

Impiego del transistor FET a giunzione BF 410 in radioricevitori AM e FM

Si confrontano i parametri di questo nuovo FET a giunzione (con source e drain asimmetrici) con quelli di un analogo FET a giunzione ma con elettrodi simmetrici. Le migliori prestazioni del nuovo FET asimmetrico possono essere sfruttate egregiamente per la realizzazione di stadi di ingresso R.F. di radioricevitori AM/FM dei quali in questo articolo si danno esempi pratici.

In questi ultimi tempi si assiste ad un crescente impiego di transistori FET a giunzione (J-FET) nei radioricevitori. Ciò è dovuto al fatto che questo tipo di transistorore possiede basso fattore di rumore, basso fattore di modulazione incrociata, e nello stesso tempo può "trattare", senza apprezzabile distorsione, segnali dai livelli più disparati. Se poi si aggiunge il fatto che questo tipo di transistorore non ha bisogno di circuiti di polarizzazione, si comprenderà facilmente il perché di questo suo massiccio impiego in questo settore.

Come tutte le cose di questo mondo anche questo transistorore ha un suo piccolo inconveniente che in alcuni casi può creare seri problemi: si tratta infatti della sua elevata *capacità di reazione* la quale, il più delle volte, dà luogo a fenomeni di instabilità. D'altra parte, tutte le volte che si cerca di ridurre questa forma di capacità (per esempio con un collegamento in cascata) ci si imbatte in un altro serio inconveniente: l'aumento del fruscio in r.f.

L'introduzione del nuovo transistorore F.E.T. a giunzione asimmetrico a canale N, BF 410 risolve brillantemente questi due problemi nel senso che riesce a combinare una bassa capacità di reazione con un basso fruscio. Inoltre, avendo il BF 410 una *caratteristica di trasferimento* ad andamento quadratico molto più ripida di quella di qualsiasi altro precedente FET, anche la sua capacità di trattare egregiamente segnali aventi

livelli più disparati risulta notevolmente migliorata. Sono questi pregi che rendono il BF 410 particolarmente adatto ad essere impiegato nel circuito d'ingresso di ricevitori AM/FM.

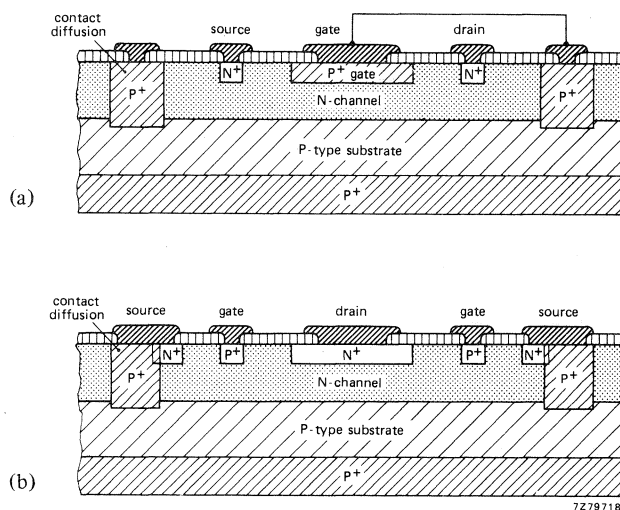
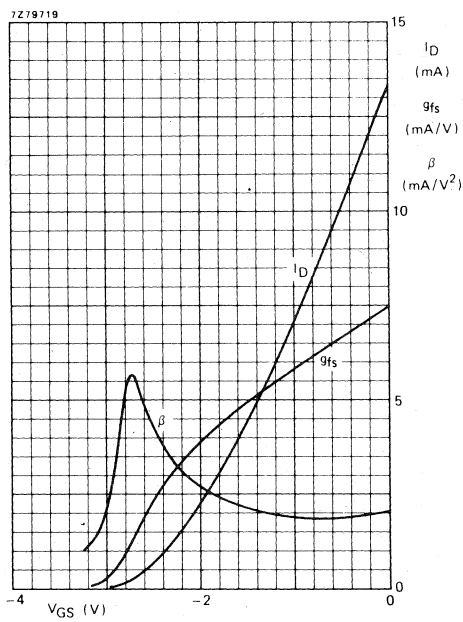
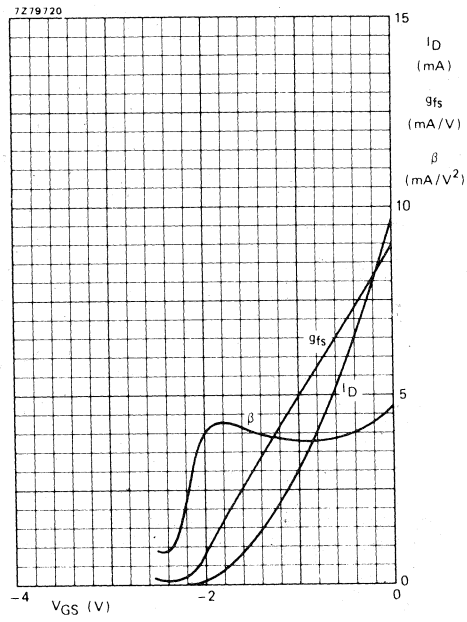


