



I.T.I. "Modesto PANETTI" – B A R I

Via Re David, 186 - 70125 BARI ☎ 080-542.54.12 - Fax 080-542.64.32

Internet: <http://www.itispanetti.it> - email: BATF05000C@istruzione.it

PROGETTO PERSONALE Esami di Stato 2008 Classe 5ET/A

Alunno : Vincenzo Colangiuli

Docente :Ettore Panella

PREMESSA

Lo scopo del progetto è quello di realizzare un radiorecettore AM nella gamma di frequenza aeronautica compresa tra 110 MHz - 140 MHz.

Lo schema elettrico, i componenti e il circuito stampato sono stati forniti dalla ditta Nuova Elettronica (Riv. 229/LX.1662).

SCHEMA A BLOCCHI

In figura 1 si riporta lo schema a blocchi del ricevitore AM.

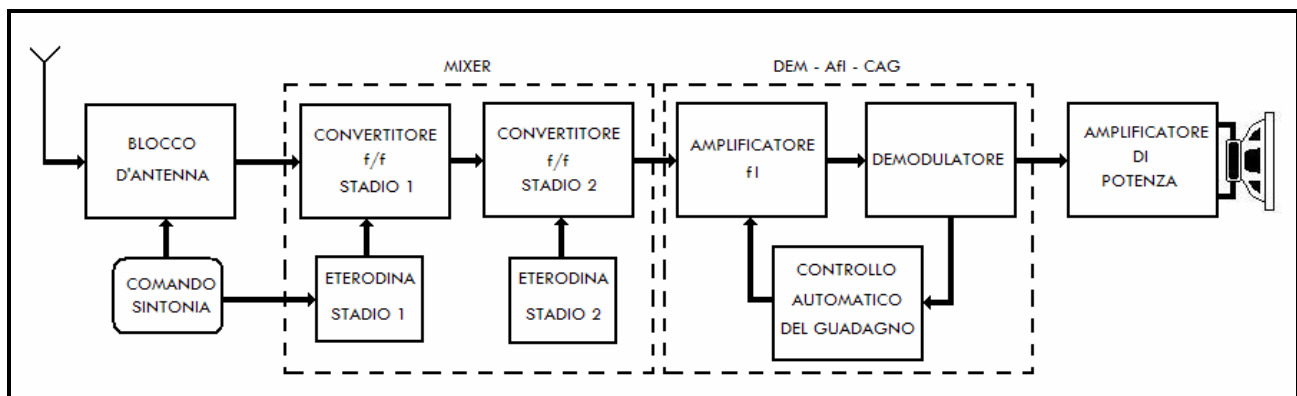


Figura 1. Schema a blocchi del circuito in oggetto

Si descrive la funzione di ciascun blocco:

- **L'antenna ricevente** è in grado di captare il segnale modulato AM presente nello spazio libero sotto forma di onda elettromagnetica.
- **Il blocco d'antenna o preselettore e il comando sintonia** consentono, tramite un filtro di banda del secondo ordine, di selezionare un solo canale tra tutti quelli presenti nella gamma di frequenza 110 – 140 MHz. Il blocco d'antenna, inoltre, amplifica il segnale proveniente dall'antenna, che ha una potenza troppo bassa per pilotare gli stadi successivi. L'amplificazione non deve essere troppo elevata in quanto comporterebbe un aumento della rumorosità negli stadi successivi. Il comando di sintonia rende possibile la variazione della frequenza di oscillazione dell'eterodina

stadio 1. In questo modo, variando la banda di ricezione, in uscita al convertitore f/f stadio 1 si ha sempre una frequenza fissa.

- **Il mixer** realizza la conversione di frequenza del canale selezionato nella banda centrata in una frequenza fissa denominata **frequenza intermedia**. La frequenza intermedia vale $f_i = 10.7$ MHz per i sistemi FM e vale $f_i \cong 455$ KHz per sistemi AM.

Per realizzare tale conversione sono necessari due blocchi che, come si vede dallo schema, sono costituiti da un primo e da un secondo convertitore frequenza/frequenza con i rispettivi oscillatori locali, detti eterodine. Il motivo di una doppia conversione di frequenza dipende dalla difficoltà di convertire un segnale in alta frequenza di un centinaio di MHz, in un segnale in bassa frequenza di un centinaio di KHz in un solo passaggio.

- **Il primo stadio di conversione** converte la frequenza centrale del canale selezionato sul valore intermedio di 10.7 MHz. Si noti che la conversione su questo valore è tipico per la modulazione di frequenza.

Il comando di sintonia consente di modificare sia la frequenza di accordo del canale che si intende ricevere, sia la frequenza dell'eterodina stadio 1 in modo da ottenere una traslazione nell'intorno della frequenza $f_i = 10.7$ MHz.

Si indica con f la frequenza captata dall'antenna e con f_{01} la frequenza dell'eterodina stadio 1; la frequenza f_i di uscita del convertitore f/f stadio 1 sarà:

$$f_i = f - f_{01}$$

In questo modo è possibile progettare gli stadi successivi senza che essi dipendano dalla banda di frequenza selezionata.

- **La seconda conversione** avviene nel convertitore f/f stadio 2, nel quale la banda di ingresso centrata su 10.7 MHz viene convertita sul valore centrato su circa 455 KHz, valore intermedio per segnali modulati in ampiezza.

L'oscillatore locale eterodina stadio 2 è quarzato a frequenza fissa di 10.240 MHz.

Indicando con f_{02} la frequenza dell'eterodina stadio 2, la frequenza di uscita f_f del convertitore f/f stadio 2 risulta:

$$f_f = f_i - f_{02} = (10.7 - 10.24) \text{ MHz} = 460 \text{ KHz}$$

- Il segnale convertito sui 460 KHz è applicato all'ingresso del blocco **DEM – Af_i – CAG** che, oltre a demodulare il segnale, svolge la funzione di amplificazione ed esegue il controllo automatico del guadagno.

- La prima operazione eseguita è l'**amplificazione a frequenza intermedia** tramite il blocco **amplificatore f_i** , che opera in una banda di frequenze indipendente dal canale di ricezione. Questo amplificatore è di tipo selettivo ed ha una banda passante molto ristretta pari a 10 KHz, grazie alla quale l'amplificatore f_i è in grado di eliminare eventuali canali non correttamente filtrati dal preselettore.

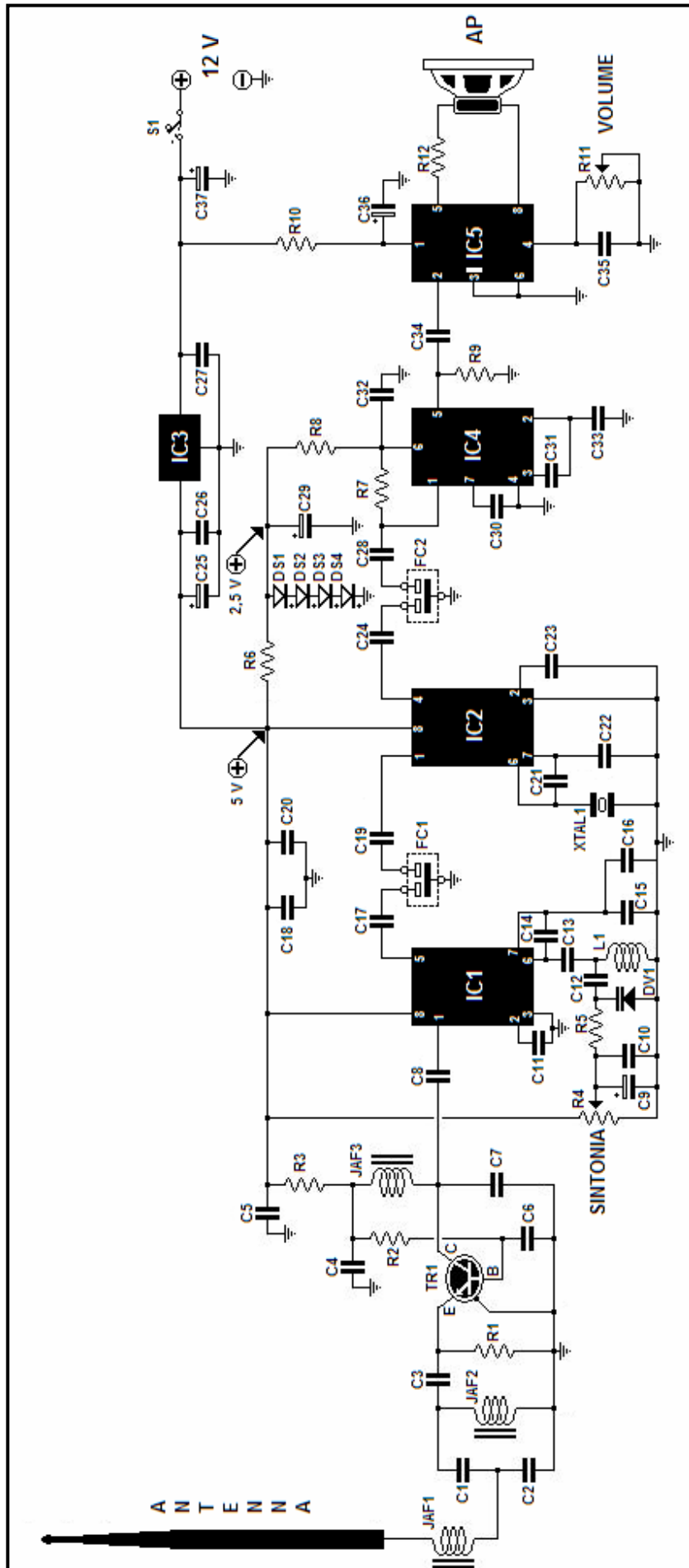
- Nel blocco **demodulatore**, avviene la demodulazione del segnale con frequenza f_f , in modo da estrarre dal segnale modulato l'informazione utile. Il demodulatore è un semplice rivelatore di involuppo che fornisce in uscita il segnale modulante.

