

8.3.7 Dolby Systeme

Die Rauschunterdrückungssysteme, die heute auf dem Tontechnikmarkt existieren, sind größtenteils von der amerikanischen Firma Dolby. Sie basieren alle auf zwei verschiedenen Regelkreisen, die im Folgenden beschrieben werden sollen. Weiterhin kommen bei späteren Systemen noch zwei wichtige Zusatzschaltungen hinzu.

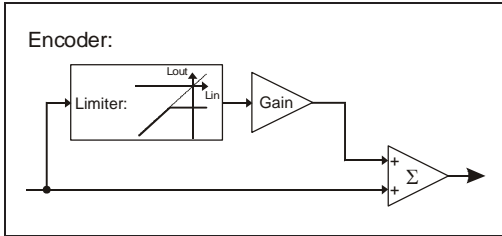


Abb. 8.3-10: Der "Fixed" Regelkreis

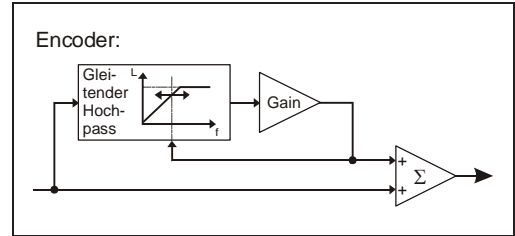


Abb. 8.3-12: Der "Sliding" Regelkreis

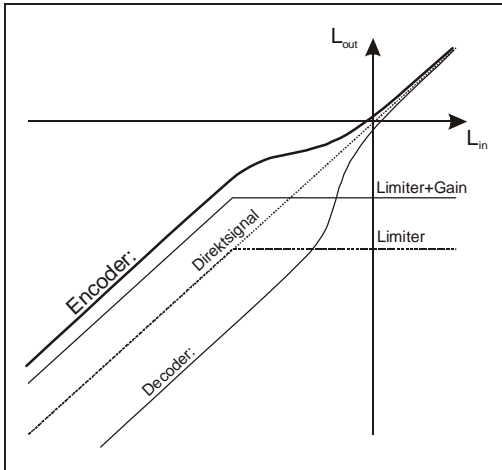


Abb. 8.3-11: Die Kennlinien des "Fixed" Regelkreises

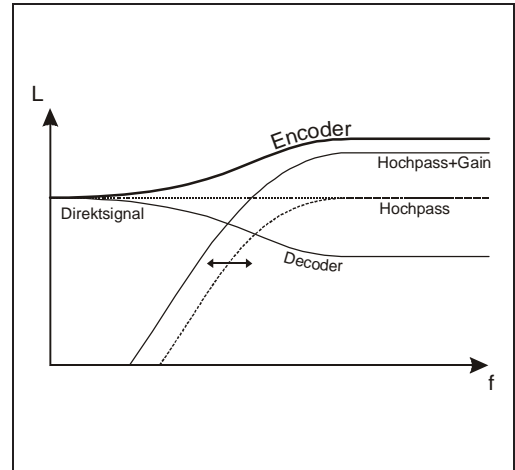


Abb. 8.3-13: Frequenzgänge des "Sliding" Regelkreises

8.3.7.1 Der "Fixed" Regelkreis

Im "Fixed" (=feststehender) Regelkreis soll eine kompanderähnliche Schaltung realisiert werden, die jedoch nicht im gesamten Pegelbereich arbeitet. Vielmehr sollen laute Signale unverändert bleiben, da sie das Rauschen ohnehin verdecken. Zu leisen Signalen hin wird aufnahmeseitig eine sanfte Kompression vorgenommen, die unterhalb eines bestimmten Pegels zu einer konstanten Verstärkung des Signals wird. Um diese komplizierte Anforderung an den Kompressor zu erfüllen, wurde die in Abbildung 8.3-10 gezeigte Schaltung entwickelt. Das Eingangssignal wird aufgeteilt, in einem Seitenzweig durch einen Limiter geschickt, verstärkt und anschließend wieder zu dem Direktsignal addiert. In Abbildung 8.3-11 ist die grafische Lösung dieser Addition zu sehen: es wurde ein Threshold von -30dB für den Limiter angenommen, sowie eine Verstärkung von +6dB nach dem Limiter. Dadurch ergibt sich eine Kennlinie, die zu lauten Signalen

