



Audio-Rausch- unterdrückungssystem NSR 401 Teil 1

Ein neues, revolutionäres Rauschunterdrückungssystem macht von sich reden. Mit dem HUSH-System können bestehende (also auch alte) Audio-Aufnahmen „entrauscht“ werden, wobei in hoch effizienter Weise die Rauschanteile signal- und frequenzabhängig um bis 25 dB gemindert werden - ein traumhafter Wert, wenn man berücksichtigt, daß aufnahmeseitig keine Vorcodierung erforderlich ist und wirklich jede Audio-Aufnahme von der alten Schellackplatte bis zur modernen CD damit „behandelt“ werden kann. Aufgrund der besonderen Innovation dieses neuen Rauschunterdrückungssystems widmen wir uns diesem Themenkomplex etwas ausführlicher. Im ersten Teil dieses Artikels erläutern wir die Grundlagen des Rauschens und beschreiben anschließend das Prinzip der verschiedenen Rauschunterdrückungssysteme. Im zweiten Teil wird die Schaltung des Rauschunterdrückungssystems ELV-NSR 401 vorgestellt, das nach dem HUSH-Prinzip arbeitet, gefolgt von der Beschreibung von Nachbau und Inbetriebnahme.

Allgemeines

Auch im Zeitalter der digitalen Signalübertragung ist ein grundlegendes Problem der Audiotechnik immer noch allgegenwärtig – das Rauschen. Schon in den Anfängen der Tonübertragung und Wiedergabe hat man versucht, mit mehr oder

weniger effizienten Schaltungen das störende Rauschen zu minimieren. Einige dieser Systeme zur Rauschunterdrückung werden wir in diesem Artikel näher betrachten, wobei wir uns dem innovativen HUSH-Nosie-Reduction-System als Basis unseres später noch vorzustellenden Rauschunterdrückungssystems ELV-NRS 401 ausführlich widmen werden.

Bevor wir uns nun näher mit verschiedenen Systemen zur Rauschreduktion beschäftigen, wollen wir zuerst eine kurze Einführung in die Natur des Rauschens geben.

Rauschen

Es gibt sehr viele verschiedene Ursachen für das Phänomen Rauschen, die auch

als Unterscheidungsmerkmale zwischen den Rauscharten dienen. Die bekannteste Rauschart ist das Widerstandsrauschen, das wegen seiner direkten Proportionalität zur Temperatur auch thermisches Rauschen genannt wird. Dieses Rauschen entsteht, weil sich die Leitungselektronen im Leiter (ohmscher Widerstand) aufgrund von thermisch bedingten Schwingungen regellos bewegen.

Eine Bewegung von Elektronen hat grundsätzlich eine Potentialdifferenz aufgrund der minimalen Ladungsverschiebung zur Folge. Diese Potentialdifferenz tritt als Rauschspannung auf, an einem Widerstand somit auch als Rauschleistung. Der Verlauf der Rauschspannung kann aufgrund der sehr großen Anzahl beteiligter Ladungsträger nicht vorhergesagt werden, es handelt sich somit um ein Zufallssignal. Da das Schwingen der Atome und Moleküle und damit verbunden auch das Schwingen der freien Elektronen mit steigender Temperatur größer wird, ist auch die entstehende Rauschleistung proportional zur Temperatur T.

Bei Widerstandsrauschen kann man in erster Näherung davon ausgehen, daß die spektrale Rauschleistungsdichte konstant ist, d. h. die Rauschleistung pro Frequenzteilung gleich bleibt (weißes Rauschen). Somit muß die gesamte Rauschleistung proportional zur Frequenz sein. Diese Näherung gilt allerdings nur bis zu einer gewissen oberen Grenzfrequenz, die bei etwa 10^{12} Hz liegt. Mit dieser Einschränkung gilt für die Rauschleistung N folgende Beziehung:

$$N = k \cdot T_{abs} \cdot B$$

Mit $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Ws/K (Boltzmann-Konstante) und $T_{abs} = 290$ K ($\approx 17^\circ\text{C} =$ Zimmertemperatur) erhält man eine auf die Bandbreite von $B = 1$ Hz normierte Rauschleistung von $N_0 = 4,0 \cdot 10^{-21}$ W/Hz = 4pW/GHz. Diese spektrale Leistungsdichte ist, wie auch in Abbildung 1 dargestellt, über der Frequenz bis hin zu $f \approx 10^{12}$ Hz konstant und fällt oberhalb steil ab. Aus der Rauschleistung läßt sich über den äquivalenten Rauschwiderstand R und die Voraussetzung der Leistungsanpassung der Effektivwert der Rauschspannung bestimmen. Es ergibt sich die als Nyquist-Formel bekannte Gleichung zur Berechnung des Widerstandsrauschens:

$$U_r = \sqrt{4 \cdot k \cdot T_{abs} \cdot B \cdot R}$$

In Halbleiterbauelementen entstehen neben dem thermischen Rauschen weitere Rauschanteile. Diese unter dem Oberbegriff Stromrauschen beschriebenen Rauschanteile sind im wesentlichen das 1/f-Rau-

schen und das Schrotrauschen. Die Ursachen für diese Rauscharten sind in der Quantenmechanik begründet, deren weitere Betrachtung an dieser Stelle zu weit führen würde. Beim 1/f-Rauschen fällt das Leistungsdichtespektrum mit dem Faktor 1/f ab, d. h., es wird mit steigender Frequenz immer kleiner. Mit wachsender Frequenz macht sich dann aber ein anderer Rauschanteil bemerkbar, das sogenannte Schrotrauschen.

Das Rauschen von Halbleiterbauelementen wird bei Transistoren meist als Rauschzahl angegeben, die für einen bestimmten Arbeitspunkt gilt. Die Rauschzahl ist das Maß für die Verschlechterung des Signal-Rauschabstandes (S/N) am Eingang zum S/N am Ausgang eines Zweitores, z. B. einer Transistorschaltung. In der NF-Technik ist meist keine Optimierung hinsichtlich des Rauschens notwendig, so daß der Arbeitspunkt einer Schaltung aufgrund anderer Kriterien gewählt wird. Im Gegensatz dazu muß in der Hochfrequenztechnik oftmals auf ein minimales Rauschen hin optimiert werden. Dazu wird in den Datenblättern von HF-Transistoren für die Rauschzahl meist eine Kurvenschar angegeben, die die Rauschzahl in Abhängigkeit von Arbeitspunkt und Quellenimpedanz beschreibt. Hiermit kann dann der erfahrene HF-Entwickler die Transistorstufe rauschoptimieren, auf Leistungsanpassung muß dabei meist verzichtet werden.

Betrachtet man die Rauschquellen einer Signalübertragungsstrecke, so ist das von einer Empfangsantenne kommende Rauschen ein wesentlicher Bestandteil des gesamten Systemrauschens. Das Antennenrauschen setzt sich dabei im wesentlichen aus drei Einzelkomponenten zusammen: dem kosmischen Rauschen, das von Strahlungsquellen im Weltraum (Eruptionen an der Sonnenoberfläche, Sonnenwinde etc.) emittiert wird, dem terrestrischen Rauschen der Erde und dem „Man-Made-Rauschen“,

verursacht durch Störungen von technischen Geräten.

Auch bei der Speicherung von Signalen treten verschiedene Rauschquellen zusätzlich auf, die dann den Signal-Rauschabstand verschlechtern. So wird z. B. die Qualität von Magnetbandaufzeichnungen von zusätzlich auftretendem Bandrauschen beeinträchtigt. Dieses Rauschen entsteht zum einen aufgrund des nicht ganz regelmäßig beschichteten Bandmaterials, zum anderen werden bei einer Aufnahme die einzelnen „Partikel“ des Bandes nicht alle exakt ausgerichtet, einige „fallen aus der Reihe“, und es entsteht Rauschen.

Auch digitale Systeme sind nicht frei von Rauschen. Hier ist die Digitalisierung, d. h. die Umwandlung des analogen Signals in ein zugehöriges Digitalsignal, prinzipbedingt als Rauschquelle zu sehen. Diese Quantisierung, die aus den zeitdiskreten amplitudenkontinuierlichen Abtastwerten amplitudendiskrete Werte bildet, fügt dem Nutzsignal einen Rauschanteil hinzu. Aufgrund des Rundungsvorganges, der natürlich bei der späteren Decodierung im Empfänger nicht mehr rückgängig gemacht werden kann, entsteht dieses Quantisierungsrauschen. Je kleiner die Quantisierungsschritte, d. h. je größer die Auflösung des Digital/Analog-Wandlers, desto kleiner ist der Rundungsverlust und somit auch das Rauschen. Das Quantisierungsrauschen ist somit direkt von der Auflösung des Quantisierers, d. h. von der Quantisierungsstufenbreite Δ abhängig. Die bei der Quantisierung entstehende Rauschleistung, die gleichverteilt ist, läßt sich sehr einfach mit folgender Formel berechnen:

$$N_q = \frac{\Delta^2}{12}$$

Nachdem wir nun verschiedenste Rauschquellen betrachtet haben, werden wir uns

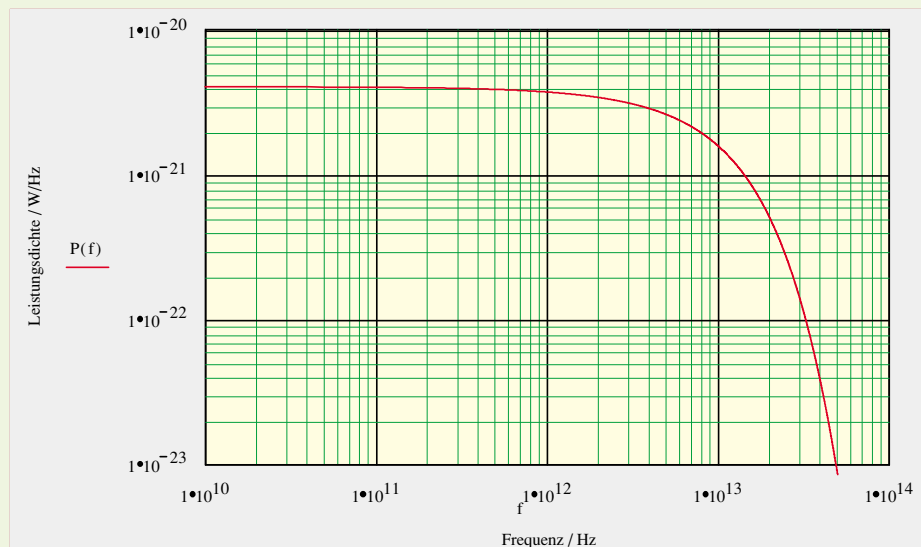


Bild 1: Leistungsdichtespektrum „weißes Rauschen“

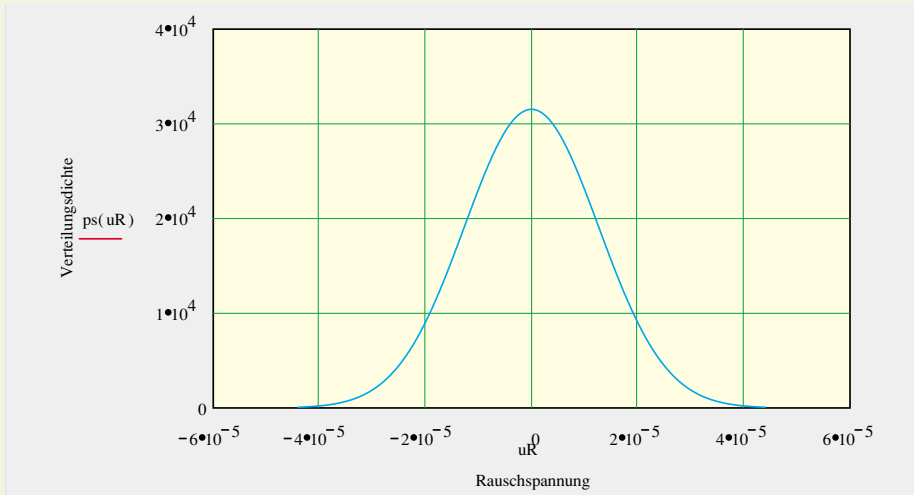


Bild 2: Verteilungsdichtefunktion eines Gauß-verteilten Rauschsignals

im folgenden mit den verschiedenen Verteilungsfunktionen zur Beschreibung des Rauschens befassen.

Rauschen - spektrale Verteilung und Amplitudenverteilung

Da es sich beim Rauschen um Zufallssignale handelt, deren Verlauf nicht vorhergesagt werden kann, versagen hier alle klassischen Beschreibungsformen mit der Angabe von Signalamplitude und Frequenz. Zur Beschreibung solcher nicht determinierten Signale werden verschiedene Verteilungsfunktionen herangezogen.

