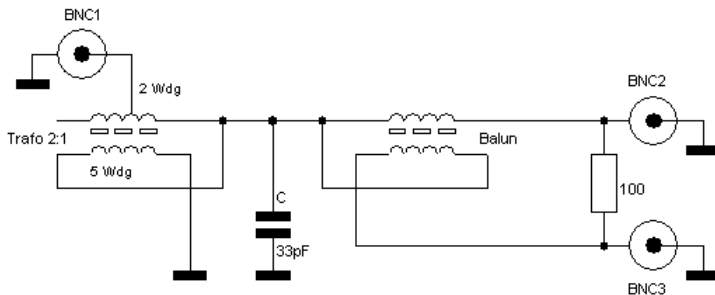


Praktischer Aufbau eines Teilers (englisch: splitter/combiner) für kleine Leistungen

Dieser kleine Teiler kann für die rückwirkungsarme Zusammenschaltung zweier Antennen an Empfängern oder für Intermodulationstests an Empfängern eingesetzt werden.

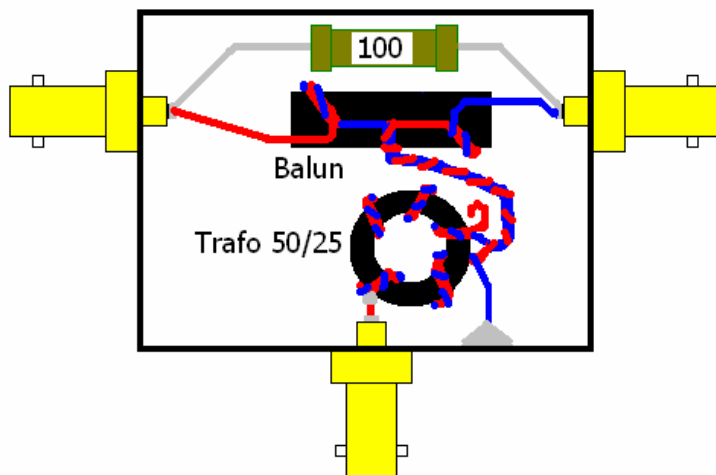
Für die Praxis ist ein Zwei-Weg-Leistungsteiler mit $R/2$ Eingangsimpedanz und zweimal R Ausgangsimpedanz kaum zu gebrauchen. Deshalb wird zur Impedanztransformation ein Breitbandtransformator 2:1 zwischen dem Generator mit dem Innenwiderstand $R = 50 \Omega$ und der übrigen Schaltung gesetzt. Im Ergebnis haben alle Ein- und Ausgänge einheitlich den Wert 50Ω , der Ausgleichswiderstand hat den Wert 100Ω .



Das Windungsverhältnis des Breitbandtransformators ist 1,4 zu 1, das sind 7 zu 5 Windungen oder 14 zu 10 Windungen. Etwas vom Idealwert abweichend sind 3 zu 2 oder 6 zu 4 oder 9 zu 6 Windungen.

Ausschlaggebend für die Anzahl der Windungen ist die tiefste zu nutzende Frequenz, die Spannung über der Wicklung und der Querschnitt des verwendeten Kerns. Der magnetische Fluss darf nicht so groß werden, dass die Aussteuerung aus dem Bereich der „Neukurve“ in den Bereich der „Hysterese“ gelangt. Dies ist bei einer Aussteuerung bis 10 % der maximalen Flussdichte nicht zu befürchten. Das Kernmaterial wird im zweiten Schritt so gewählt, so dass mit der ermittelten Windungszahl der Blindwiderstand der Wicklung bei der tiefsten genutzten Frequenz mindestens viermal größer ist, als die angeschlossene Last.

Der Zweifach-0°-Verteiler soll im Bereich 1,8 MHz bis 50 MHz eingesetzt werden.



In ein Schubert-Filtergehäuse FG18 mit den Abmessungen 37mm x 20mm x 20mm werden drei BNC-Buchsen montiert, das dritte Loch ist selbst herzustellen. Die Anordnung der beiden bewickelten Ringkerne erfolgt etwa wie im Bild dargestellt, in der praktischen Ausführung aber viel enger. Der induktionsarme Widerstand verbindet die Mittelstifte der beiden äußeren BNC-Buchsen.

Für den Transformator und den Balun werden Ringkerne benötigt, die bei 7 Windungen ca. 40 μ H erreichen, z.B. FT 37-77. Werden FT 37-43 benutzt so sind doppelt soviel Windungen erforderlich, mit FT 37-61 erreicht man keine guten Werte mehr.