hin immer mehr am Direktsignal liegt, da der Limiter immer weniger Einfluss hat. Zu leisen Signalen hin wird zu dem Direktsignal immer mehr Signal des Limiters addiert, bis schließlich bei -30dB eine konstante Verstärkung von +9,5dB gegenüber dem Direktsignal erreicht wird. Da die Schaltung einen sehr sanften Übergang zwischen den linearen Bereichen hat, macht sie sich in einem Signal kaum störend bemerkbar. In der Abbildung ist weiterhin die Kennlinie des zugehörigen Decoders zu sehen, der wiederum durch eine Gegenkopplungsschaltung mit dem Encoder generiert werden kann.

8.3.7.2 Der "Sliding" Regelkreis

Der "Sliding" (=rutschender) Regelkreis beschreitet einen anderen Weg. Hier wird eine variable Emphasis realisiert, die die Probleme der frequenzabhängigen Clippinggrenze berücksichtigen kann. Die Grenzfrequenz der Emphasis soll abhängig von

dem Signalpegel in den Höhen variieren. Wenn sehr viel Pegel vorhanden ist, dann soll die Grenzfrequenz über den Audiobereich hinausrutschen und im Audiobereich keine Pegelerhöhung der Höhen bewirken. Die Schaltung, die dies leisten kann, ist in Abbildung 8.3-12 zu sehen. Das Eingangssignal wird aufgeteilt, in einem Seitenzweig durch ein frequenzvariables Hochpassfilter geschickt, verstärkt und anschließend wieder zu dem Direktsignal addiert. In Abbildung 8.3-13 ist das Ergebnis dieser Addition für eine Grenzfrequenz von 1kHz und eine Verstärkung von +6dB zu sehen: unterhalb der Grenzfrequenz des Hochpassfilters nähert sich das Signal dem Direktsignal an, da das Filter immer weniger zu der Addition beiträgt. Oberhalb der Grenzfrequenz wird schließlich eine konstante Verstärkung von +9,5dB erreicht. Der resultierende Frequenzgang entspricht dem eines Shelving-Equalizers, mit dem Unterschied, dass die Grenzfrequenz abhängig von dem Pegel des eigenen Ausgangssignals ist. Steigt dieses im Pegel an, so rutscht die Grenzfrequenz nach oben. Es wird also immer auf einen konstanten Pegel im Höhenbereich geregelt. Somit können nicht zu viele Höhen auftreten, die ein eventuelles Clipping zur Folge hätten. In der Abbildung 8.3-13 ist zusätzlich der Frequenzgang des Decoders zu sehen, der bei dem richtigen wiedergabeseitigen Pegel die Höhenanhebung rückgängig machen soll. Wird nun der Pegel in den Höhen immer geringer und geht somit immer näher an das Bandrauschen, so rutscht das Hochpassfilter an die Signalthöhen heran und hebt diese vor der Aufnahme an. Auf diese Weise können die Höhen mit einem größeren Abstand zum Bandrauschen aufgenommen werden. Wiedergabeseitig werden schließlich die Signalthöhen zusammen mit dem Rauschen abgesenkt, um den Originalfrequenzgang mit verringertem Bandrauschen wieder herzustellen.

8.3.7.3 Dolby A

1965 führte Dolby die professionelle Rauschunterdrückung Typ A ein. Es handelt sich hierbei um eine mehrbandige Variante des Fixed-Regelkreises. Es werden 4 Frequenzbereiche durch einen Limiter geschickt, verstärkt und anschließend zum Direktsignal addiert. Das Blockschaltbild des Dolby A Encoders ist in Abbildung 8.3-14 zu sehen. Auffallend ist, dass im oberen Frequenzbereich 2 Hochpassfilter in der Frequenzweiche eingesetzt werden. Auf diese Weise kann das Rauschunterdrückungsmaß in den Höhen weiter gesteigert werden. In Abbildung 8.3-15 sind die Frequenzbereiche