Fig. 1 - FET simmetrico (a) per es. BF 256 e FET asimmetrico (b), visti in sezione



(a)



(b)

Fig. 2 - Corrente di drain I_D , conduttanza di trasferimento g_{fs} e parametro β in funzione della tensione gate-sorgente (V_{GS}) in (a) per il FET simmetrico BF 256; in (b) per il FET asimmetrico BF 410

Qui di seguito descriviamo l'impiego del BF 410 nel circuito d'ingresso di radiorecettori FM alimentati dalla rete e nelle autoradio AM. Prima però illustriamo alcuni aspetti tecnologici che hanno consentito a questo transistor di possedere le caratteristiche a cui abbiamo accennato più sopra.

Tecnologia e caratteristiche

In fig. 1 si può vedere la differenza di costruzione tra un FET *simmetrico* ed uno *asimmetrico*. In quello simmetrico, il substrato è collegato internamente al gate, e funziona da "gate di profondità". Drain e sorgente sono elettricamente scambiabili senza alcun detrimento agli effetti del funzionamento del transistor. La parte più cospicua della capacità di reazione C_r è quella esistente tra drain e substrato. Nel FET asimmetrico, il substrato è collegato alla sorgente perciò non è più possibile scambiare elettricamente drain e sorgente. Ciò tende da una parte a ridurre considerevolmente la capacità di reazione, dall'altra a tagliare di circa il 50% la conduttanza di trasferimento diretta (g_{fs}). Questo considerevole calo di g_{fs} può comunque essere compensato aumentando la superficie del gate.

Il migliore andamento della caratteristica di trasferimento quadratica del BF 410 è illustrata in fig. 2 nella quale la corrente di drain I_D e la conduttanza di trasferimento diretta g_{fs} sono date in funzione della tensione gate-sorgente V_{GS} in (a) per il FET simmetrico BF 256 e in (b) per il BF 410. Nel caso di una caratteristica di trasferimento ideale, la corrente I_D dipende dalla tensione V_{GS} secondo la relazione

$$I_D = I_{DSS} (1 - V_{GS}/V_P)^2$$

nella quale,

I_{DSS} è la corrente di drain quando la tensione $V_{GS} = 0$.

V_P è la tensione cosiddetta di pinch-off.

Pertanto, g_{fs} dato da

$$g_{fs} = \frac{dI_D}{dV_{GS}} = 2 (V_{GS} - V_P) I_{DSS}/V_P^2$$

sarà una funzione lineare di V_{GS} .

Osservando le curve di g_{fs} di fig. 2 si vede che la condizione di linearità si trova maggiormente soddisfatta nel BF 410 che nel BF 256 nel quale anzi si nota una vera e propria non linearità di questo parametro. Questo comportamento è messo in evidenza dalla seconda derivata di I_D rispetto a V_{GS} , indicata in fig. 2 come parametro β . Teoricamente, dovrebbe essere indipendente da V_{GS} ; ora ciò non si verifica nè per il BF 256 nè per il BF 410; c'è però da osservare che nel BF 410 la dipendenza del β da V_{GS} è meno marcata che nel BF 256.

