

Das Rauschunterdrückungssystem telcom c4

Von Claus Müller - mit einem Gastbeitrag von Dr.-Ing. Ernst F. Schröder

Einführung

Im Jahre 1975 wurde das von TELEFUNKEN entwickelte Rauschunterdrückungssystem »telcom c4« vorgestellt. Es verbesserte mit einer Senkung des Störpegelabstands von bis zu 30 Dezibel (dB) die Qualität der analogen Magnetbandaufzeichnung erheblich. Das Eigenrauschen eines Signals kann mit »telcom c4« zwar nicht eliminiert werden, jedoch kann das Bandrauschen vermindert werden. Das Prinzip beruht auf der Komprimierung von Pegeln vor der Aufnahme, die dann bei der Wiedergabe im umgekehrten Maße wieder dekomprimiert werden.



Bild 1: Telefunken Einschubträger ES 4 mit 2-Kanal-Kompandereinschub telcom c4 F2H (2 Stück)

Wie funktioniert »telcom c4«?

Bei der Tonbandaufnahme ist die physikalische Grenze von ca. 60 dB Rauschspannungsabstand bzw. Dynamikumfang gesetzt. Das Rauschunterdrückungssystem »telcom c4« erweitert diese auf bis zu 90 dB. In Bild 2 wird die Wirkungsweise schematisch dargestellt. Wird ein Signal mit einem Dynamikumfang von

z. B. 90 dB mit »telcom c4« komprimiert auf Band kopiert, so kann es in diesem kodierten Zustand archiviert werden. Wird es beim Abspielen dekomprimiert, so steht das ursprüngliche Signal in seinem bisherigen Dynamikumfang wieder zur Verfügung. Beim Einsatz von »telcom c4« sind keine Qualitätseinschränkungen zu erwarten.

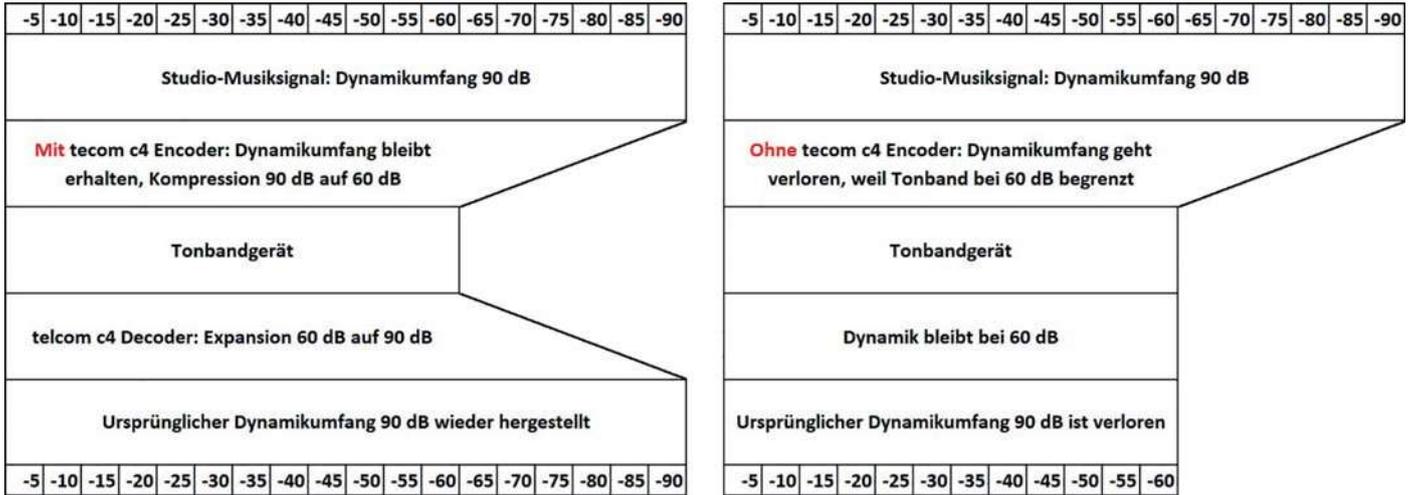


Bild 2: Schematische Darstellung des Tonbandkopiervorgangs mit und ohne »telcom c4«

Beim Arbeiten ohne »telcom c4«, wie rechts in Bild 2 zu sehen, gehen beim Spielen des Magnetbandes ca. 30 dB der Dynamik verloren und das Studio-Musiksignal steht danach nur noch eingeschränkt zur Verfügung. Vereinfacht kann gesagt werden, dass die leisen Anteile des Musiksignals im Bandrauschen untergehen.