- Il blocco di retroazione negativa, denominato **controllo automatico del guadagno CAG**, ha il compito di mantenere costante il livello del segnale di uscita anche se si presentano variazioni di ampiezza nel segnale ricevuto dall'antenna.

- Nell'ultimo blocco, denominato **amplificatore di potenza**, avviene un'amplificazione di potenza del segnale demodulato. In questo modo, il segnale amplificato è in grado di pilotare [l'altoparlante](#) che attraverso il quale è possibile ascoltare il segnale ricevuto dall'antenna.

SCHEMA ELETTRICO

In figura si mostra lo schema elettrico del circuito in oggetto.



ELENCO COMPONENTI UTILIZZATI

R1 = 120 Ω
R2 = 22 k Ω
R3 = 220 Ω
R4 = 10 k Ω potenziometro multi giri
R5 = 47 k Ω
R6 = 1.2 k Ω
R7 = 100 k Ω
R8 = 470 Ω
R9 = 2.2 k Ω
R10 = 10 Ω $\frac{1}{4}$ W
R11 = 1 M Ω potenziometro lineare
R12 = 12 Ω $\frac{1}{4}$ W
C1 = 10 pF ceramico
C2 = 27 pF ceramico
C3 = 6.8 pF ceramico
C4 = 10 nF ceramico
C5 = 10 nF ceramico
C6 = 10 nF ceramico
C7 = 4.7 pF ceramico
C8 = 1.2 nF ceramico
C9 = 10 μ F elettrolitico
C10 = 10 nF ceramico
C11 = 100 nF ceramico
C12 = 68 pF ceramico
C13 = 1.2 nF ceramico
C14 = 4.7 pF ceramico
C15 = 8.2 pF ceramico
C16 = 8.2 pF ceramico
C17 = 1.2 nF ceramico
C18 = 10 nF ceramico
C19 = 1.2 nF ceramico
C20 = 10 nF ceramico
C21 = 68 pF ceramico
C22 = 68 pF ceramico
C23 = 100 nF ceramico
C24 = 2.2 nF ceramico
C25 = 100 μ F elettrolitico
C26 = 100 nF poliestere
C27 = 100 pF poliestere
C28 = 10 nF ceramico

C29 = 10 μ F elettrolitico
C30 = 10 nF poliestere
C31 = 470 nF poliestere
C32 = 100 nF poliestere
C33 = 100 nF poliestere
C34 = 470 nF poliestere
C35 = 100 nF poliestere
C36 = 100 μ F elettrolitico
C37 = 100 μ F elettrolitico
DS1 – DS4 = diodi tipo 1N4148
DV1 = diodo varicap tipo BB106
FC1 = filtro ceramico 10.7 MHz
FC2 = filtro ceramico 455 kHz
XTAL1 = quarzo 10.240 MHz
JAF1 = impedenza tipo 100 nH
JAF2 = impedenza tipo 100 nH
JAF3 = impedenza tipo 100 nH
L1 = bobina a tre spire
TR1 = PNP tipo 2N918
IC1 = integrato tipo NE602
IC2 = integrato tipo NE602
IC3 = integrato tipo L7805
IC4 = integrato tipo ZN416E
IC5 = integrato tipo TDA7052/B
S1 = interruttore
AP = altoparlante 8 Ω

DATA SHEET

Si riportano inseriscono i data sheet degli integrati utilizzati.

NE602

Philips Semiconductors

Product specification

Double-balanced mixer and oscillator

SA602A

DESCRIPTION

The SA602A is a low-power VHF monolithic double-balanced mixer with input amplifier, on-board oscillator, and voltage regulator. It is intended for high performance, low power communication systems. The guaranteed parameters of the SA602A make this device particularly well suited for cellular radio applications. The mixer is a "Gilbert cell" multiplier configuration which typically provides 18dB of gain at 45MHz. The oscillator will operate to 200MHz. It can be configured as a crystal oscillator, a tuned tank oscillator, or a buffer for an external LO. For higher frequencies the LO input may be externally driven. The noise figure at 45MHz is typically less than 5dB. The gain, intercept performance, low-power and noise characteristics make the SA602A a superior choice for high-performance battery operated equipment. It is available in an 8-lead dual in-line plastic package and an 8-lead SO (surface-mount miniature package).

FEATURES

- Low current consumption: 2.4mA typical
- Excellent noise figure: <4.7dB typical at 45MHz
- High operating frequency
- Excellent gain, intercept and sensitivity
- Low external parts count; suitable for crystal/ceramic filters
- SA602A meets cellular radio specifications

PIN CONFIGURATION

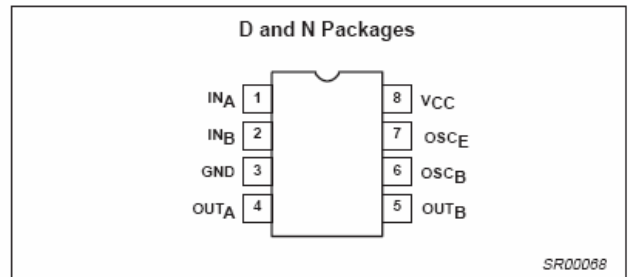


Figure 1. Pin Configuration

APPLICATIONS

- Cellular radio mixer/oscillator
- Portable radio
- VHF transceivers
- RF data links
- HF/VHF frequency conversion
- Instrumentation frequency conversion
- Broadband LANs

