

AMPLIFICATORI STEREOFONICI EQUIPAGGIATI CON IL TRIODO-PENTODO ECL 86

Nel presente articolo descriveremo l'impiego del triodo-pentodo ECL 86 in tre interessanti amplificatori stereofonici.

I primi due amplificatori sono di alta qualità ed hanno una potenza d'uscita di 10 W; il terzo è un amplificatore economico con una potenza d'uscita di 3 W.

INTRODUZIONE

Il triodo-pentodo ECL 86 è stato progettato appositamente per essere impiegato in circuiti di bassa frequenza, ed è particolarmente adatto per amplificatori stereofonici.

Qui di seguito descriveremo dettagliatamente il progetto e la realizzazione pratica di tre amplificatori di questo tipo; due sono per riproduzioni di alta fedeltà e possono fornire una potenza d'uscita di 10 W per canale; l'altro, di tipo economico, è equipaggiato con tre valvole, e può dare una potenza d'uscita di 3 W per canale.

Questi amplificatori sono stati realizzati con le seguenti valvole:

1) Nell'amplificatore stereofonico a sette valvole (potenza d'uscita di 10 W + 10 W) sono state usate, per ogni canale, due ECL 86, una EF 86 e come raddrizzatrice una GZ 34.

2) Nell'amplificatore stereofonico a sei valvole (potenza d'uscita di 10 W + 10 W) sono state impiegate, per ciascun canale, due ECL 86, una sezione del doppio triodo ECC 83; anche in questo caso è stata usata la raddrizzatrice GZ 34.

3) Nell'amplificatore stereofonico a tre valvole (potenza d'uscita di 3 W + 3 W) è stata impiegata, per ciascun canale, una ECL 86 e come raddrizzatrice si è usata la EZ 81.

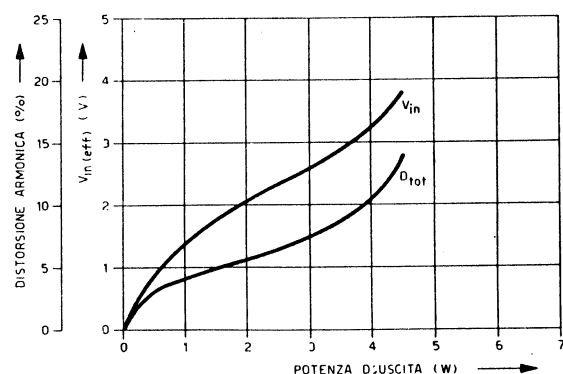


Fig. 1 - Curva indicante la variazione della distorsione armonica totale e la variazione della tensione d'ingresso in funzione della potenza di uscita; queste curve sono state ricavate con la sezione-pentodo della ECL 86 lavorante in classe A.

Tabella 1

	Amplificatore a sette valvole 10 W + 10 W	Amplificatore a sei valvole 10 W + 10 W	Amplificatore a tre valvole 3 W + 3 W
Valvole usate	2 x EF 86 4 x ECL 86 1 x GZ 34	1 x ECC 83 4 x ECL 86 1 x GZ 34	2 x ECL 86 1 x EZ 81
Potenza d'uscita (per canale)	10 W	10 W	3 W
Distorsione	0,2 %	0,3 %	1,8 %
Sensibilità (per la massima potenza di uscita)	250 mV	500 mV	400 mV
Risposta in frequenza (per la massima potenza di uscita)	12 Hz ÷ 50 kHz	15 Hz ÷ 70 kHz	30 Hz ÷ 35 kHz
Spostamento di fase minore di 20 gradi	10 Hz ÷ 20 kHz	10 Hz ÷ 15 kHz	60 Hz ÷ 15 kHz
Ronzio e fruscio (al di sotto della massima potenza d'uscita)	75 dB	61 dB	85 dB
	con circuito di bilanciamento		
Impedenza d'uscita (ai terminali di 15 Ω)	1,4 Ω	1,4 Ω	1,6 Ω

Le prestazioni degli amplificatori da 10 W sono molto soddisfacenti per cui questi amplificatori possono considerarsi appartenenti alla categoria degli amplificatori di « alta qualità ». Le prestazioni dell'amplificatore da 3 W sono più che sufficienti per gli impieghi normali considerando anche il fatto che il circuito utilizza una sola valvola per canale.

La sensibilità degli amplificatori, tenendo conto dei regolatori di tono, è tale da poter impiegare i normali fonorivelatori stereofonici a cristallo e ceramici.

Nel caso si volessero usare fonorivelatori stereofonici magnetici è necessario disporre di un preamplificatore. Nella tabella 1 è riportato un quadro riassuntivo delle prestazioni dei tre amplificatori.

IMPIEGO DELLA ECL 86 NEI CIRCUITI DI BASSA FREQUENZA

Il fattore di amplificazione della sezione triodo della ECL 86 è 100, e la pendenza della sezione pentodo, con una corrente anodica di 36 mA, è 10 mA/V.

Questi valori di guadagno e di pendenza piuttosto elevati possono essere usati vantaggiosamente in molti progetti; in ogni caso, però, per sfruttare completamente le possibilità di questa valvola si deve porre la massima attenzione nello stabilire le condizioni di funzionamento, e prendere, in alcuni casi, alcune particolari precauzioni.

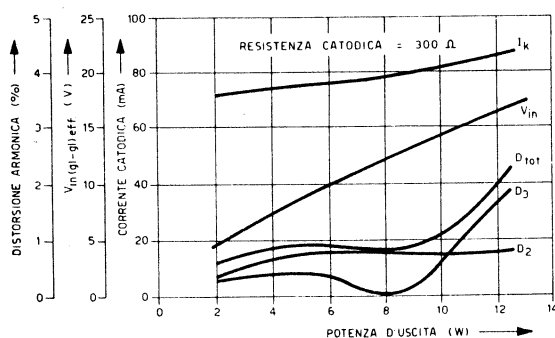


Fig. 2 - Curve di distorsione armonica totale, di seconda e di terza armonica; curve della tensione d'ingresso e della corrente catodica in funzione della potenza d'uscita; tutte queste curve si riferiscono alle sezioni-pentodo delle due ECL 86 funzionanti con una resistenza di polarizzazione di 300 Ω.

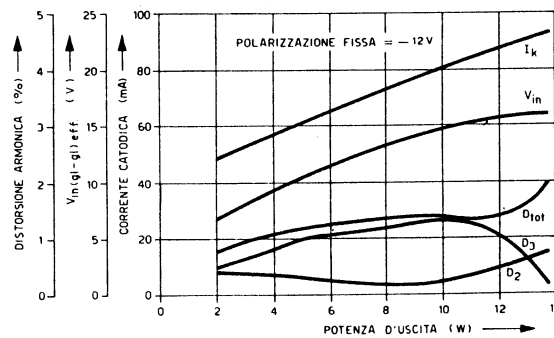


Fig. 3 - Curve indicanti l'andamento della distorsione armonica, della tensione d'ingresso e della corrente catodica in funzione della potenza d'uscita delle sezioni-pentodo delle due ECL 86 funzionanti con una tensione di polarizzazione fissa di -12 V.

SEZIONE PENTODO

La massima dissipazione anodica della sezione pentodo della ECL 86 è 9 W, e la massima tensione anodocodato è 300 V. Con le sezioni-pentodo delle due ECL 86 montate in controfase, (classe AB), e con segnale sinusoidale applicato all'ingresso si può ottenere una potenza d'uscita di 12 W circa. La dissipazione anodica, in queste condizioni, è di 9 W.

Funzionamento in classe A

I dati di funzionamento del triodo-pentodo ECL 86 in uno stadio amplificatore classe A sono i seguenti:

$$R_k = 170 \Omega;$$

$$V_{a-k} = 250 \text{ V};$$

$$V_{g2-k} = 250 \text{ V};$$

$$R_a = 7 \text{ k}\Omega.$$

La massima potenza di uscita, limitata dal valore di dissipazione della valvola, si ottiene con una resistenza catodica di 170 Ω . Usando una resistenza catodica di 180 Ω , la potenza d'uscita risulterà leggermente ridotta. Le curve della fig. 1 rappresentano la tipica variazione della distorsione e della tensione d'ingresso in funzione della potenza di uscita quando la valvola lavora in classe A.

Funzionamento in classe AB con carico distribuito

Le condizioni di funzionamento per due ECL 86 in uno stadio finale in controfase, classe AB, con carico distribuito, sono le seguenti:

Presenza per la griglia schermo sul primario del trasformatore = 20%;

$$V_{a-k} = 300 \text{ V};$$

$$V_{g2-k} = 300 \text{ V};$$

$$R_k \text{ (per valvola)} = 300 \Omega;$$

$$R_{a-a} = 9 \text{ k}\Omega.$$

Nella fig. 2 sono riportate: *a*) le curve di distorsione di seconda e di terza armonica; *b*) la curva della distorsione armonica totale; *c*) la curva della tensione d'ingresso; *d*) la curva della corrente catodica. L'andamento di tutte queste curve è funzione della potenza d'uscita delle sezioni-pentodo delle due ECL 86 funzionanti con una resistenza di polarizzazione catodica di 300 Ω .

In ogni caso, però, il valore della potenza di uscita ai capi del carico è, in pratica, leggermente inferiore e dipende dal rendimento del trasformatore di uscita.

Le curve di distorsione riportate in fig. 2 sono le tipiche curve di una coppia di valvole ECL 86; la distorsione di seconda armonica può essere migliore o peggiore, a seconda della maggiore o minore uguaglianza delle caratteristiche delle due valvole.

Il valore di distorsione di 0,71%, per la seconda armonica, e quello di 0,68% per la terza armonica, alla potenza di uscita di 10 W, è indubbiamente molto basso per uno stadio di uscita. È difficile progettare gli stadi che precedono quello finale con un valore di di-

storsione inferiore a quelli da noi indicati; di solito, infatti, la distorsione complessiva dell'amplificatore è superiore a quella prodotta dallo stadio finale. Comunque, la distorsione complessiva di un amplificatore ben progettato, non dovrebbe superare considerevolmente quella dello stadio finale.

Siccome lo stadio di uscita è in controfase, succederà che quando la corrente circolante in un pentodo è in fase con le correnti circolanti negli stadi precedenti, quella dell'altro pentodo sarà in opposizione di fase rispetto alle medesime. Di conseguenza, qualsiasi accoppiamento tra le correnti dello stadio finale e quelle dello stadio d'ingresso produrrà effetti di reazione positiva per i segnali di una data polarità, e di reazione negativa per quelli di polarità opposta. Ciò potrebbe dar luogo ad una eccessiva distorsione alle armoniche pari; in ogni modo, usando qualche accorgimento nei collegamenti di massa dei singoli stadi e nei collegamenti dei condensatori di disaccoppiamento, questa particolare forma di distorsione può essere eliminata. Più avanti daremo delle regole pratiche per ben effettuare i collegamenti a massa.

Nelle condizioni di funzionamento sopra indicate, la tensione di polarizzazione, in assenza di segnale, è di -10,5 V.

La tensione di polarizzazione diventa -13 V, per una potenza d'uscita di 12 W, con segnali sinusoidali, mentre, per la musica o la parola, la potenza media d'uscita è inferiore a 12 W, e il valore della polarizzazione non varia considerevolmente. Se con segnali riproducenti musica o parola, la polarizzazione è mantenuta a circa -12 o -13 V, si possono ottenere valori di picco di potenza d'uscita corrispondenti alla potenza d'uscita di 12 W dei segnali sinusoidali.