Für den Breitbandtransformator wird ein 15cm langer Draht 0,3 mm CuL in der Mitte mit einer Anzapfung versehen. Ein zweiter Draht wird daneben gelegt und beide mit der Bohrmaschine verdrillt. Dann wird der Kern bewickelt, so dass von der Anzapfung gezählt es zwei Mal mit dem einen Drahtende und drei Mal mit dem anderen Drahtende durch das Kernloch geht. Die Wicklung hat somit 5 Windungen, es wird innen im Kernloch gezählt. Die Anschlüsse auf 15 mm abzwicken, abisolieren. Mit dem Ohmmeter prüfen, welche Enden (rot) zur Anzapfung gehören.

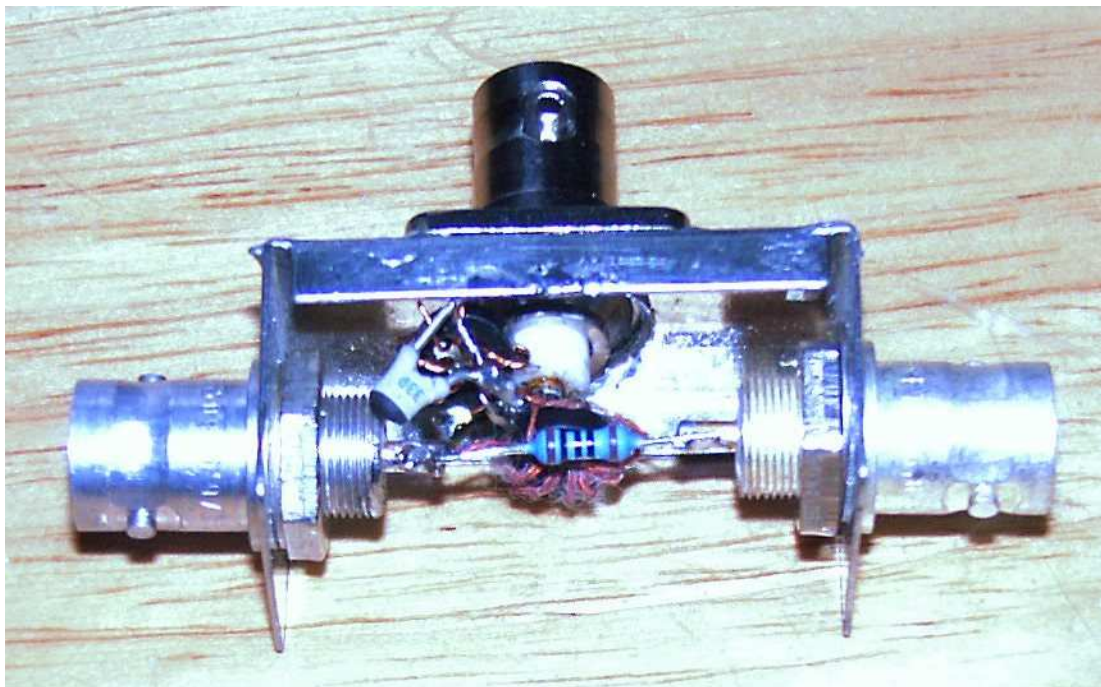
Von der Anzapfung gesehen sind es auf einer Seite 3 Durchfädelungen im Kernloch, auf der anderen zwei Durchfädelungen.

Das rote Ende auf der Seite mit den drei Durchfädelungen wird abgeschnitten, das andere rote Ende mit dem verbleibenden Draht (blau) verbinden. So wird die sekundäre Wicklung 5 Windungen (blau) um weitere 2 Windungen (rot) zur primären Wicklung mit 7 Windungen verlängert, nach dem Prinzip des Autotransformators. Der zuerst abgeschnittene rote Draht endet frei!

Ergebnisse

bei 50 Ω Abschluss	1,8 MHz	5 MHz	10 MHz	20 MHz	30 MHz	50 MHz	100 MHz
Reflexion/dB (SWR)	19 (1,3)	22 (1,2)	25 (1,1)	27 (1,09)	29 (1,07)	31 (1,05)	29 (1,07)
Isolation/dB	32	37	41	44	44	40	32

Für den sehr einfachen Aufbau sind das gute Ergebnisse.



Wenn Du wissen willst, wie so ein Teiler funktioniert, dann lese den folgenden Abschnitt!