BLOCK DIAGRAM

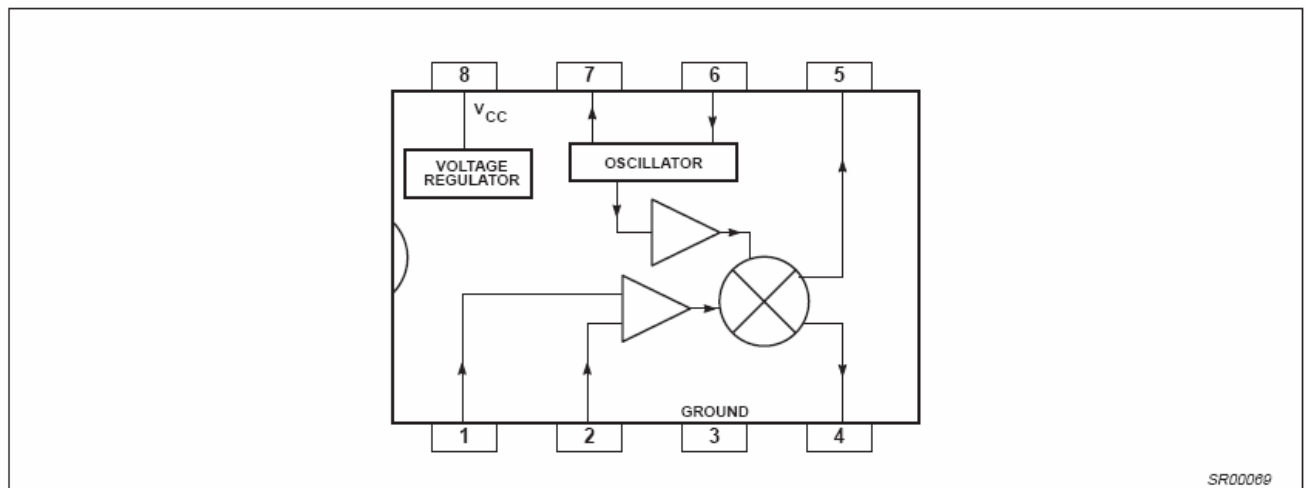


Figure 2. Block Diagram

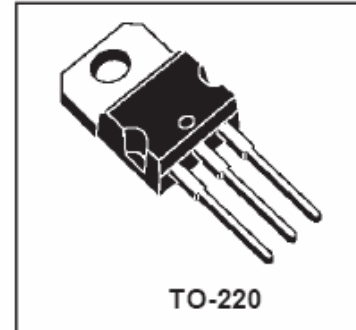


POSITIVE VOLTAGE REGULATORS

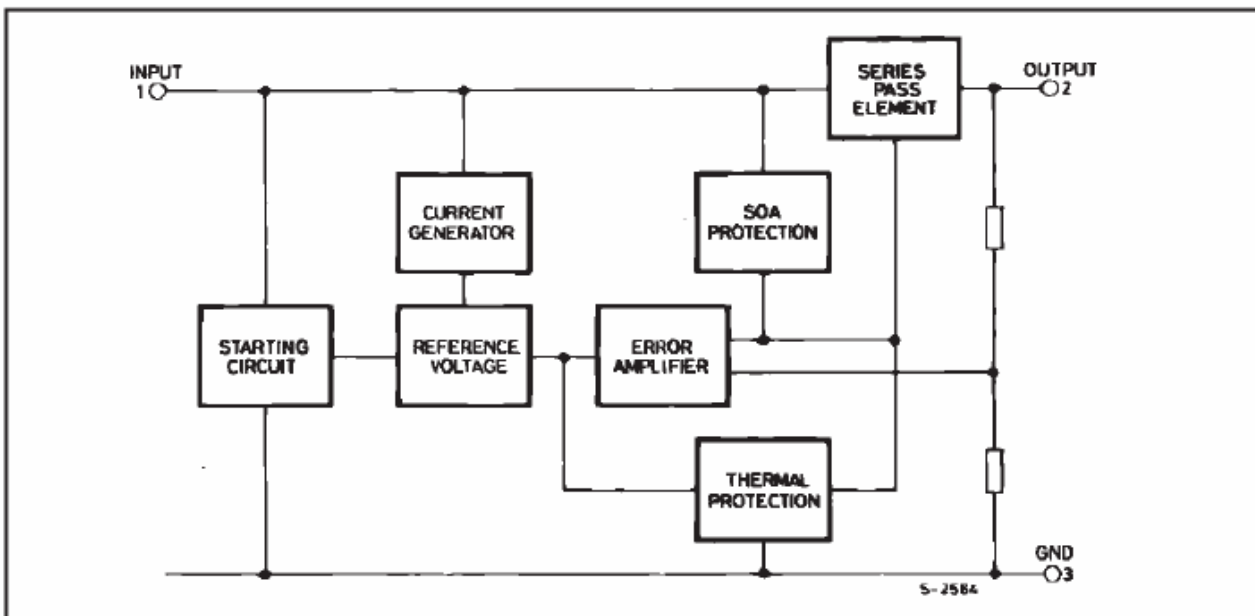
- OUTPUT CURRENT UP TO 1.5 A
- OUTPUT VOLTAGES OF 5; 5.2; 6; 8; 8.5; 9; 12; 15; 18; 24V
- THERMAL OVERLOAD PROTECTION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OUTPUT TRANSITION SOA PROTECTION

DESCRIPTION

The L7800 series of three-terminal positive regulators is available in TO-220 TO-220FP TO-3 and D²PAK packages and several fixed output voltages, making it useful in a wide range of applications. These regulators can provide local on-card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



BLOCK DIAGRAM



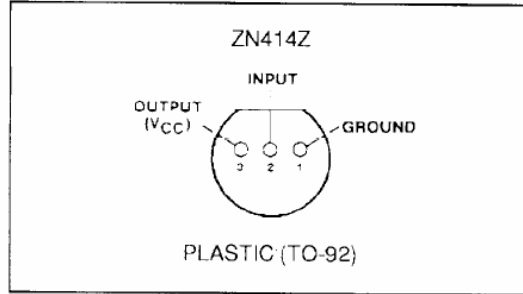
ZN414Z & ZN416E

AM RADIO RECEIVERS

The ZN414Z is a 10 transistor tuned radio frequency (TRF) circuit packaged in a 3-pin TO-92 plastic package for simplicity and space economy.

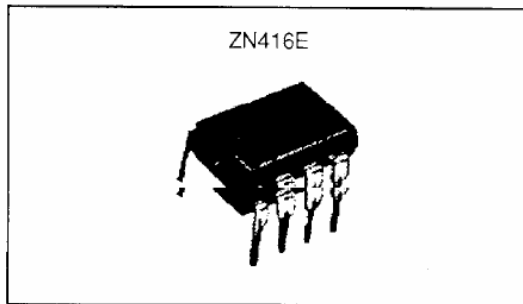
The circuit provides a complete R.F. amplifier, detector and AGC circuit which requires only six external components to give a high quality A.M. tuner. Effective AGC action is available and is simply adjusted by selecting one external resistor value. Excellent audio quality can be achieved, and current consumption is extremely low. No setting-up or alignment is required and the circuit is completely stable in use.

The ZN416E is a buffered output version of the ZN414Z giving typically 120mV (r.m.s.) output into a 64Ω load.



FEATURES

- Single cell operation (1.1 to 1.6 volt operating range)
- Low current consumption
- 150kHz to 3MHz frequency range (i.e. full coverage of medium and long wavebands)
- Easy to assemble, no alignment necessary
- Simple and effective AGC action
- Will drive crystal earphone direct (ZN414Z)
- Will drive headphone direct (ZN416E)
- Excellent audio quality
- Typical power gain of 72dB (ZN414Z)
- Minimum of external components required



BLOCK DIAGRAM

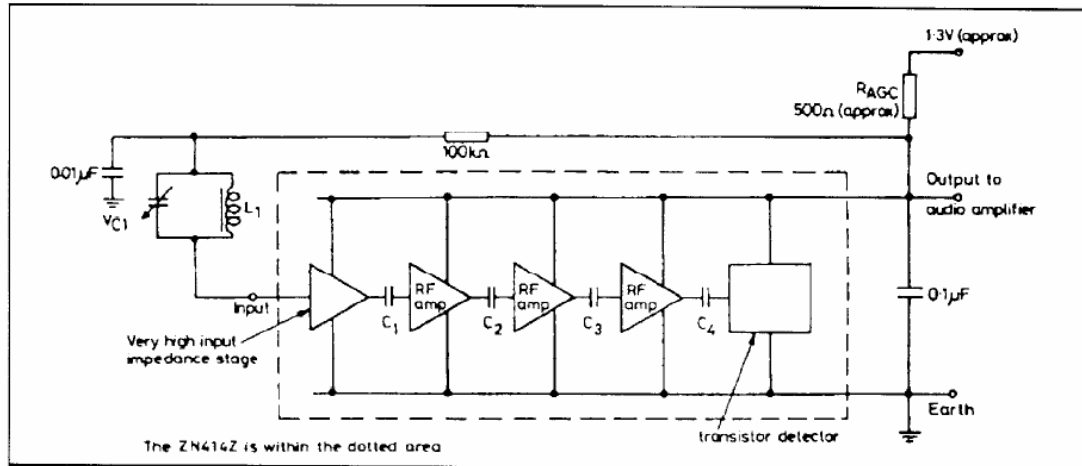


Fig.1 ZN414Z System Diagram

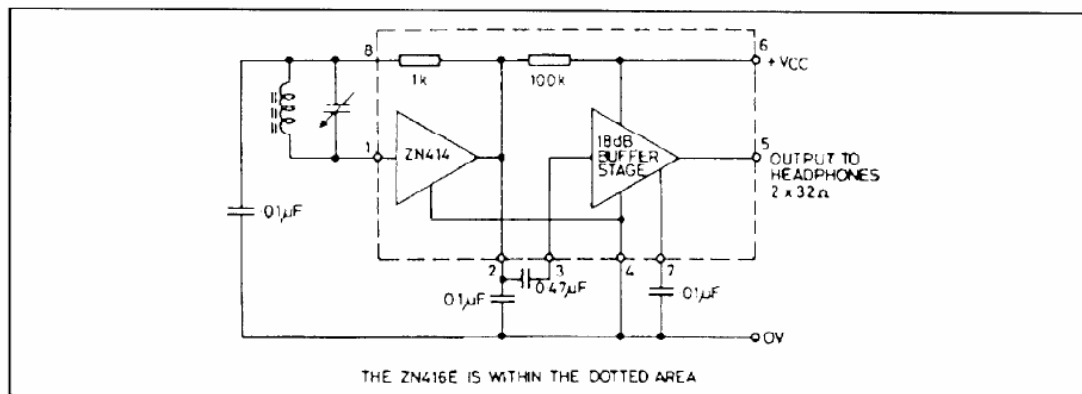


Fig.2 ZN416E System Diagram

Mono BTL audio amplifier with DC volume control

TDA7052B

FEATURES

- DC volume control
- Few external components
- Mute mode
- Thermal protection
- Short-circuit proof
- No switch-on and switch-off clicks
- Good overall stability
- Low power consumption
- Low HF radiation
- ESD protected on all pins.