Il BF 410 è disponibile in quattro selezioni di I_{DSS} :

- BF 410-A (0,7 ÷ 3 mA)
- BF 410-B (2,5 ÷ 7 mA)
- BF 410-C (6 ÷ 12 mA)
- BF 410-C (10 ÷ 18 mA)

Nella tabella 1 sono riportati i parametri più importanti del BF 410. Nella tabella 2 vengono confrontati i parametri più importanti di un FET simmetrico (BF 256) e di uno asimmetrico (BF 410).

IMPIEGO DEL BF 410 NELLA SEZIONE D'INGRESSO DI UN RICEVITORE FM

I tipi selezionati del BF 410, a cui abbiamo accennato più sopra sono consigliati nei circuiti d'ingresso dei seguenti tipi di ricevitori.

- (a) BF 410-A: stadi d'ingresso R.F. di ricevitori portatili di classe
- (b) BF 410-B: stadi d'ingresso R.F. di autoradio
- (c) BF 410-C: stadi d'ingresso di radioricevitori alimentati dalla rete
- (d) BF 410-D: stadi mixer di radioricevitori alimentati dalla rete.

Nelle applicazioni (a) e (b), il FET può fare a meno del circuito di polarizzazione. Questo risulta evidente dalla fig. 3 nella quale si può vedere un circuito d'ingresso a transistor *bipolare* (e pertanto necessitante di circuito di polarizzazione) ed un analogo stadio d'ingresso a FET. Conclusione: l'impiego del BF 410-A consente di eliminare tre resistori e due condensatori.

Un altro vantaggio del circuito d'ingresso a BF 410, è quello di poter funzionare egregiamente anche quando la tensione di alimentazione (batteria) scende a metà del suo valore.

In fig. 4 abbiamo riportato lo schema di un tuner FM per un ricevitore FM alimentato dalla rete: nello stadio R.F. è stato impiegato un BF 410-C mentre lo stadio mixer lavora con un BF 410-D. Lo stampato per questo circuito è riportato in fig. 5.

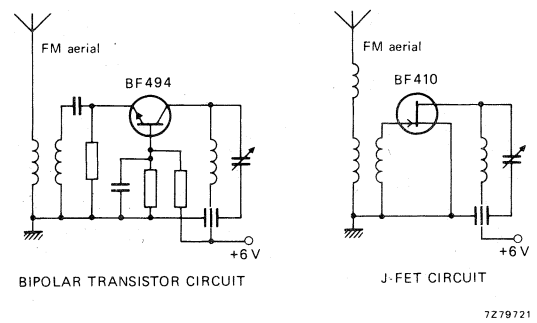


Fig. 3 - Semplicità di realizzazione di un ingresso R.F. a FET rispetto ad uno realizzato con transistor *bipolare*: mancano nel primo tutti i componenti necessari nel *bipolare* alla formazione della tensione di polarizzazione

Lo stadio R.F.

Per semplificare il circuito, il gate è stato collegato sul punto caldo del circuito accordato d'antenna. Con ciò vengono eliminati componenti induttivi o altri componenti richiesti da una presa intermedia capacitiva. Il drain viene collegato al punto del filtro interstadiale passa-banda a doppio accordo.

