderstand. Man erhält sie, wenn man das Verhältnis bildet zwischen der Leistung, die an den Lastwiderstand des betrachteten, in den Übertragungsweg eingeschalteten Vierpols abgegeben wird, zu derjenigen Leistung, die an den gleichen Lastwiderstand abgegeben wird, wenn der Vierpol nicht zwischengeschaltet ist.

4. Zwischenschalt-Verlust (insertion loss)

Das Verhältnis der Leistung, die an den Lastwiderstand des Übertragungssystems ohne zwischengeschalteten Vierpol abgegeben wird zu der Leistung am gleichen Lastwiderstand für den Fall, daß der betrachtete Vierpol in den Übertragungsweg eingeschaltet ist.

Ein Beispiel (Bild 5) soll dies klarer machen: An einen Meßsender wird ein Lastwiderstand von 100Ω angeschlossen. Die an ihn abgegebene Leistung wird durch Messen der Klemmenspannung zu 1 mW ermittelt. Zwischen Meßsender und $100\text{-}\Omega$ -Widerstand wird jetzt z. B. ein Oberwellensieb geschaltet, dessen „Zwischenschalt-Verlust“ gemessen werden soll. Die jetzt an den $100\text{-}\Omega$ -Lastwiderstand abgegebene Leistung betrage $0,1 \text{ mW}$. Der Zwischenschalt Verlust des gegebenen Filters unter den gegebenen Meßbedingungen beträgt damit $1 \text{ mW}/0,1 \text{ mW} = 10 = 10 \text{ dB}$.

5. Tatsächliche Leistungs- verstärkung (power gain)

Das Verhältnis der von einem Übertragungsvierpol (Verstärker) an seinen Lastwiderstand abgegebenen Ausgangsleistung zu der aufgenommenen Eingangsleistung des Übertragungsvierpols unter den gerade vorliegenden Arbeitsbedingungen ist die tatsächliche Leistungsverstärkung. Man drückt sie zumeist in dB aus. Hierbei ist weder eingangsseitig noch ausgangs-

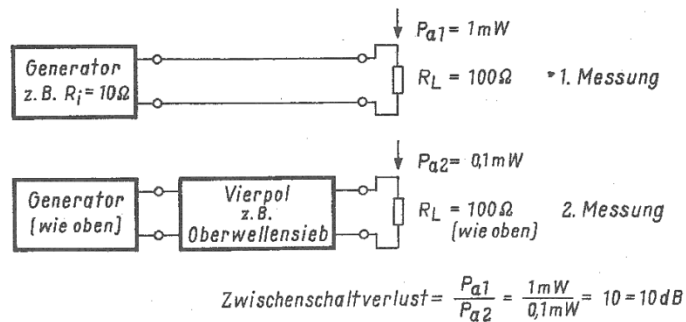


Bild 5. Messung des Zwischenschaltverlustes oder der Zwischenschaltverstärkung

seitig Leistungsanpassung vorausgesetzt.

Zwischenschaltverstärkung und Leistungsverstärkung sind kein Gütemaß für einen Verstärker. Denn die Verluste durch Fehlanpassung am Verstärkereingang und -ausgang können so hoch sein, daß die an den Lastwiderstand abgegebene Leistung kleiner ist, als wenn an Stelle des Verstärkers ein passives Netzwerk eingeschaltet wäre, das Generator und Lastwiderstand aneinander anpaßt.

Um einen Nutzen von dem Verstärker zu haben, sollte dessen abgegebene Ausgangsleistung größer sein als die verfügbare Leistung des eingangsseitig angeschlossenen Generators.

6. Übertragungs-Gewinn (transducer gain)

Bei der Definition dieser Größe ist ausgangsseitig ebenfalls keine Leistungsanpassung vorausgesetzt. Jedoch wird die abgegebene Ausgangsleistung auf diejenige Leistung des eingangsseitig angeschlossenen Generators bezogen, die er maximal an den Eingang des Übertragungsvierpols abgeben könnte, wenn er angepaßt wäre; das ist die verfügbare Leistung des Generators. Somit ist das Verhältnis der von einem Übertragungsvierpol an einen gegebenen, aber beliebigen Lastwiderstand abgegebenen Leistung zu der verfügbaren Leistung des eingangsseitig angeschlossenen Generators der Übertragungsgewinn. Er wird auch zumeist in dB ausgedrückt und stellt ein brauchbares Maß für die Leistungsfähigkeit eines Verstärkers dar.

