

Koaxiales Verteilungssystem

Teil 7: Einsatzkriterien für Verstärker

Die Mehrzahl aller Sat-ZF-Verteilungssysteme kommt ohne zusätzliche Verstärker aus. Ihr Einsatz will wohl bedacht sein.

stärker fügen dem Signal unerwünschte Anteile wie Rauschen, Klirren, Intermodulationen, Verzerrungen usw. hinzu, die speziell bei digitalem Empfang zur Verringerung der Schlechtwetterreserven und „unerklärlichen“ Empfangsausfällen führen können.

„Nummer Sicher“ gehen, empfiehlt es sich, anstatt der in Norm EN 50083 vorgesehenen oberen Pegelgrenze von 77 dBµV nur maximal 65 dBµV am Ausgang der Antennensteckdose einzuplanen.

In der Praxis zeigt sich, dass der in der Norm geforderte Mindestpegel von 47 dBµV für die modernen Satellitenreceiver zu hoch angesetzt ist. Die meisten Receiver mit ihrer hohen Empfindlichkeit liefern selbst bei 40 dBµV noch ein wandfreies Ergebnis.

In der Praxis sollte man für den Nutzpegel am Receiver Eingang eine Spanne von 42 bis 65 dBµV ansetzen.

■ Niedriger Empfangspegel

Die Ursache eines zu niedrigen Empfangspegels an der Antennendose (unter 40 dBµV) findet sich häufig in einem fehlerhaften Aufbau der Anlage, wie z. B.:

- ungenau ausgerichtete Antenne,
- falsch montierte F-Stecker,
- zu stark dämpfendes Kabel (etwa 20–30 dB @ 1000–2000 MHz),
- ungeschickte (zu lange) Leitungsführung,
- falsche Dosen (z. B. Abzweigdose anstelle von Stichdose).

Halten diese Punkte einer Überprüfung stand, sollte der Einsatz eines Verstärkers erwogen werden.

■ Einsatz von Verstärkern

Meist ist der Pegel der 1. Satelliten-Zwischenfrequenz (1.-Sat-ZF) am Ausgang des LNBs (rund 75–80 dBµV) ausreichend hoch, um ein Verteilnetz bis zum Teilnehmer ohne zusätzliche Verstärkung zu realisieren. An der Teilnehmersteckdose stehen bei gut 30 dB Pegelreserve (für die passiven Komponenten des Verteilungssystems) etwa 42–65 dBµV zur Verfügung.

In ausgedehnten Verteilnetzen für viele Teilnehmer, mit langen Kabelwegen, Verzweigungen und Durchschleifungen, lassen sich abgefallene Pegel mit Verstärkern wieder anheben. Aber Vorsicht: Ver-

■ Mehr Programme – weniger Pegel

Eine der wichtigsten Kenngrößen eines Verstärkers sind seine **maximalen Ein- und Ausgangspegel**. Immer noch geben viele Hersteller den maximalen Ausgangspegel bei Aussteuerung mit 3 Kanälen im Nutzband an. Das war zu Zeiten eines mit wenigen Kanälen belegten VHF/UHF-Bandes zu rechtfertigen. Heute jedoch, wo die 1.-Sat-ZF lückenlos gefüllt ist, muss dem durch eine Verringerung sowohl des maximalen Eingangs- als auch Ausgangspegels Rechnung getragen werden. Andernfalls entstehen Intermodulationsprodukte (siehe Abschnitt Nichtlinearitäten), welche die Signalqualität beeinträchtigen. Ähnlich verhält es sich beim Tuner des Satellitenreceivers, der eine breitbandige Eingangsverstärkerstufe besitzt. Diese darf mit zunehmender Zahl der Träger im ansteuernden Spektrum immer schwächer angesteuert werden. Die Pegelreduktion wird in der Praxis durch

$$p_n = p_{\max} - 7,5 \log(n - 2) \quad (1)$$

für $n \geq 3$ und p in dBµV in vernünftiger Näherung beschrieben. Dabei ist p_n der Maximalpegel bei Aussteuerung mit n Trägern und $p_{\max}$ der Pegel mit 3 Trägern. Nimmt man z. B. eine Anzahl von $n = 32$ Trägern in der 1.-Sat-ZF an, und setzt $p_{\max} = 75$ dBµV an, ergibt sich

$$p_{32} = 75 \text{ dBµV} - 7,5 \cdot \log 30 \text{ dBµV} = 63,9 \text{ dBµV} \quad (2)$$

Faustregel: Verdopplung der Trägeranzahl = 3 dB Pegelreduzierung.