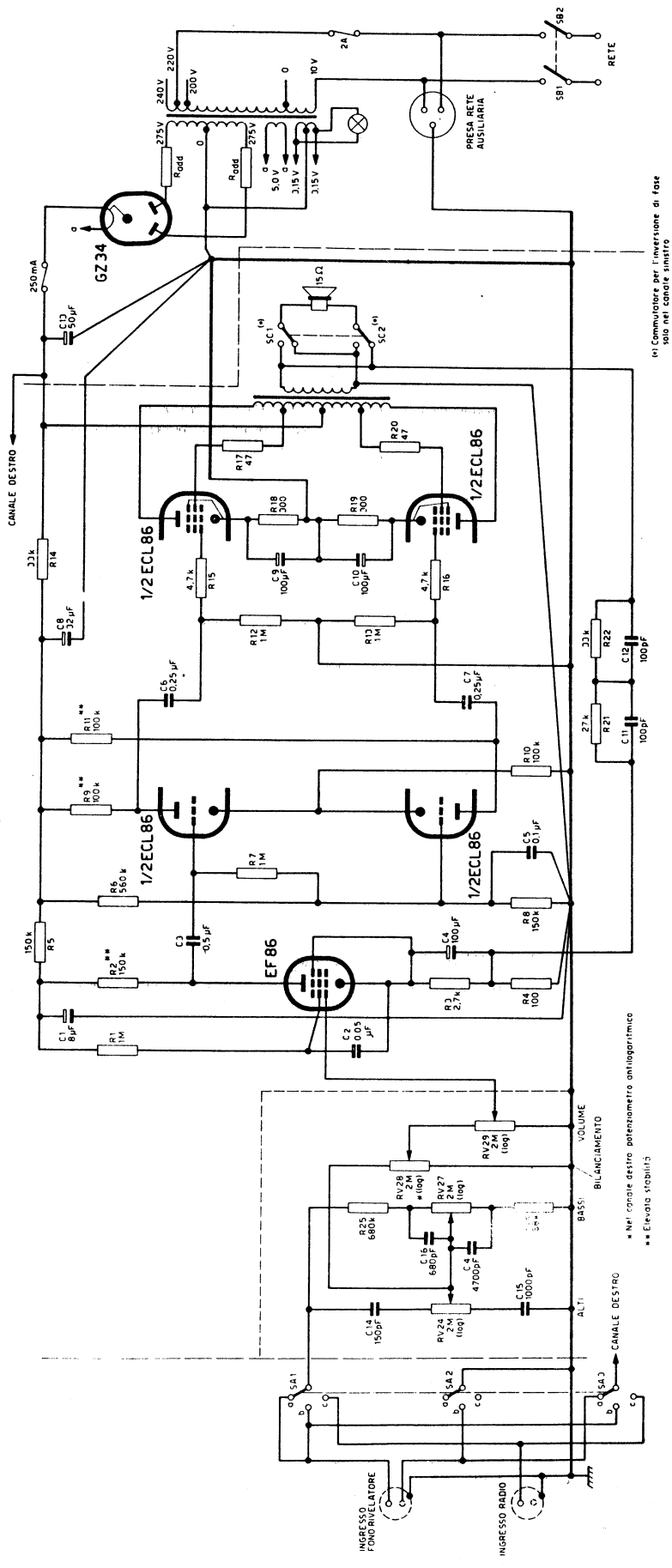
Per avere questa condizione di funzionamento basta portare le resistenze catodiche al valore di 470 Ω . Con questo valore di resistenza catodica, la tensione di polarizzazione, in assenza di segnale, è di -11,6 V e diventa -13 V per un massimo segnale di ingresso riprodotto musica.

La corrente anodica, in assenza di segnale, è di 25 mA per valvola con resistenza catodica del valore di 470 Ω , mentre con una resistenza catodica di 300 Ω , la corrente anodica è di 35 mA, e ciò, in un amplificatore stereofonico, significa una riduzione di 40 mA.

In fig. 3 sono riportate: *a*) le curve di distorsione di seconda e di terza armonica; *b*) la curva di distorsione armonica totale; *c*) la curva della tensione d'ingresso; *d*) quella della corrente catodica. Tutte queste curve sono date in funzione della potenza d'uscita e valgono per le sezioni-pentodo delle due ECL 86, funzionanti con una tensione di polarizzazione fissa di -12 V. Anche in questo caso, i valori della distorsione sono bassi, e, di conseguenza, nel progetto dell'amplificatore si devono adottare quelle precauzioni cui abbiamo accennato sopra.

SEZIONE TRIODO

Il fattore di amplificazione della sezione-triodo della ECL 86 è 100. In pratica si può ottenere un guadagno in tensione di circa 65.



Commutatore per l'inversione di fase solo nel canale sinistro

Fig. 4 - Schema elettrico dell'amplificatore a sette valvole (10 W + 10 W).

Il ronzio e il rumore di fondo generati nella sezione-triodo sono bassi. In quegli amplificatori dove la sezione-triodo è usata per pilotare la sezione-pentodo, sia la tensione di ronzio dovuta ad una inesatta disposizione dei collegamenti che la tensione alternata residua sulla tensione di alimentazione, come pure il rumore di fondo generato dalle resistenze del circuito d'ingresso, possono avere un valore più elevato del ronzio e del rumore di fondo prodotto dalla valvola stessa.

Accoppiamento tra la sezione-triodo e la sezione-pentodo

In un amplificatore che sfrutta l'intero guadagno che può dare la sezione-triodo della ECL 36, il guadagno in tensione dalla griglia della sezione-triodo all'anodo della sezione-pentodo ammonta a circa 4000; la relazione di fase tra i segnali presenti su questi elettrodi è tale da dar luogo ad una reazione positiva. A causa di questo guadagno così elevato, anche il minimo accoppiamento (capacitivo o resistivo) fra le due sezioni elettrodiche può dar luogo al fenomeno di instabilità.

Per ridurre al minimo questo tipo di accoppiamento, i due sistemi elettrodici della valvola sono accuratamente schermati: la capacità di reazione tra l'anodo del pentodo e la griglia del triodo è minore di 6 mpF. Per ridurre al minimo la reazione positiva, come regola generale, si devono prendere le seguenti precauzioni:

1) I supporti delle valvole devono avere perdite molto basse.

2) La disposizione del cablaggio deve essere oggetto della massima cura. Il circuito anodico del pentodo e quello di griglia del triodo devono essere tenuti lontani tra loro il più possibile. Allo scopo è opportuno saldare al rivetto centrale del supporto una striscia di lamiera che funzioni da schermo tra il circuito anodico del pentodo e quello di griglia del triodo; a questo schermo metallico possono inoltre essere ancorati altri componenti con notevole semplificazione del cablaggio.

3) Le eventuali risonanze del trasformatore di uscita e l'aumento dell'impedenza dell'altoparlante non devono causare un apprezzabile aumento del guadagno complessivo della valvola. Di solito, i trasformatori usati normalmente in amplificatori di qualità non presentano questi fenomeni di risonanza; in ogni modo, quando si verifica una simile risonanza, essa può essere smorzata collegando in parallelo al trasformatore di uscita o un semplice condensatore o un circuito RC. Oltre a ciò, il guadagno dell'amplificatore può essere ridotto in corrispondenza della frequenza di risonanza collegando un condensatore in parallelo al carico anodico del triodo.

La risonanza dell'altoparlante in corrispondenza delle frequenze basse di solito non dà inconvenienti dato che la reazione prodotta dalla capacità dispersa è trascurabile quando la frequenza è molto bassa.

AMPLIFICATORE STEREOFONICO A SETTE VALVOLE (10 W + 10 W)

Qui di seguito si descrive un amplificatore di qualità che impiega in ciascun canale una EF 86 e due ECL 86; la massima potenza d'uscita fornita da ogni canale è di 10 W. La distorsione è molto bassa (0,2% alla massima potenza di uscita).

Il pentodo EF 86, impiegato nel primo stadio di amplificazione, assicura un ottimo funzionamento sia per ciò che riguarda il ronzio che il fruscio. Il valore complessivo della controreazione è circa 20 dB alla frequenza di 1 kHz.

Sono state prese delle particolari precauzioni per fare in modo che entro tutto il campo delle frequenze audio (da 30 Hz a 20 kHz) sia assicurato un valore effettivo di controreazione di almeno 17 dB.

DESCRIZIONE DEL CIRCUITO

In fig. 4 è indicato lo schema elettrico dell'amplificatore. È stato riprodotto un solo canale; l'altro è identico, ad eccezione del commutatore per l'inversione di fase per l'altoparlante. Il circuito è convenzionale per cui noi tratteremo dettagliatamente soltanto le caratteristiche più salienti.

La caratteristica di fase dell'amplificatore è molto importante agli effetti dell'impiego della controreazione. Per ciò che riguarda la risposta in frequenza e il guadagno di ciascun stadio dell'amplificatore, la caratteristica di fase dipende dalla scelta del valore del guadagno da assegnare a ciascun stadio amplificatore. La corretta scelta del guadagno da assegnare ad ogni singolo stadio elimina la necessità di inserire complicate reti di controreazione e dà all'amplificatore un buon margine di stabilità. In fig. 5 sono indicate le curve caratteristiche di risposta di ciascun stadio.

Stadio d'ingresso

Lo stadio d'ingresso impiega il pentodo EF 86 ed ha un guadagno in tensione di circa 120. Questo stadio è accoppiato capacitivamente all'invertitore di fase.

Invertitore di fase

Lo stadio invertitore di fase impiega le sezioni triodiche delle due ECL 86. La polarizzazione fissa delle griglie è ottenuta mediante un partitore di tensione sulla tensione di alimentazione. Il guadagno in tensione tra l'ingresso dello stadio invertitore di fase e la griglia controllo di ciascuna sezione pentodica è circa 24.

Questo particolare circuito sfasatore è stato scelto a motivo della sua bassa distorsione (inferiore all'1%, solo sulla terza armonica e con 7 V di uscita); esso inoltre possiede un'eccellente caratteristica di ampiezza e di bilanciamento di fase. Comunque, lo sbilanciamento residuo, con i valori nominali della resistenza di fig. 4, è circa il 2%; questo, e la differenza di valore delle resistenze anodiche ad elevata stabilità (2%) contribuiscono ad aumentare la distorsione complessiva dell'amplificatore.

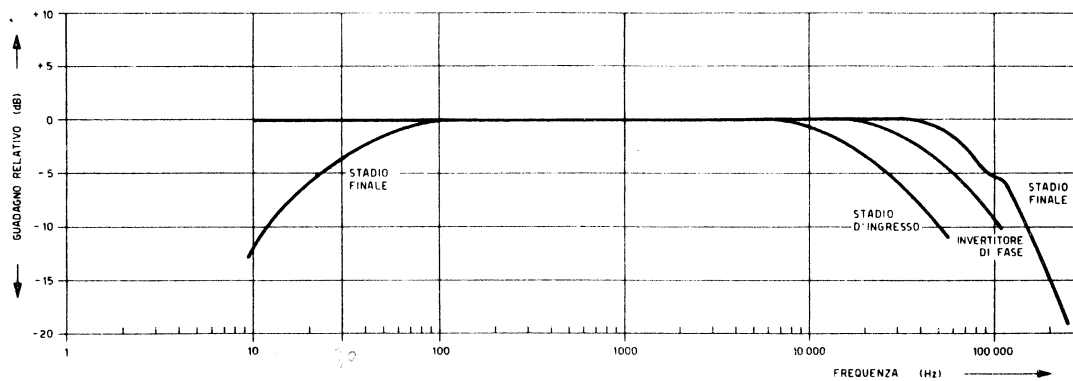


Fig. 5 - Risposta in frequenza dei singoli stadi dell'amplificatore a sette valvole.

