

UN MODEM FSK UNIVERSALE

=====

1. Introduzione

I modem sono senz'altro un argomento trattato e ritrattato da tutte le riviste per radioamatori. Tanti anni fa, nell'era delle valvole e delle telescriventi meccaniche il modem, ovvero solo demodulatore per ricevere la RTTY, era sinonimo di circuiti strani contenenti delle grosse bobine toroidali, condensatori di precisione e indicatori di sintonia con tubi da oscilloscopio. Contemporaneamente al progresso nei altri settori dell'elettronica, i grossi toroidi ormai difficilmente reperibili nel surplus sono stati sostituiti da amplificatori operazionali, i costosi CRT da oscilloscopio con dei LED e la rumorosissima telescrivente con una silenziosa interfaccia video, che con una ventina di integrati trasformava il segnale RTTY in un testo leggibile sullo schermo di un TV monitor. Con la diffusione dei computer-videogiochi a basso costo e apparsa anche una marea di "scatolini", interfacce non meglio specificate per ricevere e trasmettere di tutto, dalla RTTY al Packet Radio e alla SSTV. Non mancano neanche programmi che fanno tutto da soli, senza scatolini aggiuntivi, utilizzando la porta per il registratore a cassette del computer.

Quasi tutte le soluzioni proposte anno per anno dei difetti: sembra che gli autori si sono preoccupati soltanto di realizzare qualcosa col minimo sforzo e costo, senza badare alla qualità del risultato. Quasi tutti i modem (o programmi) per la RTTY funzionano bene in collegamenti locali, però si bloccano immediatamente alla presenza di tracce di rumore, QSB o QRM da altre stazioni. Inoltre, le regolazioni dei comandi dei apparati ricetrasmittenti sono criticissime. Tutto questo spiega il perché molti radioamatori, dopo l'entusiasmo iniziale, hanno accantonato questo sistema di comunicazioni.

In teoria la trasmissione in RTTY dovrebbe avere una portata notevole anche in condizioni avverse e senz'altro superiore alla trasmissione di voce in SSB. Prove pratiche fatte con apparecchi adatti confermano pienamente la teoria. In questo articolo descriverò un modem in grado di avvicinarsi ai limiti teorici come portata e insensibilità ai disturbi.

Il modem è inteso come un'interfaccia tra il ricetrasmittente e la porta seriale RS-232 del computer. Il modem riceve un segnale audio dal ricevitore, lo elabora e lo invia al computer come il segnale RX DATA (RS-232). In trasmissione, il segnale TX DATA (RS-232) proveniente dal computer viene trasformato in un segnale audio ed inviato all'ingresso microfonic del trasmettitore. Le linee di controllo della porta RS-232 vengono utilizzate per le funzioni secondarie ovvero: comando ricezione / trasmissione (PTT del RTX) da parte del computer tramite il segnale RTS (RS-232). Nella direzione opposta, il ricevitore o il modem informano il computer della presenza di un valido segnale all'ingresso (squelch o carrier detect) tramite il segnale CD (RS-232).

Nell'articolo vengono descritte tre versioni del modem: RTTY toni bassi 1275/1445Hz, RTTY toni alti 2125/2295Hz e BELL-202 1200/2200Hz. Le prime due versioni sono adatte per basse velocità (fino a 110 baud) mentre la terza è adatta per velocità fino a 1200 baud. Il modem comprende due circuiti quasi indipendenti: il demodulatore e il modulatore.

2. Demodulatore

Lo schema a blocchi del demodulatore e mostrato in Fig.1. Il demodulatore comprende un preamplificatore dotato di AGC per adattarsi immediatamente al livello del segnale d'ingresso, due filtri attivi passabanda, sintonizzati sulle frequenze dei due toni RTTY, due rivelatori a onda intera e due filtri attivi passabasso.

Il preamplificatore dotato di AGC e mostrato in Fig.3. Il segnale audio proveniente dal ricevitore puo avere un'ampiezza compresa tra qualche decina di mV e qualche V e viene fatto passare per una semplice rete RC per limitare i disturbi fuori gamma: ronzio alternata 50 Hz o rientri di radiofrequenza. Segue un attenuatore con un mosfet (BF981) usato come resistenza variabile. Il segnale viene poi amplificato dal operazionale 709, la rete resistiva fissa il guadagno di questo stadio a circa 100. All' uscita dell' operazionale e collegato anche un rivelatore col diodo 1N4148 e transistor BC308 che incomincia ad agire quando l' ampiezza del segnale audio all' uscita dell' operazionale supera 1.2 Vpp circa. Il BC308 carica il condensatore da 470nF sui gates del BF981 aumentando di conseguenza l' attenuazione introdotta.

I due filtri attivi passabanda e relativi rivelatori sono mostrati in Fig.4. Ogni filtro comprende tre amplificatori operazionali, due dei quali sono utilizzati come integratori e il terzo come amplificatore invertente. Rispetto ai schemi con uno o due operazionali, il filtro a tre operazionali a il vantaggio di non richiedere componenti di precisione e di essere poco critico per la taratura.

Ovviamente ogni versione del modem richiede dei filtri diversi: le frequenze centrali dei filtri devono corrispondere alle frequenze dei toni utilizzati e la larghezza di banda passante ovvero il Q dei filtri deve corrispondere alla velocita di trasmissione in baud. I valori senza parentesi su Fig.4 corrispondono alla versione toni bassi 1275/1445Hz, i valori tra parentesi () corrispondono alla versione toni alti 2125/2295Hz e infine i valori tra parentesi quadre [] corrispondono alla versione BELL-202 1200/2200Hz.

I due rivelatori a onda intera sfruttano la presenza dello stadio invertitore di fase gia presente nei filtri, i due operazionali in uscita servono ad abbassare e stabilizzare l' impedenza d' uscita. Le uscite dei due rivelatori sono disponibili su TP1 e TP2 per la taratura dei filtri attivi.

Nei due filtri attivi e relativi rivelatori sono utilizzati in totale 8 amplificatori operazionali contenuti in due circuiti integrati del tipo 324.

La somma dei segnali provenienti dai due rivelatori viene inviata a un filtro attivo passabasso per eliminare i resti delle frequenze portanti (vedi Fig.5). L' uscita pilota anche un eventuale indicatore di sintonia. Segue una cella RC passaalto che a delle funzioni diverse nelle tre versioni del modem. Nei demodulatori RTTY a bassa velocita serve a compensare parzialmente lievi errori di sintonia e/o effetti del fading selettivo. Nella versione BELL-202 serve a correggere la forma d' onda dei impulsi distorta dai filtri precedenti.

Il segnale digitale viene ricavato con un amplificatore-limitatore costruito con un altro operazionale. Visto che l' alimentazione dei operazionali e a +/- 12V, il livello del segnale d' uscita corrisponde benissimo ai

livelli logici dello standard RS-232. Un terzo operazionale viene usato per invertire la polarità del segnale per permettere una facile e rapida selezione della polarità del segnale d'uscita con un semplice deviatore.