Dies entspricht durchaus den praktischen Beobachtungen. Bei Pegeln < 65 dBµV gibt es normalerweise keine Probleme durch Übersteuerung des Receivers. Dagegen reagieren manche Receiver bei höheren Pegeln mit Intermodulationen, besonders wenn diese in der 1.-Sat-ZF stark schwanken (durch Welligkeit des Amplitudenfrequenzgangs und/oder Schräglage des Spektrums). Will man auf

■ Rauschen

Rauschen überlagert sich dem Nutzsignal und verfälscht es damit. Rauschen ist prinzipiell unvermeidbar, denn es geht auf die Wärmebewegung von Elektronen in elektrischen Leitern zurück. Andere Rauschquellen sind das thermische Rauschen, welches von der warmen Erde abgegeben und von der Antenne über ihre Nebenzipfel aufgenommen wird. Hier interessiert nur das thermische Rauschen in den aktiven Komponenten der Satellitenanlage. Es ist abhängig von der Messbandbreite und der Temperatur.

Rauschleistung. Die am Eingang wirkende Rauschleistung ergibt sich aus der Rauschleistung eines Widerstandes mit $4 k \cdot T \cdot B$, von der bei Leistungsanpassung ein Viertel verfügbar ist.

$$P = k \cdot T \cdot B \quad (3)$$

P Rauschleistung
 k Boltzmannkonstante ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Ws/K)
 B Bandbreite in Hz (1/s)
 T absolute Temperatur in K

Bei einer Temperatur von 20 °C (273,15 K + 20 K = 293,15 K) und einer Bandbreite von 1 Hz folgt daraus eine thermische Rauschleistung

$$P = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K} \cdot 293,15 \text{ K} \cdot 1 \text{ 1/s} = 4,05 \cdot 10^{-21} \text{ W} \quad (4)$$

Rauschleistungspegel. Rechnet man diese in einen Rauschleistungspegel um, ergibt sich:

$$p = 10 \cdot \log \left(\frac{4,05 \cdot 10^{-18} \text{ mW}}{1 \text{ mW}} \right) \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} \quad (5)$$

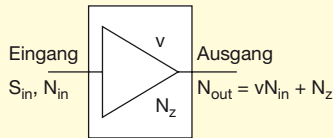
Der thermische Rauschleistungspegel an einem Empfängereingang ist also etwa $p = -174$ dBm pro Hertz Bandbreite. Er hängt nicht von der Größe des Eingangswiderstands ab, wohl aber von der Bandbreite, was in der logarithmischen Pegeldarstellung der Bandbreitenfaktor b berücksichtigt.

INFORMATION

Inline-Verstärker

Wird ein Verstärker in die Zuleitung von einem Multischalterausgang zur Teilnehmerdose eingeschleift, muss dieser in Rückwärtsrichtung die Gleichspannung und 22-kHz-Signalisierungsfrequenzen durchlassen.

Verstärkerrauschen



1 Verstärkerrauschen

$$b = 10 \cdot \log \left(\frac{B}{\text{Hz}} \right) \text{ dB}$$

$$p = -174 \text{ dBm} + b \quad (6)$$

Beispiel: Die Eingangsstufe eines Tuners in einem Satellitenreceiver hat eine Bandbreite von 1 200 MHz. Der Bandbreitenfaktor beträgt demnach

$$b = 10 \cdot \log (1\,200\,000\,000) \text{ dB} = 90,8 \text{ dB} \quad (7)$$

$$p = -174 \text{ dBm} + 90,8 \text{ dB} = -83,2 \text{ dBm}$$

Die vom Receiver über seine breitbandige Eingangsstufe aufgenommene Rauschleistung beträgt -83,2 dBm.