Beispiel

Ein Zwischenfrequenzverstärker mit Transistoren wird ausgangsseitig mit einem Lastwiderstand von $2 \text{ k}\Omega$ abgeschlossen, dem Ersatzwiderstand für die nachfolgende Demodulatorschaltung. An den Eingang wird ein Meßsender geschaltet, dessen Anzeigeinstrument in Leerlaufspannung (EMK) geeicht ist und der einen Innenwiderstand R_i von 60Ω aufweist. Über Eingangswiderstand r_e und ausgangsseitigen Innenwiderstand r_i des Verstärkers ist zunächst nichts bekannt. Das Meß-

ergebnis sieht nun folgendermaßen aus:

Bei einer Klemmenspannung u_a von 1 V am 2-k Ω -Lastwiderstand ist die Ausgangsleistung

$$\frac{u_a^2}{R_a} = \frac{1^2}{(2 \cdot 10^3)^2} = \frac{1}{4} \cdot 10^{-6} = 0,25 \cdot 10^{-6} \text{ W.}$$

Die dabei am Instrument des Meßsenders abgelesene Leerlaufspannung e_g betrage 10 μ V. Dann ist

die verfügbare Leistung der Quelle $P_g = \frac{e_g^2}{4R_i} = \frac{(10 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot 60} = 0,416 \cdot 10^{-12} \text{ W.}$

Der Übertragungsgewinn beträgt damit $\frac{0,25 \cdot 10^{-6} \text{ W}}{0,416 \cdot 10^{-12} \text{ W}} = 6 \cdot 10^5 = 57,8 \text{ dB}$

Um den Unterschied zur (tatsächlichen) in Ziffer 5 definierten Leistungsverstärkung herauszustellen, wird das Beispiel weiter ausgeführt:

Mit einem empfindlichen Röhrenvoltmeter wird die am Eingang des Verstärkers wirklich vorhandene Klemmenspannung u_e zu 2 μ V gemessen. Damit läßt sich der Eingangswiderstand errechnen zu

$$r_e = \frac{R_i}{\frac{e_g}{u_e} - 1} = \frac{60 \Omega}{\frac{10}{2} - 1} = 15 \Omega$$

Die wirklich vorhandene Eingangsleistung beträgt damit $P_e = \frac{u_e^2}{r_e} = \frac{(2 \cdot 10^{-6})^2}{15} = 0,266 \cdot 10^{-12} \text{ W}$

und somit die (tatsächliche) Leistungsverstärkung (nach Abschnitt E4)

$$\frac{0,25 \cdot 10^{-6} \text{ W}}{0,266 \cdot 10^{-12} \text{ W}} \approx 10^6 = 60 \text{ dB}$$

Wenn man nun durch verlustlose Transformation dafür sorgt, daß die gesamte verfügbare Generatorleistung als Eingangsleistung des Verstärkers auftritt, also den Eingangswiderstand des Verstärkers an den Meßsenderinnenwiderstand leistungsanpaßt, dann stimmen die Zahlenwerte für „Leistungsverstärkung“ und „Übertragungsgewinn“ miteinander überein.

7. Übertragungs-Verlust (transducer loss)

Dieser Ausdruck ist sinngemäß das Verhältnis der verfügbaren Leistung des eingangsseitig angeschlossenen Generators zu der Leistung, die ein Übertragungsvierpol an einen gegebenen, aber beliebigen ausgangsseitig angeschlossenen Lastwiderstand liefert. Das Verhältnis wird meist in dB ausgedrückt.

8. Verfügbare Leistungsverstärkung (available power gain)

Wenn der Übertragungsvierpol (Verstärker) ausgangsseitig angepaßt ist, liefert er, unter definierten

Eingangsbedingungen, seine verfügbare Leistung P_{oa} , an den Lastwiderstand, nämlich $P_{oa} = \frac{e_a^2}{4r_i}$

darin ist

r_i = ausgangsseitiger Innenwiderstand des Verstärkers

e_a = Ausgangs-Leerlaufspannung für definierte Eingangsverhältnisse

Eingangsseitig ist über die Anpassung nichts festgelegt. Das Verhältnis der ausgangsseitig vom Verstärker verfügbaren Leistung zu der verfügbaren Leistung der eingangsseitig angeschlossenen Quelle (Generator) heißt „verfügbare Leistungsverstärkung“, sie wird meist in dB ausgedrückt.

Beispiel

Das unter Ziffer 6 angeführte Beispiel wird erweitert: Der Meßsender sei, wie im ersten Teil des Beispiels, nicht an den Eingang des Verstärkers angepaßt und zeige eine Leerlaufspannung von 10 μ V an. Damit beträgt die verfügbare Quellenleistung wiederum $0,416 \cdot 10^{-12} \text{ W}$. Um die verfügbare Leistungsverstärkung zu ermitteln, wird die Leerlaufspannung (EMK) e_a des Verstärkers am

Ausgang gemessen, sie betrage 11 V. Die Klemmenspannung u_a bei Belastung mit $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ betrug 1 V. Daraus errechnet sich der ausgangsseitige Innenwiderstand r_i des Verstärkers zu

$$r_i = R_L \left(\frac{e_a}{u_a} - 1 \right) = 2 \text{ k}\Omega \left(\frac{11}{1} - 1 \right) = 20 \text{ k}\Omega$$

Die verfügbare Ausgangsleistung P_{oa} wird damit: $P_{oa} = \frac{e_a^2}{4r_i} = \frac{11^2}{4 \cdot 20 \cdot 10^3} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ W}$

Die gesuchte verfügbare Leistungsverstärkung dieses Verstärkers ist dann unter den hier vorliegenden Eingangsbedingungen:

$$\frac{P_{oa}}{P_g} = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ W}}{0,416 \cdot 10^{-12} \text{ W}} = 3,6 \cdot 10^9 \approx 95 \text{ dB}$$