Il demodulatore comprende anche un circuito di squelch, chiamato "carrier detect" nei modem. Il circuito proposto semplicemente rivela la presenza di uno o entrambi i toni sulle uscite dei rivelatori. Visto che le uscite sono di polarità opposta e necessario considerare la differenza per ottenere la somma dei due segnali. Il circuito funziona nonostante la presenza dell'AGC all'ingresso del demodulatore: nel caso di un cattivo rapporto segnale / disturbo l'AGC aggiusta il guadagno in modo che la somma di tutti i segnali, compresi i disturbi, è costante. I segnali alle uscite dei filtri perciò calano e a un certo punto il "carrier detect" si sgancia. Notate che il circuito del "carrier detect" non è più operativo quando il demodulatore viene preceduto da un filtro a banda stretta, per esempio il filtro per il CW di un buon ricevitore.

Tutti gli amplificatori operazionali del demodulatore vengono alimentati con due tensioni: +12V e -12V rispetto alla massa. Visto che buona parte dei apparati (sia RTX che computer) richiede soltanto una tensione di alimentazione, conviene generare i -12V direttamente sulla scheda dove servono dai +12V disponibili. Uno schema molto semplice, ma efficiente e con l'uscita stabilizzata, è mostrato in Fig.6. I due transistor sono collegati da formare un oscillatore, l'energia accumulata nella bobina da 470uH viene scaricata tramite i due diodi 1N4148 in parallelo per ottenere una tensione negativa. Quando quest'ultima raggiunge i -12V, l'oscillatore viene bloccato tramite il zener da 12V.

3. Modulatore

Lo schema a blocchi del modulatore è mostrato in Fig.2. Il modulatore comprende una parte logica, un VCO e un generatore d'onda sinusoidale "a gradini".

Generando un segnale FSK non è sufficiente stabilire le frequenze dei due toni, e altrettanto importante che i due toni sono sincronizzati al momento della commutazione. Non rispettando quest'ultima condizione si hanno i seguenti svantaggi: 1) la trasmissione contiene dei "clicks" di commutazione occupando una parte dello spettro molto più ampia del necessario e disturbando di conseguenza gli altri utilizzatori, 2) il segnale diventa difficilmente demodulabile, specialmente alle alte velocità, ovvero molto più sensibile ai disturbi. Per ovviare a questi inconvenienti, la sinusoide del secondo tono deve partire esattamente dallo stesso punto o fase dove finisce la sinusoide del primo tono.

Il metodo più semplice per generare un segnale che corrisponde alle richieste sopraesposte è di utilizzare un VCO che funziona su un multiplo della frequenza d'uscita e pilota un contatore, alle uscite del quale è collegato un generatore di sinusoide "a gradini", come mostrato in Fig.7.

Come VCO viene utilizzato un 4046, che funziona a una frequenza 10 volte superiore alla frequenza d'uscita. Il segnale del VCO è disponibile su TP3 in fase di taratura. Il VCO pilota un contatore 4017, alle uscite del quale è collegata una rete di resistenze per ottenere una sinusoide a

10 gradini. Invertendo quattro uscite del 4017 la rete di resistenze assume dei valori "facili" per generare la sinusoide. Segue un filtro attivo passabasso per "arrotondare" i scalini della forma d'onda generata ottenendo una sinusoide quasi perfetta. L'ampiezza del segnale audio in uscita si aggira su alcune centinaia di mV, adatti a pilotare l'ingresso microfonico di un RTX.

La parte logica del modulatore comprende un traslatore di livello RS-232 / TTL (integrato 75154), delle porte EX-OR (74LS86) per selezionare la polarità dei vari segnali tramite ponticelli e/o commutatori sul pannello frontale e due buffer "open-collector" da 300mA massimi ciascuno (75452) per pilotare l'ingresso PTT (rele RX / TX) del RTX. L'ingresso AUX e la relativa uscita si possono impiegare per qualsiasi scopo, per esempio per manipolare, tramite il computer, l'ingresso per il tasto CW del RTX.

Tutti i circuiti del modulatore sono alimentati a 5V stabilizzati, ottenuti con un 7805, per evitare slittamenti del VCO.

4. Costruzione e taratura

I circuiti del modem, il demodulatore e il modulatore, sono costruiti ognuno sul suo proprio circuito stampato a faccia singola, vedi Fig.9 e Fig.10. Le relative disposizioni dei componenti sono mostrate in Fig.11 e Fig.12. I valori dei componenti corrispondono alla versione RTTY toni bassi 1275/1445Hz poiché riportando i valori per tutte e tre le versioni lo schema diventava illeggibile!

Trattandosi di un circuito a bassa frequenza la scelta dei componenti non dovrebbe dare problemi. L'unico particolare importante è che tutti i condensatori impiegati nei filtri, dai valori compresi tra 1nF e 1uF, NON DEVONO ESSERE CERAMICI! I condensatori ceramici di questi valori anno dei coefficienti termici molto alti: la loro capacità può raddoppiare o dimezzare per una variazione della temperatura ambiente di poche decine di gradi! Anche come tolleranze di costruzione i condensatori ceramici dai valori superiori a 10nF circa sono garantiti soltanto da -20 a +100%. È vero che i condensatori ceramici sono insostituibili nei circuiti a radiofrequenza e per il disaccoppiamento delle alimentazioni dei circuiti logici, viste le elevate tolleranze sono però inutilizzabili là dove è necessaria la precisione e la stabilità delle caratteristiche.

Per la taratura conviene costruire prima il modulatore che servirà come generatore di segnali per la taratura del demodulatore. Servendosi di un frequenzimetro digitale collegato su TP3 agire sui due trimmer del VCO per ottenere i toni desiderati. Nel caso il 4046 abbia delle tolleranze eccessive può rendersi necessario cambiare anche il condensatore del VCO.

Nel demodulatore è necessario tarare i due filtri passabanda per la massima risposta sulla frequenza desiderata, misurando la tensione rivelata su TP1 o TP2. Notate che i rivelatori anno le uscite di polarità opposta, perciò su TP1 si otterrà un massimo negativo e su TP2 un massimo positivo.

La scelta delle frequenze dei toni dipende dalle vostre esigenze operative. Operando con RTX in SSB le frequenze dei

toni non hanno importanza, basta che rientrino nella banda passante audio del RTX e che la loro differenza sia uguale a 170Hz. Facendo dei esperimenti in VHF utilizzando RTX in FM e invece necessario utilizzare le stesse frequenze del vostro corrispondente.

Senzaltro vi sarete chiesti piu di una volta: chi a inventato le cifre strane come 1445Hz o 2295Hz? Nella tecnica professionale venivano usati due standard per fare un multiplex di canali telegrafici in un canale telefonico. Lo standard europeo (50baud) usava frequenze che sono multipli dispari di 60Hz (shift a 120Hz), lo standard americano (45.45baud) usava invece multipli dispari di 85Hz (shift a 170Hz). Per le trasmissioni via radio e stato adottato lo standard americano. Visto che 20 anni fa non esistevano ricevitori per radioamatori con filtri a quarzo utilizzabile per la RTTY, la scelta cadeva su una coppia di frequenze audio sopra i 2kHz: 2125Hz e 2295Hz per lo shift a 170Hz. Con la diffusione dei RTX SSB con filtro a quarzo le due frequenze utilizzate cadevano sul limite superiore della banda passante audio del RTX dando a volte dei problemi. Percio si e scelta una nuova coppia di frequenze, 1275Hz e 1445Hz, che cadeva nel centro della gamma utile dei RTX odierni.

