



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2018 00827

(22) Data de depozit: 23/10/2018

(41) Data publicării cererii:
30/08/2019 BOPI nr. 8/2019

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA POLITEHNICA
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• ILIE IONUȚ-ALIN, STR.VETERANILOR
NR.10, ET.1, AP.7, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;
• BĂDESCU ALINA-MIHAELA,
ȘOS.PANTELIMON NR.89, BL.404-405,
SC.3, AP.63, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO

(54) AMPLIFICATOR ÎN BANDA VHF PENTRU DETECȚIA
DE PARTICULE COSMICE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un amplificator având rolul de amplificare a componentelor spectrale din banda de frecvență 30...80 MHz ale semnalelor radio recepționate de o antenă a unui detector, în vederea creșterii puterii semnalului. Amplificatorul conform invenției cuprinde trei etaje de amplificare, fiecare având un rol bine determinat, și anume: primul etaj este folosit pentru preluarea semnalului de intrare, și creșterea nivelului de curent al acestuia, și este format dintr-un tranzistor (Q_1) în conexiune emitor comun, și având ca sarcină o impedanță văzută în emitorul unui al doilea tranzistor (Q_2), și fiind polarizat cu ajutorul unui divizor rezistiv (R_1, R_2, R_3), al doilea etaj este folosit pentru amplificarea în tensiune, și cuprinde al doilea tranzistor (Q_2) în conexiune bază comună, având ca sarcină o rezistență (R_4) montată în paralel cu o impedanță văzută în baza unui al treilea tranzistor (Q_3), iar cel de-al treilea etaj este folosit pentru adaptarea între impedanța de ieșire din amplificator și impedanța caracteristică a cablului coaxial prin care este transmis semnalul recepționat de antenă către amplificator, precum și izolarea nodului de impedanță relativ mare, de la ieșirea celui de-al doilea etaj, față de impedanța relativ mică a cablului coaxial, și cuprinde cel de-al treilea tranzistor (Q_3) în configurație de repetor pe

colector, fiind prepolarizat cu ajutorul unei oglinzi de curent bipolare, cu degenerare în emitor, realizată cu ajutorul altor două tranzistoare (Q_4 și Q_5).

Revendicări: 3
Figuri: 8

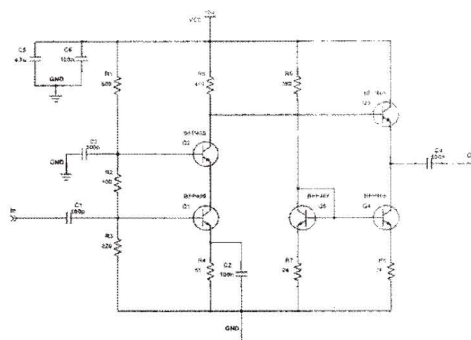


Fig. 1

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



DESCRIEREA INVENȚIEI

Amplificator în banda VHF pentru detecția de particule cosmice

Invenția se referă la un amplificator utilizat în lanțul de detecție a semnalului radio produs pe către particulele cosmice care interacționează în atmosferă. Rolul său este de a amplifica componentele spectrale din banda 30-80 MHz ale semnalului radio recepționat de către antena detectorului în vederea creșterii puterii semnalului, lucru necesar pentru prelucrări ulterioare și transmisia rezultatelor la distanță.

Principalele avantaje al circuitului propus în acest brevet sunt: (i) câștigul în putere superior, și (ii) posibilitatea de a controla valorile impedanței de intrare, respectiv ieșire prin utilizarea unor etaje de amplificare corepunzătoare, evitând utilizarea unor circuite de adaptare de tip LC care ar putea crește semnificativ costul de producție. Un alt avantaj (iii) îl constituie faptul că circuit realizat, deși prezintă o complexitate puțin mai ridicată, necesită pentru implementare un singur tip de tranzistor (tranzistorul *nnp* BFP405 de la Infineon [1]). În plus (iiii) circuitul are un consum de putere relativ redus, curentul consumat fiind de aproximativ 35 mA la o tensiune de alimentare de 5V.