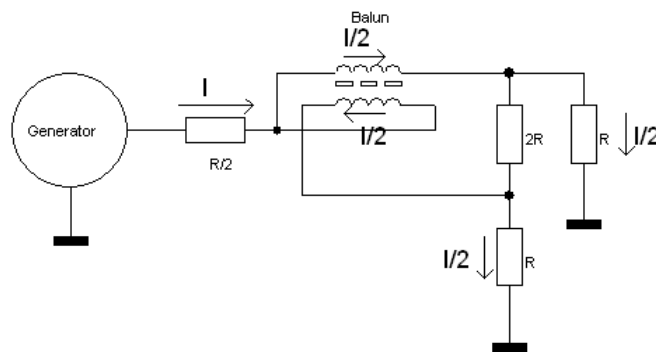
Wie funktioniert ein reaktiver Zweifach 0° Verteiler?

Aufbau

Kernstück des Teilers (englisch: Splitter oder Combiner) ist ein Balun, an den zwei Lastwiderstände mit den Werten R und ein Ausgleichswiderstand mit dem Wert $2R$ angeschlossen sind. Der Balun hat zwei wichtige Eigenschaften, die sein Wesen ausmachen und deren Ausprägtheit schließlich auch die Qualität des Teilers bestimmt.

- Ein Balun lässt Gegentaktströme ungehindert hindurch
- Ein Balun sperrt Gleichtaktströme

Der Trick besteht darin, dem Balun für den gewünschten Energietransport einen Strom anzubieten, den er durchlässt und zugleich in zwei betragsgleiche und phasengleiche Ströme teilt. Diese Schaltung heißt „Magic-Tee“. Der Balun ist als Zweidrahtleitung auf einen Ferrit ausgeführt. Der Generator mit dem Innenwiderstand $R/2$ bewirkt einen Stromfluss durch beide Leiter der Wicklungen des Baluns, die den gleichen Betrag haben, aber durch die entgegengesetzte Richtung zu keinem gemeinsamen Magnetfeld im Kern führen (die Wicklung führt Gegentaktstrom). Die Energie gelangt ungehindert vom Generator zu den beiden Lastwiderständen R und erzeugt in beiden Lasten gleiche Ströme $I/2$.



Es ist so, als wäre der Balun eine Gabel, die den Strom I in zwei gleich große Teilströme $I/2$ aufteilt. Für einen ungehinderten Energietransport sollte die Impedanz der aufgewickelten Leitung $Z = R$ sein. Im Balun fließen nur Gegentaktströme, deshalb werden die vom Generator verursachten Ströme an den beiden Lastwiderständen immer gleich groß sein, betragsgleich und richtungsgleich. In der Praxis sind Generatorwiderstand und Lastwiderstände 50Ω , weshalb ein Transformator mit dem Übersetzungsverhältnis 2:1, also 50Ω zu 25Ω zwischen Generator und Balun geschaltet wird.

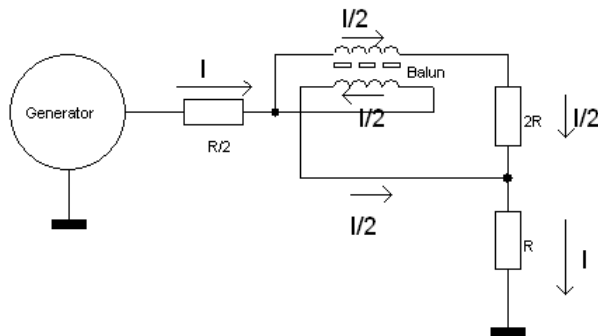
Beide Lastwiderstände sind gleich groß mit dem Wert R (idealer Fall)

Es herrscht Leistungsanpassung, denn der Quellwiderstand $R/2$ und die Parallelschaltung der beiden Lastwiderstände (R parallel R ergibt $R/2$) sind gleich groß. Der Balun erzwingt zwei gleiche Teilströme. Die Leistung vom Generator ($P = I^2 \cdot R/2$) teilt sich gleichmäßig auf beide Lastwiderstände auf ($P = [I^2/4] \cdot R + [I^2/4] \cdot R = I^2 \cdot R/2$). Die Halbierung der Leistung vom Eingangsport auf jeweils einem der beiden Ausgangsports entspricht 3,01 dB Dämpfung. Da die beiden Lastwiderständen gleich sind, so sind es auch die Spannungen über ihnen. Der Ausgleichswiderstand $2R$ hat an beiden Seiten das gleiche Potential, es liegt über dem Ausgleichswiderstand keine (Differenz-) Spannung an, er nimmt keine Leistung auf.