9. Maximal verfügbare Leistungsverstärkung (maximum available power gain oder auch seltener: completely matched power gain)

Um die verfügbare Leistungsverstärkung zu errechnen, wird für den Ausgangspegel, also für die verfügbare Ausgangsleistung, der Eingang nicht angepaßt. Man erhält am Ausgang die maximal verfügbare Ausgangsleistung des Verstärkers nur dann, wenn man durch Anpassung des Eingangs dafür Sorge trägt, daß die gesamte verfügbare Leistung des Generators vom Eingang des Übertragungsvierpoles auch aufgenommen wird. Unter diesen Umständen, also bei Leistungsanpassung von Ausgang des Vierpols an den Lastwiderstand und gleichzeitiger Leistungsanpassung von Generator an den Eingang des Vierpols (Verstärker), erhält man die sogenannte maximal verfügbare Leistungsverstärkung.

Sind diese Betriebsbedingungen bei einem Verstärker gegeben, so stimmen die Zahlenwerte folgender Verstärkungsbegriffe miteinander überein:

Leistungsverstärkung, Übertragungsgewinn, verfügbare Leistungsverstärkung und maximal verfügbare Leistungsverstärkung.

Dies gilt nicht allgemein für die Zwischenschalt-Verstärkung, sondern nur in dem speziellen Fall, wenn der Lastwiderstand sowohl konjugiert komplex zu dem ausgangsseitigen Innenwiderstand des Verstärkers als auch konjugiert komplex zum Generatorinnenwiderstand ist und wenn gleichzeitig der Eingangswiderstand des Verstärkers konjugiert komplex zu dem Generatorwiderstand ist, also in allen Fällen Leistungsanpassung vorliegt.

Beispiel für die maximal verfügbare Leistungsverstärkung.

In dem vorher behandelten Beispiel betrug die Eingangsspannung (ohne Eingangsanpassung!) des Verstärkers $2 \mu\text{V}$, die Generator-Leerlaufspannung $10 \mu\text{V}$. Die zu $2 \mu\text{V}$ Eingangsspannung gehörende Leerlauf-Ausgangsspannung e_a des Verstärkers betrug 11 V.

Wird unter diesen Bedingungen durch eine verlustlose Transformation zwischen Generator und Verstärkereingang Leistungsanpassung hergestellt, so tritt am Verstärkereingang die halbe Leerlaufspannung des Generators, nämlich $5 \mu\text{V}$ auf, d. h. die Eingangsspannung steigt auf das 2,5fache. Ist der Verstärker linear, so steigt auch die Leerlauf-Ausgangsspannung des Verstärkers um den gleichen Faktor, nämlich auf $11 \text{ V} \cdot 2,5 = 27,5 \text{ V}$. Das ergibt eine verfügbare Ausgangsleistung von

$$P_{oa} = \frac{e_a^2}{4r_i} = \frac{27,5^2}{4 \cdot 20 \cdot 10^3} = 9,4 \cdot 10^{-3} \text{ W}$$

Die maximal verfügbare Leistungsverstärkung ergibt sich aus diesem Wert, dividiert durch die verfügbare Leistung des Generators ($0,146 \cdot 10^{-12} \text{ W}$), also:

$$\frac{P_{oa}}{P_g} = \frac{9,4 \cdot 10^{-3} \text{ W}}{0,146 \cdot 10^{-12} \text{ W}} = 22,8 \cdot 10^9 = 103,6 \text{ dB}$$

Die verfügbare Leistungsverstärkung, der Übertragungsgewinn und die Leistungsverstärkung haben jetzt den gleichen Zahlenwert.

Die Zwischenschaltverstärkung unter diesen Betriebsbedingungen, nämlich für den für den Verstärker optimalen Abschlußwiderstand von $R_L = 20 \text{ k}\Omega$ hat jedoch folgenden Wert:

Am Ausgang ergibt sich mit $R_L = 20 \text{ k}\Omega$ eine Leistung von $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ W}$; schaltet man den Abschlußwiderstand von $20 \text{ k}\Omega$ direkt an den Generator, so steht an ihm praktisch die Leerlaufspannung von $10 \text{ }\mu\text{V}$, also nimmt der $20\text{-k}\Omega$ -Widerstand

eine Leistung von ca. $\frac{(10 \cdot 10^{-6})^2}{20 \cdot 10^3} = \frac{100 \cdot 10^{-12}}{20 \cdot 10^3} = 5 \cdot 10^{-15} \text{ W}$ auf.

Die Zwischenschalt-Verstärkung nach Ziffer 3 ist damit $\frac{9,4 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-15}} = 1,88 \cdot 10^{12} = 122,7 \text{ dB}$

Man erkennt bereits aus diesem Zahlenwert, der höher ist als die maximal verfügbare Leistungsverstärkung, daß die Zwischenschalt-Verstärkung kein Maß für die Verstärkereigenschaft ist, denn die Bezugsgröße (die an den Abschlußwiderstand ohne Zwischenschaltung des Generators von ihm abgegebene Leistung) hat keinerlei Beziehung zum Verstärker selbst.
