

Einkanal-Nf-Verstärker mit der ECL 86

Überblick

Die ECL 86 ist aufgrund ihrer günstigen Daten sowohl für Einkanal-Wiedergabe wie auch für Stereogeräte von Vorteil.

Im Vergleich zu der ECL 82 hat die ECL 86 eine größere verfügbare Sprechleistung und eine höhere Empfindlichkeit.

Im folgenden werden zunächst Gesichtspunkte behandelt, die beim Entwurf von Nf-Verstärkerschaltungen zu beachten sind. Daran schließt sich die Beschreibung der Schaltung eines mit der ECL 86 bestückten Einkanal-Nf-Verstärkers an.

Frequenzgang und Gegenkopplung als wichtige Gesichtspunkte

Für **Musikwiedergabe** sollte die Verstärkung im Bereich der tiefen Frequenzen und etwas auch im Bereich der hohen Frequenzen angehoben sein. Dabei erweist es sich als günstig, die Anhebung im Bereich der tiefen Frequenzen bei Herabsetzen der Lautstärke proportional zu erhöhen (sogenannte „gehöririchtige Lautstärkeregelung“).

Für **Sprachwiedergabe** hingegen ist ein Absenken der Lautstärke im Bereich der tiefen Frequenzen erwünscht.

Bei größerem Aufwand kann man die Verzerrungen durch eine frequenzunabhängige Gegenkopplung allgemein herabsetzen und den gewünschten Frequenzgang durch ein geeignetes Netzwerk zwischen zwei Vorverstärker-Stufen einstellen. Bei kleinerem Aufwand macht man die Gegenkopplung frequenzabhängig und verbindet so das Herabsetzen der Verzerrungen mit dem Beeinflussen des Frequenzganges. Hierbei ist allerdings, bedingt durch den gewünschten Frequenzverlauf, nur im mittleren Frequenzbereich stark, in den Bereichen der hohen und tiefen Frequenzen dagegen nur recht schwach gegengekoppelt.

Häufig wird, wie in der nachstehend beschriebenen Schaltung, die Gegenkopplungsspannung an einen kleinen Widerstand am Fußpunkt des Lautstärkereglers abgegriffen. Dabei hängt der Gegenkopplungsgrad von der Stellung des Schleifers am Lautstärkereglern ab.

Die hohe mit der ECL 86 erreichbare Verstärkung gestattet, wie das hier ausgenutzt wird, eine zusätzliche frequenzunabhängige Gegenkopplung, die man immer dann einschalten kann, wenn die Eingangsspannung, wie z. B. beim Empfang des Orts senders, zur vollen Aussteuerung hiermit noch ausreicht. Damit erreicht man eine Klangqualität, die im Vergleich zu dem Aufwand beachtlich gut ist.

Die Schaltung (Bild 1)

Die Nf-Spannung gelangt an den Lautstärke-Einstellwiderstand R_3 über ein einstellbares RC-Glied. Dieses (Schicht-Drehwiderstand $R_1 = 16 \text{ M}\Omega$ parallel zu $C_1 = 200 \text{ pF}$) dient bei Sprachübertragung zum Absenken im Bereich der tiefen Frequenzen. Der positiv logarithmische (steigend exponentielle) Schicht-Drehwiderstand $R_3 = 1,6 \text{ M}\Omega$ zum Einstellen der Lautstärke hat, wie üblich, bei etwa 350 kV vom unteren Ende eine Anzapfung. Die zwischen der Anzapfung und Masse liegende Reihenschaltung aus C_2 und R_2 ergibt bei Einstellung auf geringe Lautstärke ein leichtes Anheben im Bereich der tiefen Frequenzen.

Die Gittervorspannung des Triodensystems entsteht durch den Gitteranlaufstrom am Widerstand R_5 (siehe auch Seite 175). Die Kathode liegt über zwei kleine Widerstände R_6 und R_7 an Masse. Diese Widerstände dienen zum Einspeisen einer Gegenkopplungsspannung. Sie tragen jedoch mit ihren niedrigen Werten im Zusammenhang mit dem geringen Anoden-Gleichstrom des Triodensystems kaum zur Gittervorspannung bei.