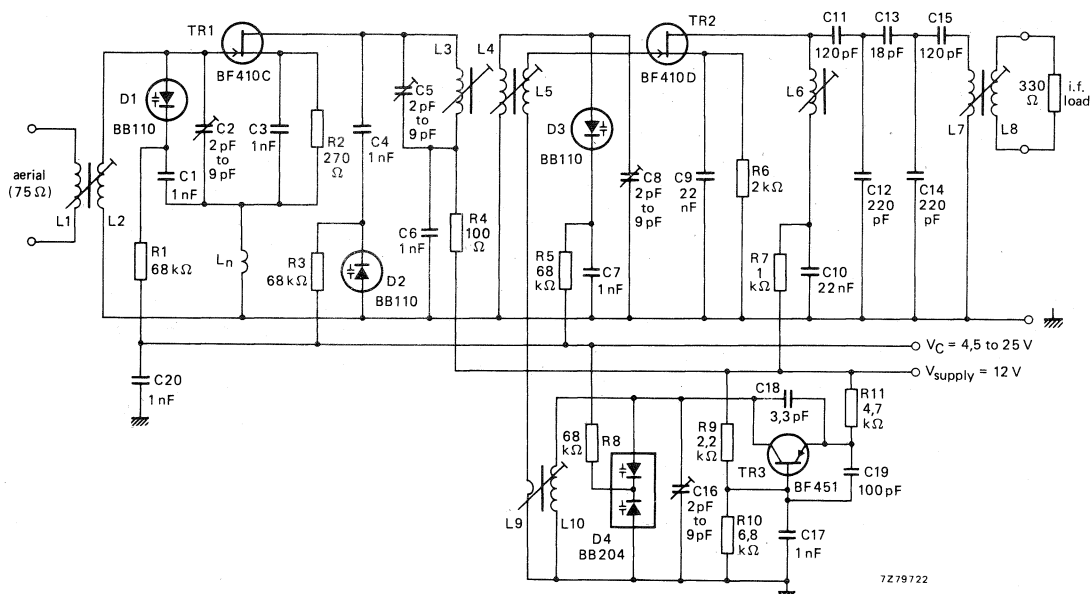
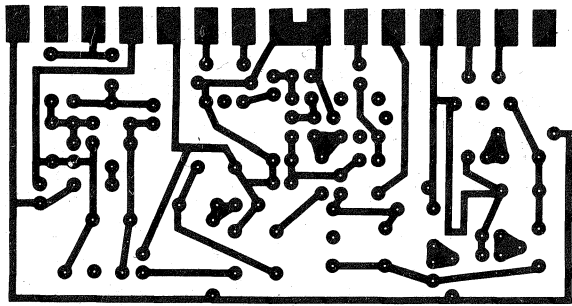


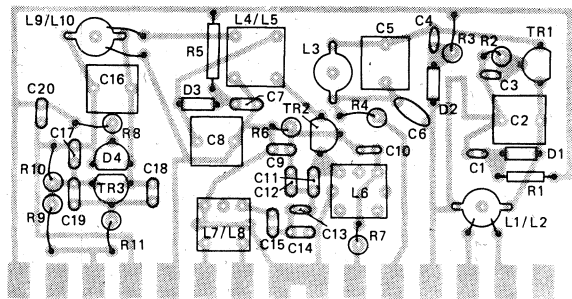
Fig. 4 - Schema di un tuner FM di un radioricevitore alimentato dalla rete.

- $L_1 L_2^* = 1\frac{1}{2}/3\frac{1}{2}$ spire TOKO MC 115
- $L_3 = 3\frac{1}{2}$ spire TOKO MC 115
- $L_4 L_5 = 3\frac{1}{2}/2\frac{1}{2}$ spire TOKO MC 111
- $L_9 L_{10}^* = 3/4/3\frac{1}{2}$ spire TOKO MC 115
- $L_6 = 2,8 \mu H$
- $L_7/L_8 = 2,8 \mu H$ TOKO 119 ANS-30035X

* L_1 (L_9) realizzate con filo di rame smaltato da 0,3 mm e avvolte su L_2 (L_{10})



7279717



7279711

Fig. 5 - Circuito stampato (in alto), e con i componenti montati (in basso) del tuner FM di fig. 4

Circuito neutrodina

Per avere dal BF 410 il più basso valore di fruscio occorre che la conduttanza (G_s) della sorgente abbia il valore di 1 mA/V. La conduttanza del circuito accordato d'antenna ha però il valore di circa 0,18 mA/V, per cui il maggior contributo a G_s verrà da parte dello stesso circuito d'antenna. Ciò implica, a sua volta, che quando si toglie l'antenna, potranno verificarsi nel preamplificatore fenomeni di instabilità. Si sa che questo inconveniente di solito viene eliminato effettuando una presa nello stadio intermedio ma ovviamente a scapito del guadagno del segnale.