Sulle foto, Fig.13, Fig.14 e Fig.15 sono visibili le tre versioni del modem. Solo la versione "RTTY toni bassi" dispone dell' indicatore di sintonia, visto che le altre due vengono usate prevalentemente in VHF con RTX FM, dove una precisa sintonia non e necessaria. Sul pannello frontale trovano posto due commutatori per invertire la polarita di trasmissione e di ricezione e un potenziometro per regolare il livello di modulazione, visto che alcuni miei RTX non dispongono del comando MIC GAIN. Il livello di modulazione va regolato con cura: a nulla vale generare una sinusoide perfetta nel modem se poi si satura il trasmettitore! Il potenziometro dispone anche di un interruttore, utilizzato per prevenire accidentali passaggi in trasmissione non voluti.

5. Conclusioni

I modem descritti nell' articolo sono stati utilizzati per diverso tempo, non di rado in condizioni di severo QRM e cattivo rapporto segnale / disturbo. Gli esperimenti dimostrano che una trasmissione a 50baud e ancora perfettamente ricevevole con pochi errori quando la voce in SSB diventa completamente incomprensibile. Mentre con i modem mal progettati il filtro CW puo essere di buon aiuto, col modem descritto il filtro CW serve a ben poco: soltanto nel caso di una fortissima interferenza a poche centinaia di Hz dal segnale ricevuto.

La versione BELL-202 e stata utilizzata anche per ricevere i satelliti UoSAT-OSCAR-9 e UoSAT-OSCAR-11, che trasmettono con lo standard KCS: ASCII 1200baud, toni 1200Hz e 2400Hz sincroni, modulazione NBFM della portante a 145.825MHz. (I segnali provenienti dai satelliti radioamatoriali sono deboli per definizione!) I risultati ottenuti, specialmente con UO-11, sono molto vicini a quelli ottenuti con il demodulatore coerente di G3RUH, progettato su misura per ricevere i UoSAT.

Con l' avvento del packet-radio sono apparsi anche dei modem in un singolo integrato, prodotti da diverse ditte. Tutti questi modem facili da usare, anche se non troppo

economici, anno il difetto di essere stati progettati per impieghi diversi e non sono sempre adattabili alle esigenze radioamatoriali. Dovremo perciò per sempre saldare assieme tonnellate di resistenze, condensatori e amplificatori operazionali per avere il modem che ci serve? Per fortuna no, sull' orizzonte già appare una tecnica completamente nuova!

L' idea sta nel realizzare le funzioni del modem non più con componenti elettronici come resistenze, condensatori e operazionali, bensì risolvere il problema in modo completamente matematico con un computer adatto. Il segnale audio proveniente dal RX viene campionato da un convertitore A/D e il demodulatore viene realizzato completamente in software. Per un normale modem RTTY o BELL-202 sono richieste circa 200,000 operazioni matematiche al secondo e questo spiega perché un modem del genere non è realizzabile con un videogioco con microprocessore a 8bit e nemmeno con un IBM-PC compatibile (il coprocessore matematico non serve). La tecnologia marcia veloce, specialmente nel campo dei computer, e sul mercato sono già disponibili dei microprocessori chiamati Digital Signal Processors (DSP) in grado di svolgere diversi milioni di operazioni al secondo permettendo anche modem molto più complessi in un singolo chip. Anche con i microprocessori standard più evoluti a 16bit si riesce già a fare qualcosa.

Personalmente ho sperimentato i equivalenti matematici dei modem descritti su un MC68010 (con clock a 10MHz) ottenendo risultati uguali se non migliori delle realizzazioni a componenti discreti. La complessità e il costo della realizzazione sono per adesso fuori portata di un radioamatore medio, però sono convinto che ne riparleremo tra non molto!

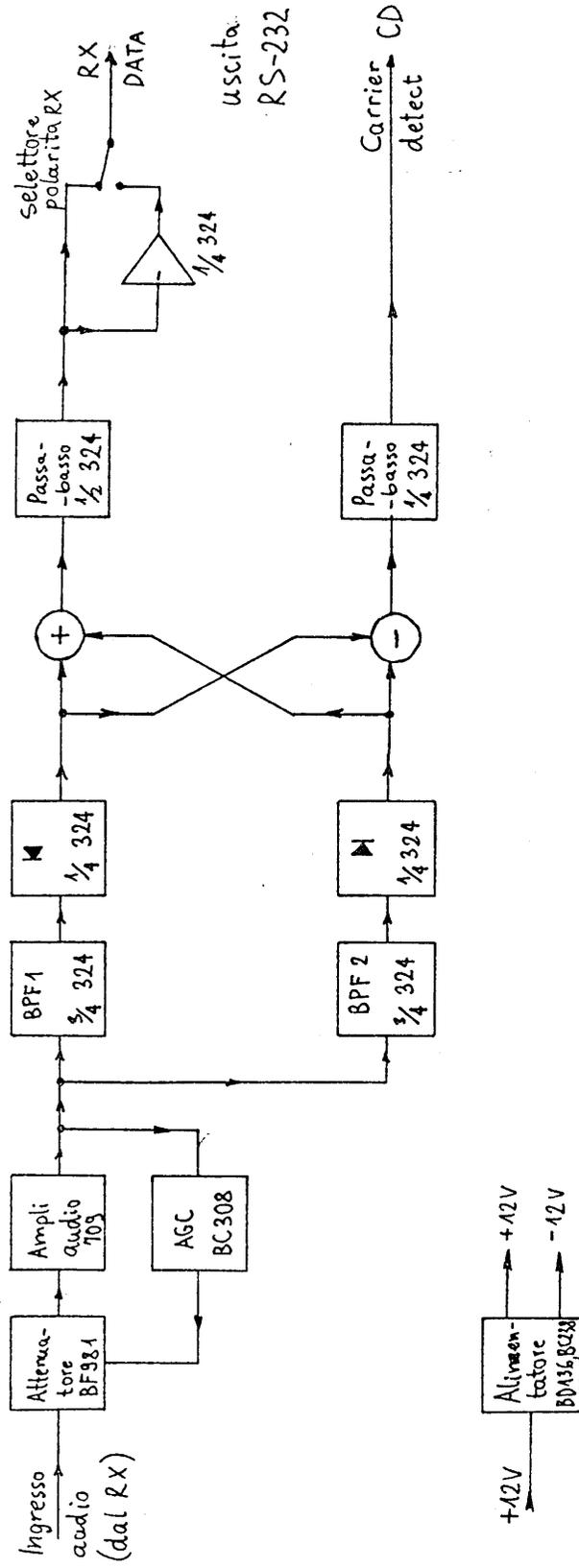


Fig. - 1. - Modem universale, schema a blocchi del demodulatore.