Ein weiterer Vorteil des »telcom c4«-Verfahrens ist, dass es sich positiv auf den Kopiereffekt zwischen den Bandlagen auswirkt: Vor- und Nachechos werden signifikant reduziert.

Technische Umsetzung »telcom c4«

Um das Ein- und Ausschwingverhalten der Regelverstärker auf den »telcom c4«-Baugruppen in einem Bereich zu realisieren, bei dem keine hörbaren Verzerrungen auftreten, musste zwischen dem Einschwingen und dem Ausschwingen eine komplexere Lösung gefunden werden, da diese mit einem einzigen Regelsystem für den gesamten Frequenzbereich unmöglich wäre. Deshalb wurde der Bereich in vier Frequenzbänder unterteilt, die mit einer jeweils eigenen Regelung arbeiten. Auf Bild 3 sind die vier Bereiche schematisch dargestellt, auf der in Bild 4 gezeigten Platine sind diese Bänder auf der linken Seite durch sich wiederholende Bauteilreihen zu erkennen.

Bild 5 zeigt die Messung der vier Frequenzbänder. Sie befinden sich in einem Toleranzschlauch von 2 dB. Das ist ein sehr guter Wert. Wird zum Kodieren und Dekodieren dasselbe Gerät verwendet, dann gleichen sich durch die spiegelbildliche Wirkung der elektronischen Schaltung die Unterschiede aus, denn: Beim Kodieren wird dieselbe Schaltung verwendet wie beim Dekodieren, weil diese in die Gegenkopplung eines Operationsverstärkers geschaltet wird. Dies ist ein weiterer großer Vorteil von »telcom c4«.

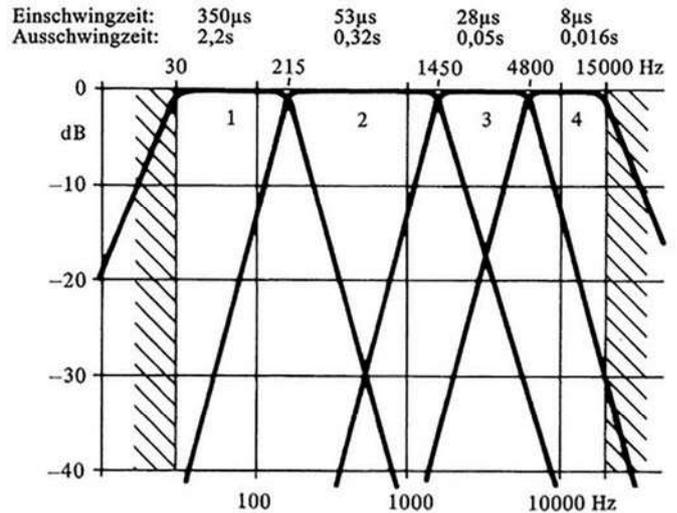


Bild 3: Frequenzbänder »telcom c4« mit Ein- und Ausschwingzeiten für eine Pegelanhebung und Pegelabsenkung von 30 dB



Bild 4: Kompondereinschub »telcom c4 F2H«

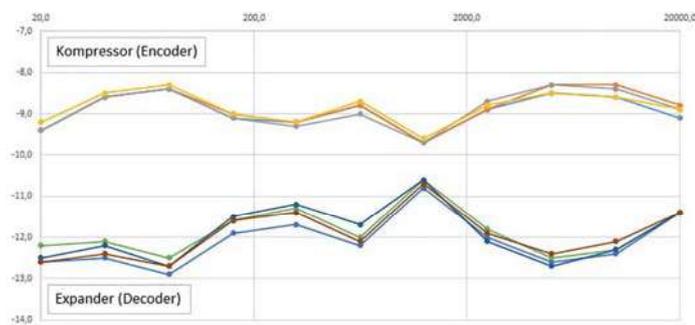


Bild 5: Linearitätsmessung der vier Kanäle eines Kompandereinschubs »telcom c4 F2H« bei einem Pegel von -30 dBu

Realisierung von »telcom c4«

Der Einschubträger ES 4 mit 2-Kanal-Kompandereinschub »telcom c4 F2H« bietet voll bestückt vier Kanäle über zwei Kompandereinschübe, von denen jeder einzelne als Expander oder Kompressor geschaltet werden kann. Damit können zwei Stereokanäle gleichzeitig kodiert und dekodiert werden. In der Praxis bedeutet das: Hat man eine Tonbandmaschine mit Hinterbandkontrolle, so kann mit »telcom c4« kodiert aufgenommen und das Signal danach sogleich dekodiert in der Wiedergabe kontrolliert werden. Bild 1 zeigt die Einstellung der Schalter auf der Frontplatte für diesen Zweck.