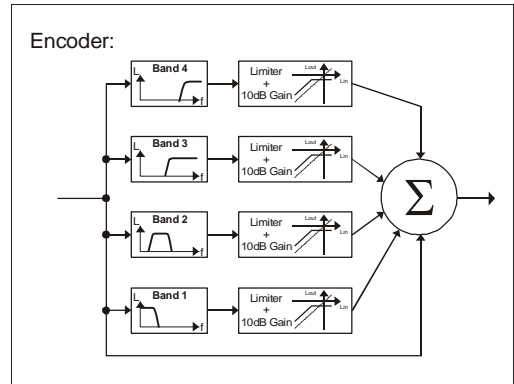


Abb. 8.3-14: Der Dolby A Encoder

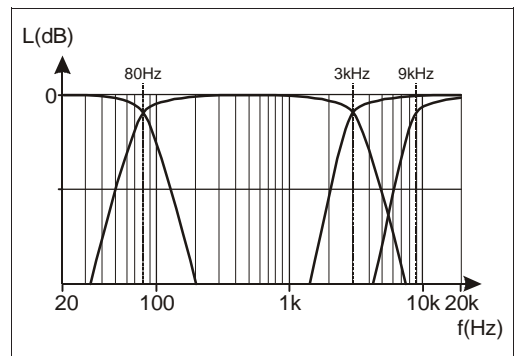


Abb. 8.3-15: Frequenzbereiche der Dolby A Rauschunterdrückung

der einzelnen Bänder zu sehen. Das Maß der Rauschunterdrückung beträgt bis 9kHz 10dB und in der letzten Oktave des Audiobereichs 16dB. Die Anordnung der Grenzfrequenzen ist so gewählt, dass Tiefbassfrequenzen in einem eigenen Band bearbeitet werden. Die Mitten werden sehr breitbandig in nur einem Band, und die Höhen mehrbandig in zwei sich addierenden Bändern bearbeitet. Auf diese Weise ist das System für die unterschiedlichsten Anwendungen geeignet. Es wurde in Mehrspurbandmaschinen, 2-Spur Mastering- und semi-professionellen HiFi-Bandmaschinen sowie für den analogen Lichtton eingesetzt. Ein Dolby A rauschunterdrücktes Signal kann man anhand des "Dolby Tone" erkennen. Dies ist ein frequenzmodulierter 1kHz Sinuston, der gleichzeitig auch zum Einpegeln des Systems verwendet wird.

8.3.7.4 Dolby B

1968 wurde das Dolby B Rauschunterdrückungssystem vorgestellt. Es sollte eine günstige, jedoch effektive Consumer-Rauschunterdrückung sein, die

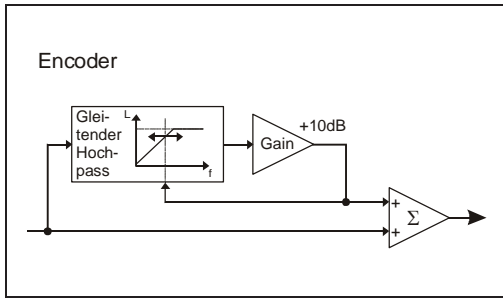


Abb. 8.3-16: Der Dolby B Encoder

für die damals gebräuchlichen 1/4"-Bandmaschinen entwickelt wurde. Dolby B besteht nur aus einem Sliding-Regelkreis, ist also eine frequenzabhängige Emphasis (siehe Abbildung 8.3-16). Durch die Integration der Schaltung in einen Microchip war es bald möglich, die meisten Kassettendecks mit dieser Rauschunterdrückung auszustatten. So waren 1981 bereits 100 Millionen Kassettendecks mit einer Dolby B Rauschunterdrückung ausgestattet. Das Hauptproblem der Dolby B Rauschunterdrückung ist, dass das Kassettendeck gut eingemessen und sehr gepflegt sein muss, damit keine Frequenzgangfehler auftreten. Die Abbildung 8.3-17 zeigt prinzipiell, was passiert, wenn der wiedergabeseitige Pegel in den Höhen nicht stimmen sollte.