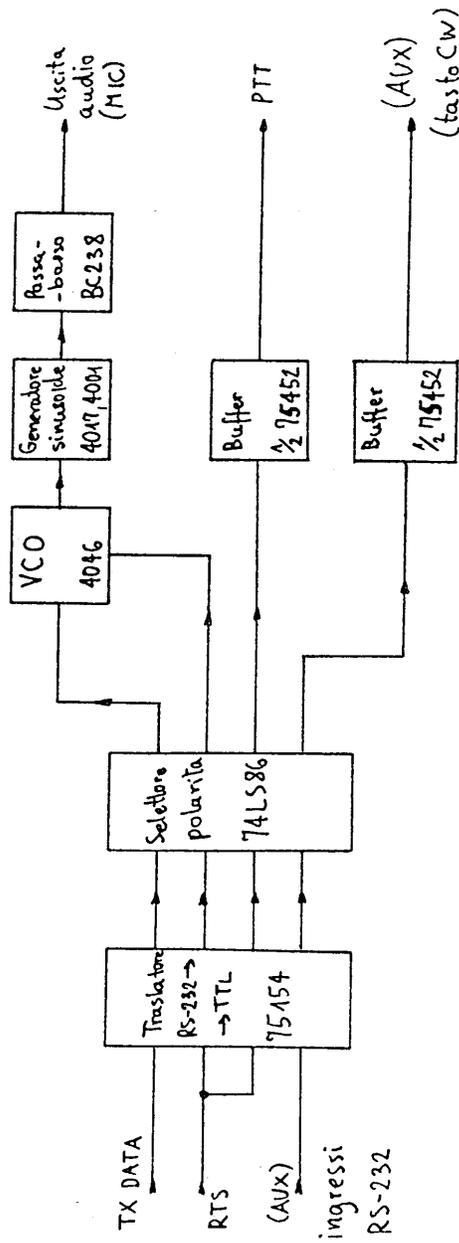


Fig. 2 - Modem universale, schema a blocchi del modulatore.

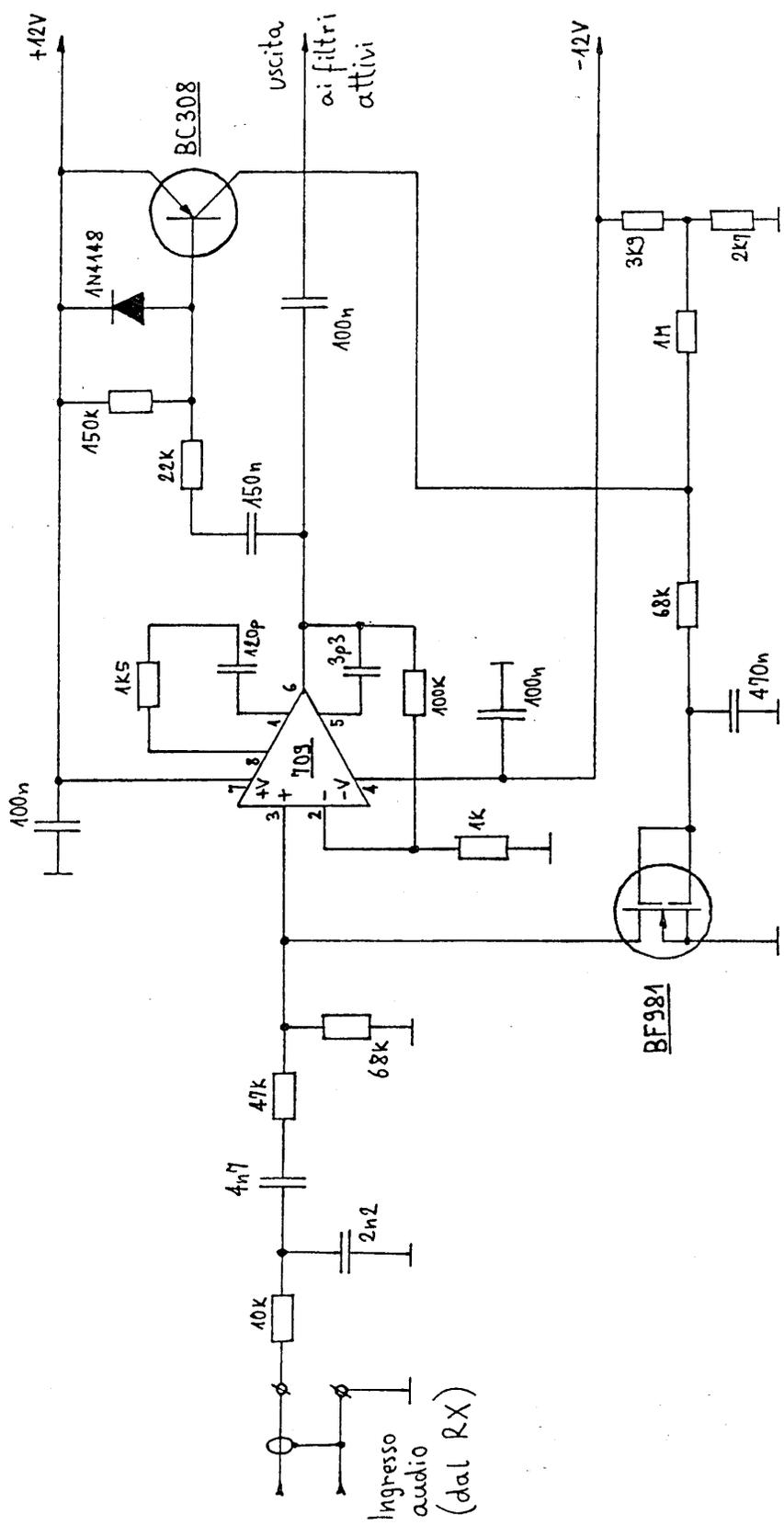


Fig. 3 - Modem universale, demodulatore, preamplificatore e AGC.