Stadio finale

Lo stadio in controfase impiega le due sezioni pentodiche delle due ECL 86, funzionanti in classe AB con carico distribuito. Le condizioni di funzionamento sono già state discusse in precedenza.

Il trasformatore di uscita deve essere del tipo di quelli normalmente impiegati in amplificatori di qualità. In particolare, come abbiamo in precedenza osservato, deve essere esente da fenomeni di risonanza. Il rapporto spire deve essere tale che il carico da anodo ad anodo sia $9 \text{ k}\Omega$, compreso il valore di resistenza degli avvolgimenti. Il trasformatore da noi usato nell'amplificatore prototipo aveva le seguenti caratteristiche:

Induttanza complessiva del primario	90 H
Induttanza dispersa:	
a) di tutto il primario rispetto al secondario	21 mH
b) di metà primario rispetto al secondario	8,6 mH
c) dell'altra metà del primario rispetto al secondario	8,3 mH
Resistenza di ciascuna metà dell'avvolgimento primario	265Ω
Resistenza del secondario ai terminali di 15Ω	$0,9 \Omega$

Nella curva di risposta caratteristica dello stadio finale indicata in fig. 5 si può osservare che, alla frequenza di circa 110 kHz, si verifica una leggera risonanza del trasformatore di uscita. Questo effetto di risonanza non influisce che in minima parte sulla forma generale della curva di risposta alle frequenze elevate.

Controreazione

Un valore di circa 20 dB di controreazione viene inserito tra l'avvolgimento secondario del trasformatore di uscita e il circuito catodico dello stadio d'ingresso. In fig. 6 è indicato il diagramma di Nyquist riguardante l'amplificatore. Nelle figure 12 e 13 sono indicate le curve di risposta in frequenza e quelle riguardanti lo spostamento di fase per un'uscita di 50 mW e di 10 W rispettivamente con e senza controreazione.

Stabilità alle basse frequenze

La stabilità alle frequenze basse è assicurata da un appropriato valore delle costanti di tempo dei circuiti di accoppiamento e dei circuiti di griglia schermo e di catodo; questo valore risulta considerevolmente superiore a quello della costante di tempo del trasformatore di uscita.

La curva di risposta in frequenza dell'amplificatore con inserita la controreazione, presenta un'insellatura di circa 1 dB alla frequenza di 12 Hz. Tale insellatura tenderà ad aumentare nel caso in cui si diminuisca il valore dei condensatori di accoppiamento o di bypass oppure si aumenti il valore dell'induttanza del primario del trasformatore.

In generale, si avranno fenomeni di instabilità tutte le volte che uno dei predetti fattori subirà variazioni notevoli.

Stabilità alle frequenze elevate

La stabilità alle frequenze elevate è assicurata da una rete di avanzamento di fase inserita nel circuito di controreazione.

Osservando il diagramma di Nyquist di fig. 6 si può constatare come l'amplificatore abbia un buon margine di stabilità. La stabilità migliora notevolmente con altoparlanti con valori di impedenza normali. Ai capi del carico resistivo di 15Ω può inserirsi un condensatore da $0,5 \mu\text{F}$ senza pericolo di introdurre fenomeni di instabilità; con questi altoparlanti, il valore di capacità capace di produrre fenomeni di instabilità dovrebbe essere più basso a motivo della risonanza dell'altoparlante.

Se, però, si usasse un trasformatore di uscita avente una frequenza propria di risonanza inferiore a 110 kHz, la stabilità dell'amplificatore alle alte frequenze diverrebbe di nuovo precaria.

Regolazione di tono, di volume e di bilanciamento

In fig. 7 è indicato il circuito per la regolazione del tono, del volume e del bilanciamento. Nell'altro canale, questo circuito è identico ad eccezione del potenziometro per il controllo del bilanciamento che deve seguire la legge antilogaritmica. Per la regolazione del tono si sono impiegate reti passive semplici.

In fig. 8 sono indicate le curve caratteristiche per la regolazione del tono; da esse si rileva che, rispetto alla risposta alla frequenza di 1 kHz, si ha:

- a) per i toni bassi, una variazione da +12 a -12 dB alla frequenza di 30 Hz;
- b) per i toni alti, una variazione da +12,5 a -12 dB alla frequenza di 15 kHz.

Nei circuiti per la regolazione del tono, di solito, vengono usati potenziometri a regolazione logaritmica al 10% comandati da un unico asse. Per la regolazione del bilanciamento possono essere usati indifferentemente potenziometri, comandati da un unico perno, al 5% o al 2% con andamento logaritmico e logaritmico inverso.

Regolazione di tono a commutazione

Le curve caratteristiche della regolazione di tono dei due canali non sempre sono identiche; ciò dipende dal fatto che la regolazione simultanea dei potenziometri comandati da un unico perno non è identica ma può differire del 20%. Per ottenere curve di risposta identiche anziché usare regolazioni continue è necessario impiegare le regolazioni a scatti. In fig. 9 vengono indicati i valori delle resistenze da impiegare in questi tipi di regolatori di tono a scatti; i valori delle resistenze vengono scelti in modo da avere un uguale incremento (in dB) sia nell'esaltazione che nel taglio delle frequenze.

Alimentazione

L'amplificatore stereofonico a sette valvole è equipaggiato, come abbiamo visto con due EF 86, quattro ECL 86 e una valvola raddrizzatrice. La potenza dell'alimentatore, e quindi la scelta della valvola raddrizzatrice, dipende dal modo di funzionamento dello sta-

dio finale, se cioè questo lavora con massima dissipazione (segnale sinusoidale) oppure con dissipazione bassa (riproduzione di musica e parola). La tensione di alimentazione deve essere tale che, nelle sezioni pentodiche della ECL 86, si abbia una tensione di riposo anodo-catodo di 300 V ma non superiore a questo valore.

I circuiti anodici della raddrizzatrice devono avere una certa resistenza limitatrice $R_{lim(min)}$; se la resistenza degli avvolgimenti del trasformatore di rete, non raggiunge questo valore è necessario includere in ciascun circuito anodico della raddrizzatrice una resistenza aggiuntiva R_{ad} .

Il valore di questa resistenza aggiuntiva si ricava dalla nota equazione:

$$R_{lim(min)} = R_s + n^2 R_p + R_{ad}$$

dove R_s è la resistenza di metà avvolgimento secondario del trasformatore di rete, R_p è la resistenza dell'avvolgimento primario ed n è il rapporto tra metà spire dell'avvolgimento secondario e il numero completo di spire dell'avvolgimento primario.

Funzionamento in condizione di massima dissipazione

Il valore della resistenza catodica richiesto per la sezione pentodica di ciascuna ECL 86 è 300 Ω . L'assorbimento di corrente dell'amplificatore in assenza di segnale è 140 mA, mentre l'assorbimento in condizione di massimo pilotaggio è 160 mA.

Dai dati di pubblicazione della valvola EZ 81 risulta che un assorbimento di corrente di 160 mA alla tensione di 300 V è eccessivo se il filtro d'ingresso del raddrizzatore è di tipo capacitivo. La valvola EZ 81 non è quindi adatta come raddrizzatrice; al suo posto si deve impiegare la valvola GZ 34. In questo caso, il

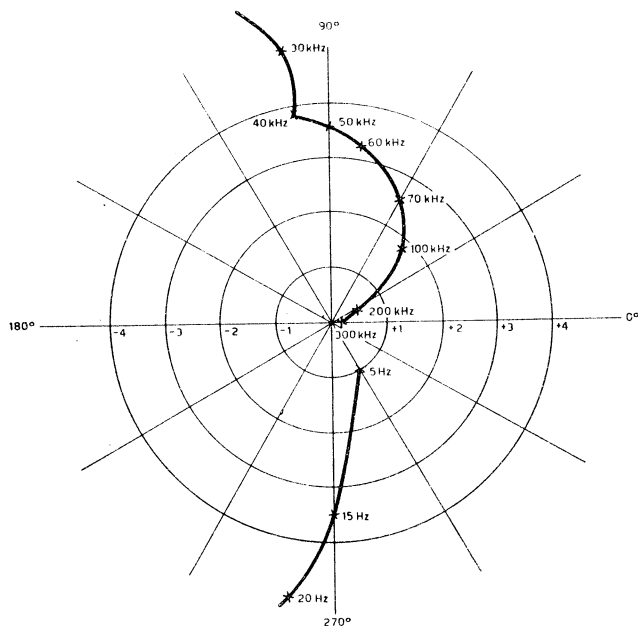


Fig. 6 - Diagramma di Nyquist riguardante l'amplificatore a sette valvole.

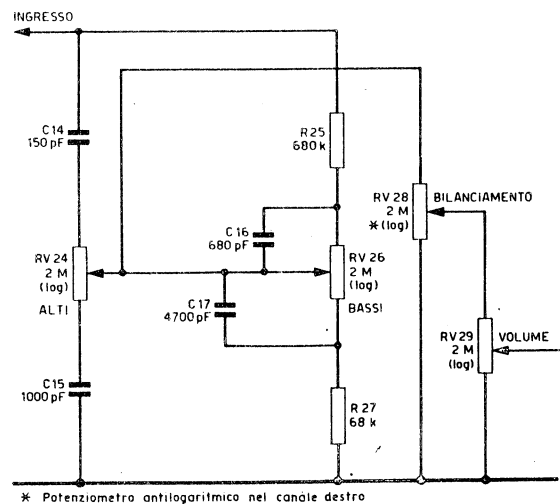


Fig. 7 - Circuito elettrico dei controlli di tono, di bilanciamento e di volume per gli amplificatori a sei e a sette valvole.

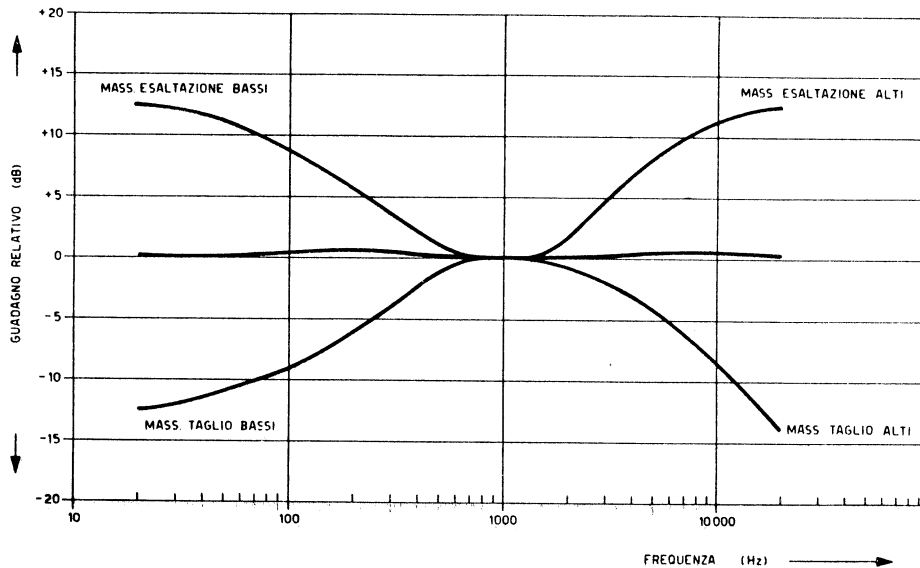


Fig. 8 - Curve caratteristiche della regolazione del tono per gli amplificatori a sei e a sette valvole.

valore di $R_{im(min)}$ è di 50Ω per anodo. Per ciò che riguarda i filamenti, le caratteristiche elettriche del secondario del trasformatore di rete devono essere le seguenti:

6,3 V con presa centrale, 3,2 A,

5 V, 2 A.

Se nell'amplificatore viene inclusa una lampada spia, il valore della corrente, alla tensione di 6,3 V, diventa 3,35 A.