Hierzu betrachten wir zunächst die Verteilung des Rauschens, d. h. der Leistung des Rauschens über den Frequenzbereich. Ist das Leistungsdichtespektrum über den gesamten Frequenzbereich konstant, so spricht man vom weißen Rauschen. Beim oben beschriebenen und in Abbildung 1 dargestellten Widerstandsrauschen (thermisches Rauschen) gilt diese Verteilung der Rauschleistung bis etwa $f = 10^{12}$ Hz. Der Begriff weißes Rauschen entsteht in Anlehnung an das weiße Licht, das auch alle Spektralanteile des Sonnenlichtes, wenn auch nicht mit konstanter Leistungsdichte, enthält.

Während weißes Rauschen ein konstantes Leistungsdichtespektrum besitzt, hat farbiges Rauschen eine je nach Typ genau definierte nichtkonstante Verteilung. Nimmt z. B. das Leistungsdichtespektrum über die Frequenz mit dem Proportionalitätsfaktor $1/f$ ab, so spricht man vom rosa Rauschen. Auch hier stand bei der Namengebung der Farbton eines entsprechend dem Faktor $1/f$ gefilterten weißen Lichtes Pate.

Weitere Rauschformen werden durch bestimmte Filterung des weißen Rauschens erzeugt. Die Bezeichnung für diese Rauscharten wird hierbei wiederum vom Farbton des entsprechend gefilterten weißen Lichtes abgeleitet, so gibt es grünes Rauschen, blaues Rauschen usw. Farbiges Rauschen

wird in der Audiotechnik für spezielle Testzwecke verwendet.

Neben der spektralen Verteilung eines Zufallssignals ist die Amplitudenverteilung für die Beschreibung interessant. Hier wird mit Hilfe von Verteilungsdichtefunktionen angegeben, mit welcher Wahrscheinlichkeit eine bestimmte Amplitude des Rauschsignals auftritt. Statistische Prozesse wie das Rauschen werden dabei im allgemeinen durch die Normalverteilung, auch Gauß-Verteilung genannt, beschrieben. Für die exakte Definition der Verteilungsdichtefunktion $p_s(x)$ eines Gauß-verteilten Signals, so wie es in Abbildung 2 dargestellt ist, genügen zwei Angaben: der Mittelwert m_s und die Streuung σ^2 . Ganz allgemein gilt für die Gauß-Verteilung:

$$p_s(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-m_s)^2}{2\sigma^2}}$$

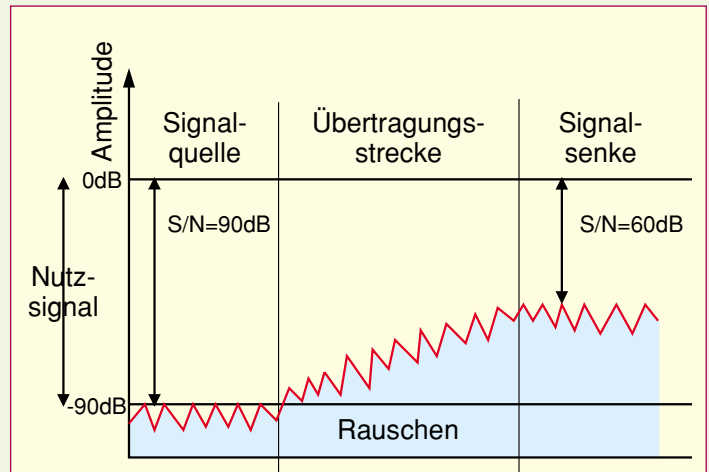
Da ein Rauschsignal mittelwertfrei ist, gilt $m_s = 0$.

Störungen durch Rauschen

Die Störung, die durch Rauschen verursacht wird, ist im allgemeinen eine Einengung der Dynamik, d. h. der Signal-Rauschabstand (S/N) eines Signals wird verringert. In Abbildung 3 ist die Auswirkung einer realen, rauschenden Übertragungsstrecke auf ein Nutzsignal dargestellt.

Mit Hilfe des Signal-Rauschabstand

Bild 3: Einengung der Dynamik durch Rauschen



des läßt sich die Qualität eines Nutzsymbols beschreiben. Die Festlegung, welcher S/N für eine ausreichende Qualität noch akzeptabel ist, hängt wesentlich vom Übertragungssystem ab. Vor allem bei modulierten Signalen ist das minimale S/N stark von der Modulationsart abhängig. Auch im Basisband von Audiosystemen läßt sich kein fester Wert angeben. Der Anspruch „je größer, desto besser“ gilt in gewissen Grenzen, denn den Unterschied zwischen einem S/N von 96 dB und 102 dB wird kaum jemand heraushören. Die Störung durch Rauschen ist, wie viele Klangbeurteilungen in der Audiotechnik, unterhalb eines bestimmte Levels rein subjektiv.