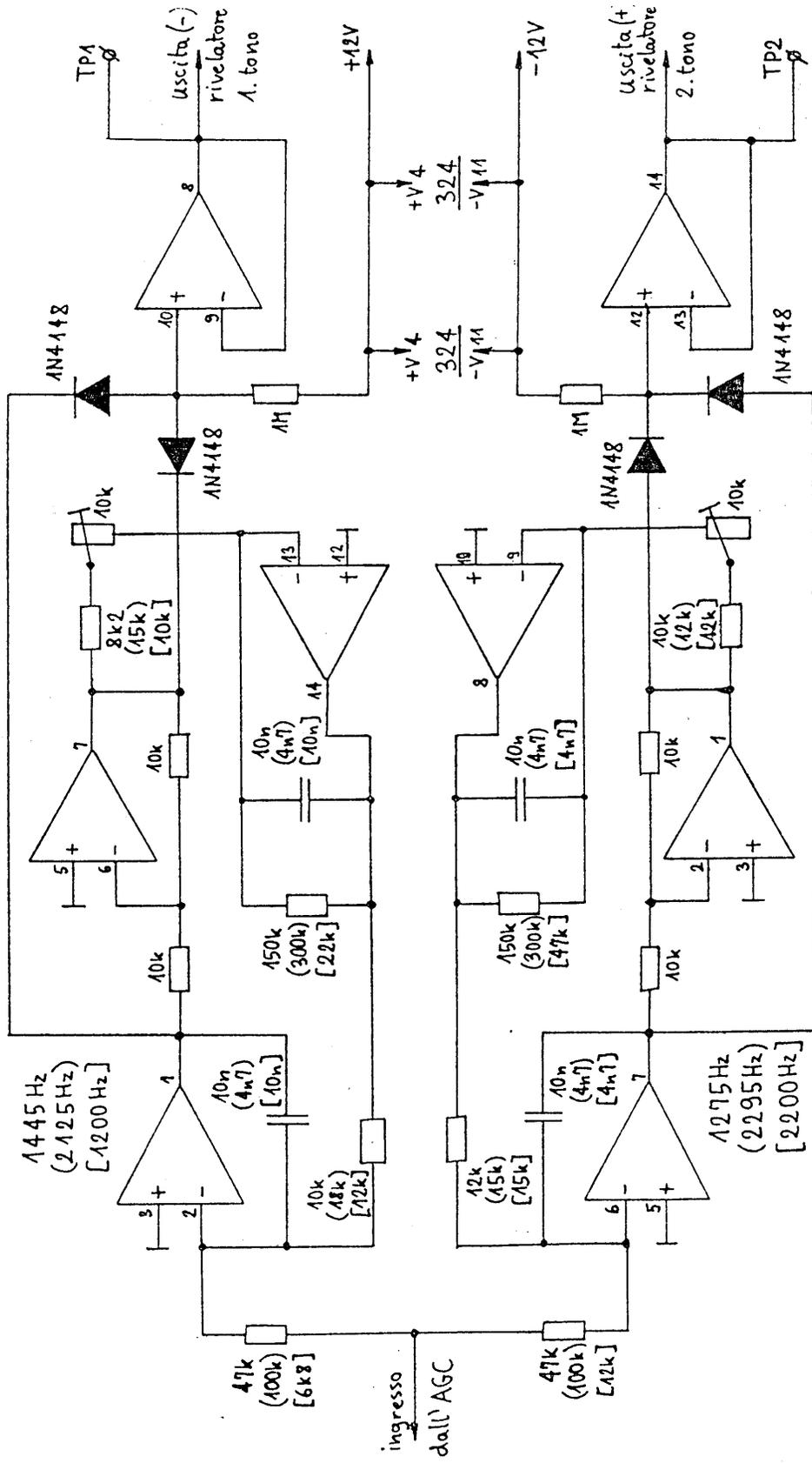


Fig. 4 - Modem universale, demodulatore, filtri attivi e rivelatori.

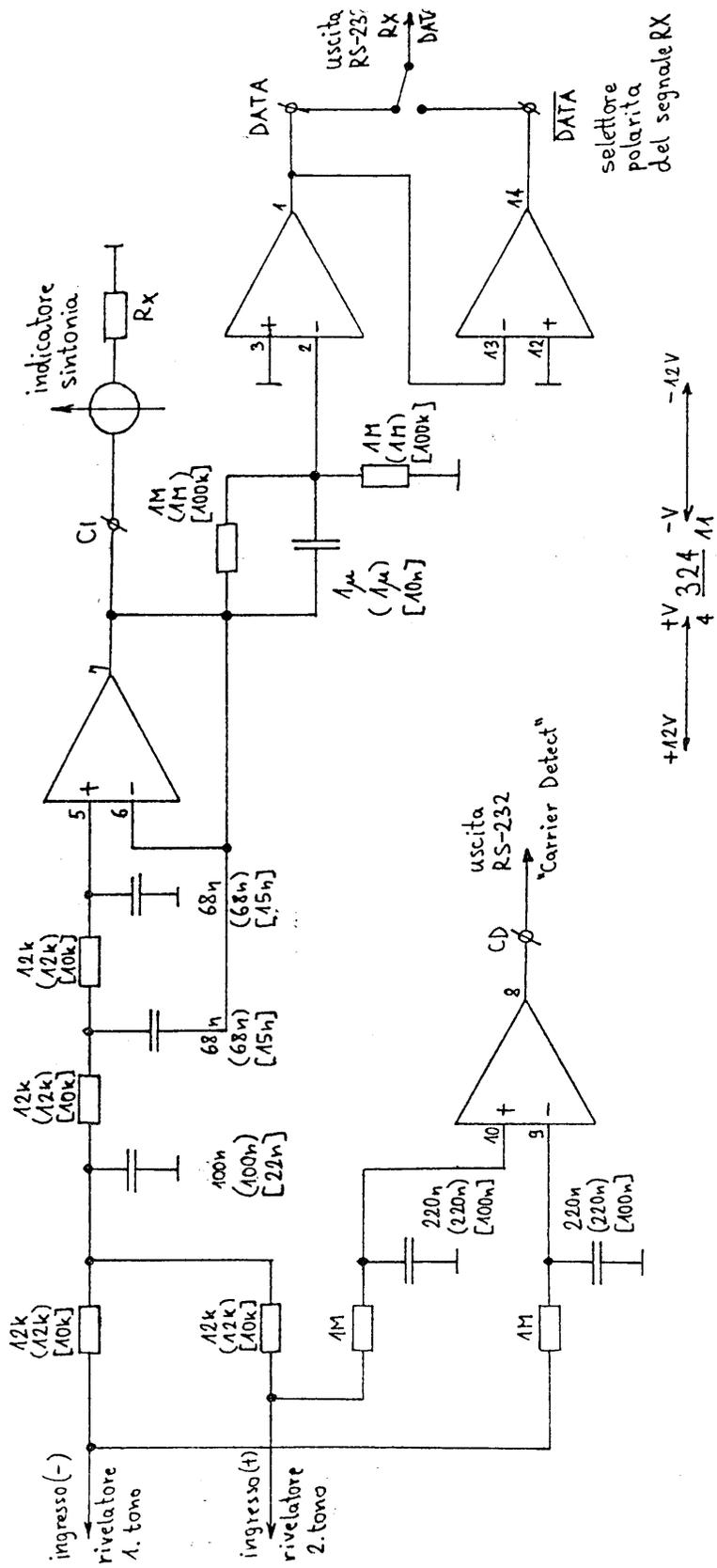


Fig. 5 - Modem universale, demodulatore, passa-basso e traslatore livelli RS-232.