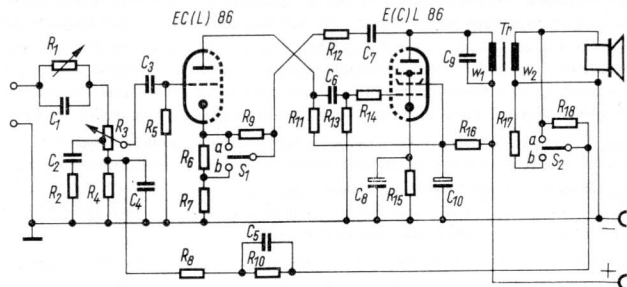


Bild 1

Die Gittervorspannung des Pentodensystems wird in üblicher Weise an einem mit C_8 überbrückten Kathodenwiderstand R_{13} gewonnen.

Mit der Übersetzung des Ausgangstransformators erhält man den für die ECL 86 erforderlichen Arbeitswiderstand von 7 k Ω mit der Belastung durch einen 4 Ω -Lautsprecher. Parallel zum Eingang des Ausgangstransformators liegt ein 300 pF-Kondensator C_9 zum Erhöhen der Sicherheit gegen Auftreten von Schwingungen.

Als Anoden- und Schirmgitterspannung des Pentodensystems ergeben sich hier mit einer Speisespannung von 275 V Gleichspannungen von jeweils 250 V. Die Anodenspannung der Vorröhre wird von der gesiebten Schirmgitterspannung der Endröhre abgenommen.

Die Gegenkopplungen

Die **eine** Gegenkopplungsspannung wird von der Anode des Pentodensystems abgenommen und liegt über C_7 und R_{12} an der Kathode der Vorröhre. Der Kondensator C_7 dient nicht zum Beeinflussen des Frequenzganges, sondern nur zum Abtrennen der Anodengleichspannung. Diese Gegenkopplung ist praktisch frequenzunabhängig. Der Wert von C_7 wurde nämlich so gewählt, daß der kapazitive Widerstand $1/(\omega \cdot C_7)$ bis herunter auf etwa 50 Hz sehr viel kleiner bleibt als der Wert von R_{12} .

Die **andere** Gegenkopplung ist frequenzabhängig. Sie führt von der Sekundärseite des Ausgangstransformators zu einem Widerstand im Fußpunkt des Widerstandes R_3 , an dem die Lautstärke eingestellt wird. Zwei RC-Glieder sorgen hier für den gewünschten Frequenzgang, nämlich für ein Anheben in den Bereichen der tiefen und hohen Frequenzen gegenüber dem Bereich der mittleren Frequenzen.

Wenn die frequenzunabhängige Gegenkopplung geändert wird, hätte das im Prinzip einen Einfluß auf die frequenzabhängige Gegenkopplung und damit auf den Frequenzgang des Verstärkers: Bei erhöhter frequenzunabhängiger Gegenkopplung wird die Aus-

gangsspannung geringer. Damit verliert die frequenzabhängige Gegenkopplung an Wirksamkeit. Die Anhebungen in den Bereichen der hohen und tiefen Frequenzen werden eingeebnet. Das ist unerwünscht. Folglich muß man die frequenzabhängige Gegenkopplung im gleichen Sinn wie die frequenzunabhängige Gegenkopplung ändern.

Zu diesem Zweck sind die beiden Schalter S_1 und S_2 , mit denen zwei Gegenkopplungsstufen eingestellt werden können, mechanisch gekoppelt. In der Schalterstellung a sind beide Gegenkopplungen voll wirksam: Der zur frequenzunabhängigen Gegenkopplung gehörende Zweig, der über C_7 und R_{12} führt, liegt unmittelbar an der Kathode des Triodensystems. Folglich tritt die Gegenkopplungsspannung an der Reihenschaltung von R_6 und R_7 auf. An dem Gegenkopplungszweig für die frequenzabhängige Gegenkopplung wirkt sich in dieser Schalterstellung a die volle Ausgangsspannung des Verstärkers aus.