Funzionamento con valore di dissipazione basso - solo per segnali riproducenti musica o parola

La resistenza catodica richiesta per ciascuna sezione pentodica della ECL 86 deve avere un valore di 470Ω . L'assorbimento di corrente in assenza di segnale è di 105 mA, mentre l'assorbimento di corrente in condizione di massimo pilotaggio (musica) è di 120 mA; di conseguenza, se non è prevista l'alimentazione di altre apparecchiature sussidiarie e se l'amplificatore riproduce musica o parlato, può essere tranquillamente usata la valvola EZ 81; per quest'ultima, il valore di $R_{im(min)}$ richiesto è 190Ω . In ogni caso, sia che si impieghi la valvola raddrizzatrice GZ 34, oppure la EZ 81 si richiede che la tensione di alimentazione sia regolata in modo che la tensione di riposo tra anodo e catodo delle sezioni pentodiche sia 300 V. Per un amplificatore che impieghi la valvola raddrizzatrice EZ 81, i dati caratteristici dell'avvolgimento per l'alimentazione dei filamenti devono essere i seguenti:

6,3 V, presa centrale, 3,2 A (+ 0,15 A di riserva).

6,3 V, 1 A.

Collegamenti di massa

Per avere un basso livello di ronzio e per ridurre al minimo la distorsione di seconda armonica, si deve porre la massima attenzione nel disporre i collegamenti di ritorno verso massa. Per esempio, in condizione di massima uscita di un segnale sinusoidale, la corrente di picco in ciascuna sezione pentodica ammonta a circa 120 mA; questo picco di corrente si ha, in ciascuna valvola, ad ogni ciclo del segnale di ingresso. Questi impulsi di corrente sono presenti nei ritorni comuni di massa della tensione di alimentazione e formano una corrente continua cui si sovrappone un'alternata residua con frequenza doppia di quella del segnale d'ingresso e con un'ampiezza picco-picco di 82 mA.

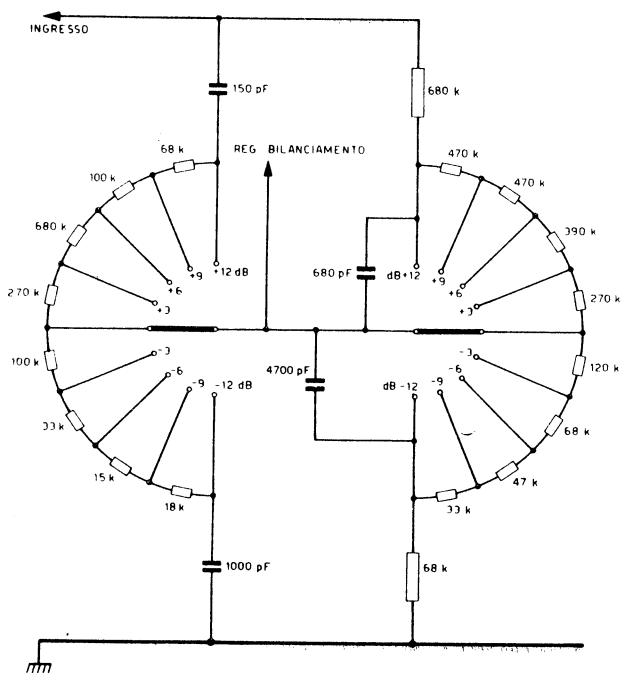


Fig. 9 - Circuito del controllo di tono attuato con regolatore a scatti.

Se nel circuito d'ingresso viene iniettata l'una o l'altra tensione prodotta dalle correnti circolanti rispettivamente nell'una o nell'altra sezione pentodica all'uscita dell'amplificatore si avrà un segnale con frequenza multipla del segnale applicato all'ingresso (in generale doppia) e ciò, in pratica, non è altro che una forma di distorsione. È noto, inoltre, che la tensione che si forma ai capi di una resistenza del valore di soli 0.01Ω inserita nel comune ritorno di massa, se riportata nel circuito di ingresso, produrrà una distorsione di seconda armonica del 10% (naturalmente in assenza di controreazione).

Un sistema molto semplice per eliminare l'accoppiamento resistivo tra i ritorni di massa del circuito di uscita e lo stadio d'ingresso consiste nel riunire i ritorni di massa dello stadio di uscita e collegarli al condensatore serbatoio dell'alimentatore. Nell'amplificatore sperimentale, si è ottenuto un risultato soddisfacente disponendo i collegamenti di massa nel modo seguente: i ritorni di massa di ogni singolo stadio vennero collegati in un unico punto, mentre i condensatori di disaccoppiamento della tensione di alimentazione vennero messi a massa in corrispondenza dello stadio disaccoppiato. Lo stadio d'ingresso venne collegato al telaio in corrispondenza del morsetto d'ingresso. I ritorni di massa dello stadio invertitore di fase e dello stadio di uscita vennero collegati alla massa del condensatore serbatoio il quale, a sua volta, venne collegato al telaio in corrispondenza del morsetto d'ingresso.

Anche i campi magnetici prodotti dalla corrente circolante nei fili di collegamento dello stadio finale pos-

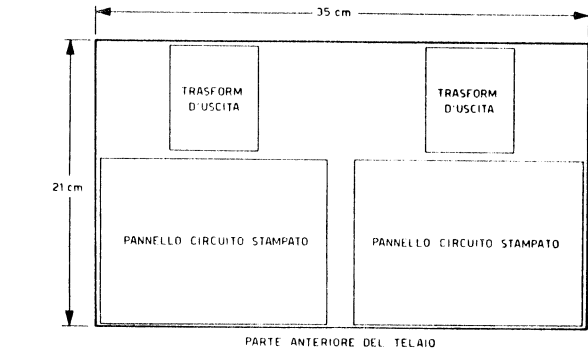


Fig. 11 - Disposizione tipica dei pannelli con circuito stampato e dei trasformatori di uscita.

sono indurre tensioni nel circuito d'ingresso e possono quindi provocare una distorsione di seconda armonica. Pertanto, la disposizione dei fili di collegamento, e la ubicazione dei condensatori catodici di by-pass deve essere tale da evitare accoppiamenti magnetici con il circuito d'ingresso.

Filatura del circuito stampato

Se il circuito viene realizzato su pannello stampato può darsi che tra i vari componenti e i sistemi elettrodici delle valvole si verifichi un accoppiamento capacitivo dato che, tanto le valvole che i componenti, si trovano dalla stessa parte del circuito stampato; ciò può essere causa di instabilità. Un siffatto nocivo accoppiamento può essere ridotto al minimo disponendo sul circuito

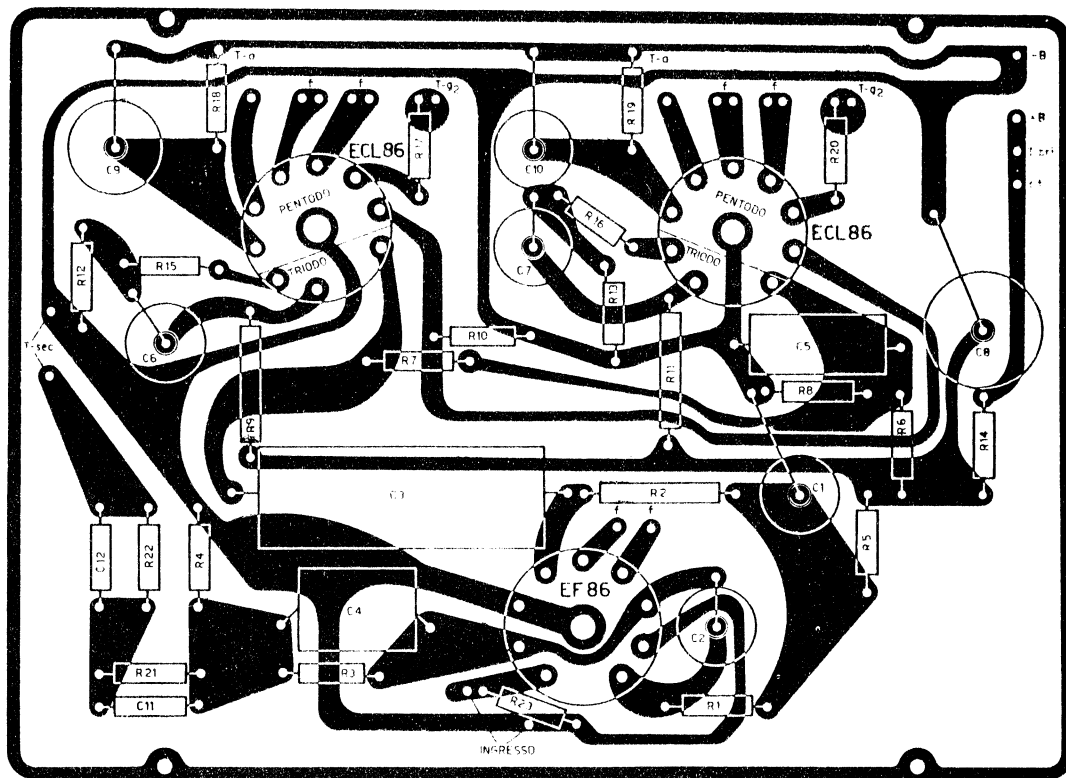


Fig. 10 - Pannello con circuito stampato dell'amplificatore a sette valvole.

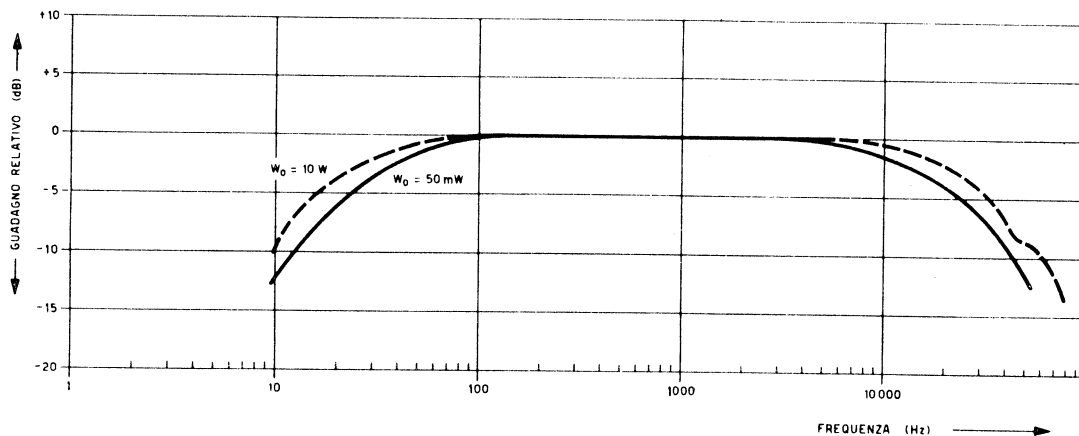


Fig. 12 - Curve di risposta in frequenza dell'amplificatore (potenza di uscita di 50 mW e di 10 W) senza controeazione.

stampato i vari componenti come indicato in fig. 10; da questa risulta che l'orientamento delle valvole è tale per cui lo schermo interno tra i sistemi elettrodi del triodo e del pentodo fa anche da schermo tra la struttura elettrodi del pentodo della ECL 86 e i componenti e i fili di collegamento associati con la sezione triodica della ECL 86.