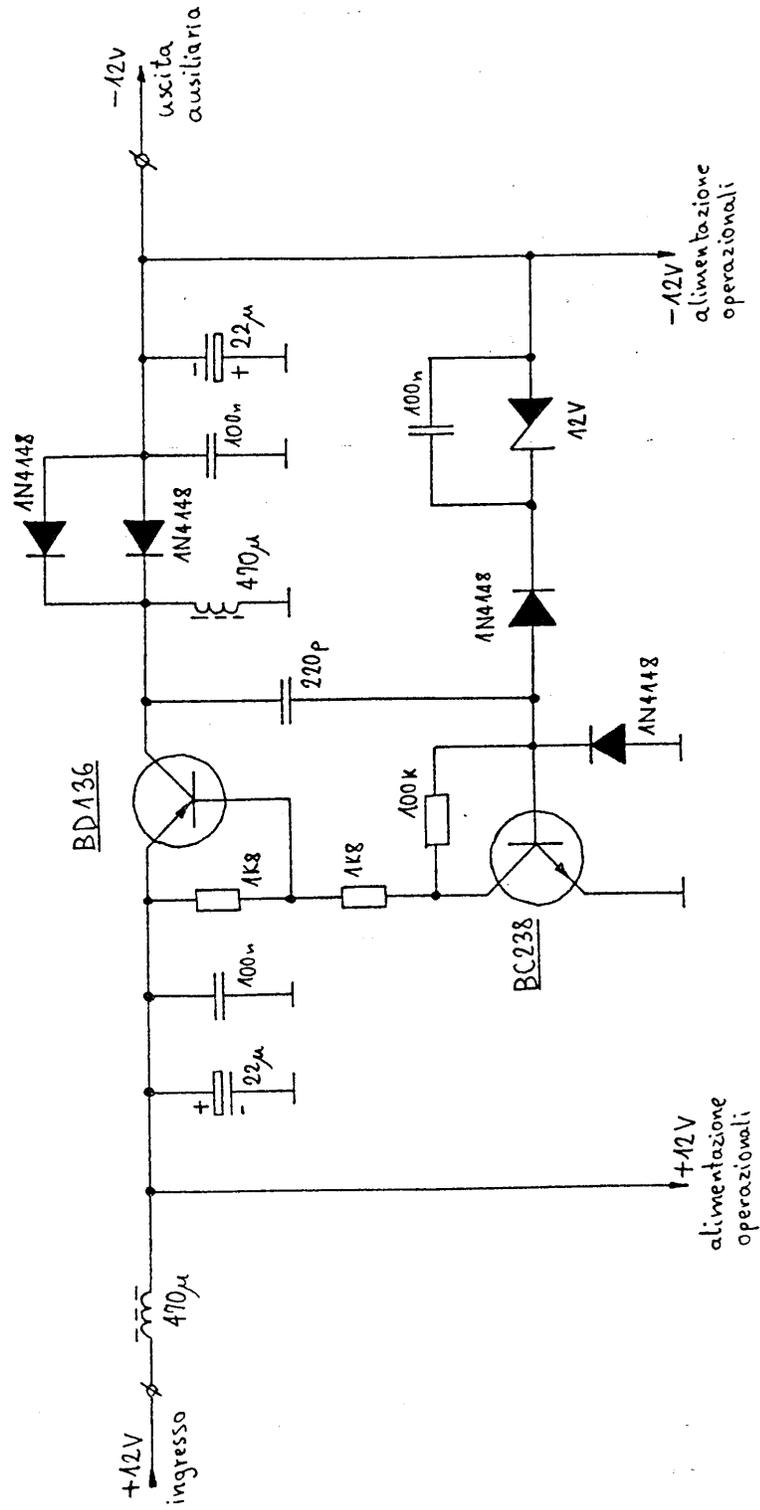


Fig. 6. - Modem universale, demodulatore, alimentazione.

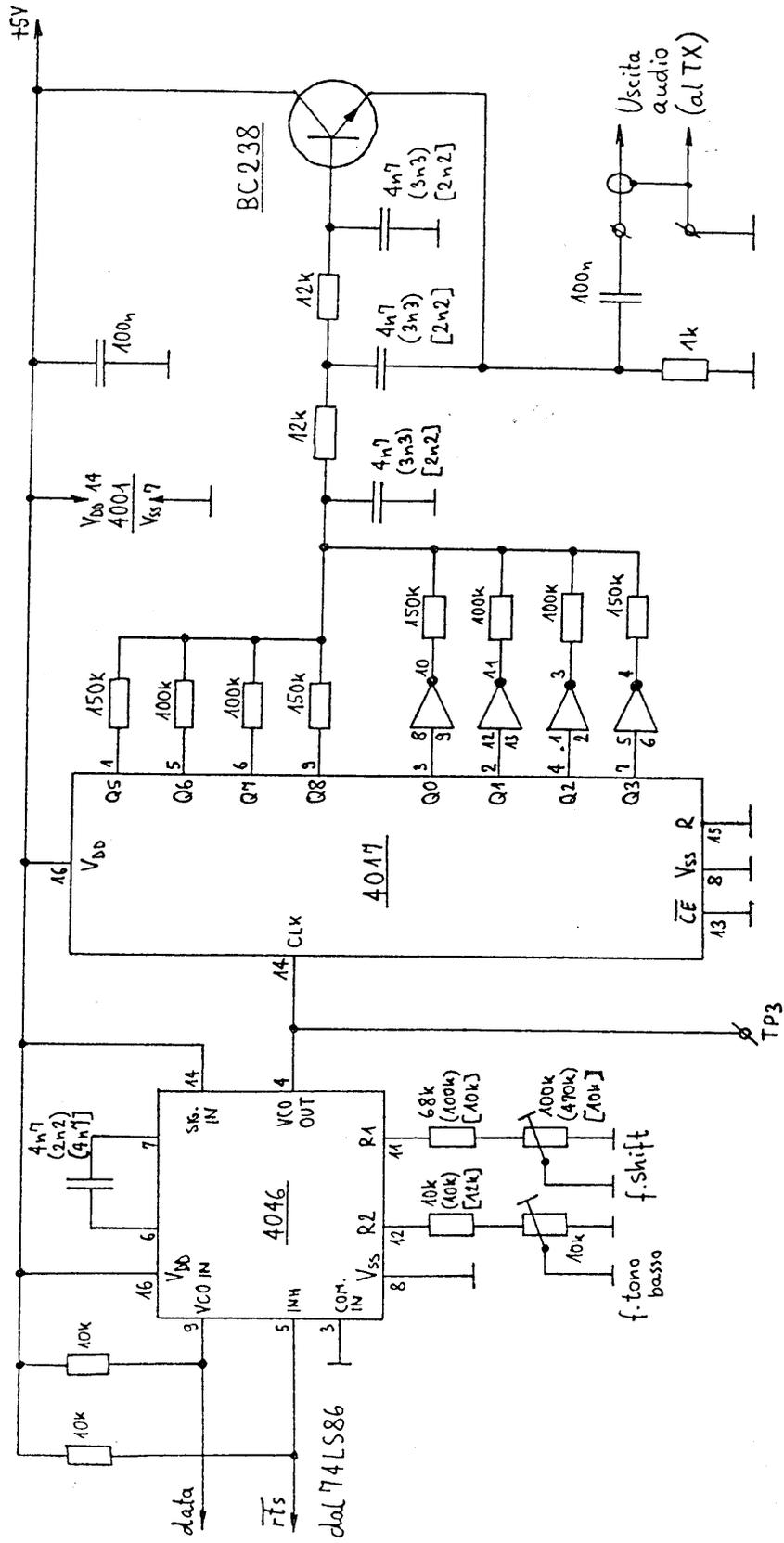


Fig. 7 - Modem universale, modulatore, VCO.