In der Schalterstellung b ist die frequenzunabhängige Gegenkopplung dadurch geschwächt, daß nur noch die an R_7 auftretende Gegenkopplungsspannung zur Geltung kommt. Für die frequenzabhängige Gegenkopplung bilden in dieser Schalterstellung b die Widerstände R_{17} und R_{18} einen Spannungsteiler, von dem nur die auf den Widerstand R_{17} entfallende Teilspannung gegenkoppelt wird.

Durch die Kombination der beiden Gegenkopplungen, wobei für die eine Gegenkopplung eine Spannung an der Primärseite, für die andere eine Spannung an der Sekundärseite des Ausgangstransformators abgenommen wird, erreicht man eine teilweise Kompensation der durch die Streuinduktivität bedingten Phasenfehler und damit eine erhöhte Sicherheit gegen Selbsterregung.

Die Widerstandskombination R_6, R_9 muß so bemessen werden, daß über den Schalter S_1 ein nur sehr kleiner Anteil des Kathodengleichstromes gehen kann. Würde über diesen zur frequenzunabhängigen Gegenkopplung gehörenden Schalter ein größerer Anteil des Kathodengleichstromes fließen, so ergäbe sich beim Umschalten ein Knackgeräusch.

In der Stellung b des Schalters S_1 liegt die Gegenkopplungsspannung zwischen dem Verbindungspunkt der Widerstände R_6 und R_7 und Masse. In der Schalterstellung a ist R_9 kurzgeschlossen, womit die Gegenkopplungsspannung unmittelbar zwischen der Kathode des Triodensystems und Masse auftritt. In der Schalterstellung b ist R_9 dem Widerstand R_6 parallel geschaltet. Der Wert des Widerstandes R_9 muß zum Vermeiden des Knackgeräusches groß gegen den des Widerstandes R_6 sein. Gewählt wurde daher $R_9 = 4,7 \text{ k}\Omega$ bei $R_6 = 200 \Omega$.

Ausschalter statt Umschalter

Anstelle von Umschaltern kann man für S_1 und S_2 auch Ausschalter einsetzen. Dabei gilt für Stellung a (volle Gegenkopplung) „aus“ und für Stellung b (Teilgegenkopplung) „ein“. An der frequenzunabhängigen Gegenkopplung ändert sich damit nur wenig, da $R_9 \ll R_{12}$. Die frequenzabhängige Gegenkopplung wird für Schalterstellung a („aus“) etwas geschwächt (R_8 ist nämlich nur etwa viermal so groß wie R_{18}), für Schalterstellung b ist der Ausschalter dem Umschalter gleichwertig.

Meßwerte

Für mittlere Lautstärke-Einstellung besteht in der Schalterstellung b (Teil-Gegenkopplung) eine etwa 2fache frequenzabhängige sowie eine etwa 3fache Gesamt-Gegenkopplung und

in der Schalterstellung a (volle Gegenkopplung) eine etwa 5fache frequenzabhängige sowie eine etwa 7fache Gesamt-Gegenkopplung.

Den Frequenzgang-Kennlinien und den Klirrgrad-Kennlinien liegt die Belastung durch die 4Ω -Triebspule des Lautsprechers selbst zugrunde. Als Eingangsspannungen sind jeweils die Urspannungen (u_0) angegeben. Der hierzu gehörende Quellwiderstand R_q wurde für die Messung bei voller Gegenkopplung mit $330 \text{ k}\Omega$ und für die Messung bei Teilgegenkopplung mit $100 \text{ k}\Omega$ gewählt.

Die Frequenzgänge (Bilder 2 und 3) beziehen sich auf eine Lautsprecher-Klemmenspannung, mit einem Effektivwert von $0,5 \text{ V}$ bei 1 kHz .

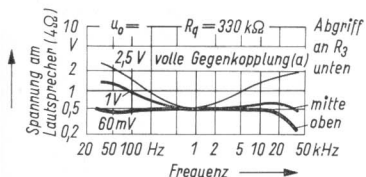


Bild 2

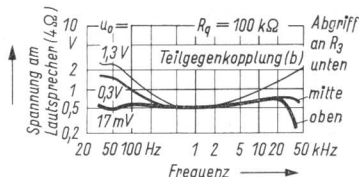


Bild 3

Die Bilder 4 und 5 veranschaulichen, wie der Gesamtklirrgrad bei verschiedenen Stellungen des Abgriffs an R_3 und bei den Frequenzen 90 Hz sowie 1 kHz von der Ausgangsleistung abhängt.