- Ist der Pegel der Höhen wiedergabeseitig korrekt, arbeitet der Decoder exakt spiegelbildlich zum Encoder und stellt den Originalfrequenzgang wieder her (Oben). Hierzu muss die Bias allerdings korrekt eingestellt sein, der Azimuth der Tonköpfe stimmen, die Köpfe gereinigt sein, die Equalizer an die eventuell abgeschliffenen Köpfe angepasst werden und die Kassette nicht zu abgenutzt sein.
- Sind wiedergabeseitig zu viele Höhen vorhanden, so rutscht der Decoder zu weit nach oben. Der resultierende Frequenzgang weist eine glockenförmige Überhöhung des Frequenzgangs auf, die pegelabhängig hin- und herwandert (Mitte). Dieses Problem kann auftreten, wenn die Bias zu niedrig eingestellt ist (zu wenig Höhen werden gelöscht), oder, wenn bei konstanter Bias-Einstellung ein zu hoch remanentes Band verwendet wird.
- Sind wiedergabeseitig zu wenig Höhen vorhanden, so rutscht der Decoder zu weit nach unten und senkt die ohnehin schon zu wenigen Höhen noch weiter ab (Unten). Dies passiert angepasst an den aktuellen Pegel der Höhen, so dass sich immer ein dumpfes Signal ergibt.

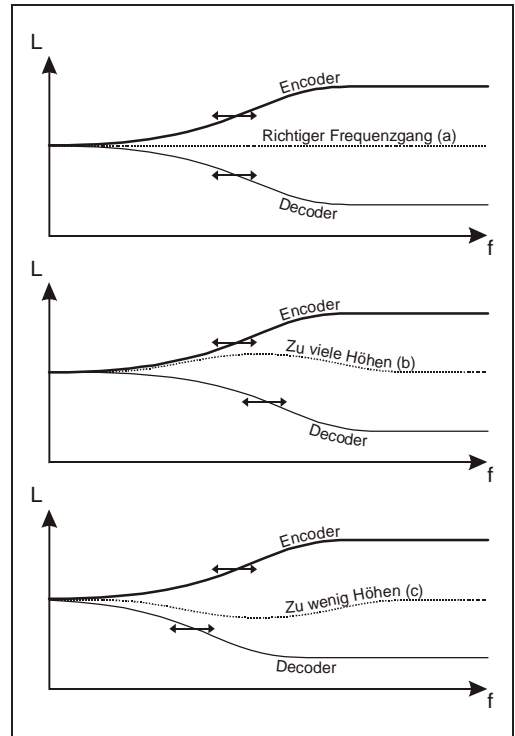


Abb. 8.3-17: Pegelabhängigkeit des Decoders

Mögliche Ursachen für einen zu niedrigen Höhenpegel sind:

- zu wenig Bias oder ein zu gering remanentes Band
- dreieckiger Tonkopf
- altes, abgenutztes Band
- verstellter Azimuth der Tonköpfe
- abgeschliffener Tonkopf
- fremdes Band, das mit einem anderem Azimuthwinkel aufgenommen wurde

Leider trifft es fast immer zu, dass zu wenig wiedergabeseitige Höhen vorhanden sind, da die möglichen Fehlerquellen zu selten bekämpft werden. Deshalb klingen Aufnahmen, die mit Dolby B rauschunterdrückt worden sind, meistens dumpf.

8.3.7.5 Dolby C

Im Jahre 1980 wurde der Nachfolger des Dolby B eingeführt: Dolby C. Diese verbesserte und auf die speziellen Eigenschaften des Kassettendecks angepasste Rauschunterdrückung besteht aus zwei Sliding-Regelkreisen, die hintereinander geschaltet werden. Zusätzlich finden eine "Spectral-Skewing" und eine "Anti Saturation" Schaltung Anwendung.