GENERAL DESCRIPTION

The TDA7052B and TDA7052BT are 1 W and 0.5 W mono Bridge-Tied Load (BTL) output amplifiers with DC volume control.

They have been designed for use in TV and monitors, but are also suitable for use in battery-fed portable recorders and radios.

A Missing Current Limiter (MCL) is built in. The MCL circuit is activated when the difference in current between the output terminal of each amplifier exceeds 100 mA (300 mA typ.). This level of 100 mA allows for headphone applications (single-ended).

PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
V _P	1	supply voltage
IN+	2	input
GND1	3	signal ground
VC	4	DC volume control
OUT+	5	positive output
GND2	6	power ground
n.c.	7	not connected
OUT-	8	negative output

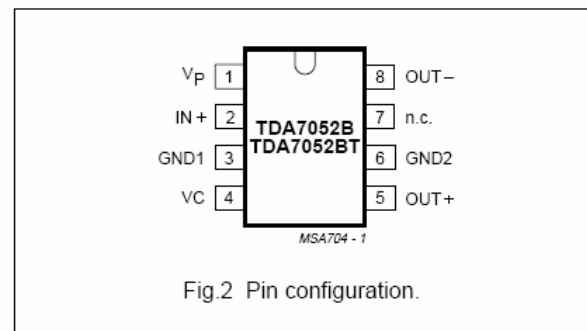


Fig.2 Pin configuration.

BLOCK DIAGRAM

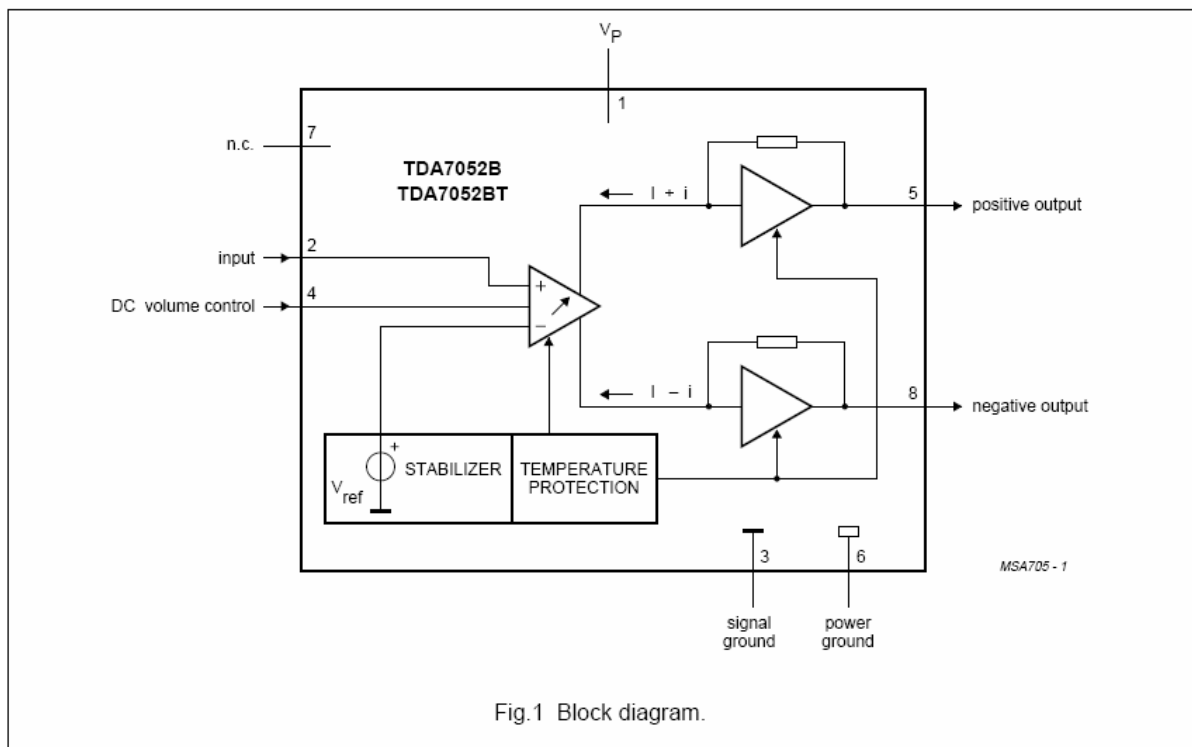


Fig.1 Block diagram.

APPROFONDIMENTI

Alimentazione

Il circuito è alimentato da una tensione di 12 V applicata tra il morsetto + e massa tramite uno spinotto. In particolare l'integrato IC5- TDA 7052B è alimentato da una tensione di 12 V, IC4- ZN616 da una tensione di 2.5 V, IC2 e IC1-ZE602 da una tensione di 5 V. l'integrato IC3- L7805 provvede a ridurre la tensione di alimentazione da 12 V a 5 V.

Il sistema a quattro diodi in serie riduce la tensione da 5 V a 2.5 V. Infatti, per ogni diodo 1N4148, la tensione di soglia V_D è pari a circa 0.6 V; la tensione complessiva V_c della serie è

$$V_c = 4V_D = 2.4 V$$

Condensatori antidisturbo

Questi condensatori sono presenti in tutti i circuiti elettrici e sono inseriti, normalmente, tra alimentazione e massa. Sono scelti in modo da cortocircuitare le componenti alternate del rumore in bassa e alta frequenza. In particolare si scelgono condensatori elettrolitici per cortocircuitare le componenti in bassa frequenza e i condensatori ceramici per eliminare le componenti di rumore in alta frequenza. Un'altra funzione di tali condensatori è quella di eliminare i rumori dovuti allo strisciamento del selettore dei potenziometri: il condensatore C35, C9 e C10 svolgono tale funzione.

Dimensionamento dell'antenna

L'antenna utilizzata è di tipo marconiana. Le principali caratteristiche sono: guadagno pari a $G = 5.18$ dB e resistenza di radiazione pari a $R_i = 36.5 \Omega$.

La progettazione è di facile realizzazione. Infatti sapendo che la frequenza centrale di accordo $f_a = 125$ MHz e che la velocità della luce c è pari a $3 \cdot 10^8$ m/s, la lunghezza d'onda è:

$$\lambda = c/f = \frac{3 \cdot 10^8}{125 \cdot 10^6} = 0.024 m$$

Essendo un'antenna marconiana, la lunghezza teorica del dipolo è:

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{0.024}{4} = 0.6 m$$

La lunghezza reale deve tener conto di numerosi fattori quali, ad esempio, l'effetto di bordo e il fatto che la corrente nell'antenna non è costante. Per tener conto di tali fattori si può assumere come lunghezza reale circa il 95% di quella teorica. Quindi si ha che:

$$l = 0.6 \cdot 0.95 = 0.57 m$$

Il risultato teorico e pratico non coincidono poiché non si è tenuto conto degli effetti induttivi della bobina JAF1 che provocano un allungamento dell'antenna. Il valore pratico utilizzato per la costruzione dell'antenna nel ricevitore è di 48 cm.

Con un'antenna a stilo è difficile ricevere segnali AM in luoghi chiusi, per questo è possibile sostituirla con un'antenna *ground plane* montata sul tetto di un edificio. Questo tipo di antenna sfrutta il principio dell'antenna immagine, dove l'effetto suolo è creato utilizzando aste in lega di alluminio poste radialmente sulla base dell'antenna. In genere le aste sono quattro e sono collegate a massa, mentre lo stilo centrale è collegato al filo centrale del cavo. A differenza dell'antenna a stilo, la *ground plane* ha un guadagno maggiore pari a 7 dB e una resistenza di radiazione che varia da 50 a 75 Ω . Per avere un buon adattamento di impedenza con il cavo coassiale e una perdita di potenza ridotta, si dovranno disporre i bracci con una inclinazione di -45° , in modo che l'antenna assuma una resistenza di radiazione di 52 Ω , la stessa del cavo coassiale. La lunghezza dello stilo e dei quattro bracci è pari a $\lambda/4$. L'antenna deve essere accordata sulla frequenza centrale dei 125 MHz. Nelle seguenti figure si mostrano le tipiche strutture dell'antenna.



Antenna a stilo



Antenna Ground Plane

Eterodina stadio

Con il termine eterodina si intende l'oscillatore locale che è in grado di generare un segnale a frequenza f_{01} che risulta essere la somma della frequenza di centro banda del preselettore, indicata con f , più la frequenza intermedia presente all'uscita del mixer indicata con f_i .

$$f_{01} = f + f_i$$

Nell'eterodina stadio 1, l'elemento oscillante è rappresentato dalla resistenza R_5 , il [diodo varicap](#) DV1, il condensatore ceramico C12 e dalla bobina L1.