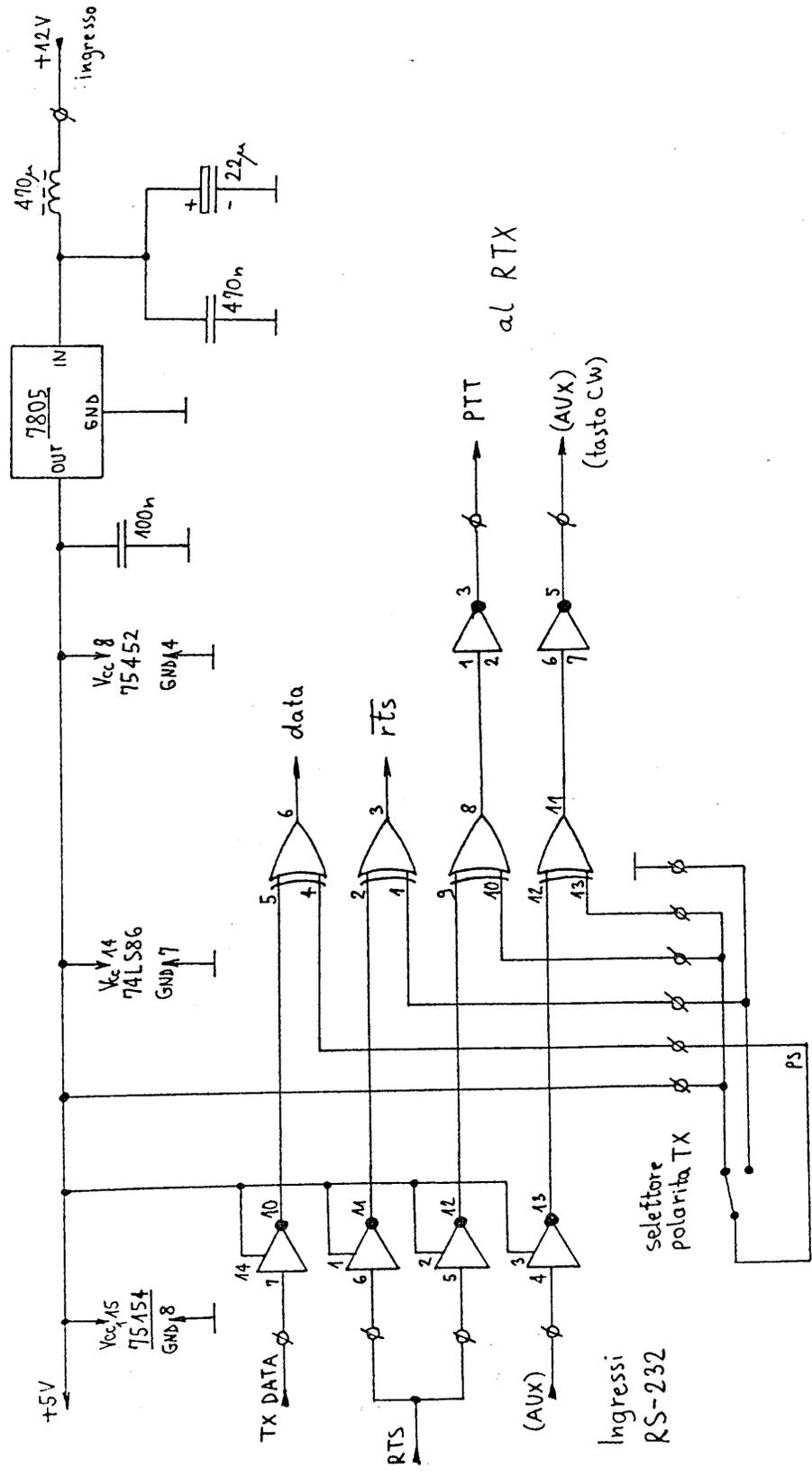


Fig. 8 - Modem universale, modulatore, segnali di controllo.

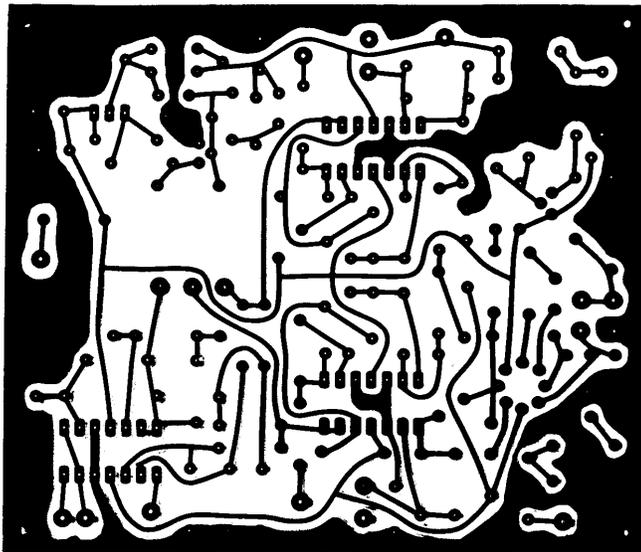


Fig. 9 - Modem universale, circuito stampato del demodulatore.

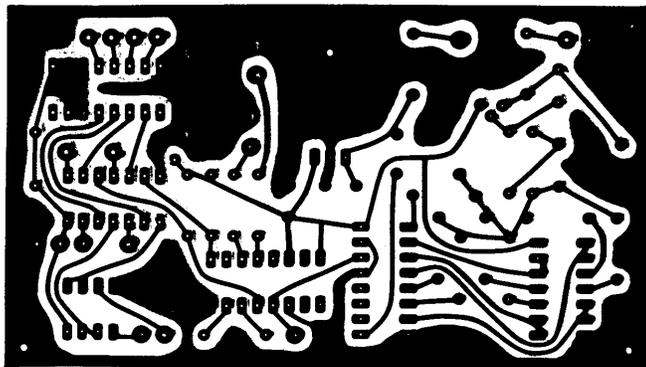


Fig. 10 - Modem universale, circuito stampato del modulatore.