Noi abbiamo seguito un'altra strada: abbiamo introdotto la cosiddetta tecnica di neutrodinizzazione che consente di ridurre al minimo la reazione grazie all'impiego del circuito riportato in fig. 6.

La presa nella bobina del circuito d'ingresso è determinata dal rapporto C_{os}/C_{rs} . Tale rapporto rimane ragionevolmente costante su un valore pressappoco di 8, e cioè nonostante i valori notevolmente differenti che possono assumere i parametri C_{os} e C_{rs} dei vari transistori anche dello stesso tipo. La bobina del circuito d'ingresso, formata da $L_a + L_n$, avente un'induttanza di 88 nH, risulterà pertanto messa a massa in corrispondenza di circa 1/8 del suo complessivo avvolgimento. Pertanto, in fig. 6, L_a verrà ad avere 78 nH, e L_n circa 10 nH. Per formare L_n basterà una pista dello stampato evitando in questo modo una bobinetta più costosa avente una presa centrale vera e propria.

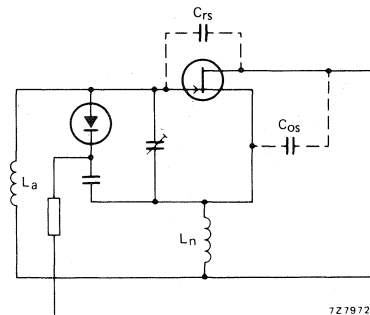
Influenza di L_n sui parametri del transistor

Nella tabella 3 si può vedere quanta influenza eserciti sui parametri Y e sul fattore di stabilità, la presenza dell'induttanza L_n . Le misure si riferiscono alle condizioni di antenna collegata e non collegata.

Il valore di L_n calcolato in base al rapporto C_{os}/C_{rs} (e cioè 7,5 vedi tabella 3) dovrà essere $88/7,5 \text{ nH} = 11,7 \text{ nH}$ allo scopo di realizzare le migliori condizioni dell'effetto neutrodina. Tenendo per scontato un aumento del fattore di smorzamento d'ingresso, un valore di induttanza di circa 9,5 nH sarà più che sufficiente a garantire un funzionamento stabile del preamplificatore.

Stadio mixer

Una tensione di oscillatore di circa 500 mV applicata all'ingresso del mixer fornisce un buon compromesso tra guadagno elevato e bassa radiazione dell'oscillatore stesso. I migliori risultati si ottengono comunque quando il picco della tensione dell'oscillatore raggiunge il picco della tensione di pinch-off, il che è assicurato da una resistenza di 2 k Ω della sorgente.



7279723

Fig. 6 - Circuito aggiuntivo per la riduzione della reazione

Tabella 1 - PARAMETRI PIU' IMPORTANTI DEL FET BF 410

tensione drain-sorgente V_{DS}	> 20 V
corrente massima di drain I_{Dmax}	30 mA
potenza massima (fino a $T_{amb} = 75^\circ\text{C}$)	300 mW
corrente di drain I_{DSS} (con $V_{GS} = 0$; $V_{DS} = 10 \text{ V}$)	0,7 ÷ 18 mA
ammettenza Y_{fs} (con I_{DSS} , e $f = 1 \text{ kHz}$)	
tipo A	> 2,5 mA/V
tipo B	> 4 mA/V
tipo C	> 6 mA/V
tipo D	> 7 mA/V
capacità di reazione C_{rs} ($V_{DS} = 10 \text{ V}$)	< 0,4 pF (tipica 0,3 pF)
capacità d'ingresso C_{is} ($f = 1 \text{ MHz}$)	< 5 pF
figura di merito F per la migliore ammettenza della sorgente ($f = 100 \text{ MHz}$)	1,5 dB

L'ingresso del mixer è accoppiato induttivamente sia al filtro passa-banda interstadiale sia al circuito oscillante dell'oscillatore. L'uscita del mixer (drain) è collegata ad un filtro passa-banda F.I. con larghezza di banda di 300 kHz. L'oscillatore, in tutto convenzionale, lavora con un transistor bipolare BF 451. La stabilità di oscillazione è assicurata regolando la corrente continua I_E a 0,5 mA con $V_{CE} = 10$ V.