La frequenza di oscillazione è pari a:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L1 \cdot (C12 + C_{DV1})}}$$

dove C_{DV1} è il valore della capacità assunta dal diodo varicap DV1 in corrispondenza della tensione presente ai suoi capi. Quando la tensione V_D ai capi di DV1 aumenta, la sua capacità diminuisce; quando la tensione V_D ai capi di DV1 diminuisce, la sua capacità aumenta. Si può dire, quindi, che la frequenza di oscillazione dell'eterodina stadio 1 è inversamente proporzionale alla capacità assunta dal diodo varicap.

Anche il valore della bobina L1, avvolta in aria, incide sulla frequenza di oscillazione f_0 , infatti il valore di L1 è variabile. In questo caso però, il valore di L1 dipende dalla lunghezza dell'avvolgimento secondo la relazione:

$$L = \frac{r^2 \cdot n^2}{25.4 \cdot (9 \cdot r + 10 \cdot l)}$$

dove L è l'induttanza espressa in μH , **25.4**, **9** e **10** sono delle costanti, r è il raggio del supporto per l'avvolgimento espresso in mm, n il numero di spire ed l la lunghezza dell'avvolgimento espressa in mm. Come è possibile notare, maggiore è la lunghezza della bobina e più si riduce l'induttanza; più piccola è la lunghezza della bobina e maggiore è l'induttanza L .

Eterodina stadio 2

In questo stadio la frequenza di oscillazione è fissa su 10.240 MHz ed è prodotta dal quarzo XTAL1.

Indicando con f_i la frequenza di uscita del convertitore f/f stadio 1 e con f_{02} la frequenza di oscillazione dell'eterodina stadio 2, la frequenza presente all'uscita del mixer f_f è:

$$f_f = f_i - f_{02} = (10.7 - 10.24) \text{ MHz} = 460 \text{ KHz}$$

Modulazione – demodulazione AM

Il ricevitore AM è progettato per ricevere segnali modulati in ampiezza appartenenti alla banda di frequenza 110 – 140 MHz. Lo stadio che effettua la demodulazione di tali segnali è detto **rilevatore di inviluppo** integrato nello ZN416E.

Filtri ceramici e filtro del 2° ordine del circuito d'antenna.

Si chiamano filtri quei circuiti in grado di lasciar passare i segnali di ingresso compresi entro una gamma di frequenze o banda passante prescelta. I segnali che non rientrano in questa banda di frequenze sono bloccati e si dice che il filtro lavora nella banda oscura.

In questo circuito svolgono un ruolo fondamentale i filtri ceramici FC1 e FC2, che sfruttano il loro effetto piezoelettrico per filtrare i segnali posti al loro ingresso. Questi filtri si comportano come dei filtri passa banda, aventi due frequenze di taglio, una inferiore f_i ed una superiore f_s . Se la frequenza del segnale di ingresso è compresa nella banda passante $f_i \div f_s$ l'ingresso e l'uscita coincidono, negli altri casi l'uscita è nulla.

La funzione di questi filtri è quella di eliminare eventuali frequenze, dette frequenze immagine che, avendo la stessa frequenza intermedia dei segnali utili, renderebbero difficile la ricostruzione del segnale AM.

Per questo si è posto per il convertitore f/f stadio 1 un filtro ceramico con frequenza centrale di 10.7 MHz, mentre per il convertitore f/f stadio 2 si è posto un filtro ceramico con frequenza centrale di 455 kHz.

Medesima funzione svolge il filtro di banda del secondo ordine posto nel circuito d'antenna.

I filtri utilizzati sono prodotti dalla ditta **Murata (www.murata.com)** e hanno la seguente sigla:

- 1) **FC1 = 10.7 MHz = 10.7HY M**
- 2) **FC2 = 455 kHz = 55A M X**

Presentazione del progetto

Il progetto completo si presenta come in figura 5.

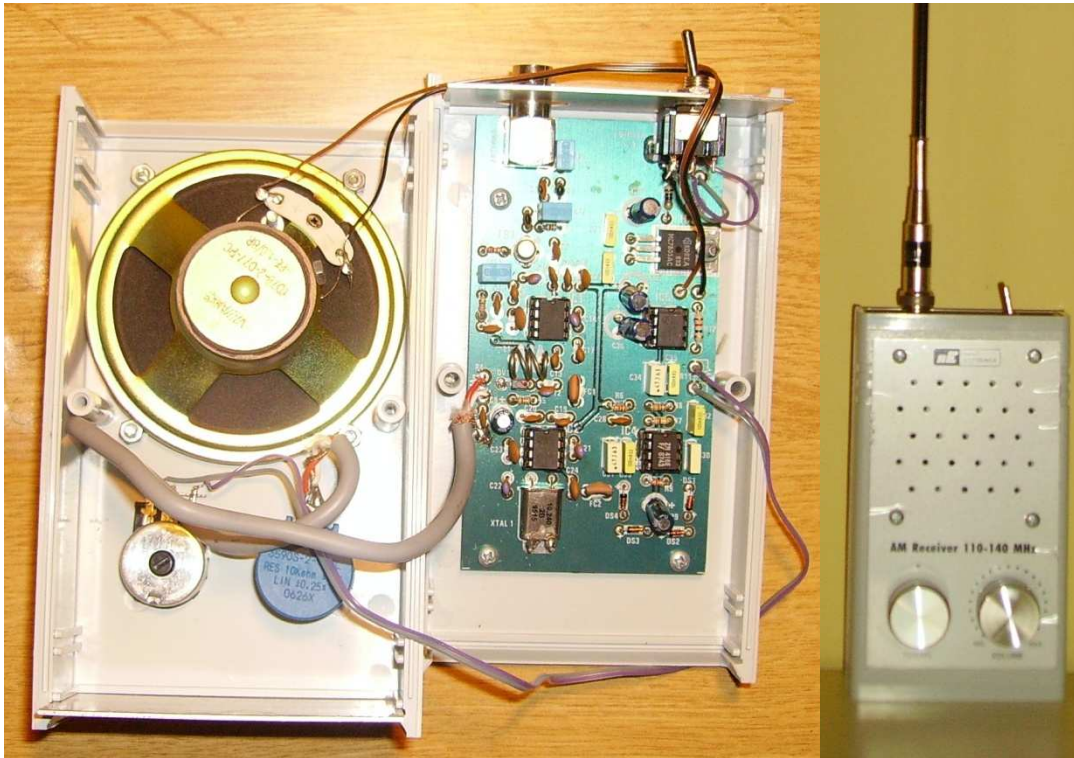


Figura 5. Apparecchio visto dall'interno e dall'esterno

DIODO VARICAP

Il diodo varicap è un dispositivo a due terminali costituito da un giunzione PN contenuta in un involucro plastico o di vetro dal quale fuoriescono i terminali: il terminale collegato alla regione P è l'anodo mentre quello collegato alla regione N è il catodo. Il simbolo elettrico del diodo varicap è quello mostrato in figura 1.

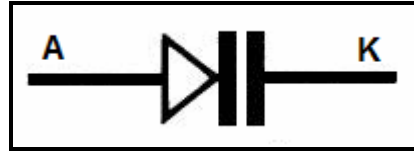


Figura 1. Simbolo elettrico del diodo varicap

Fra il diodo varicap e quello a giunzione esiste una evidente somiglianza nella struttura fisica interna. Infatti qualsiasi diodo a giunzione si comporta, in linea di massima, come un varicap. Generalmente la capacità tipica del varicap è dell'ordine delle centinaia di picofarad. Il comportamento del diodo varicap dipende dalla formazione, nella zona di giunzione, di due strati di cariche elettriche, che si possono assimilare alle due armature di un condensatore. Questi strati sono separati tra loro da una zona d , chiamata "**depletion layer**", ovvero zona di svuotamento. Pertanto la zona d è priva di cariche elettriche e si comporta come un elemento isolante, del tutto assimilabile al dielettrico di un condensatore.

Per sfruttare questa particolare caratteristica del diodo varicap, occorre polarizzarlo inversamente in modo che non conduca corrente, simulando lo stato di isolamento tra le armature di un condensatore reale.

L'elemento che influisce sulla variazione di capacità è la tensione inversa, infatti, man mano che aumenta questa tensione applicata al diodo, la barriera di potenziale si allarga sempre più respingendo con maggior energia le cariche che formano le armature del condensatore, determinando una diminuzione di capacità.

Indicando con V_1 e V_2 le tensioni di polarizzazione inversa e assumendo $V_1 > V_2$, dallo schema di figura 2 si può notare che quando il diodo è inversamente polarizzato con una tensione bassa, la zona di svuotamento d è stretta e la capacità del semiconduttore è elevata. Viceversa, dallo schema 3 si può notare che quando la tensione inversa è alta, la zona d è ampia e il valore capacitivo del diodo è piccolo.