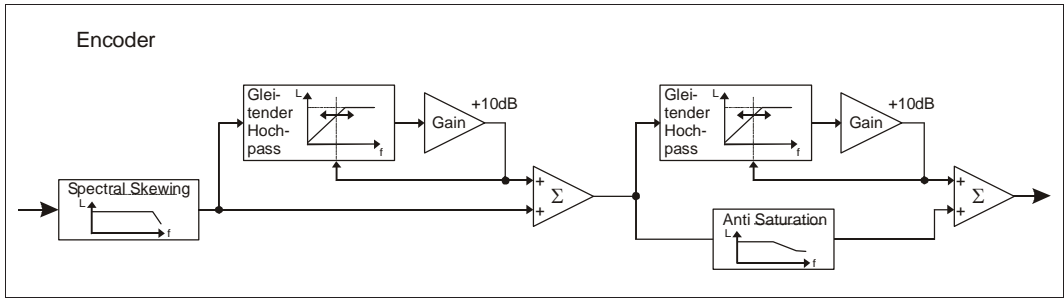


Abb. 8.3-18: Der Dolby C Encoder

Die Abbildung 8.3-18 zeigt das Blockschaltbild des Dolby C Encoders. Da die Funktionsweise der beiden Sliding-Regelkreise bereits bekannt ist, soll hier nur auf die beiden zusätzlichen Blöcke eingegangen werden:

Spectral-Skewing heißt soviel wie "Schiefstellung des Spektrums". Es handelt sich um ein Notchfilter mit $Q=1$, das 12dB bei 20kHz absenkt. Auf diese Weise soll vermieden werden, dass hochfrequente Pegelfehler des Aufzeichnungsgerätes zu starken Verschiebungen zwischen Encoder- und Decodergrenzfrequenz führen. Weiterhin werden auch hochfrequente Störquellen, wie z.B. Knackser von Schallplatten, die aufgrund ihres Impulscharakters sehr viele Obertöne haben, gedämpft und können das Regelsystem der Sliding-Regelkreise nicht so stark beeinflussen. Die Höhenabsenkung des Spectral-Skewing findet erst in einem sehr hohen Frequenzbereich wirklich merklich statt, so dass sich auf diese Weise keine hörbare Verschlechterung des Signal-Rauschabstandes ergibt. Sie stellt eine rein technisch sinnvolle Maßnahme dar, damit das Dolby System weniger gestört werden kann. Die Spectral-Skewing-Schaltung befindet sich vor dem gesamten Encoder, ist also immer in Betrieb. Man könnte die Spectral-Skewing-Schaltung in gewisser Weise auch so verstehen, dass sie versucht, den Frequenzgang eines etwas älteren Kassettendecks nachzuempfinden. Durch Dreck auf den Köpfen und einen nicht perfekt eingestellten Azimuth gehen in der Praxis Höhen verloren. Die Spectral-Skewing-Schaltung simuliert gerade dies bereits bei der Aufnahme, und somit berücksichtigen die Sliding-Regelkreise auch den Höhenverlust. Tritt der Höhenverlust nun auch noch tatsächlich durch dreckige Köpfe auf, so wirkt er sich nicht mehr so schlimm aus, da von vornherein von weniger Höhen ausgegangen wurde, und diese wiedergabeseitig wieder angehoben werden.

Anti-Saturation bedeutet "gegen die Sättigung". Hier wird ein Shelving-Equalizer eingesetzt, der die Höhen ab ca. 1,5kHz mit 1,5dB/Okt absenkt. Die Anti-Saturation Schaltung befindet sich im Direktsignal des zweiten Sliding-Regelkreises. Das heißt, sie wird dann voll wirksam, wenn sehr laute Signale anliegen und der Hochpassfilter im Seitenzweig über 20kHz rutscht. Zu leisen Signalen hin dominiert die Höhenanhebung des Seitenzweiges, und die Höhen werden angehoben.

Die Kombination aus Spectral-Skewing und Anti-Saturation ist erst bei lauten Signalen wirksam, wenn beide Sliding-Regelkreise hochgerutscht sind. Dadurch ergibt sich ein Frequenzgang, der relativ genau an die frequenzabhängige Clippinggrenze des Analogbandes angepasst ist. Auf diese Weise können Aufnahmen mit Dolby C um ca. 3dB höher gesteuert werden, was auch zu einer Vergrößerung des Signal-Rauschabstandes führt. Trotz der Spectral-Skewing-Schaltung sind auch bei Dolby C immer noch ähnliche Probleme bemerkbar wie bei Dolby B: bei einem wiedergabeseitig insgesamt zu geringen Pegel werden die Höhen durch den Decoder zusätzlich abgesenkt. Dies könnte bei sehr leisen Signalen, wenn beide Sliding-Regelkreise auf die gleiche, tiefste Frequenz herunter gerutscht sind, sogar noch stärkere Auswirkungen haben, als bei Dolby B.