Die Einschubträger »ES 4« sind auf dem Gebrauchtmart ausreichend erhältlich. Vor dem Kauf bitte auf Vollbestückung achten. Der Zustand kann allerdings sehr variieren. Die vier Platinen, jeweils zwei pro Kompandereinschub »F2H«, werden durch einen Lüfter im Gerät gekühlt. Ist dieser defekt, so kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auch mit defekten Platinen gerechnet werden. Eine Reparatur gestaltet sich schwierig, da die Platinen mit Elektronik vollgepackt sind und einige Spezialbauteile enthalten. Andererseits bieten die vier Platinen optimale Bedingungen für Vergleichsmessungen bei einer Reparatur.

Bei der Restauration oder Wiederinbetriebnahme eines TELEFUNKEN-Einschubträgers »ES 4« wird häufig die Frage nach den Pegelverhältnissen des Gerätes gestellt. Bild 6 zeigt an den Buchsenleisten aufgelötete Widerstände von 3 k Ω , bei Vollbestückung sind das acht Stück. Dies ist der Standardwert für eine Pegelvoreinstellung von +6 dBu. Man findet am Markt auch Geräte mit 6,8 k Ω (+2 dBu). Da der Austausch der Widerstände sehr umständlich durchzuführen ist, würde ich empfehlen, zuerst das gesamte Gerät auf einwandfreie Funktion zu überprüfen und dann zu überlegen, diese umzulöten.

Der Regelbereich mittels der aufgelöteten Widerstände kann zwischen -4 dBu und +15 dBu betragen. Die Werte werden über eine Formel berechnet und beziehen sich auf die Spannung, die sich hinter dem dBu Wert verbirgt. Zur Vereinfachung habe ich hier einige Pegel in dBu, die dazugehörige Spannung in Volt, den berechneten Widerstand nach den Vorgaben für den TELEFUNKEN-Einschubträger »ES 4« und den nach der E24-Widerstandstabelle zugehörigen Widerstandswert berechnet:

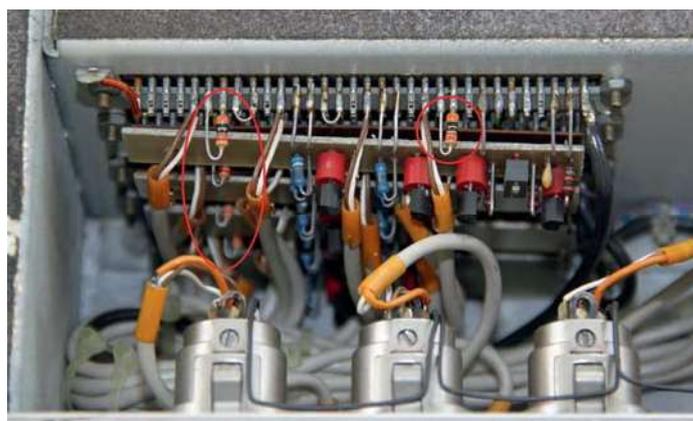


Bild 6: Vorwiderstände von 3 k Ω im »telcom«-Einschubträger »ES 4« (rot eingekreist, es sind nicht alle zu sehen)

Pegel (dBu)	Pegel (V)	ES 4 Rv (Ω)	Rv (E24) (Ω)
+12 dBu	3,08	641	620
+6 dBu	1,55	2.890	3.000
+4 dBu	1,23	4.454	4.300
+2 dBu	0,98	6.951	6.800
0 dBu	0,77	11.920	12.000

Tabelle 1: Vorwiderstand Ein- und Ausgang Telefunken Einschubträger ES 4

Im AEG-TELEFUNKEN-Handbuch ist zu diesem Thema folgender Text zu lesen: „Der Nennpegel soll so festgelegt werden, dass er einerseits mit dem Sinusdauerpegel vom Bezugsband und andererseits mit dem Anlagennennpegel übereinstimmt. Daraus ergibt sich beim Einpegeln der gesamten Anlage kein Unterschied zwischen »telcom c4« „ein“ und „aus“ (55 Hz, 550 Hz, 2,5 kHz, 15 kHz).“

Messung und Referenzkurve

Gegenüber anderen Entwicklungen, bei denen die Kennlinien nichtlinear sind (z. B. DOLBY), entfällt bei dem »telcom c4«-Verfahren das Einpegeln des Kompanders, was einen erheblichen Vorteil für den Betrieb darstellt.