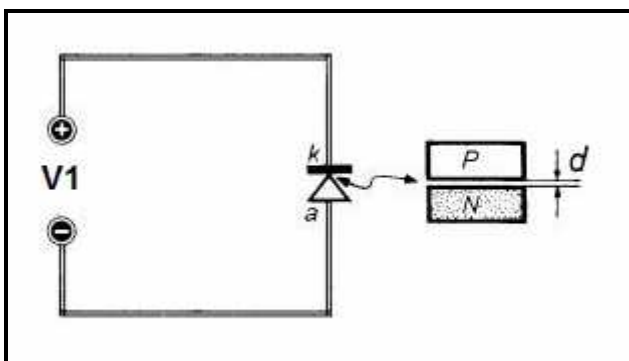


Figura 3. Tensione inversa grande \rightarrow d piccolo

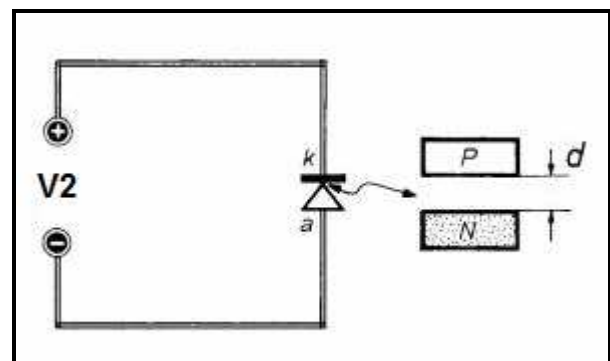


Figura 4. Tensione inversa piccola \rightarrow d grande

In definitiva variando opportunamente la tensione inversa, applicata fra anodo e catodo del diodo varicap, si ottengono valori capacitivi diversi ed il varicap si comporta come un condensatore variabile.

[INDIETRO](#)

MODULAZIONE DI AMPIEZZA

In un sistema di trasmissione dati, i blocchi fondamentali su cui ci soffermarsi sono il TRASMETTITORE, il CANALE DI COMUNICAZIONE ed il RICEVITORE.

Il trasmettitore, indicato con TX, ha il compito di adattare opportunamente il messaggio da trasmettere al canale di comunicazione, in gergo tecnico, ha il compito di MODULARE.

Per poter trasmettere il segnale, l'apparecchio trasmettitore genera, attraverso oscillatori sinusoidali, un segnale di frequenza f_p chiamato PORTANTE.

La MODULANTE, cioè l'informazione utile, modifica uno dei parametri elettrici della portante come l'ampiezza, la frequenza e la fase, dando origine ad un segnale detto MODULATO.

Il canale di comunicazione può essere un supporto fisico (cavi, doppino telefonico, cavo coassiale, ecc) oppure lo spazio libero.

Trasmesso il segnale, il ricevitore ha il compito di captarlo ed estrarre l'informazione utile. Questo avviene tramite la DEMODULAZIONE, che consiste nell'amplificare il segnale ricevuto e di eliminare la portante, rigenerando l'informazione originaria.

Modulare in ampiezza significa variare l'ampiezza del segnale portante in maniera direttamente proporzionale all'ampiezza istantanea del segnale modulante. Di solito il segnale portante è di tipo sinusoidale avente un'elevata frequenza. In figura 1 sono rappresentate le forme d'onda del segnale modulante, del segnale portante e del segnale modulato in ampiezza.

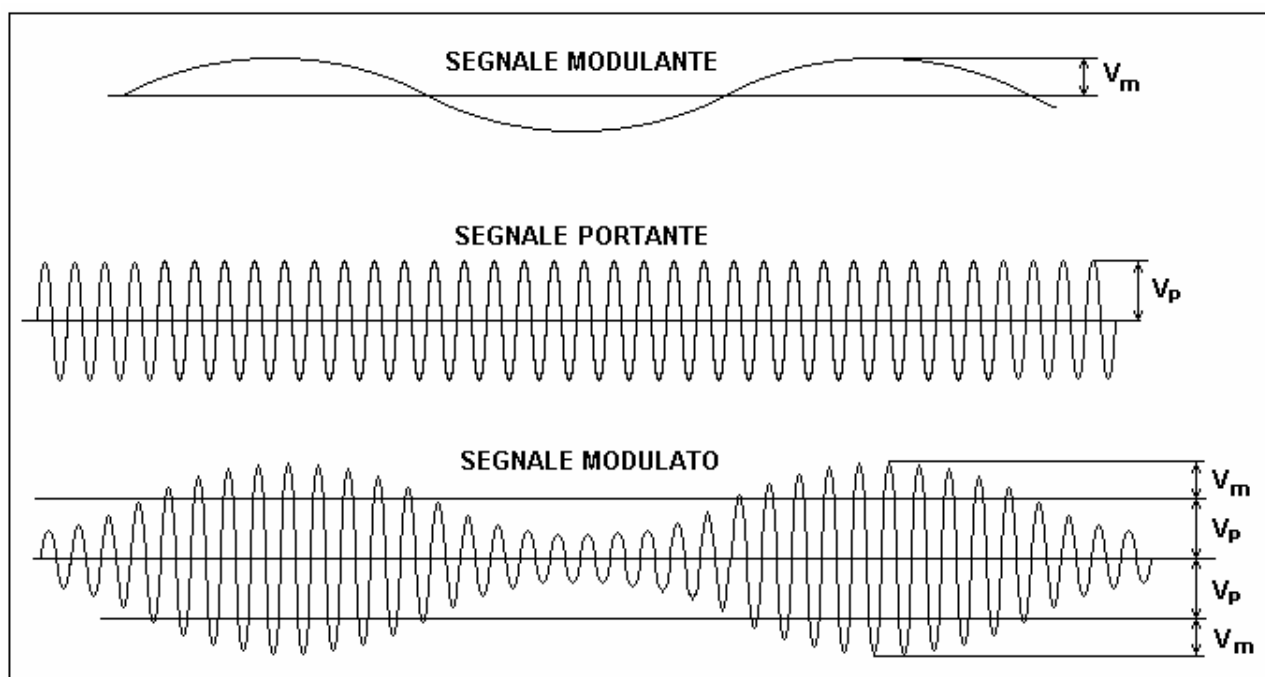


Figura 1. Forme d'onda del segnale modulante, portante e modulato

Analisi matematica

La seguente formula rappresenta la portante:

$$v_p(t) = V_p \cdot \cos \omega_p t \quad [1]$$

Prendendo in considerazione un segnale di tipo sinusoidale, la formula della modulante viene espressa come di seguito:

$$v_m(t) = V_m \cdot \cos \omega_m t \quad [2]$$

In ogni caso, la frequenza dei due segnali non è la stessa poiché la pulsazione ω_p è molto maggiore della pulsazione ω_m .

Il segnale modulato quindi assumerà la seguente espressione:

$$v(t) = (V_p + K_a \cdot V_m \cdot \cos \omega_m t) \cdot \cos \omega_p t \quad [3]$$

dove K_a è una costante di proporzionalità che dipende dalle caratteristiche elettriche del modulatore.

La precedente formula si può anche esprimere nel seguente modo:

$$v(t) = V_p \left(1 + \frac{K_a \cdot V_m}{V_p} \cdot \cos \omega_m t \right) \cdot \cos \omega_p t \quad [4]$$

Assumendo il valore

$$\frac{K_a \cdot V_m}{V_p} = m_a \quad [5]$$

si ha che:

$$v(t) = V_p (1 + m_a \cdot \cos \omega_m t) \cdot \cos \omega_p t \quad [6]$$

dove m_a è definita come **profondità di modulazione**.

Questo valore deve essere minore di 1 affinché i picchi del segnale modulato seguano lo stesso andamento dell'informazione trasmessa. Nel caso in cui m_a è maggiore di 1, il segnale $v(t)$ è in sovr modulazione; ciò comporta l'introduzione di distorsioni e l'impossibilità di ricostruire fedelmente il segnale trasmesso. Per evitare questo, nella pratica si imposta $m_a \cong 0,4$.

In figura 2 si mostrano i casi in cui m_a assume il valori 0, 0.5, 1 e valori maggiori di 1.