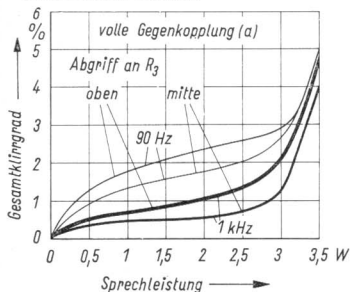


Bild 4

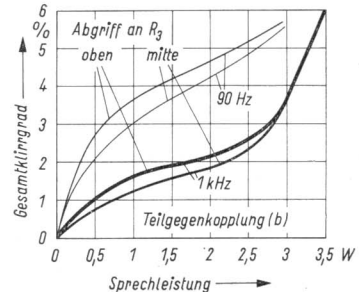


Bild 5

Im übrigen gilt: Bei Abgriff oben an R_3 (volle Lautstärke) werden bei $3,5 \text{ W}$ Leistungsabgabe von der Sekundärseite des Ausgangstransformators mit voller Gegenkopplung bei 1 kHz etwa 430 mV Ursprungspannung ($R_q = 330 \text{ k}\Omega$) benötigt, wobei der Klirrgrad etwa $4,6 \%$ beträgt, während mit Teilgegenkopplung bei 1 kHz etwa 135 mV Ursprungspannung ($R_q = 100 \text{ k}\Omega$) erforderlich sind und ein Klirrgrad von 6% auftritt. Die Ursprungsspannungen sind als Effektivwerte angegeben.

Schaltheilliste zu Bild 1

Widerstände

R_1	Schicht-Drehwiderstand, positiv logarithmisch	16 M Ω	
R_2	Schichtwiderstand	51 k Ω	0,1 W
R_3	Schicht-Drehwiderstand, positiv logarithmisch mit Anzapfung bei 350 k Ω	1,6 M Ω	
R_4	Schichtwiderstand	1,2 k Ω	0,1 W
R_5	Schichtwiderstand	10 M Ω	0,1 W
R_6	Schichtwiderstand	200 Ω	0,25 W
R_7	Schichtwiderstand	100 Ω	0,25 W
R_8	Schichtwiderstand	4,7 k Ω	0,1 W
R_9	Schichtwiderstand	4,7 k Ω	0,1 W
R_{10}	Schichtwiderstand	5,1 k Ω	0,1 W
R_{11}	Schichtwiderstand	220 k Ω	0,5 W
R_{12}	Schichtwiderstand	250 k Ω	0,25 W
R_{13}	Schichtwiderstand	1 M Ω	0,1 W
R_{14}	Schichtwiderstand	1 k Ω	0,1 W
R_{15}	Schichtwiderstand	170 Ω	0,5 W
R_{16}	Schichtwiderstand	2,5 k Ω	0,5 W
R_{17}	Schichtwiderstand	200 Ω	0,1 W
R_{18}	Schichtwiderstand	1,1 k Ω	0,1 W

Kondensatoren

C_1	Styroflexkondensator	200 pF	125 V =
C_2	Styroflexkondensator	10 nF	125 V =
C_3	Styroflexkondensator	20 nF	125 V =
C_4	Papierkondensator	0,1 μ F	125 V =
C_5	Styroflexkondensator	60 nF	125 V =
C_6	Styroflexkondensator	20 nF	250 V =
C_7	Papierkondensator	0,1 μ F	500 V =
C_8	Elektrolytkondensator	100 μ F	12/15 V =
C_9	Styroflexkondensator	300 pF	250 V =
C_{10}	Elektrolytkondensator	50 μ F	350 V =

Transformator

T_r	Kern EI 84 a Luftspalt 0,16 mm, Dynamoblech IV		
	w_1	3×1360 Windungen 0,2 CuL in Serie	} für 4 Ω -Lautsprecher
	w_2	2×98 Windungen 0,65 CuL parallel	
	Wicklungen w_1 und w_2 verschachtelt.		

Schalter

S_1, S_2	je ein einpoliger Um- oder Ausschalter, beide gekuppelt.
------------	--

Röhre	ECL 86
-------	--------