Wie oben beschrieben, ist das Rauschen in Audiosystemen, das normalerweise als weißes gaußsches Rauschen auftritt, über das Spektrum gleichverteilt, d. h. es tritt im gesamten Frequenzbereich mit gleicher Amplitude auf. Als störend tritt das Rauschen in Audiosystemen aber besonders im oberen Frequenzbereich in Erscheinung. Im allgemeinen gelten Rauschanteile oberhalb etwa 4 kHz als sehr störend. Das Rauschen wirkt sich dort dann auch extrem aus, da die Signalamplituden des Nutzsymbols in diesem Frequenzbereich relativ klein sind. Im Extremfall geht das Nutzsignal im Rauschen unter und ist so unwiederbringlich zerstört. So wird das Rauschen in leisen Musikpassagen und/oder Abschnitten mit einem großen Höhenanteil besonders hörbar.

Rauschanteile, die im Spektrum betrachtet in unmittelbarer Nähe eines amplitudenstarken Nutzsymbols liegen, wirken sich nicht störend aus. Dieses Phänomen ist in der Verarbeitung eines akustischen Reizes im menschlichen Ohr bzw. Gehirn begründet. Ein Geräusch mit geringer Lautstärke (z. B. Rauschen) wird nicht mehr wahrgenommen, wenn im Frequenzspektrum direkt daneben ein Geräusch (Nutzsignal) mit einer großen Lautstärke auftritt. Dieser Verdeckungseffekt wird auch Maskierung genannt. Auf der Basis dieses Effektes kann dann eine sogenannte Mithörschwelle

definiert werden, unterhalb derer die Signale nicht mehr wahrgenommen werden.

Diesen psychoakustischen Effekt machen sich auch Datenreduktionssysteme, wie z. B. die Codierung nach MPEG (angewandt bei DAB, Mini Disc usw.), zunutze, um die zu übertragende Datenmenge ohne Klangeinbußen drastisch reduzieren zu können. Diese Mithörschwelle ist keine feste Größe, sondern vom Frequenzbereich und der Amplitude des maskierenden Nutzsignals abhängig. Dies bedeutet zum Beispiel, daß ein niederfrequenter Paukenschlag in einem Musikstück nur die in spektraler Nähe liegenden Rauschteile maskiert, jedoch das hochfrequente Rauschen nicht verdecken kann, es bleibt störend hörbar.

Aufgrund der Komplexität des Rauschens und der engen „Verknüpfung“ mit dem Audiosignal läßt sich leicht nachvollziehen, daß das vollständige „Beseitigen“ von Rauschen ohne eine Beeinträchtigung des Nutzsignals unmöglich ist. Aber auch die Reduzierung des hörbaren Rauschens ist nicht trivial, da das menschliche Gehör sehr empfindlich ist und sich dynamisch dem angebotenen Geräuschpegel anpaßt. Die „Kunst“ der im folgenden vorgestellten Rauschunterdrückungssysteme liegt nun darin, das Rauschen so gut wie möglich zu beseitigen und dabei die Rückwirkungen auf das Audiosignal nicht hörbar werden zu lassen.

Rauschunterdrückungssysteme

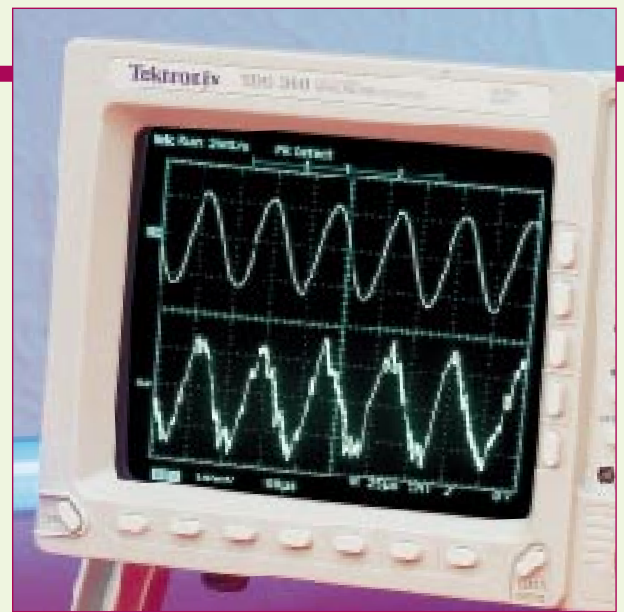
Der Begriff Rauschunterdrückung ist im strengen Sinne irreführend, da das Rauschen nicht unterdrückt werden kann, sondern das hörbare Rauschen wird lediglich auf eine mehr oder weniger effiziente Weise gemindert.