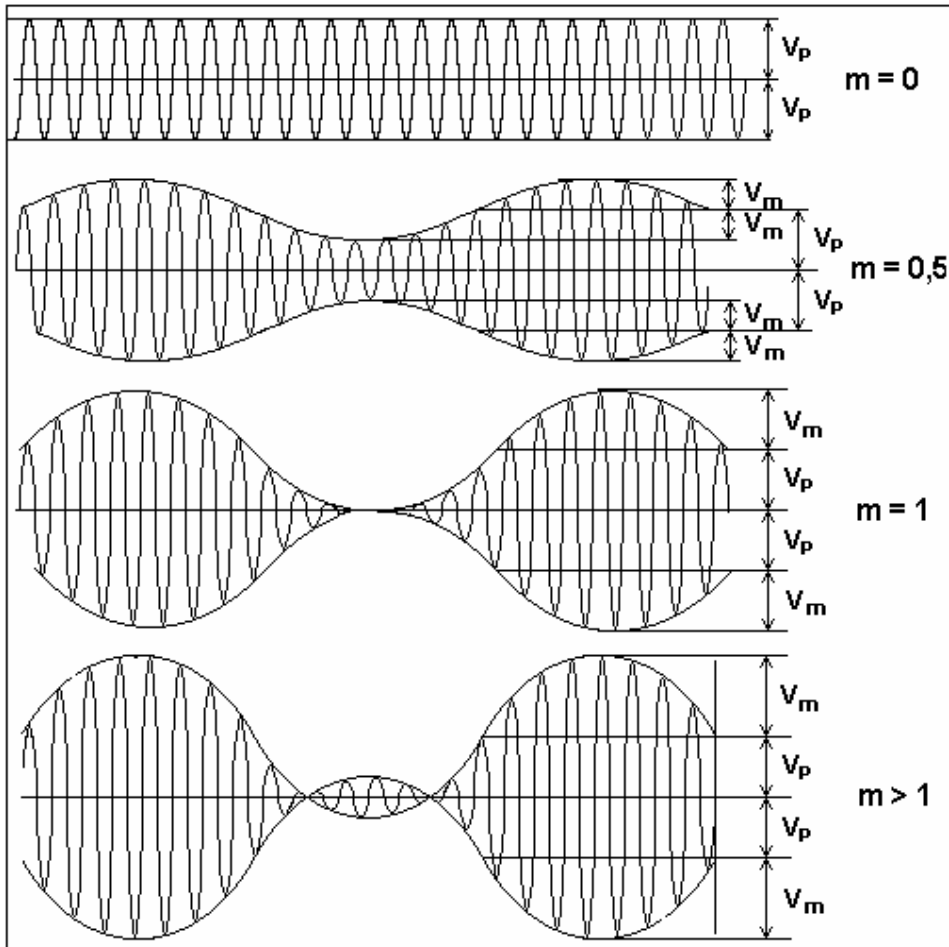


Figura 2. Andamento temporale di $v(t)$ per vari valori di m_a

Sviluppando la 6 si ha che:

$$v(t) = V_P \cdot \cos \omega_p t + m_a V_P \cdot \cos \omega_m t \quad [7]$$

Se alla 7 si applica la formula di Werner, che esprime il prodotto di funzioni sinusoidali in somme, si ha:

$$v(t) = V_P \cos \omega_p t + \frac{m_a V_P}{2} \cdot \cos(\omega_p - \omega_m) \cdot t + \frac{m_a V_P}{2} \cdot \cos(\omega_p + \omega_m) \cdot t \quad [8]$$

La precedente relazione mostra che un segnale modulato in ampiezza è costituito da una portante e da due componenti cosinusoidali chiamate righe o anche BANDE LATERALI.

Per proseguire con l'analisi è necessario introdurre il concetto di sviluppo in serie di Fourier. Lo sviluppo in serie di Fourier stabilisce che una funzione periodica $f(t)$ di periodo T è possibile scomporla nella somma di segnali sinusoidali, dette **armoniche**, aventi frequenza multipla di quella del segnale fondamentale $f(t)$.

In figura 3 si mostra lo spettro di frequenza del segnale modulante, portante e modulato. Si può notare come l'operazione di modulazione ha dato luogo ad una traslazione di frequenza della banda base con frequenza f_m .

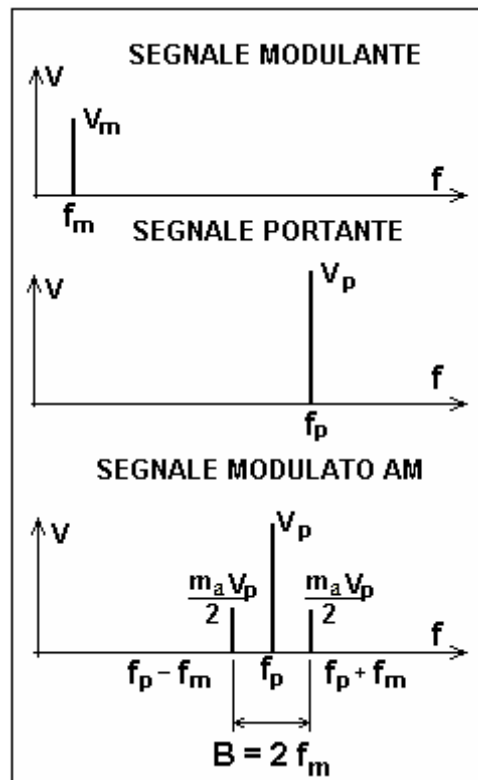


Figura 3. Spettro di frequenza della portante, modulante e portante.

In figura 4 si riporta lo spettro del segnale modulato rappresentato, come si è solito fare in campo telefonico, con dei triangoli rettangoli. Tale spettro si estende fra una f_{min} e una f_{max} . La modulazione di ampiezza ha generato due bande, denominate BANDA LATERALE INFERIORE e BANDA LATERALE SUPERIORE.

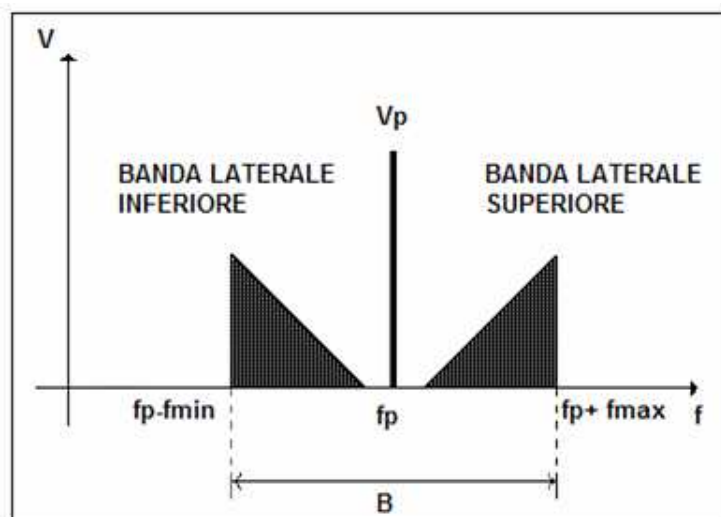


Figura 4. Spettro del segnale modulato

La larghezza di banda del segnale modulato sarà:

$$B = (f_p + f_{max}) - (f_p - f_{max}) = 2f_{max} \quad [9]$$

Nella pratica il valore della larghezza di banda è fissato su 10 kHz per le trasmissioni radiofoniche AM, mentre le frequenze della portante per la radiodiffusione sono comprese fra 540 e 1600 kHz ed è possibile avere, quindi, 100 commutazioni contemporanee.

Potenza e rendimento di un segnale modulato

Supponendo che la resistenza di uscita del circuito modulatore sia R, la potenza totale del segnale modulato sarà la somma della potenza associata alle due bande più quella associata al segnale portante. Ciò viene espresso dalla seguente formula:

$$P_{tot} = P_p + P_{bi} + P_{bs} \quad [10]$$

dove P_{tot} è la potenza totale, P_p è la potenza della banda portante, P_{bi} e P_{bs} sono rispettivamente la potenza della banda inferiore e superiore.

Sapendo che la potenza è pari a:

$$P = \frac{V_{eff}^2}{R} \quad [11]$$

la 10 assume la seguente forma:

$$P_{tot} = \frac{V_p^2}{2R} + \frac{m_a^2 \cdot V_p^2}{8R} + \frac{m_a^2 \cdot V_p^2}{8R} \quad [12]$$

Si definisce **rendimento di conversione** il rapporto tra potenza associata ad una banda e la potenza totale:

Il rendimento vale::

$$\eta = \frac{P_b}{P_{tot}} \quad [13]$$

Dopo aver sostituito P_b e P_{tot} con i valori ricavati nella 12, la precedente uguaglianza assume la seguente forma:

$$\eta = \frac{m_a^2}{2(2 + m_a^2)} \quad [14]$$

Si deduce che il rendimento di conversione dipende dalla profondità di modulazione; nel caso massimo in cui $m_a = 1$, il rendimento vale:

$$\eta = 16,7\%$$

Demodulazione di ampiezza

Un circuito ampiamente utilizzato per la demodulazione AM è il **rilevatore d'involuppo a diodo**.

In figura 5 si riporta lo schema elettrico .