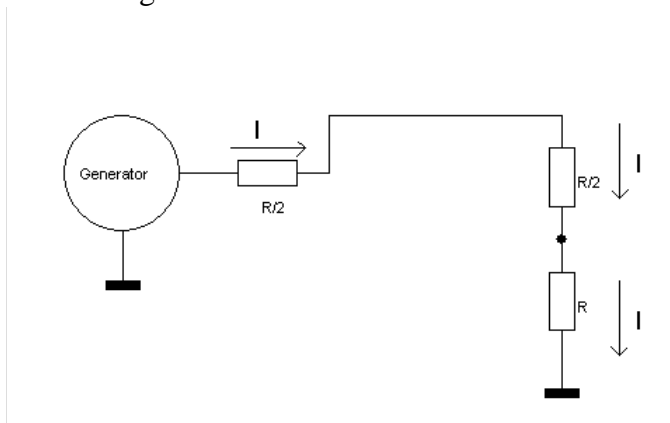
Beide Lastwiderstände verschieden

a) Fehlen einer Last (schlimmster Fall)

Der Balun erzwingt immer zwei gleiche Teilströme.



Wenn einer der beiden Lastwiderstände fehlt, so würde ohne Ausgleichswiderstand $2R$ gar kein Strom fließen. Der Generator liefe im Leerlauf, was unter Umständen schädliche Folgen hat. Ist der Generator gegen Leerlauf unempfindlich, so kann auf den Ausgleichswiderstand verzichtet werden. Nehmen wir an, es würden zwei Endstufenmodule einer PA gespeist, von denen eines weggefallen ist. In diesem Fall wird die Störung sofort erkannt, denn auch das zweite Modul wird nicht mehr angesteuert und die PA gibt keine Leistung mehr ab. Mit Ausgleichswiderstand ist ein Stromfluss möglich, denn in dem Maße, wie ein Strom durch ihn fließt, kann auch der zweite Draht der Balunwicklung Strom führen. Beide Teilströme addieren sich zum Stromfluss durch den verbliebenen Abschlusswiderstand R . Der Ausgleichswiderstand wird durch die Bewicklung des Baluns in den Stromkreis im Verhältnis 4:1 transformiert, sein dafür wirksamer Wert beträgt $R/2$. Dies wird in folgender Darstellung sichtbar.



Der Generator mit dem Generatorwiderstand $R/2$ arbeitet im gestörten Fall nicht auf $R/2$, wie es richtig wäre, sondern auf die Last $R/2 + R = 3R/2$.

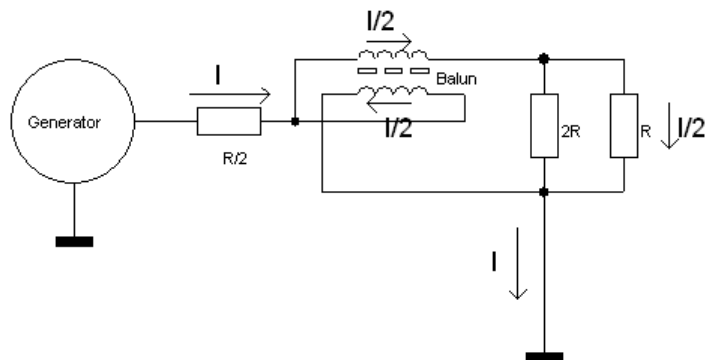
Die Dämpfung zwischen Eingangsport und Last ist wiederum 3,01 dB, das heißt, das nicht defekte Modul erhält die gleiche Leistung, wie im ungestörten Fall.

Die Anpassung des Generator (Eingangsreflexion) verschlechtert sich auf 6 dB, das bedeutet ein SWR von 1 zu 3.

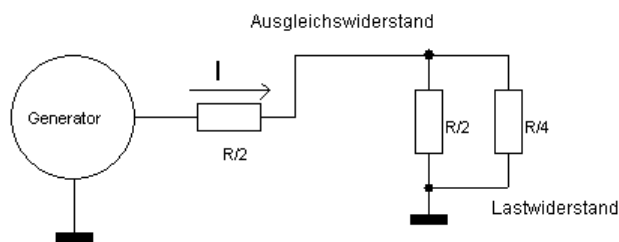
Die Störung ist zu erkennen am Abfall der Leistung auf die Hälfte und am SWR von 1 zu 3.

b) Kurzschluss einer Last

Der Balun erzwingt immer zwei gleich große Teilströme.