Bei den am Markt befindlichen Systemen muß im groben unterschieden werden zwischen denen, die eine Vorcodierung des Signales benötigen und Systemen, die ohne Codierung auf der „Senderseite“ auskommen. Der Begriff Senderseite darf hier nicht auf den Sender einer Rundfunkübertragungsstrecke bezogen werden, vielmehr ist hierunter der Beginn einer Signalübertragungsstrecke ganz allgemeiner Art zu verstehen.

Bei einer Vorcodierung ist eine effektive Rauschminderung nur möglich, wenn das Audiosignal zuvor in einer speziellen Form bearbeitet wurde. Zu diesen Verfahren gehören z. B. die Emphasis, alle Dolby-Verfahren und das High-Com-Verfahren.

Bei der Emphasis wird im Sender, d. h. am Anfang der Übertragungsstrecke, eine Höhenanhebung im Nutzsignal durchgeführt, die sogenannte Pre-Emphasis. Hier wird das Audiosignal mit einem Filter mit fest definierter Eckfrequenz bewertet. Das

Bild 4: Verrauschtes und nicht verrauschtes Sinus-Signal im Zeitbereich



auf dem Übertragungsweg hinzukommende Rauschen wird sich bei gleichverteiltem Rauschen auf alle Spektralanteile gleichermaßen auswirken. Im Empfänger, d. h. am Ende der Übertragungsstrecke, wird dann mit einer De-Emphasis-Schaltung die im Sender vorgenommene Höhenanhebung des Nutzsignals wieder rückgängig gemacht. Der gesamte Übertragungskanal besitzt für das Nutzsignal im Idealfall einen linearen Frequenzgang. Die Rauschminderung entsteht nun dadurch, daß die De-Emphasis im Empfänger neben der notwendigen Absenkung der Höhen auch dafür sorgt, daß die in diesem Frequenzbereich besonders störenden Rauschteile abgesenkt werden.

Die anderen genannten Rauschminderungssysteme wurden hauptsächlich für die Verbesserung der Übertragungsqualität bei Bandaufzeichnungen entwickelt. Führend auf diesem Gebiet ist wohl die Firma Dolby Laboratories mit ihren verschiedenen Dolby-Systemen. Die am weitest verbreiteten Derivate dieses Systems sind das Dolby B- und Dolby C-Verfahren. Allen Systemen gemeinsam ist das prinzipielle Verfahren. Hiernach wird das Audiosignal vor der Aufnahme frequenzselektiv komprimiert, d. h. die Dynamik wird eingeeengt. Dies geschieht in einem Kompressor, der leise, d. h. kleine Signalpegel, soweit verstärkt, daß sie pegelmäßig über dem Bandrauschen liegen und große Pegel, d. h. laute Musikanteile, nicht beeinflusst. So wird die Dynamik des aufzunehmenden Signales künstlich eingeschränkt.

Um nun am Empfänger, d. h. bei der Wiedergabe, die ursprüngliche Dynamik wieder herzustellen, müssen die leisen Signalanteile mit einer Expanderschaltung wieder abgesenkt werden. Da mit den leisen Signalanteilen auch das auf dem Si-

gnalweg hinzugekommene Rauschen verkleinert wird, ergibt sich eine wirksame Rauschunterdrückung.

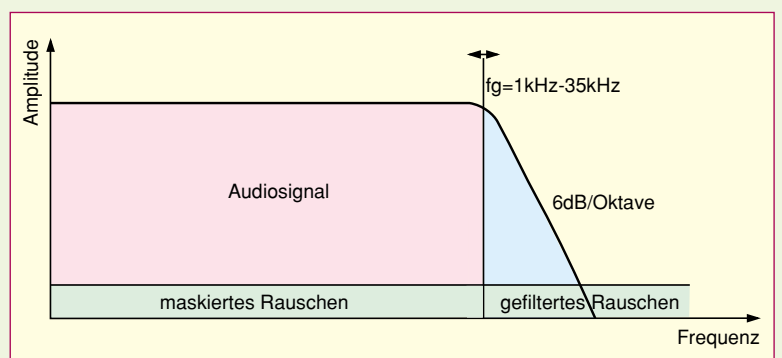
Beim Dolby B-Verfahren werden Frequenzen oberhalb etwa 500 Hz mit einem dynamischen Filter bewertet. Die Arbeitsweise des Dolby-Verfahrens wird bei der Wiedergabe eines Dolby-codierten Musikstückes ohne Dolby-Decodierung hörbar. Es ergibt sich eine eingeschränkte Dynamik, die meist kaum als störend empfunden wird, mit einem überproportional großen Höhenanteil.