Se prezintă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legăturile cu figurile 1 - 8. care se referă la:

- Fig.1 – Schema electrică a circuitului propus
- Fig.2 – Câștigul în tensiune $A_v[\text{dB}]$ în funcție de frecvență
- Fig.3 – Factorul K în funcție de frecvență
- Fig.4 – Factorul μ în funcție de frecvență în dB
- Fig.5 – Factorul de zgomot în funcție de frecvență reprezentat în dB
- Fig.6 – Cablajul imprimat al amplificatorului propus
- Fig.7 – Câștigul în tensiune măsurat $|S_{21}|[\text{dB}]$ (linie marcată prin “+”); câștigul în putere $|S_{21}|^2[\text{dB}]$ (linie continuă)
- Fig.8 – Impedanța de intrare a amplificatorului $Z_{in}[\Omega]$

Semnalul recepționat de către antena este transmis către amplificator prin intermediul unui cablu coaxial, fapt ce impune o primă condiție de proiectare a amplificatorului și anume că impedanța de intrare a amplificatorului Z_{in} să fie egală cu impedanța caracteristică a cablului $Z_c=50 \Omega$.

Întreg circuitul va fi alimentat cu energie electrică provenită de la un panou solar ceea ce impune o a doua condiție, și anume ca tensiunea de alimentare să fie egală cu 5 V, iar consumul să fie cât mai redus posibil. A treia condiție de proiectare o reprezintă realizarea unui amplificator de zgomot redus (engl. Low Noise Amplifier, LNA), ceea ce implică un raport semnal-zgomot relativ redus la intrarea în amplificator.ș

Câștigul în putere (G_P) dorit al amplificatorului este de aproximativ 40 dB ceea ce înseamnă un câștig în tensiune (G_V) de minimum 20 dB considerând că impedanța de sarcină de la ieșirea amplificatorului este tot de 50Ω .

Considerând amplificatorul ca fiind un diport, putem exprima relația dintre parametrul de transfer S_{21} și câștigul în tensiune ca:

$$G_V = \left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right| = |S_{21}| \quad (1)$$

unde U_{out} reprezintă tensiunea la ieșirea amplificatorului, iar U_{in} tensiunea la intrarea în acesta, iar relația dintre parametrul de transfer S_{21} și câștigul în putere (exprimat în dB) ca:

$$G_p = 10 \lg \frac{P_{out}}{P_{in}} = |S_{21}|^2 \quad (2)$$

unde P_{out} reprezintă puterea la ieșirea amplificatorului iar P_{in} puterea la intrarea în acesta. Relația dintre câștigul în tensiune și cel în putere (exprimate în decibeli) devine:

$$\Rightarrow G_p = 2 G_v = 2 |S_{21}| \quad (3)$$

Relațiile (1) și (2) sunt valabile pentru $Z_{in}=Z_C$, $Z_{load}=Z_C$, unde Z_{load} este sarcina la ieșirea din amplificator.

Pentru acest tip de aplicație o soluție deja funcțională o reprezintă un LNA de complexitate destul de redusă, care conține un singur etaj de amplificare și utilizează un tranzistor bipolar *nnp* în conexiune emitor comun, cu un câștig modest în putere de circa 20 dB. Acest amplificator este utilizat în cadrul observatorului Pierre Auger din Argentina [2].

Pentru realizarea circuitului am utilizat trei etaje de amplificare cuplate în cascadă (Fig. 1), fiecare dintre ele având un rol bine definit.