Auf Bild 7 sind die Linien der vier Kanäle jeweils als Encoder und Decoder zu sehen. Auf einer logarithmischen Skala wird der Kennlinienverlauf linear (als gerade Linie) dargestellt. Für ein über 40 Jahre altes Gerät sind die Messergebnisse hervorragend. Die rote Linie stellt die Referenzlinie dar, von der in der jeweiligen Richtung die Kompression oder Expansion spiegelbildlich betrachtet werden kann. Zu beachten ist, dass sich oberhalb des Schnittpunktes der Linien die Wirkungsweise umkehrt: Der Kompressor wird zum Expander und vice versa. Die Aussteuerbarkeit wird zwar verbessert, es ist jedoch Vorsicht geboten, dass das komprimierte Signal nicht mit zu hohem Pegel auf Band aufgezeichnet wird. Sonst kann es passieren, dass nach dem Dekodieren ein zu hoher Pegel ansteht, der zu Verzerrungen führt. Es wird empfohlen, die Aufnahmen von 514 nWb/m auf 320 nWb/m zu reduzieren. In Studio-Pegeln gesprochen, sind das dann +2 dBu statt +6 dBu, also 4

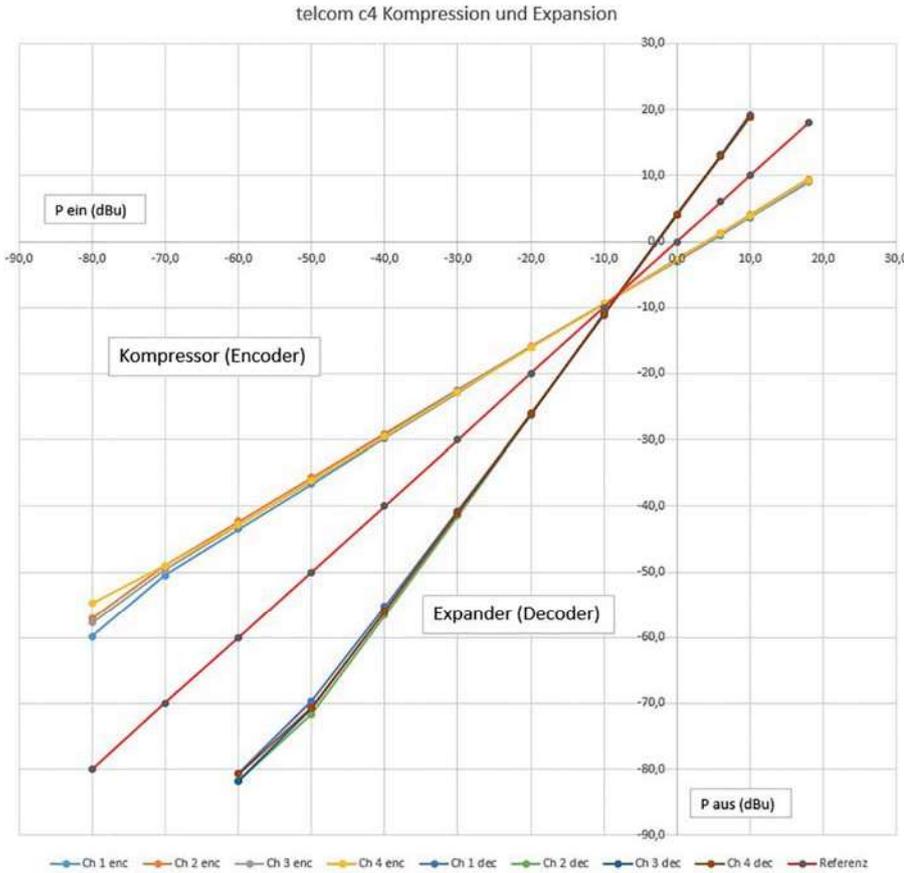


Bild 7: Messung der Kompandereinschübe »telcom c4«

dB weniger als der Studionormpegel für Vollaussteuerung beim ARD-Rundfunk (Vorwiderstände siehe Tabelle 1).