I collegamenti a massa dei vari componenti e la loro disposizione sono stati scelti in modo da rendere più basso possibile l'accoppiamento resistivo e magnetico tra le varie parti del circuito. Le prestazioni che indicheremo qui di seguito si riferiscono appunto ad un amplificatore realizzato su pannelli stampati dove i componenti vennero disposti come indicato in fig. 10. In fig. 11 è indicata una disposizione tipica dei pannelli con circuito stampato e dei trasformatori di uscita. I pannelli con circuito stampato sono montati sul telaio mediante distanziatori. L'alimentatore deve essere tenuto separato allo scopo di ridurre al minimo il ronzio prodotto per via magnetica tra il trasformatore di rete e il circuito stampato.

PRESTAZIONI DELL'AMPLIFICATORE

Sensibilità

La sensibilità dell'amplificatore prototipo, per un'uscita di 10 W, è di 2,3 mV senza controeazione e di 23 mV con controeazione. La sensibilità dell'amplificatore completo, comprese le regolazioni di tono, è di 250 mV.

Risposta in frequenza, spostamento di fase e risposta agli impulsi

Nelle figure 12 e 13 sono indicate rispettivamente la risposta in frequenza dell'amplificatore per potenze di uscita di 50 mW e 10 W. Con un'uscita di 50 mW e con inserita la controeazione si ha una risposta lineare entro 3 dB da 4 Hz a 60 kHz. Alla potenza di uscita di 10 W, la risposta è lineare da 12 Hz a 50 kHz.

In fig. 13 è indicata anche la curva caratteristica dello spostamento di fase dell'amplificatore. Tra 10 Hz e 20 kHz, lo spostamento di fase è inferiore a 20°.

In fig. 14 è indicata la risposta dell'amplificatore agli impulsi positivi e negativi. Le deboli oscillazioni smorzate che compaiono sulla forma d'onda dell'impulso all'uscita sono da attribuirsi al tempo di salita estremamente breve del fronte dell'impulso. Con impulsi, con tempo di salita maggiore di 5 μ sec. siffatto inconveniente non si verifica; d'altra parte, siccome i transistori presenti in un brano musicale sono considerevolmente più lunghi, la risposta dell'amplificatore è più che soddisfacente per la riproduzione di un brano di musica.

Distorsione armonica

In fig. 15a sono date, in funzione della potenza di uscita, le componenti di seconda e di terza armonica e la distorsione armonica totale. Questi valori di distorsione sono leggermente più elevati di quelli che ci

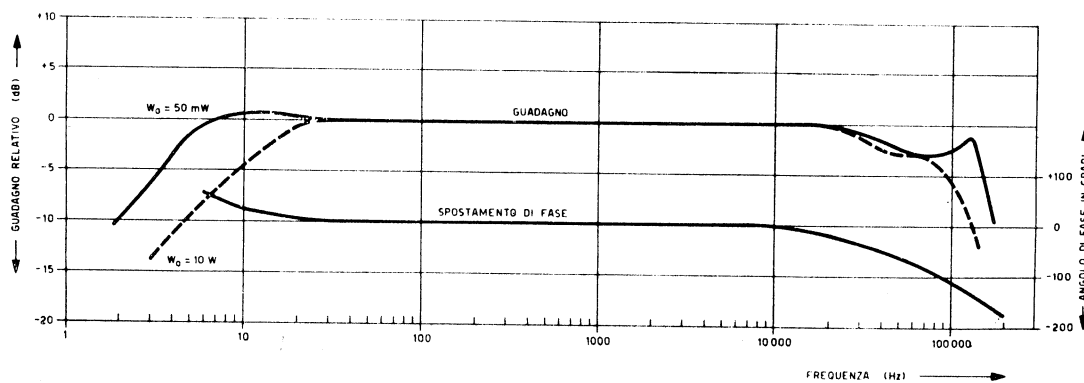


Fig. 13 - Curve di risposta in frequenza (potenza di uscita di 50 mW e di 10 W) e dello spostamento di fase con inserita la controeazione.

si potrebbe aspettare dal solo stadio finale; ciò è dovuto alla distorsione e allo sbilanciamento introdotto dallo stadio invertitore di fase. Siccome la distorsione che si origina nello stadio invertitore di fase può aggiungersi oppure sottrarsi alla distorsione prodotta dallo stadio finale, essa venne misurata nuovamente dopo aver scambiato le valvole ECL 86. Nella figura 15b sono riportati i risultati di queste misure; la distorsione, come si vede, è minore.

La distorsione armonica totale tende quindi a variare come percentuale da un amplificatore all'altro; essa, comunque, non deve superare, per una potenza di uscita di 10 W, lo 0,4%; valore tipico di distorsione armonica complessiva, alla potenza di uscita di 10 W, è quello dello 0,2%.

Impedenza di uscita

L'impedenza di uscita dell'amplificatore misurata ai terminali con impedenza di 15Ω , alla frequenza di 1 kHz, e per una potenza di uscita di 1 W, è $1,4 \Omega$. Questo basso valore di impedenza di uscita si mantiene invariato entro il campo di frequenza da 30 Hz a 15 kHz.

Ronzio e fruscio

Il livello complessivo del ronzio e del fruscio dell'amplificatore con il circuito d'ingresso in corto circuito, (griglia controllo della valvola EF 86) ha il valore tipico di 75 dB al di sotto della potenza di uscita di 10 W, entro la banda compresa tra 20 Hz e 20 kHz. Se ai terminali d'ingresso si collega una resistenza da 470 k Ω , il livello del ronzio e del fruscio diventa -65 dB.

Il livello del solo ronzio, con l'ingresso in corto circuito, ha il valore tipico di -76 dB. Gran parte di questo ronzio proviene dall'alternata residua dell'alimentatore. La componente di ronzio dovuta alle correnti alternate circolanti nel filamento del pentodo EF 86 ha il valore di -86 dB, ed è quindi trascurabile. Anche la variazione del livello del ronzio quando si collega ai morsetti d'ingresso una resistenza da 470 k Ω è trascurabile.

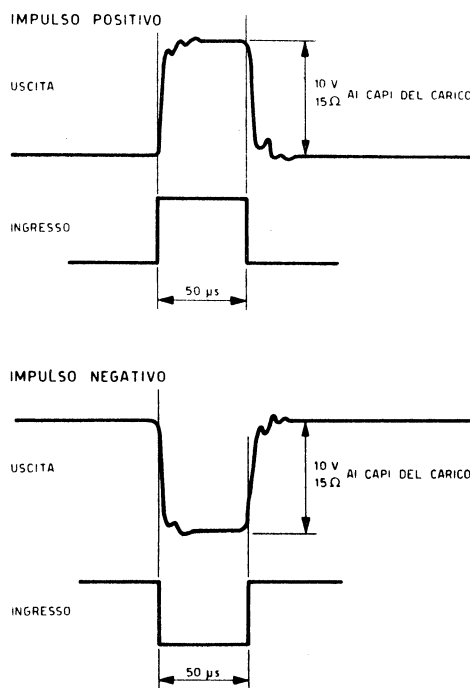
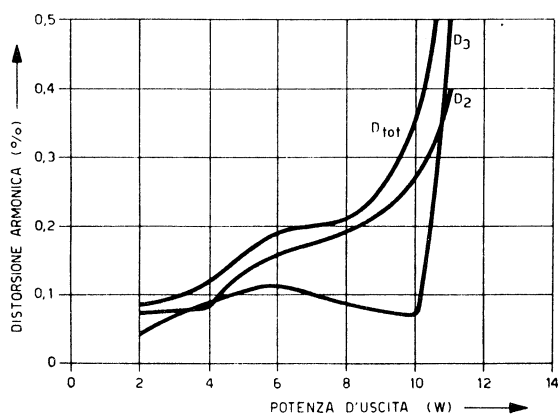


Fig. 14 - Risposta dell'amplificatore agli impulsi positivi e negativi.

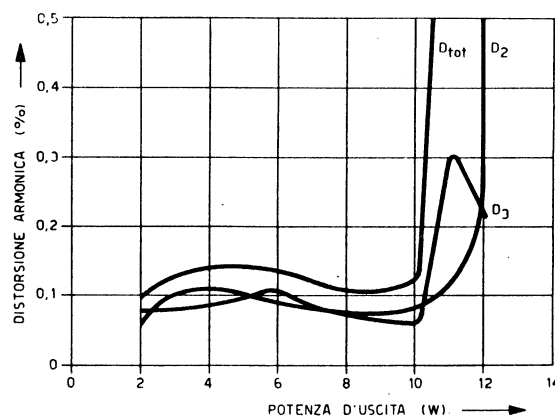
Il livello del fruscio con l'ingresso in corto circuito ha il valore di -80 dB. Se si collega ai morsetti d'ingresso una resistenza da 470 k Ω , il livello del fruscio aumenta al valore notevole di -66 dB. Questo valore è prodotto interamente dall'agitazione termica della resistenza da 470 k Ω ; la parte di fruscio prodotta dalla valvola EF 86 è, rispetto a questo, del tutto trascurabile.

AMPLIFICATORE STEREOFONICO A SEI VALVOLE (10 W + 10 W)

Questo amplificatore differisce da quello precedentemente descritto in quanto, in ciascun canale, al posto del pentodo EF 86 viene usata una sezione del triodo della ECC 83. L'impiego di un doppio triodo ECC 83



(a)



(b)

Fig. 15 - Variazione della distorsione armonica in funzione della potenza di uscita nell'amplificatore a sette valvole a) con le ECL 86 in un dato ordine, b) con le ECL 86 cambiate di posto rispetto ad a).

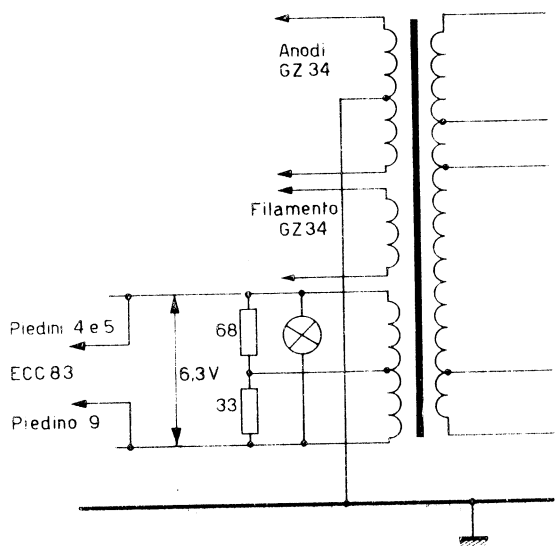


Fig. 16 - Circuito di bilanciamento del fruscio riguardante l'amplificatore a sei valvole.

al posto dei due pentodi EF 86 abbassa considerevolmente il costo dell'amplificatore; il quale, però, può ancora considerarsi di qualità anche se, ovviamente, le sue prestazioni sono leggermente inferiori a quelle del precedente equipaggiato con sette valvole.