8.3.7.6 Dolby S

Die neueste Rauschunterdrückung für Kassettendecks und Homerecording Bandmaschinen ist Dolby S. Eingeführt im Jahre 1989 bietet es folgende Verbesserungen gegenüber Dolby C:

- Zu den zwei Sliding-Regelkreisen kommen Fixed-Regelkreise hinzu. Diese Kombination wird von Dolby "Action Substitution" genannt, was soviel heißt wie "ersetzende Arbeitsweise". Hierbei ergänzen die Fixed-Regelkreise

die Sliding-Regelkreise in der Weise, dass die Frequenzgangprobleme, die Dolby B und Dolby C wiedergabeseitig haben, nicht mehr so schwerwiegend entstehen können, da in dem Frequenzbereich, in dem die Höhen zu schwach werden, nur noch der Fixed-Regelkreis arbeitet.

- Es gibt einen Fixed-Regelkreis im tieffrequenten Bereich, um gegen kassettypische tieffrequente Rauschteile anzukämpfen.
- Es gibt eine zusätzliche tieffrequente Spectral-Skewing Schaltung, die eine tieffrequente Frequenzgangkorrektur, die ohnehin während der Aufnahme erforderlich ist, speziell für Kassetendecks übernimmt.

Die Abbildung 8.3-19 zeigt das Blockschaltbild des Dolby S Encoders.

8.3.7.7 Dolby SR

Die letzte Entwicklung der Dolby Laboratories in Bezug auf professionelle Rauschunterdrückung ist das Dolby SR System. Die Abkürzung SR steht hierbei für "Spectral Recording". Seit 1986 ist es in Tonstudios für Mehrspuraufnahmen und Masteringzwecke im Einsatz. Weiterhin sind die analogen Tonspuren der heutigen 35mm Filme mit Dolby SR rauschunterdrückt. Ist ein Film gleichzeitig mit Dolby SR rauschunterdrückten Analogspuren und einer Dolby Digitalspur versehen, so wird das Format Dolby SR-D genannt. Das SR-System hat insgesamt 10 Regelkreise, die jeweils zu 5 "Action Substitution" Stufen zusammenschaltet sind. Das Signal wird in 3 Pegelstufen bearbeitet, welche in jeweils zwei Frequenzbänder aufgeteilt sind. Auf diese Weise ist es möglich, sehr genau auf die Spektral- und Pegelverteilung des Signals einzuge-

hen, woher wohl auch der Name des Systems kommt. Das Blockschaltbild des Dolby SR Encoders ist in Abbildung 8.3-20 zusehen. Ergänzt werden die Pegelstufen durch eine tief- und hochfrequente Spectral-Skewing Schaltung, sowie durch tief- und hochfrequente Anti-Saturation Schaltungen. Auf diese Weise ist es wiederum möglich, zusätzlich zu den Regelkreisen den Headroom zu erweitern. Jede einzelne Pegelstufe hat 8dB Rauschunterdrückung, so dass man insgesamt - mit der Headroomerweiterung - auf 27dB Rauschunterdrückung über 800Hz und ca. 19dB Rauschunterdrückung unter 800Hz kommt. Zusammen mit einer analogen Bandmaschine sind die folgenden, beeindruckenden Werte möglich:

- Mit einer 2" Mehrspurmaschine: ca. 90dB
- Mit einer 1/4" 2-Track auf 15ips: ca. 95dB
- Mit einer 1/2" 2-Track auf 30ips: ca. 100dB

Bezieht man den Klirrfaktor mit ein, so kann eine analoge Aufnahme mit Dolby SR als gleichwertig zu einem 22Bit-24Bit / 96kHz System betrachtet werden. Ein Dolby SR rauschunterdrücktes Signal kann man anhand der so genannten "Dolby Noise" erkennen. Dies ist ein rosa Rauschen mit -20dB Pegel, welches alle 2 Sekunden für 20ms unterbrochen wird. Mit Hilfe dieses Signals kann das System wiedergabeseitig auch eingepegelt werden.