Einer der beiden Teilströme $I/2$ fließt direkt nach Masse, kann aber nur so groß sein wie der Strom durch die Parallelschaltung vom Ausgleichswiderstand $2R$ und noch verbliebenen Lastwiderstand R . Die Summe dieser beiden Teilströme ist $I/2$. Durch die Wicklung des Baluns werden Ausgleichswiderstand und verbliebener Lastwiderstand im Verhältnis 4:1 in den Signalweg transformiert, was folgende Darstellung zulässt:



Die Dämpfung zwischen Eingangsport und Last ist wiederum 3,01 dB, das heißt, die Last, das nicht defekte Modul erhält genau so viel Leistung, wie im ungestörten Fall. Die Anpassung (Eingangsreflexion) beträgt 6 dB, das entspricht einem SWR von 1 zu 3. Die Störung ist wiederum an der Halbierung der Leistung und am SWR zu erkennen.

Zusammenfassung

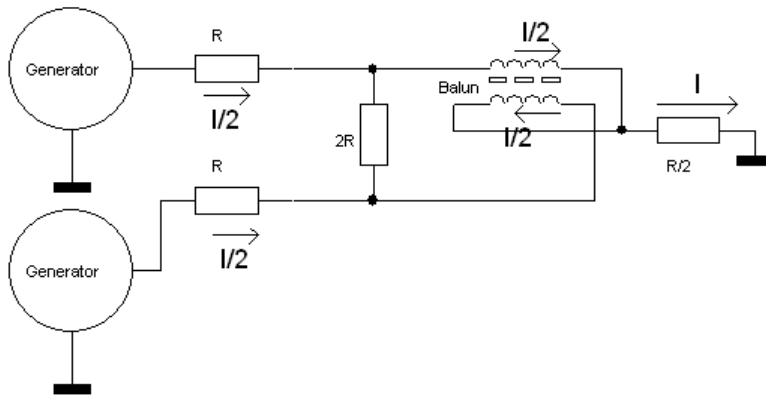
Für beide Fälle, Kurzschluss oder fehlende Last, ist die Anpassung des Generators 6 dB, das bedeutet ein SWR von 1 zu 3. Schlechtere Werte sind bei Ausfall einer Last nicht möglich. Man kann aber aus dem SWR nicht erkennen, ob es sich um eine Störung durch Kurzschluss oder Leerlauf der Last handelt.

Dies trifft auch auf die Leistung zu. Egal, was sich am gestörten Ausgang des Teilers tut, es wird zum anderen Ausgang des Teilers immer die halbe Leistung zur Last, zum nicht defekten Modul durchgereicht.

Die Belastung des Ausgleichswiderstandes erfolgt in beiden Extremfällen der Störung, also Kurzschluss oder Leerlauf eines der beiden Ausgangsports, mit einem Viertel der Leistung. Der Ausgleichswiderstand muss dementsprechend ausgelegt werden. Bei „Powersplittern“ ist für ausreichende Kühlung zu sorgen.

Einsatz als Zweifach 0° Summierer

Der Teiler kann auch als Summierer eingesetzt werden, der Aufbau ist derselbe. Der Balun erzwingt gleiche Teilströme, betragsgleich und phasengleich, im Bild mit $I/2$ bezeichnet.



Der Balun verhält sich wie eine Gabel, die beide Teilströme zum Gesamtstrom durch den Lastwiderstand $R/2$ zusammenführt.

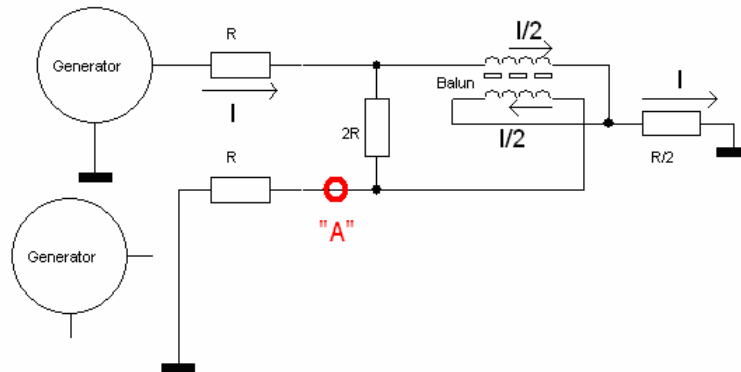
Um auch für den Lastwiderstand den Wert R zu erhalten, muss dieser über einen Transformator mit dem Übersetzungsverhältnis 1:2, das sind hier $25\ \Omega$ zu $50\ \Omega$, angeschlossen werden. Dann haben die beiden Quellen und auch die Last den gleichen Anschlusswert.