Prestazioni

Sono riportate nelle tabelle 4 e 5. La soppressione del battimento doppio (DBS) venne misurata scegliendo $f_1 = 94,35$ MHz e $f_2 = 98,63$ MHz.

IMPIEGO DEL BF 410 IN UN'AUTORADIO ONDE MEDIE

Abbiamo già detto che il BF 410 può amplificare senza distorsione e con basso fruscio segnali con livelli più disparati. Queste caratteristiche lo rendono particolarmente adatto ad essere impiegato nelle autoradio. La fig. 7 riporta lo schema di un'autoradio, onde medie, il quale nel circuito d'ingresso impiega un BF 410-D e un BF 410-B come trasformatore d'impedenza.

Tabella 2 - CONFRONTO TRA I PARAMETRI PIU' IMPORTANTI DEL BF 410 E DEL BF 256

Parametro	BF 410	BF 256
I_{oss} (mA)	6,5	6,5
capacità d'ingresso C_{in} (pF)	3,0	3,8
capacità d'uscita C_{out} (pF)	2,0	1,2
capacità di reazione C_{rs} (pF)	0,3	0,75
ammettenza di trasferimento Y_{ts} (mA/V)	7,4	5,2
conduttanza di uscita g_{os} (mA/V)	0,06	0,04

Il BF 410D disaccoppia effettivamente i circuiti rispettivamente d'antenna e di R.F. Il segnale proveniente dall'antenna arriva al gate del BF 410-D; l'ampiezza del segnale è controllata da un FET simmetrico BSV 78. Questo controllo è "pilotato", a sua volta, da una tensione continua, ricavata dal segnale R.F. tramite il transistor trasformatore d'impedenza BF 410-B, il transistor raddrizzatore BF 494 e una rete filtrante R.F. La regolazione di questa tensione è effettuata dal potenziometro R.