Das Dolby C-System arbeitet ähnlich der B-Variante, hier werden die Signale jedoch noch stärker angehoben und herabgesetzt, und der beeinflusste Frequenzbereich ist beim Dolby C-Verfahren auch auf niedrige Frequenzen ausgedehnt.

Das von der Firma Telefunken entwickelte High-Com-Verfahren arbeitet auch nach dem Komponder-Prinzip (Kompressor + Expander = Komponder). Bei diesem System wird keine Einschränkung des Frequenzbereiches gemacht, d. h. hier ist ein breitbandiger Komponder wirksam. Als weiterer Vorteil gegenüber den Dolby-Systemen ist die weitgehende Unabhängigkeit des High-Com-Systems gegen Pegelschwankungen bzw. Pegelfehler auf dem Übertragungsweg zu sehen.

Von den oben beschriebenen Rauschunterdrückungssystemen mit Vorcodierung existieren noch weitere verschiedene Varianten. Im Gegensatz dazu gibt es aber nur wenige Systeme, die eine Rauschminderung

Bild 5: Frequenzgang des spannungsgesteuerten Tiefpaßfilters



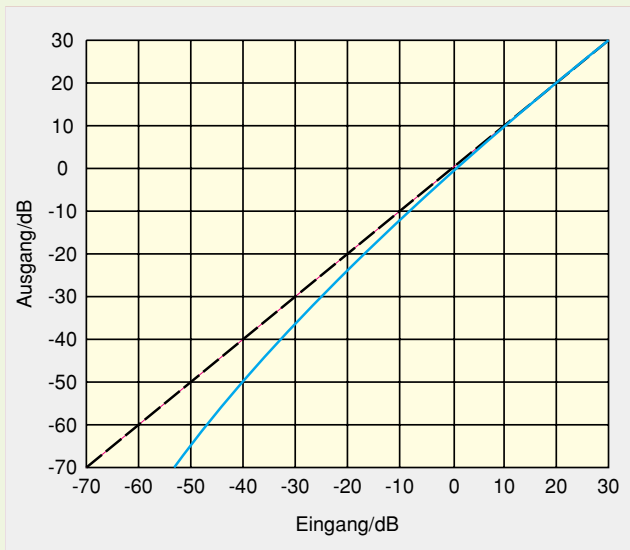


Bild 6: Übertragungsfunktion des spannungsgesteuerten Verstärkers

System und dem Dolby-Verfahren. Mit Hilfe einer adaptiven Rauschsockelerkennung ist dieses System jedoch in der Lage, sich verschiedenen Signalquellen und damit auch unterschiedlichen Rauschquellen anzupassen und benötigt daher keine Vorcodierung des

zu „entrauschenden“ Signales. Der hier angegebene Verlauf zeigt die Funktionsweise dieses Schaltungsteiles sehr deutlich. Eingangssignale unterhalb der intern ermittelten und dynamisch angepaßten Rauschschwelle (entspricht 0 dB) werden entsprechend der Übertragungsfunktion abgeschwächt. Die „Steilheit“ dieser Abschwächung beträgt 2,2 dB pro Dekade, so daß Signale, die 10 dB unter dem Schwellwert liegen, um 2,2 dB abgeschwächt werden, Signale 20 dB unterhalb um 4,4 dB usw., während Signalanteile mit einer Amplitude oberhalb der Rauschschwelle (Nutzsignal) nicht beeinflusst werden. Durch die kleine Steilheit der Dämpfung und den gleitenden Übergang zwischen „nicht dämpfen“ und „dämpfen“ am 0dB-Punkt wird ein bei anderen Systemen auftretendes und als störend empfundenen Schalten und Pumpen des Rauschunterdrückungssystems verhindert. Daher ist die maximale Dämpfung auch auf 15 dB begrenzt.