Rauschmaß. Betrachtet wird ein Verstärker, der gekennzeichnet ist durch seine Verstärkung v (Verhältnis von Ausgangs- zu Eingangssignal) und dem Zusatzrauschen N_z , das er dem verstärkten Eingangssignal hinzufügt (Bild 1). Das Rauschmaß NF (noise figure, Einheit dB) dieses Verstärkers ist definiert als das mit 10 multiplizierte logarithmierte Verhältnis vom Eingangsstörabstand zum Ausgangsstörabstand:

$$NF = 10 \cdot \log \left(\frac{\frac{S_{in}}{N_{in}}}{\frac{S_{out}}{N_{out}}} \right) = 10 \cdot \log \left(\frac{\frac{S_{in}}{N_{in}}}{\frac{v \cdot S_{in}}{v \cdot N_{in} + N_z}} \right)$$

$$NF = 10 \cdot \log \left(1 + \frac{1}{v} \cdot \frac{N_z}{N_{in}} \right) \quad (8)$$

Rauschzahl. Das Argument des Logarithmus wird als Rauschzahl F bezeichnet und ist eine lineare Größe:

$$F = 1 + \frac{1}{v} \cdot \frac{N_z}{N_{in}} \quad (9)$$

Zusatzrauschzahl. Den zweiten Term in Gleichung (9) nennt man Zusatzrauschzahl F_z :

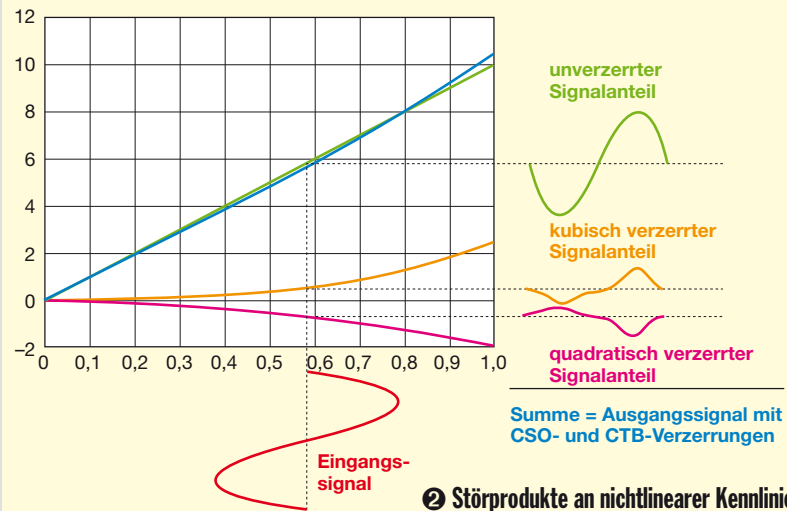
$$F_z = \frac{1}{v} \cdot \frac{N_z}{N_{in}} \quad (10)$$

Zusatzrauschen. Für den Idealfall eines rauschfreien Verstärkers ($N_z = 0$) nimmt das Rauschmaß den Wert 0 an. Für N_{in} wählt man meist die kleinste nicht unterschreitbare Leistung bei Raumtemperatur. Stellt man die Beziehung für das Rauschmaß (8) nach dem Zusatzrauschen N_z um, ergibt sich mit der Bandbreite B in Hz und NF in dB:

$$N_z = 4,05 \cdot 10^{-21} \cdot B \cdot v \cdot \left(10^{\frac{NF}{10}} - 1 \right) \text{ mW} \quad (11)$$

Beispiel. Setzt man in Gleichung (11) die Daten eines typischen Sat-ZF-Verstärkers

Störprodukte durch nichtlineare Kennlinien



2 Störprodukte an nichtlinearer Kennlinie

mit $NF = 5 \text{ dB}$, $v = 40$ (entsprechend 16 dB Leistungsverstärkung) und für die Bandbreite eines Sat-Kanals 30 MHz ($30 \cdot 10^6 \text{ Hz}$) ein, erhält als Wert fürs Zusatzrauschen $N_z = 0,0105 \text{ nW}$.