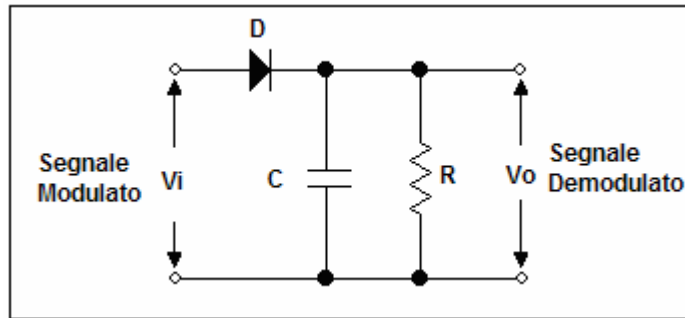


Figura 5. Rilevatore d'involuppo a diodo

Quando i picchi positivi del segnale V_i si presentano sull'anodo del diodo D , quest'ultimo si porta in conduzione e il condensatore C si carica velocemente sulla piccola resistenza del diodo. Quando si presentano i picchi negativi di V_i sull'anodo del diodo, quest'ultimo è interdetto e il condensatore si scarica sulla resistenza R . Il valore della costante di tempo $\tau = RC$ è molto importante. Se questa è molto grande il condensatore si scarica lentamente sulla resistenza R ; al contrario, se τ è molto piccolo, il condensatore si scarica velocemente sulla R . Ma in entrambi i casi, il segnale di uscita V_o non segue l'andamento del segnale modulato. Si dimostra che il valore di RC deve rispettare la seguente espressione:

$$RC = \frac{\sqrt{1 - m_a^2}}{2\pi f_{\max} m_a} \quad [15]$$

dove f_{\max} è la massima frequenza assunta dal segnale modulante.

Se la profondità di modulazione m_a è pari al 40%, nella [15] m_a^2 può essere trascurato. Quindi si può scrivere che:

$$RC \cong \frac{1}{2\pi f_{\max} m_a} \quad [16]$$

Generalmente si assume $R = 100 \text{ k}\Omega$ e $C = 1.2 \text{ nF}$.

In figura 6 si riportano le tipiche forme d'onda del rivelatore ad involuppo.

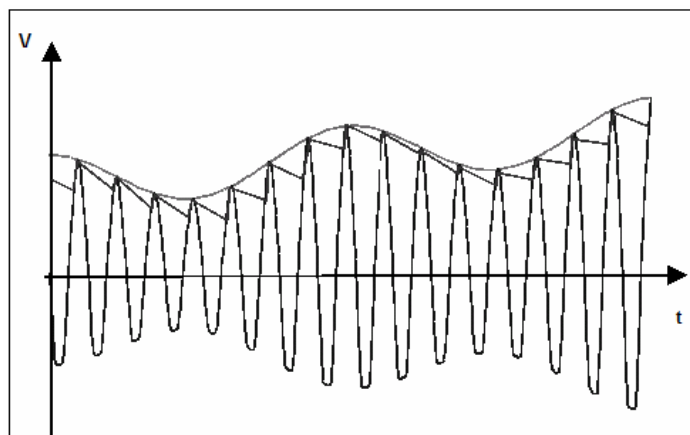


Figura 6. Forme d'onda del rivelatore ad involuppo

[INDIETRO](#)

ALTOPARLANTI

Gli altoparlanti sono dispositivi che convertono l'energia elettrica in energia acustica. L'elemento principale di un altoparlante è la **membrana**, che viene fatta vibrare per mezzo di un segnale elettrico producendo così un'onda sonora.

Per **onda sonora** si intende una vibrazione meccanica dell'aria che viene percepita dall'orecchio umano. Le vibrazioni dell'aria equivalgono ad una successione di compressione e rarefazione che agendo su un oggetto, lo fa vibrare.

I parametri del suono sono:

- **Altezza** – valore della frequenza con cui si susseguono la compressione e la rarefazione. Si possono avere suoni alti o suoni bassi;
- **Intensità** – valore massimo di ampiezza raggiunto dalla pressione e dalla depressione. Si possono avere suoni forti o deboli;
- **Timbro** – grandezza attraverso la quale è possibile distinguere due suoni aventi stessa altezza e intensità. Il timbro dipende dal contenuto armonico dell'onda sonora.

È utile dire che la velocità di propagazione del suono è diversa a seconda del mezzo. Dalla formula seguente si deduce che la velocità di propagazione v dipende dalla frequenza f e dalla lunghezza λ dell'onda sonora:

$$v = \lambda \cdot f$$

L'intensità sonora si misura in W/m^2 ed esprime la quantità di energia che attraversa la superficie di $1 m^2$.

L'intensità sonora può anche essere espressa nel seguente modo:

$$I = \frac{P^2}{\rho \cdot v}$$

dove P è la pressione espressa in Pascal [Pa], ρ è la densità (per l'aria a $25^\circ C$: $\rho = 1.18 \text{ kg/m}^3$) e v è la velocità di propagazione del suono [m/s].

Esprimendo l'intensità sonora in decibel, questa assume la seguente forma:

$$IL = 10 \log \frac{I}{I_{ref}}$$

dove IL è il livello di intensità sonora, I è il valore dell'intensità sonora e I_{ref} è la soglia di udibilità, ovvero il minimo livello percettibile dall'uomo, che è pari a $10^{-12} W/m^2$.

I parametri caratteristici di un altoparlante sono:

- **Sensibilità;**
- **Direttività;**
- **Risposta in frequenza;**
- **Potenza;**
- **Efficienza;**
- **Distorsione armonica.**

La **sensibilità** è il livello sonoro **SPL** espresso in decibel e dipende dal rapporto tra la pressione **P** esercitata dall'altoparlante alla distanza di 1 m quando viene alimentato con una potenza di 1 W alla frequenza di 1 kHz e sapendo che la pressione **P_{ref}** di riferimento è pari a $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. La sensibilità si esprime nel seguente modo:

$$SPL = 20 \log \frac{P}{P_{ref}}$$

La **direttività** esprime la diversa intensità sonora emessa dall'altoparlante nelle diverse direzioni.

Un altoparlante può essere o unidirezionale o bidirezionale o omnidirezionale.

La **risposta in frequenza** rappresenta la sensibilità dell'altoparlante nelle diverse frequenze. Essa è fortemente influenzata dalla dimensione della membrana, pertanto gli altoparlanti piccoli rispondono meglio alle alte frequenze, mentre gli altoparlanti grandi rispondono meglio alle basse frequenze. In base a questo si distinguono altoparlanti:

- Tweeter (per alte frequenze);
- Midrange (per medie frequenze);
- Woofer (per basse frequenze).

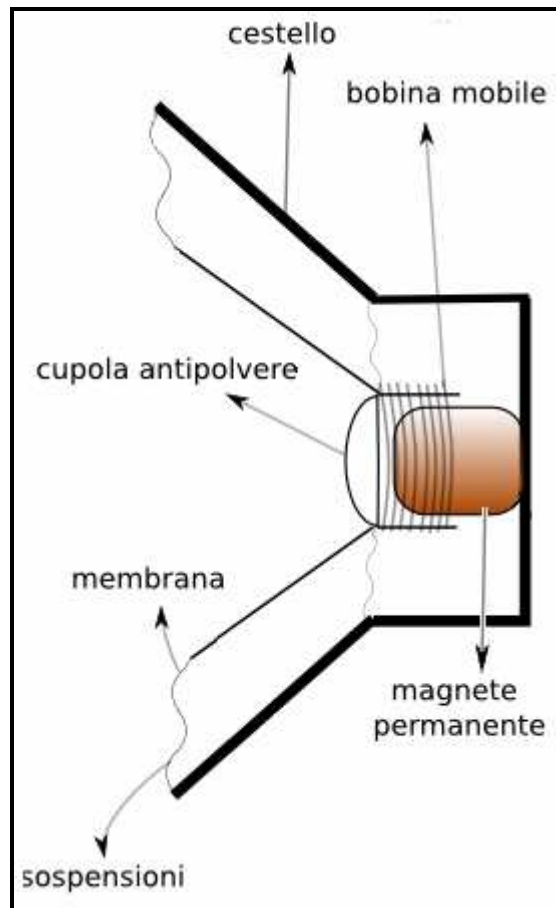
La **potenza** rappresenta la massima potenza elettrica applicabile all'altoparlante per un tempo indeterminato senza che essa provochi il danneggiamento del dispositivo.

L'**efficienza**, indicata con η , è il rapporto fra la potenza irradiata **W_R** e la potenza di alimentazione **W_E**:

$$\eta = \frac{W_R}{W_E}$$

La **distorsione armonica** riguarda la forma dell'onda prodotta dal dispositivo. Essa può essere o meno fedele a quella del segnale elettrico di ingresso.

Uno dei più comuni altoparlanti è quello a bobina mobile riportato in figura. L'elemento principale è la membrana a forma di tronco di cono che è collegata ad una bobina capace di muoversi all'interno di un magnete permanente. Quando la bobina è sottoposta a delle variazioni di corrente provocate dal segnale elettrico, essa si muove facendo vibrare la membrana.



[INDIETRO](#)