Das Besondere am HUSH-Rauschunterdrückungssystem ist die dynamische Anpassung der Rauschschwelle. Diese sorgt dafür, daß das System zum Entrauschen verschiedenster Signalquellen geeignet ist. Am einfachsten läßt sich die notwendige Anpassung der Rauschschwelle an der Steuerung des spannungsgesteuerten Verstärkers nachvollziehen. Würde hier mit einem fest eingestellten Schwellwert gearbeitet, wie es bei anderen Systemen üblich ist, so würde bei einem zu niedrig gewählten Wert die Rauschunterdrückung das Rauschen oberhalb dieses Wertes nicht erkennen und somit auch nicht reduzieren. Eine zu hoch gewählte Schwelle hätte andererseits eine Beeinflussung des Nutzsignals zur Folge, da ein Nutzsignalpegel unterhalb der Schwelle als Rauschen erkannt werden würde.

HUSH-System

Beim Rauschunterdrückungsverfahren nach dem HUSH-System handelt es sich um eine Art Kombination aus dem DNL-

System und dem Dolby-Verfahren. Mit Hilfe einer adaptiven Rauschsockelerkennung ist dieses System jedoch in der Lage, sich verschiedenen Signalquellen und damit auch unterschiedlichen Rauschquellen anzupassen und benötigt daher keine Vorcodierung des zu „entrauschenden“ Signales. Das Kernelement in diesem Rauschunterdrückungssystem ist die variable Rauschschwelle. Die Grundthese, auf der die Ermittlung dieser Schwelle beruht, ist die Tatsache, daß jedes Musikstück „Löcher“ besitzt, d. h. es existieren Passagen ohne Nutzsignal. In diesen Löchern analysiert das System den Rauschboden, es ermittelt die Amplitude des Rauschsockels und legt daraufhin die Rauschschwelle fest. Aufgrund des Ergebnisses dieses patentierten automatischen Rauschschwellendetektors werden dann die rauschreduzierenden Schaltungsteile eingestellt. Zur Rauschunterdrückung besitzt das HUSH-System ein Tiefpaßfilter mit variabler (spannungsgesteuerter) Grenzfrequenz (VCF = voltage controlled filter) und einen Verstärker mit spannungsgesteuerter Verstärkung (VCA = voltage controlled amplifier) im Signalweg.

Die Steuerung des variablen Tiefpaßfilters erster Ordnung (VCF) sorgt dafür, daß die Grenzfrequenz nur wenig oberhalb der höchsten Nutzfrequenz liegt. Diese Grenzfrequenz kann im Bereich von 1 kHz bis 35 kHz stufenlos verändert werden. Da der Detektor das Steuersignal für den VCF-Teil entsprechend dem aktuellen Nutzsignal verändert, folgt die Grenzfrequenz dynamisch der höchsten Signalfrequenz. Die Rauschanteile oberhalb der Grenzfrequenz werden dabei herausgefiltert, während die Rauschsignale im Durchlaßbereich des Filters durch die Signalpegel verdeckt, d. h. maskiert werden. Diese Funktionsweise verdeutlicht Abbildung 5, in der die Filterfunktion mit den maskierten und gefilterten Rauschanteilen dargestellt ist.

Um die Effektivität des Rauschunterdrückungssystems zu steigern, wird das Signal zusätzlich mit einem spannungsgesteuerten Verstärker (VCA) bearbeitet. Die Übertragungsfunktion dieses „Downward Expander“ ist in Abbildung 6 dargestellt.

Die variable Anpassung an das Audio-Quellensignal als Herzstück des HUSH-Noise-Reduction-Systems gewährleistet die universelle Einsetzbarkeit des Rauschunterdrückungssystems. Mit Hilfe dieser Adaption stellt sich das System selbständig auf das Rauschen der verschiedenen Quellen ein und kann somit für jede dieser Quellen eine optimierte Rauschunterdrückung gewährleisten. So wird ein stark verrauschtes Rundfunksignal genauso effizient entrauscht wie das rauscharme Ausgangssignal eines CD-Spielers, obwohl stark unterschiedliche Voraussetzungen vorliegen.

Aufgrund der universellen Einsetzbarkeit dieses Rauschunterdrückungssystems haben wir uns entschlossen, eine eigenständige Schaltung auf der Basis dieses Systems zu entwickeln. Im nächsten Teil dieses Artikels werden wir dann die Schaltung des nach dem HUSH-Prinzip arbeitenden Rauschunterdrückungssystems ELV-NSR 401 vorstellen.



• Dolby B, Dolby C sind eingetragene Warenzeichen der Dolby Laboratories, Inc. • HUSH ist ein eingetragenes Warenzeichen der Rocktron Corporation