LNB-Rauschen. Ein typischer LNB mit 80 dBμV Ausgangspegel (-28,75 dBm) und einem Signal-Rauschverhältnis von 15 dB rauscht bezogen auf eine Bandbreite von 30 MHz mit -43,75 dBm (42170 nW). Die vom Verstärker hinzugefügten 0,0105 nW können getrost vernachlässigt werden. Auch das Rauschen der Eingangsstufe des Satellitentuners ist zu vernachlässigen. In einer Satellitenanlage spielt das Rauschmaß des LNBs die absolut dominierende Rolle.

Nichtlinearitäten

Der ideale Verstärker hat eine lineare Kennlinie. Die Ausgangsspannung sieht genau so aus wie die Eingangsspannung, nur eben verstärkt. In der Praxis sind Verstärkerkennlinien aber keine Geraden, sondern haben in der mathematischen Darstellung neben dem linearen Term noch welche mit höherer Ordnung. Die allgemeine Form der Kennliniengleichung ist ein Polynom:

$$y = a \cdot x + b \cdot x^2 + c \cdot x^3 \quad (12)$$

1-2-3-dB-Zusammenhang. In Bild 2 ist $a = 10$ (Verstärkung), $b = -2$ und $c = 2,5$. Terme höherer Ordnung werden vernachlässigt. Die nichtlineare Kennlinie setzt sich also aus einem linearen, quadratischen und kubischen Term zusammen. Die beiden letztgenannten sind für die CSO- und CTB-Störprodukte bei Vielträgeransteuerung zuständig. Dabei steht **CSO** für Composite Second Ordner und **CTB** für Composite Triple Beat. Mit zunehmender Aussteuerung, d. h. größerer Amplitude des Eingangssignals, wachsen die Stör-

produkte quadratisch bzw. kubisch an. Dadurch ergibt sich ein 1-2-3-dB-Zusammenhang für Eingangssignal, CSO- und CTB-Störprodukte.

CSO-Faustregel: Bei einer Erhöhung des Eingangspegels um 1 dB steigt der CSO-Pegel um 2 dB, der CSO-Störabstand nimmt also um 1 dB ab.

CTB-Faustregel: Bei einer Erhöhung des Eingangspegels um 1 dB steigt der CTB-Pegel um 3 dB, der CTB-Störabstand nimmt also um 2 dB ab.

Kompliziert wird es, wenn nicht nur ein Träger, sondern mehrere einen solchen realen Verstärker durchlaufen. Hier ist man mit analytischen Berechnungsmethoden am Ende und auf **Vielträgermessanordnungen** angewiesen. Ohne auf die Messvorschriften des Intermodulationsabstandes nach DIN für **IMA2** und **IMA3** (Intermodulationsabstand 2. und 3. Ordnung), EN 50083 Teil 3 und CENELEC (Committee for Electrotechnical Standardization) für CSO und CTB genauer einzugehen, kann man doch einige zusammenfassende Aussagen treffen.

Messverfahren. Klassische Messverfahren benutzen 2 oder 3 Träger. Werden jedoch sehr viel mehr übertragen, können auf eine einzelne Frequenz tausende von Störprodukten entfallen. Wegen dieser Häufung spricht man von den Composite-Störungen CSO und CTB.

Umfang und Verteilung der Störprodukte hängen von den Intermodulationseigenschaften des Verstärkers und der Frequenzlage der Träger ab. Ein vollbelegtes Sat-ZF-Band ist auch in Analogie zum 42-Kanal-CENELEC-Raster für den VHF/UHF-Bereich zu sehen.

Deshalb dürfen Verstärker auf keinen Fall zu stark ausgesteuert werden. Das führt zu komplexen gegenseitigen Beeinflussungen der Komponenten des Eingangssignals untereinander.

K. Jungk