La sensibilità di questo amplificatore è sufficiente per la maggior parte dei fonorivelatori a cristallo o ceramici. Il livello del ronzio è 60 dB, al di sotto della potenza di 10 W. Una sensibilità migliore si può avere aumentando il guadagno dello stadio con triodo: ciò non conviene per il fatto che il conseguente aumento di ronzio può diventare inaccettabile.

All'amplificatore viene applicata una controreazione di 14 dB: questo valore dà all'amplificatore un'eccellente margine di stabilità.

DESCRIZIONE DEL CIRCUITO

In fig. 17 è indicato lo schema elettrico dell'amplificatore. Come si vede, questo circuito è identico a quello di fig. 1, ad eccezione dello stadio d'ingresso.

Circuito d'ingresso

Una sezione triodica della ECC 83 viene impiegata come amplificatrice di tensione. Il guadagno di tensione in questo stadio è circa 35. Le caratteristiche di fase di questo stadio differiscono da quelle dello stadio d'ingresso equipaggiato con il pentodo EF 86: ciò è dovuto alle capacità del triodo responsabili dell'effetto Miller. Pertanto, per ottenere una maggiore stabilità quando viene introdotta la controreazione, è stato necessario ridurre la risposta alle frequenze elevate alla frequenza di 12 kHz.

Alimentazione

Le valvole impiegate nell'amplificatore sono sei, e cioè, un doppio triodo ECC 83, quattro triodi-pentodi ECL 86

e una valvola raddrizzatrice. Come per l'amplificatore a sette valvole, la scelta della raddrizzatrice dipende dal funzionamento dello stadio finale.

L'unica differenza tra l'amplificatore a sei valvole e quello a sette valvole sta nella corrente di accensione dei filamenti, fornita dal secondario a 6.3 V con presa centrale, la quale, dal valore di 3.2 A passa al valore più basso di 3.1 A. Per avere in ciascun canale un livello di ronzio molto basso, la presa centrale dell'avvolgimento di alimentazione deve essere collegata a massa non direttamente ma attraverso un partitore di tensione resistivo come indicato in fig. 16. Il valore ottimo del rapporto tra le resistenze di questo partitore dipende dai componenti usati, e dalla filatura dell'amplificatore.

PRESTAZIONI DELL'AMPLIFICATORE

Sensibilità

La sensibilità di questo amplificatore per una potenza di uscita di 10 W, è di 9 mV senza controreazione e di 45 mV con controreazione. La sensibilità dell'amplificatore completo, incluse le regolazioni di tono, è di 500 mV.

Risposta in frequenza, spostamento di fase e risposta agli impulsi

In fig. 18 è data la curva di risposta in frequenza dell'amplificatore senza la controreazione, e per una potenza di uscita rispettivamente di 50 mW e di 10 W. In fig. 19 sono riportate la risposta in frequenza e lo spostamento di fase dell'amplificatore con inserita la controreazione. Con una potenza di uscita di 50 mW, si ha una risposta lineare entro 3 dB tra 3 Hz e 90 kHz; alla potenza di uscita di 10 W, la risposta è lineare tra 15 Hz e 70 kHz. Lo spostamento di fase è inferiore a 20° tra 10 Hz e 15 kHz. In fig. 20 è riportato il diagramma di Nyquist riguardante l'amplificatore a sei valvole.

In fig. 21 è riportata la risposta dell'amplificatore agli impulsi positivi e negativi. Il tempo di salita è di circa 10 μ sec, mentre nella versione a sette valvole il tempo di salita era di 5 μ sec. Comunque, questo valore è più che sufficiente per i transistori presenti in un brano musicale.

Distorsione armonica

In fig. 22 sono riportate, in funzione della potenza di uscita, le componenti di seconda e di terza armonica e la distorsione armonica complessiva. Le stesse valvole ECL 86 usate per tracciare le curve di distorsione della fig. 15 sono state usate per tracciare le curve di distorsione della fig. 22.

La distorsione armonica complessiva può variare da un amplificatore all'altro: essa comunque non può superare, alla potenza di uscita di 10 W, il valore di 0.6%: un tipico valore di distorsione armonica, alla potenza di uscita di 10 W, è lo 0.3%.

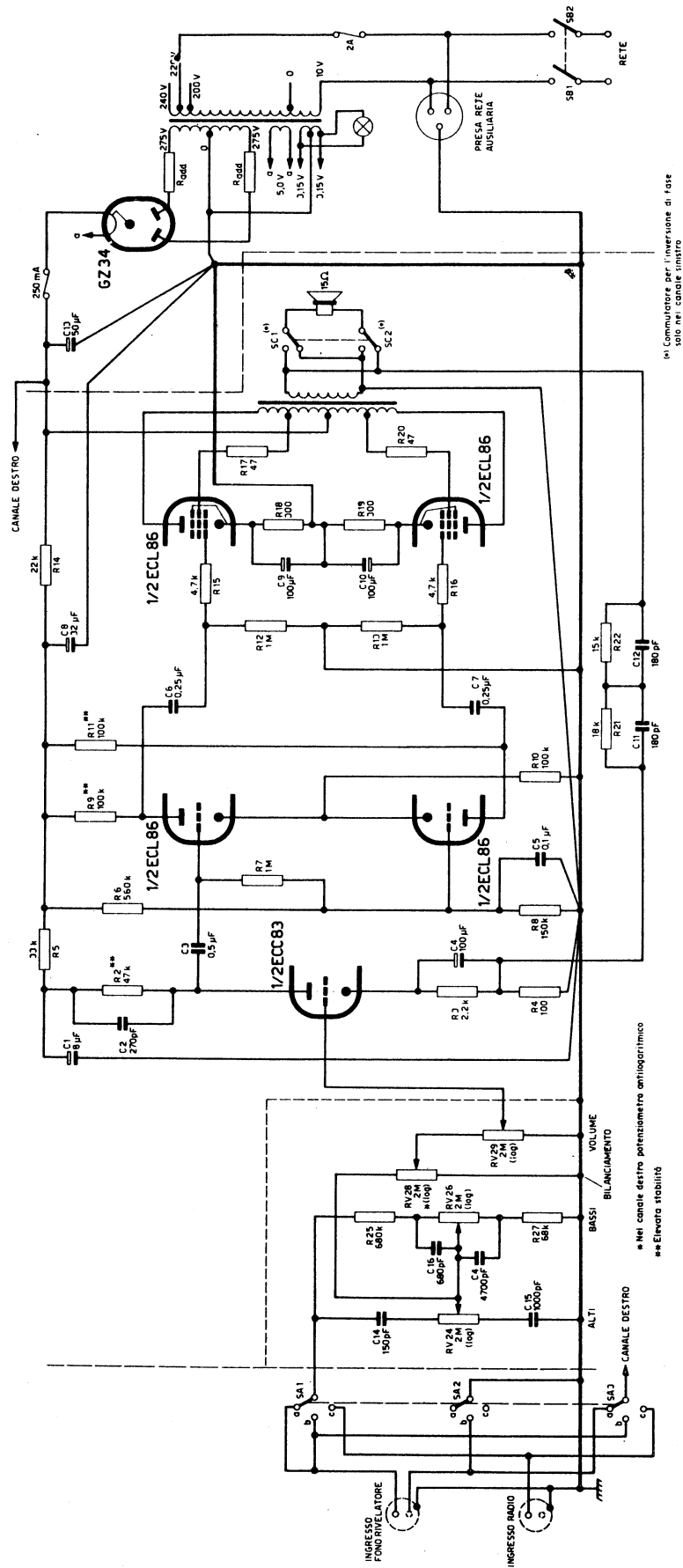


Fig. 17 - Circuito elettrico dell'amplificatore a sei valvole (10 W + 10 W).

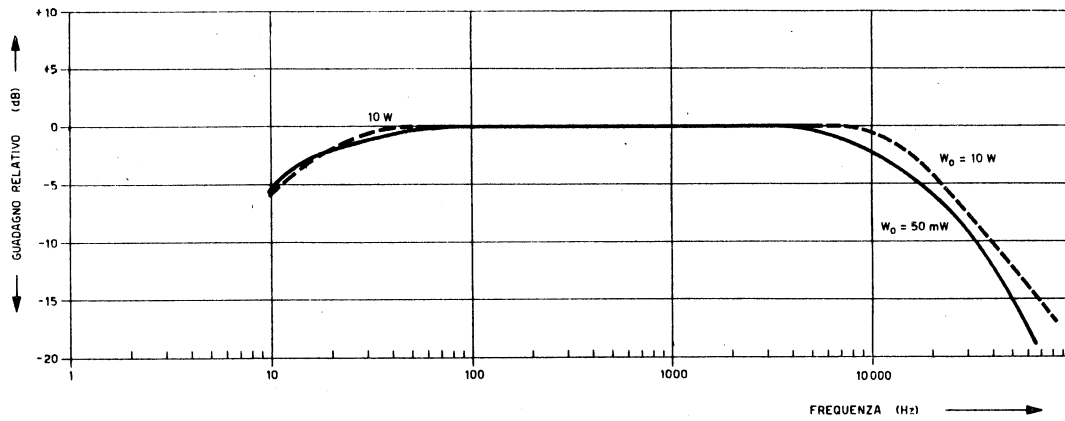


Fig. 18 - Curve di risposta in frequenza dell'amplificatore senza controreazione per una potenza d'uscita rispettivamente di 50 mW e di 10 W.

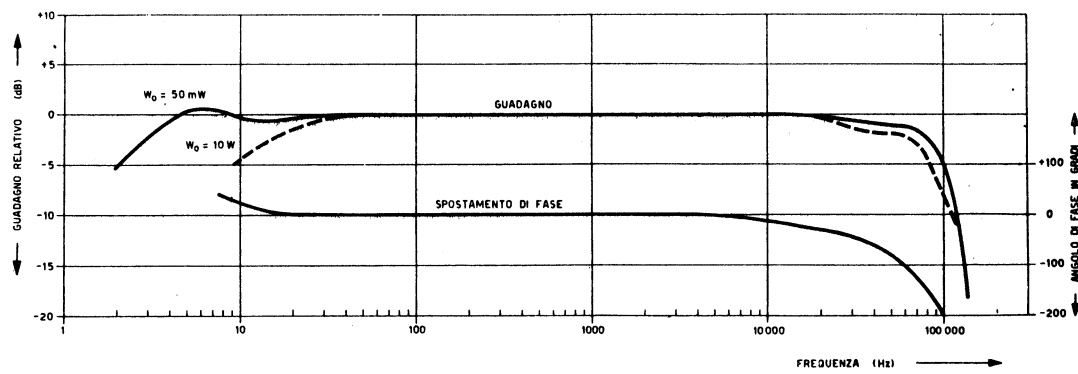


Fig. 19 - Curve di risposta in frequenza e dello spostamento di fase dell'amplificatore per una potenza d'uscita di 50 mW e di 10 W, con inserita la controreazione.