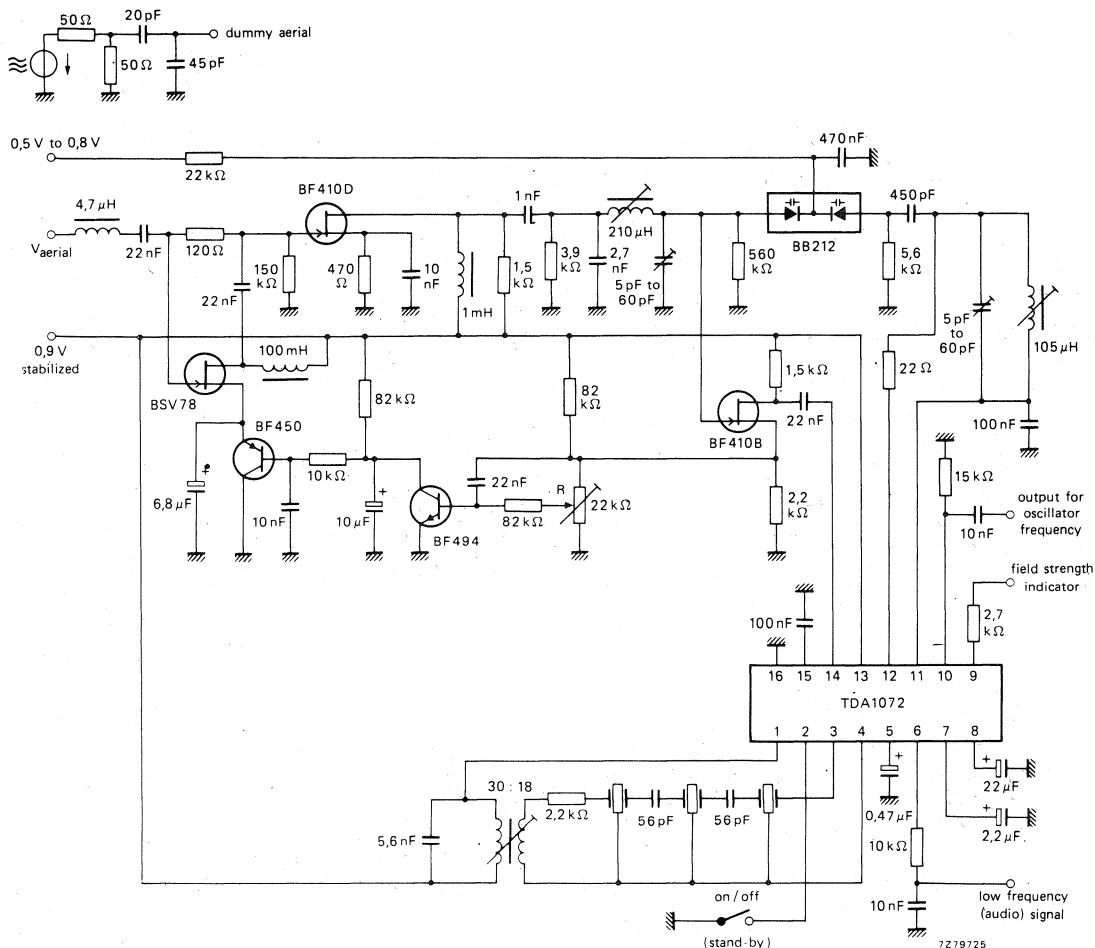


Fig. 7 - Ricevitore per auto, onde medie, realizzato con i transistori BF 410-B e BF 410-D

Tabella 3 - INFLUENZA DI L_n SUI PARAMETRI Y E SUI FATTORI DI STABILIZZAZIONE IN UN TIPICO BF 410-C

Parametro	senza neutrodina ($L_n = 0$ nH)	con neutrodina ($L_n = 9$ nH)	con neutrodina ($L_n = 10$ nH)
Y'_{is} (mA/V)	$0,06 + 18,5j^*$	$0,69 + 20,5j^*$	$0,78 + 20,7j^*$
Y'_{is} (mA/V)	$5e^{-10j}$	$5,6e^{-10j}$	$5,6e^{-10j}$
Y'_{rs} (mA/V)	$0,2e^{-90j}$	$0,054e^{-7j}$	$0,037e^{-68j}$
Y'_{os} (mA/V)	$0,06 + 1,5j$	$0,10 + 1,5j$	$0,10 + 1,5j$
S_1 (con antenna)	0,15	1,66	2,31
S_2 (senza antenna)	0,54	2,83	3,79

(*) Compresa la capacità complessiva del circuito accordato (figura 6)

Tabella 5 - SOPPRESSIONE DEL DOPPIO BATTIMENTO

f (MHz)	90,07	91,4	102,91
DBS (dB)	77	73	77

Tabella 4 - PRESTAZIONI DEL TUNER ALLE VARIE FREQUENZE

parametro	90	97,5	105
frequenza (MHz)	90	97,5	105
guadagno di trasduzione (dB)	15,7	17,7	19,0
figura di rumore (dB)	4,5	4,0	3,9
soppress. punto ripetizione* (dB)	77	77	78
ΔV_{alim} per $\Delta f_{oscill} = 20$ kHz (V)	$\pm 0,4$	$\pm 2,4$	$\pm 0,7$
$V_{antenna}$ per $\Delta f_{oscill} = 20$ kHz (V)	0,28	1	0,2
tensione oscillatore in antenna (mV)	0,6	0,8	1,6
tensione oscillatore sul gate del mixer (V)		0,5	
F.I. a 3 dB di larghezza di banda		300	