Beide Generatoren sind gleich (idealer Fall)

Beide Generatoren liefern gleichgroße und phasengleiche Ströme. Beide haben den gleichen Generatorwiderstand (Innenwiderstand). Der Ausgleichswiderstand $2R$ bleibt stromlos. Beide Generatoren liefern jeweils die halbe Leistung, die dem Lastwiderstand $R/2$ zugeführt wird. Für die korrekte Funktion jedes Generators ist wichtig, dass jeder Generator einen Lastwiderstand mit dem Wert R „sieht“. Da die Generatoren mit phasengleichen Strömen arbeiten, kann man sich den Lastwiderstand $R/2$ gut als Parallelschaltung zweier Teilwiderstände R vorstellen, jeder Generator gibt seine Leistung an einen der beiden Teilwiderstände R ab.

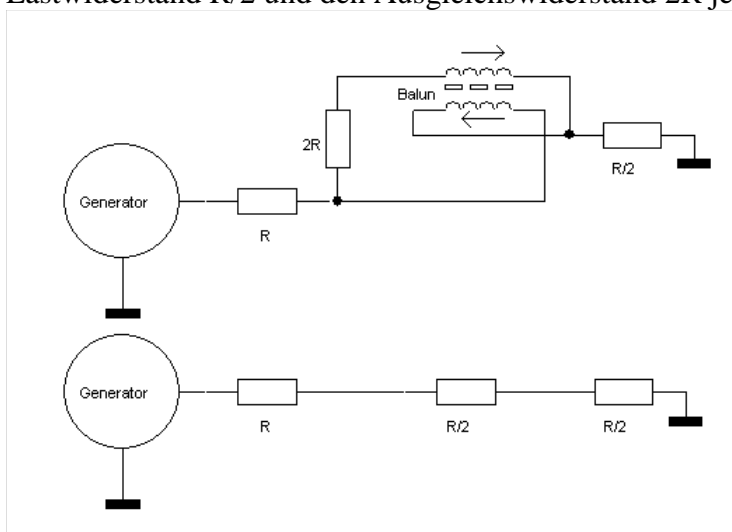
Ein Generator liefert keinen Strom

Der Balun erzwingt in den beiden Drähten der Balunwicklung betragsgleiche und phasengleiche Ströme. Beide addieren sich zum Gesamtstrom durch $R/2$.



Der Pfad durch den unteren Widerstand R bleibt stromlos. Das liegt daran, dass der Balun durch den Ausgleichswiderstand $2R$ den Strom $i/2$ erzwingt und dass mit dem Wert des Ausgleichswiderstandes der Spannungsabfall über dem Ausgleichswiderstand so eingestellt ist, dass am gestörten Generatorport im Punkt „A“ das Potential gegen Masse Null wird. Der Punkt „A“ ist ausbalanciert, wenn der Ausgleichswiderstand mit exakt $2R$ viermal größer als der Lastwiderstand $R/2$ gewählt worden ist, wie das Widerstandsübersetzungsverhältnis des nun als Transformator wirkenden Baluns.

Es ist dann egal, ob am Punkt „A“ ein Kurzschluss, Leerlauf oder ein ohmscher Abschluss vorliegt. Ein von $R/2$ abweichender Lastwiderstand macht diese Eigenschaft zunichte! Dies zeigt aber auch, dass keiner der beiden Generatoren bei korrekter Last (!) in der Lage ist, seine Leistung in den jeweils anderen Generator abzugeben, sie sind voneinander „isoliert“. Der Ausgleichswiderstand $2R$ wird durch die Balunwicklung im Verhältnis 4:1 in den Strompfad transformiert, die Dämpfung zwischen Generator mit dem Innenwiderstand R und dem Lastwiderstand $R/2$ beträgt 3,01 dB. Die Generatorleistung teilt sich auf den Lastwiderstand $R/2$ und den Ausgleichswiderstand $2R$ jeweils zur Hälfte auf.



Anpassung ist gegeben, denn der Generator mit dem Innenwiderstand R „sieht“ $R/2$ in Reihe mit dem Lastwiderstand $R/2$, also als Gesamtlast $R/2 + R/2 = R$. Im schlimmsten Fall wird die Hälfte der Leistung eines Generators an den Ausgleichswiderstand abgegeben.