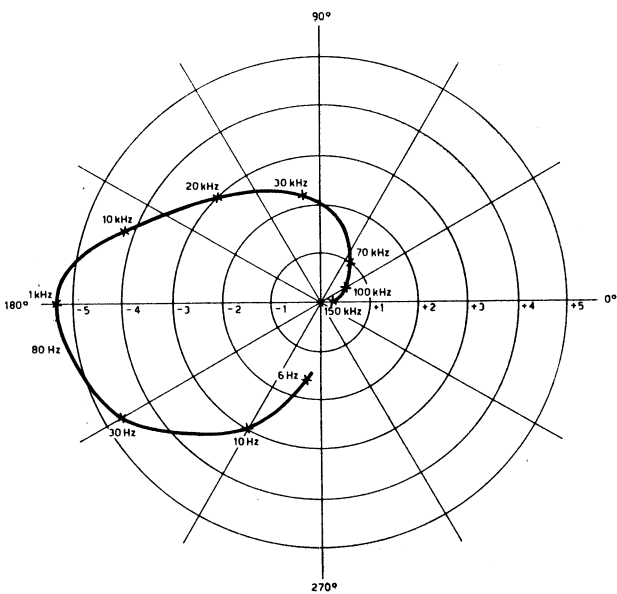


Fig. 20 - Diagramma di Nyquist riguardante l'amplificatore a sei valvole.

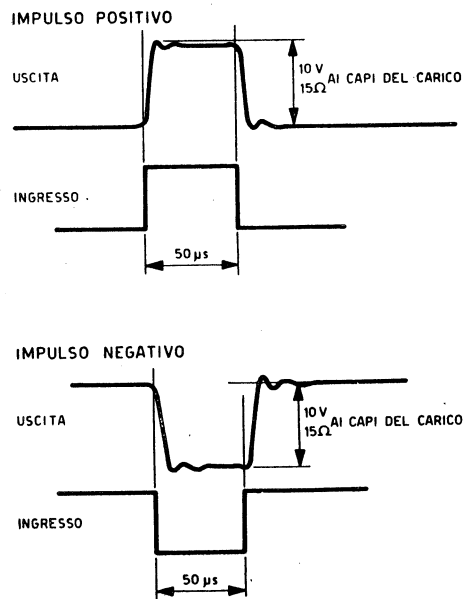


Fig. 21 - Risposta dell'amplificatore agli impulsi positivi e negativi.

Ronzio e fruscio

Il livello di ronzio e di fruscio dell'amplificatore quando ai terminali d'ingresso (griglia del triodo) è collegata una resistenza di 470Ω , è 61 dB al di sotto dei 10 W nella banda di frequenza compresa tra 20 Hz e 20 kHz ; gran parte di questo viene prodotto per via capacitiva nel doppio triodo ECC 83. Il valore di -61 dB , in entrambi i canali, è stato ottenuto impiegando un dispositivo di bilanciamento del ronzio come indicato in fig. 16. Per avere un minimo valore di ronzio furono provati sperimentalmente valori di resistenza di 68Ω da collegarsi tra i piedini 4 e 5 e massa, e di 33Ω tra il piedino 9 e massa. Con il secondario di alimentazione dei filamenti con presa centrale, il livello di ronzio, in un canale, è di -55 dB e di -65 dB nell'altro canale.

Il livello di ronzio e di fruscio con ingresso in corto circuito è di 78 dB al di sotto dei 10 W sia che si impieghi un secondario di alimentazione dei filamenti con presa centrale sia che si usi il dispositivo di bilanciamento del ronzio. Il ronzio dipende inoltre, in gran parte, dal tipo di supporto impiegato per il doppio triodo ECC 83.

AMPLIFICATORE STEREOFONICO A TRE VALVOLE (3 W + 3 W)

Qui di seguito si descrive un amplificatore che impiega in ciascun canale una ECL 86; la massima potenza d'uscita fornita da ogni canale è di 3 W .

La sensibilità è sufficiente per la maggior parte dei fonorivelatori a cristallo o ceramici. L'amplificatore è molto economico in quanto utilizza una sola valvola per canale.

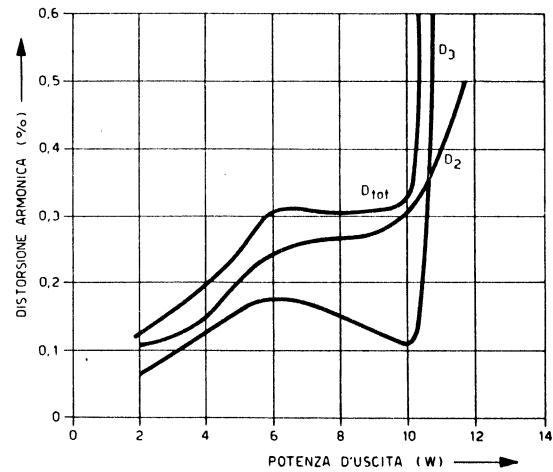


Fig. 22 - Variazione della distorsione armonica totale e della distorsione di seconda e terza armonica in funzione della potenza di uscita.

Descrizione del circuito

In fig. 23 è indicato lo schema elettrico dell'amplificatore. È stato riprodotto un solo canale; l'altro canale è identico, ad eccezione del commutatore per l'inversione di fase per l'altoparlante.

Stadio finale

Lo stadio finale impiega la sezione pentodica della ECL 86 funzionante in classe A. Le condizioni di funzionamento sono già state discusse in precedenza.

La tensione di alimentazione deve essere scelta in modo di avere una tensione anodo-catodo di 250 V ; in

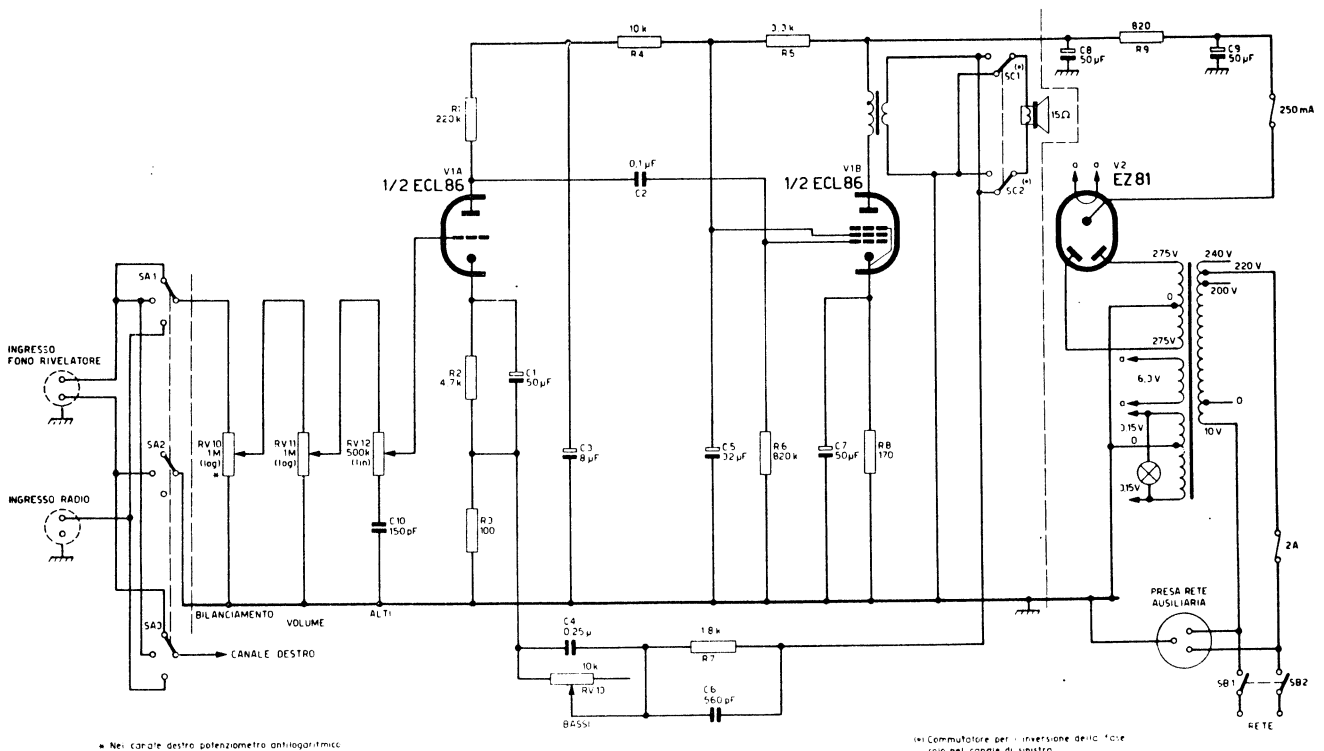


Fig. 23 - Schema elettrico dell'amplificatore a tre valvole (3 W + 3 W).

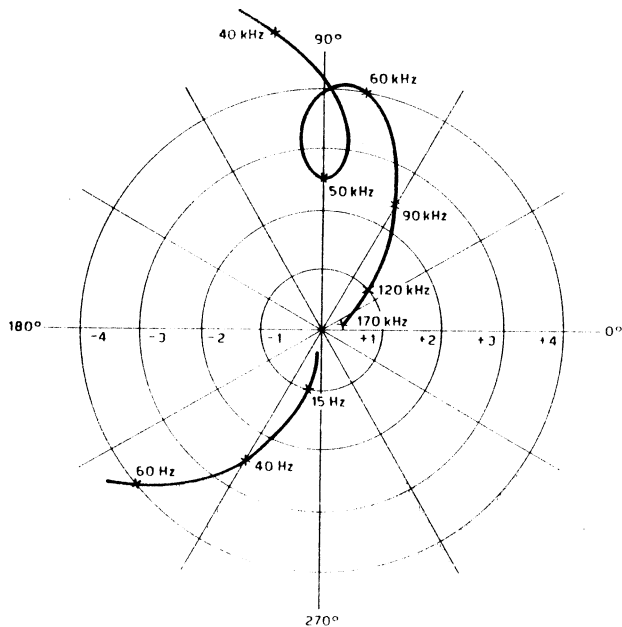


Fig. 24 - Diagramma di Nyquist riguardante l'amplificatore a tre valvole.

questo valore si deve tener conto anche della caduta di tensione causata dal primario del trasformatore di uscita.

Il trasformatore di uscita usato nell'amplificatore prototipo aveva le seguenti caratteristiche:

Induttanza del primario	10 H
Resistenza del primario	350 Ω
Frequenza di risonanza	60 kHz

Con questo tipo di trasformatore è richiesta una tensione di alimentazione di 270 V.

Se si usa un trasformatore d'uscita avente una frequenza di risonanza molto inferiore a 60 kHz, è necessario portare delle modifiche al circuito.

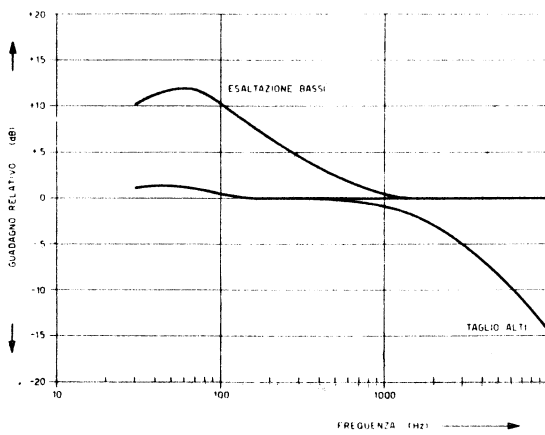


Fig. 25 - Curve caratteristiche della regolazione del tono per l'amplificatore a tre valvole.