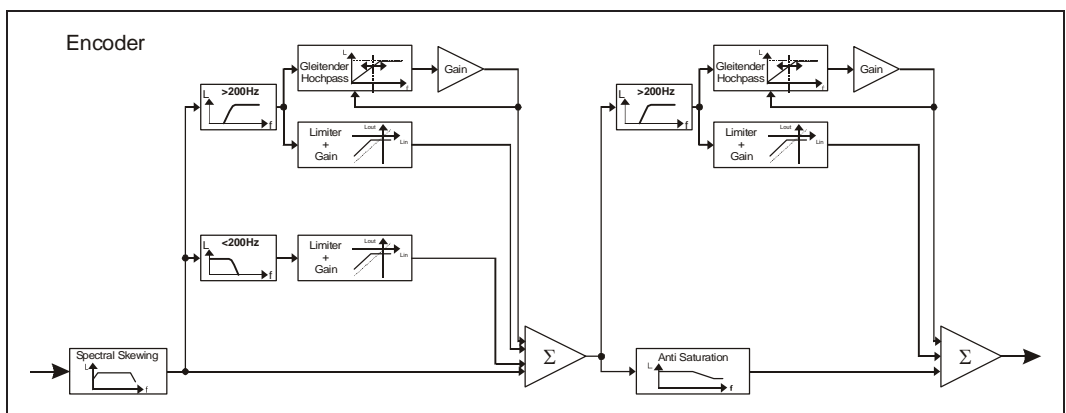


Abb. 8.3-19: Der Dolby S Encoder

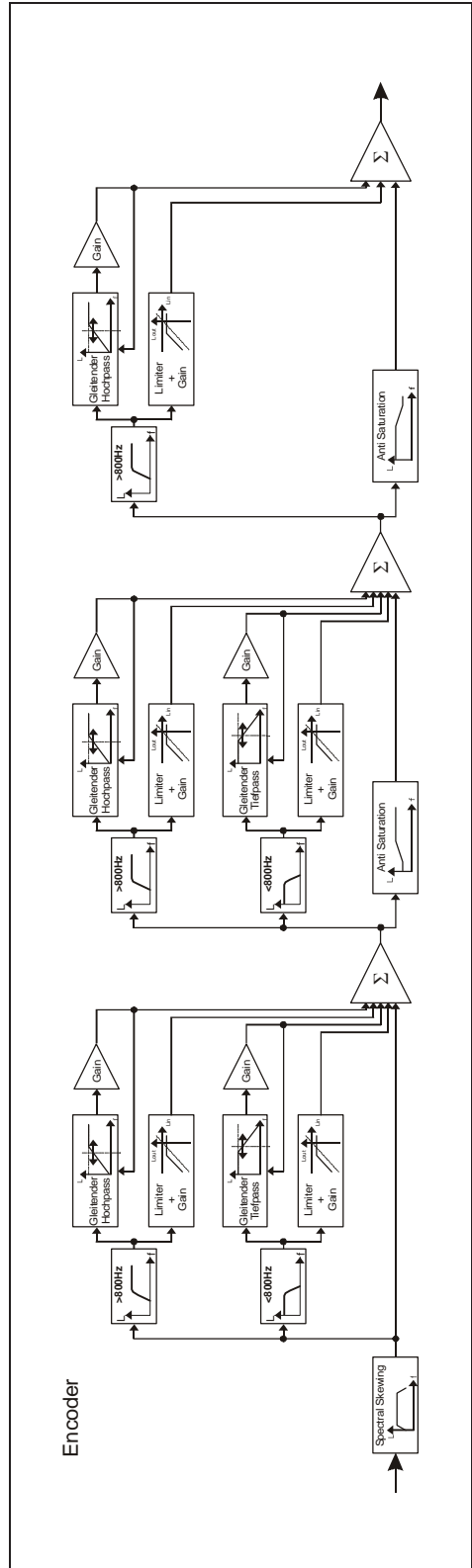


Abb. 8.3-20: Vereinfachte Darstellung des Dolby SR Encoders