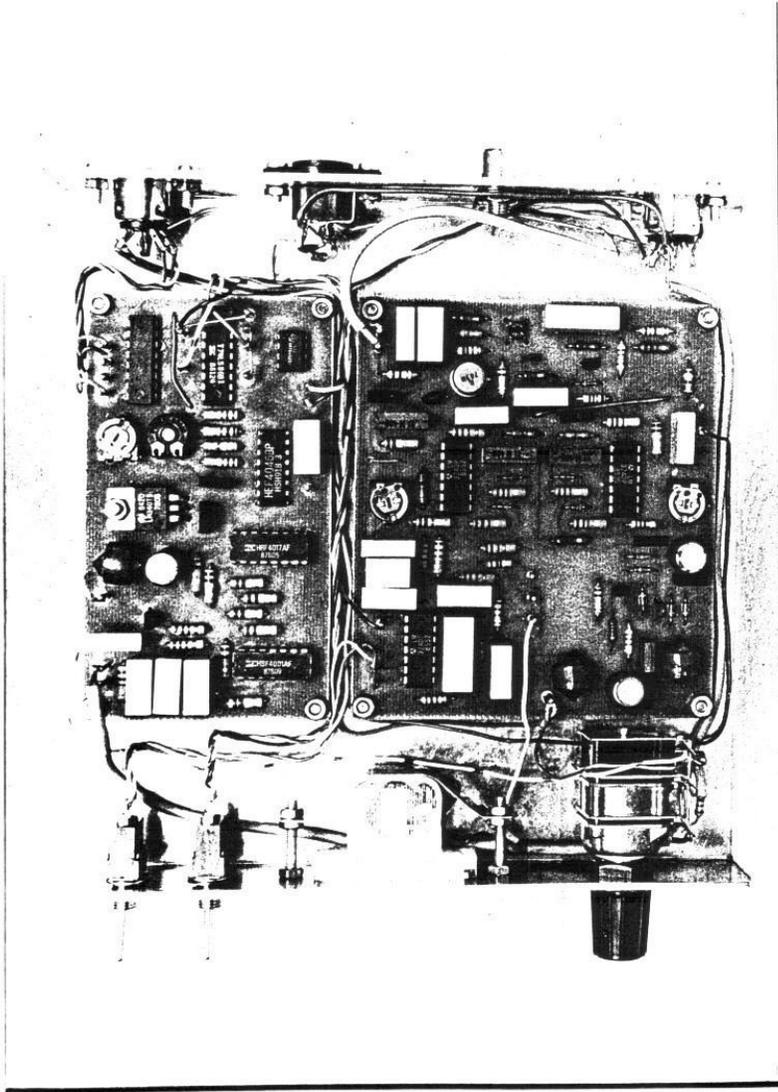


Fig. 13 -Modem universale , versione toni bassi 1275/1445 Hz con indicatore di sintonia.

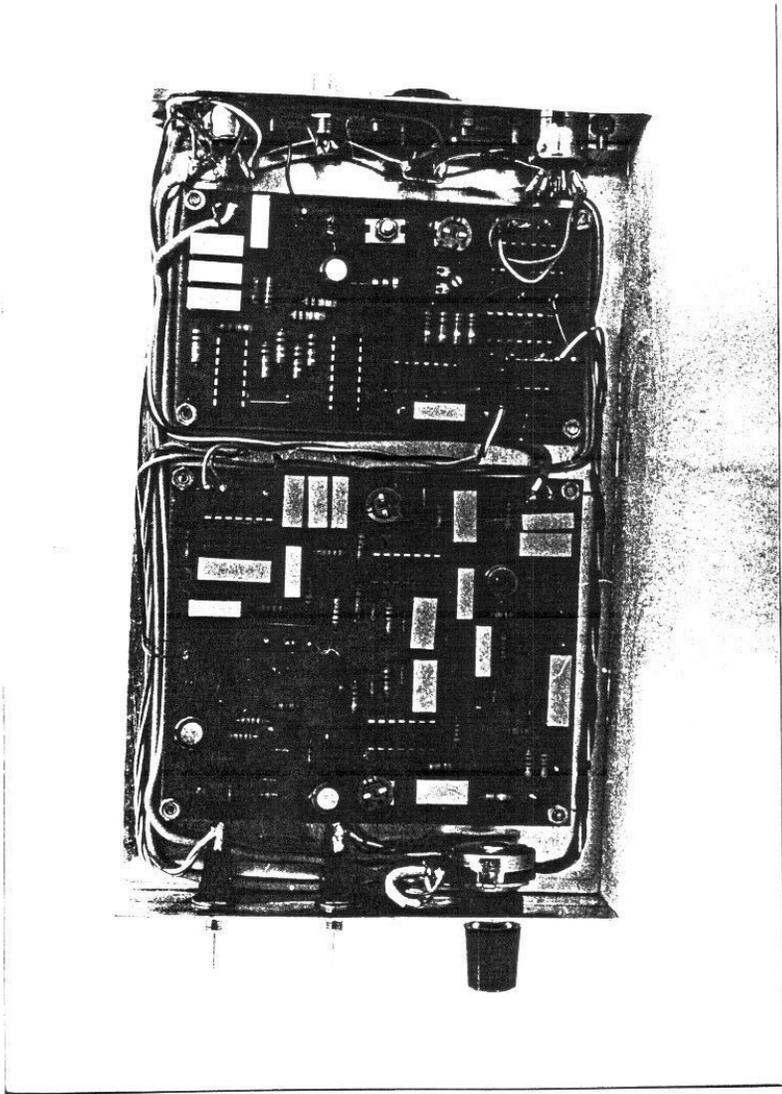


Fig. 14 -> Modem universale, versione toni alti 2125/2295 Hz.

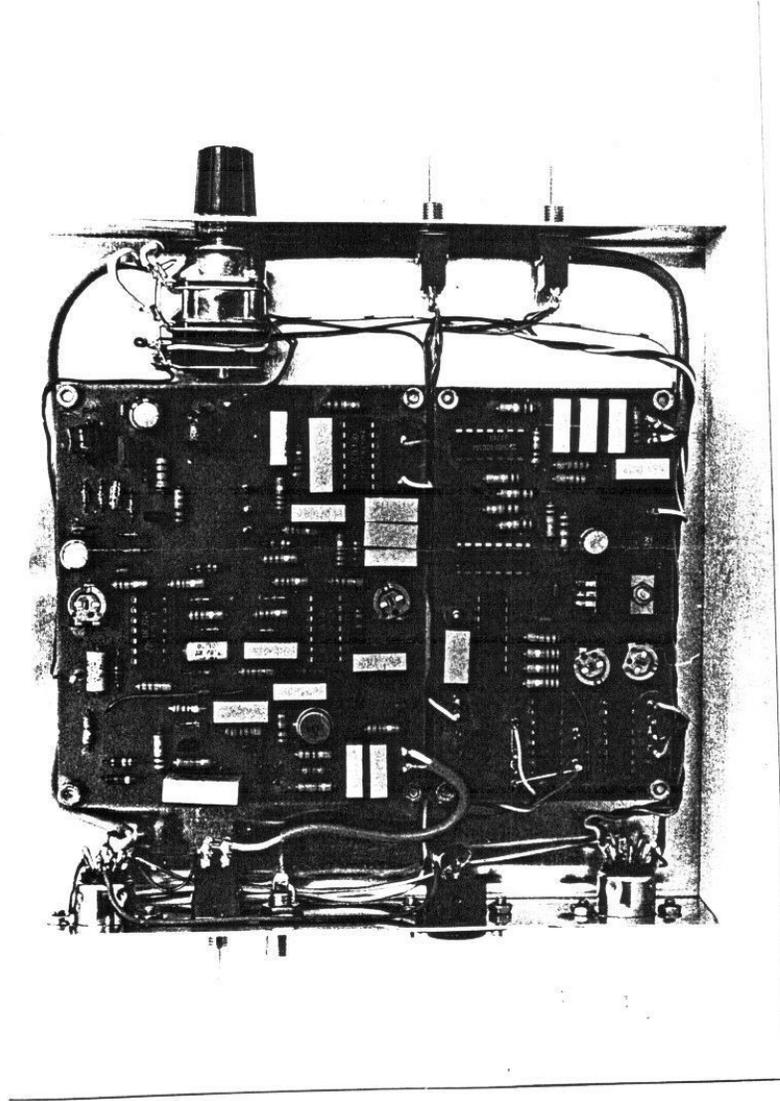


Fig. 15 - Modem universale, versione alta velocità (1200 bps) standard Bell-202 1200/2200 Hz.