Stadio pilota

Lo stadio pilota impiega la sezione triodo della ECL 86; il guadagno di tensione è circa 50.

Controreazione

Un valore di circa 18 dB di controreazione viene inserito tra l'avvolgimento secondario del trasformatore di uscita e il circuito catodico dello stadio d'ingresso. L'amplificatore prototipo restava stabile con un tasso di controreazione considerevolmente più elevato. Il valore di 18 dB è circa il valore massimo con il quale si può mantenere una adeguata sensibilità con fonorivelatore a cristallo.

In fig. 24 è indicato il diagramma di Nyquist dal quale si può constatare la stabilità dell'amplificatore.

In fig. 28 sono indicate la risposta in frequenza dell'amplificatore per potenze d'uscita rispettivamente di 50 mW e 3 W.

In fig. 29 sono riportate la risposta in frequenza e lo spostamento di fase dell'amplificatore con inserita la controreazione.

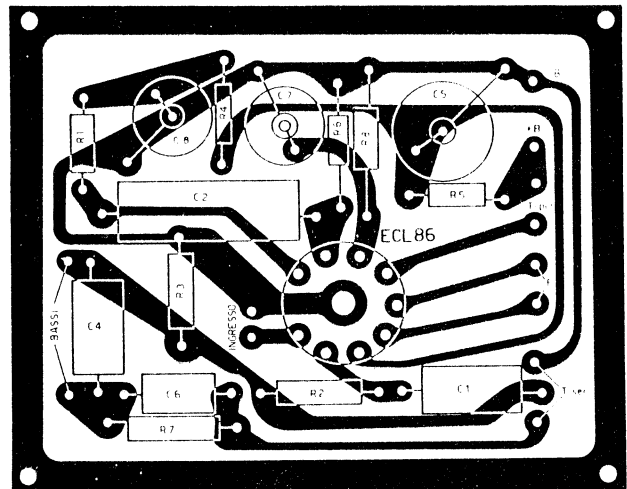


Fig. 26 - Pannello con circuito stampato riguardante una parte del circuito dell'amplificatore a tre valvole.

Regolazioni di tono

L'amplificatore a tre valvole è provvisto del controllo di tono per i toni bassi e per gli alti. Il condensatore C_1 inserito nel circuito di controreazione, riduce la controreazione alle basse frequenze esaltando i toni bassi. Il potenziometro RV_{13} e il condensatore C_1 provvedono alla regolazione dei toni bassi. Il condensatore C_{10} e il potenziometro RV_{12} , posti sul circuito d'ingresso della ECL 86, provvedono alla regolazione dei toni acuti.

In fig. 25 sono indicate le curve caratteristiche per la regolazione del tono.

L'esaltazione massima dei toni bassi è di 12 dB a 60 Hz, e il massimo taglio dei toni alti è di 14 dB a 10 kHz.

Alimentazione

L'amplificatore stereofonico a 3 valvole è equipaggiato con due ECL 86 e una EZ 81. La tensione anodo-catodo richiesta è di 250 V, perciò la tensione di alimentazione deve essere di 270 V per consentire la caduta di tensione nel primario del trasformatore di uscita.

L'assorbimento di corrente, in assenza di segnale, è 85 mA, mentre l'assorbimento di corrente, in condizioni di massimo pilotaggio (segnale sinusoidale), è 95 mA.

I dati caratteristici dell'avvolgimento per l'alimentazione dei filamenti devono essere i seguenti:

6,3 V, presa centrale 1,4 A,

6,3 V, 1 A.

Se nell'amplificatore viene inclusa una lampada spia, il valore della corrente, alla tensione di 6,3 V, diventa 1,55 A.

Se non si usa un secondario di alimentazione dei filamenti con presa centrale, si deve collegare a massa il piedino 4 della ECL 86.

Filatura del circuito stampato

In fig. 26 è indicato il pannello del circuito stampato usato nell'amplificatore prototipo.

Per ridurre al minimo la reazione positiva fra il circuito di griglia della sezione triodo e il circuito anodico della sezione pentodo, si devono prendere nella disposizione del cablaggio alcune precauzioni.

In fig. 27 è indicata una disposizione tipica dei pannelli con circuito stampato e dei trasformatori di uscita dell'amplificatore completo. Gli assi degli avvolgimenti del trasformatore di uscita e del trasformatore di rete devono essere ad angolo retto allo scopo di ridurre al minimo il ronzio prodotto per via magnetica.

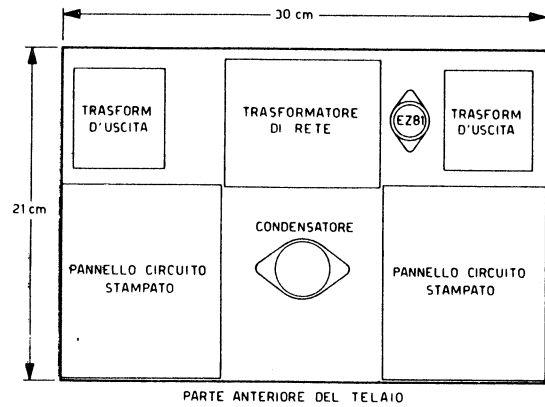


Fig. 27 - Disposizione tipica dei pannelli con circuito stampato e dei trasformatori.

PRESTAZIONI DELL'AMPLIFICATORE

Sensibilità

La sensibilità dell'amplificatore a tre valvole per una uscita di 3 W, è di 50 mV senza controreazione e di 400 mV con controreazione.

Risposta in frequenza e spostamento di fase

Nelle figg. 28 e 29 sono indicate rispettivamente la risposta in frequenza dell'amplificatore per potenze di uscita di 50 mW e 3 W. Con un'uscita di 3 W e con inserita la controreazione si ha una risposta lineare, entro 3 dB, da 30 Hz a 35 kHz.

In fig. 29 è indicata anche la curva caratteristica dello spostamento di fase dell'amplificatore.

Tra 60 Hz e 15 kHz, lo spostamento di fase è inferiore a 20°. La risposta dell'amplificatore alle alte frequenze potrebbe variare quando si regola il controllo di volume a causa della influenza della capacità d'ingresso del triodo. Questa variazione, tuttavia, è piccola poichè l'effetto Miller è ridotto dalla controreazione. La capacità d'ingresso nella griglia del triodo della ECL 86 è di 15 pF.

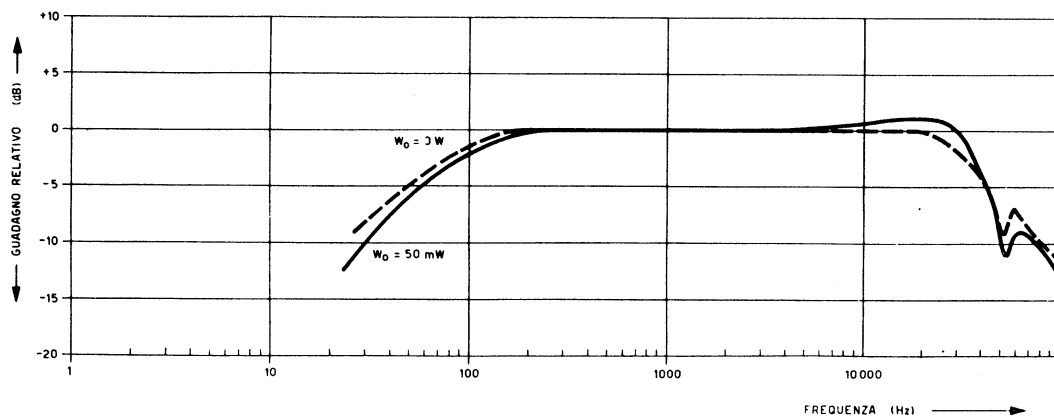


Fig. 28 - Curve di risposta in frequenza dell'amplificatore (potenza di uscita di 50 mW e di 3 W) senza reazione.

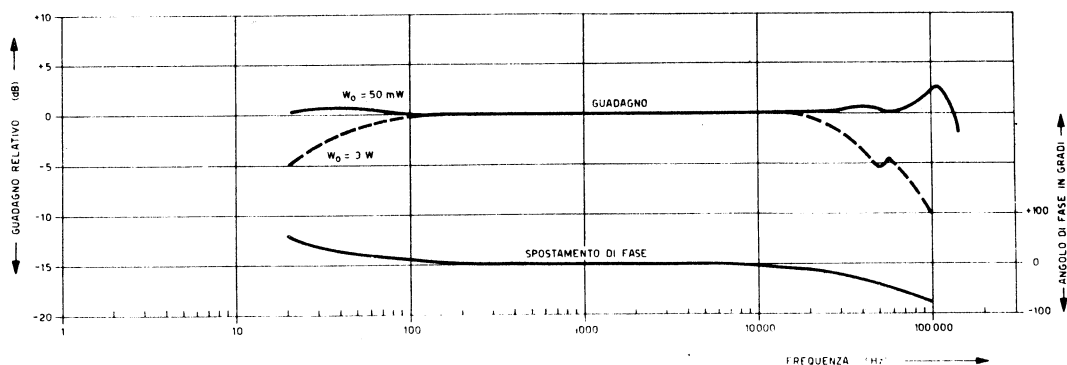


Fig. 29 - Curve di risposta in frequenza (potenza di uscita di 50 mW e di 3 W) e dello spostamento di fase con inserita la controeazione.

Distorsione armonica

In fig. 30 è indicata la variazione della distorsione armonica totale in funzione della potenza di uscita. La distorsione per una potenza di uscita di 3 W, è dell'1,8 %.

Impedenza d'uscita

L'impedenza di uscita dell'amplificatore misurata ai terminali con impedenza di 15 Ω alla frequenza di 1 kHz e per una potenza di uscita di 1 W, è di 1,6 Ω .

Ronzio e fruscio

Il livello del ronzio e del fruscio dell'amplificatore con il circuito d'ingresso in corto circuito (griglia del triodo) o con una resistenza di 470 k Ω collegata ai terminali d'ingresso è minore di 85 dB, al di sotto di 3 W. Il basso livello del ronzio e del fruscio è una conseguenza della bassa sensibilità dell'amplificatore. In pratica, negli amplificatori, il livello del ronzio e

del fruscio può essere maggiore di -85 dB a causa del ronzio indotto nel circuito dai campi magnetici esterni e dai trasformatori.

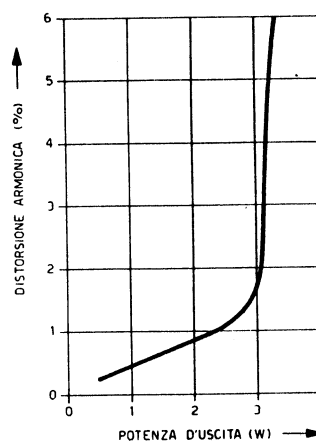


Fig. 30 - Variazione della distorsione armonica in funzione della potenza di uscita.

PHILIPS

reparto elettronica

Non si garantisce che i circuiti descritti in questa pubblicazione siano esenti da diritti di brevetto di Terzi. La riproduzione anche parziale degli articoli contenuti nella presente pubblicazione è permessa solo dietro autorizzazione scritta che dovrà essere richiesta, caso per caso, alla Philips S. p. A. - Piazza IV Novembre, 3 - Milano.