Wozu »telcom c4« im Jahre 2020?

Digitale Masterfiles werden bei Studio-produktionen häufig auf ein analoges Tonband kopiert und danach direkt wieder digitalisiert, um dem Signal eine gewisse »digitale Härte« zu nehmen und ihm mehr Druck zu verleihen. Werden diese ohne »telcom c4« über eine Bandmaschine geschickt, wäre bei leisen Stellen und höheren Lautstärken das Bandrauschen wahrnehmbar und die Dynamik auf ca. 60 dB reduziert. Schaltet man nun den

»telcom c4«-Kompressor und -Expander dazwischen, so bleibt dieses Rauschen unter der Wahrnehmungsgrenze und der Originalpegel bleibt weitgehend erhalten. Klangliche Einschränkungen sind nicht zu erwarten.

AAA Masterbandkopien

Die Originalbänder des Labels QUINTON für die Masterbandkopien der Analogue Audio Association (AAA) liegen im »telcom c4«-Format vor und werden erst beim manuellen Überspielvorgang auf das vom Kunden gewünschte Band dekodiert. Im Vergleich zu vielen Masterbandkopien, die auf dem Weltmarkt kur-

sieren, sind die Kopien der AAA-Bänder sehr rauscharm und erfüllen damit einen besonders hohen Anspruch bei der Tonbandwiedergabe.

Zusammenfassung: Die Vorteile von »telcom c4«:

- Bei der Anwendung von »telcom c4« sind keine Qualitätseinschränkungen zu erwarten
- Beim Kodieren wird dieselbe Schaltung verwendet wie beim Dekodieren
- Durch die linearen Kennlinien entfällt bei »telcom c4« das Einpegeln des Kompanders
- Vor- und Nachechos werden signifikant reduziert

Gastartikel zum Thema HIGH COM

Bei meiner Recherche im Internet stieß ich auf einen interessanten Bericht von Dr.-Ing. Ernst F. Schröder zum Thema HIGH COM, dem Pendant zu »telcom c4« für den Konsumentenbereich. Es kam in den 1970er Jahren in höherwertigen Kassettensetrekordern zum Einsatz und erzielte mit ca. 20 dB eine erheblich bessere Rauschunterdrückung als das damals verbreitete Dolby-B-Verfahren mit max. 9 dB. Von TELEFUNKEN wurde es auch als externe Lösung zum Einschleifen zwischen Kassettendeck und Verstärker angeboten. Da HIGH COM und »telcom c4« in derselben Zeit entwickelt wurden, fragte ich Herrn Schröder, ob er einen Beitrag beisteuern würde.

Zur Person: Dr.-Ing. Ernst F. Schröder hat Nachrichtentechnik an der TU Hannover studiert und war von 1970 bis 1983 Mitarbeiter in der Grundlagenentwicklung von TELEFUNKEN in Hannover. Seine Promotion folgte 1989 mit einer Dissertation über die Grundlagen der Kompanderteknik. Der Bericht über HIGH COM ist unter diesem Link zu lesen: https://www.ernstschroeder.de/highcom_d.htm

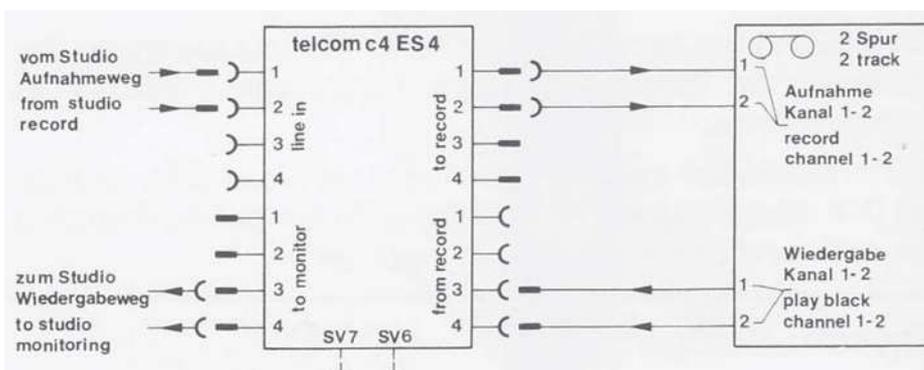


Bild 8*: Anschluss »telcom c4 ES 4« an Bandmaschine mit Hinterbandkontrolle

Text, Fotos, Grafiken, Scan*: Claus Müller