Astfel, primul etaj este format din tranzistorul Q1 în conexiune emitor comun și având ca sarcină impedanța văzută în emitorul lui Q2, și este polarizat cu ajutorul divizorului rezistiv R1, R2, R3 fixându-se astfel potențialul bazei. Prin intermediul rezistorului R4 se fixează curentul prin tranzistor și implicit pe toată linia Q1, Q2, R4. Acest etaj are rolul de a prelua semnalul de intrare și a ridica nivelul de curent al acestuia. În plus etajul este folosit pentru realizarea condiției de adaptare a impedanței de intrare a amplificatorului cu impedanța caracteristică a cablului coaxial. Astfel:

$$Z_{in} \approx R2 \parallel R3 \parallel r_{pi1} \quad (4)$$

unde r_{pi1} reprezintă rezistența dinamică de semnal mic dintre bază și emitor. Relația (4) ne arată că prin modificarea curentului prin tranzistorul Q1 se poate controla impedanța de intrare în amplificator la frecvența de lucru.

Câștigul în tensiune al acestui etaj este aproximativ 1, în schimb amplificarea în curent este semnificativă, ceea ce înseamnă un câștig în putere $G_p = \frac{P_{o1}}{P_{in}} = \frac{U_{o1} \cdot I_{o1}}{U_{in} \cdot I_{in}} = A_{v1} \cdot A_{i1} \approx A_{i1} \approx \frac{\beta_1}{2} \approx 20$ ceea ce înseamnă peste 15 dB, fapt necesar în realizarea amplificatoarelor de zgomot redus. Totodată acest etaj este responsabil pentru schimbarea fazei semnalului cu 180 de grade.

Al doilea etaj, constând în tranzistorul Q2 în conexiune bază comună este etajul care amplifică în tensiune și are ca sarcină rezistența R4 în paralel cu impedanța văzută în baza tranzistorului Q3. Această configurație este utilizată pentru că răspunsul în frecvență al bazei comune este net superior celui cu emitor comun la aceeași valoare a amplificării în tensiune, prin simplul fapt că anulează efectul Miller ce ar apărea între bază și colector [3], [8], [10]. Valoarea amplificării în bandă în urma analizei de semnal mic este:

$$A_{v2} = g_{m2} \times R4 \quad (5)$$

unde g_{m2} reprezintă conductanța de transfer sau panta tranzistorului Q2

Cel de-al treilea etaj, constă în tranzistorul Q3 în configurație de repetor pe colector și este pre-polarizat cu ajutorul oglinzii de curent bipolare cu degenerare în emitor realizată cu ajutorul tranzistoarelor Q4, Q5. Acest etaj nu amplifică în tensiune, dar este utilizat pentru izolarea nodului de impedanță relativ mare ($R4=470 \Omega$) din colectorul lui Q2 de nodul de ieșire de impedanță mică, și anume de impedanța de sarcină (adică impedanța caracteristică a cablului coaxial $Z_C = 50 \Omega$). Mai precis, acest etaj realizează adaptarea dintre cele 2 noduri de impedanțe diferite amintite anterior și permite controlul impedanței de ieșire din amplificator.

$$R_{out} = (r_{pi3} + R4) \frac{1}{\beta_3} \quad (6)$$

unde β_3 este câștigul de curent în regim dinamic al tranzistorului Q3. iar r_{pi3} reprezintă rezistența dinamică de semnal mic dintre bază și emitor. Pentru a decupla în curent continuu nodurile de intrare, și respectiv, ieșire s-au utilizat cele 2 condensatoare C1 și C4. Valorile acestor condensatoare au fost alese pentru o filtrare trece jos suplimentară a semnalului de intrare în scopul de a filtra componenta de zgomot datorată zgomotului galactic (predominant la frecvențe sub 15 MHz) [4].

Condensatoarele C1, C3 au rol de a conecta la masă în regim dinamic baza tranzistorului Q2 și respectiv, emitorul lui Q1.

Valorile rezistențelor din divizorul rezistiv R1, R2, R3 folosit pentru polarizarea tranzistoarelor Q1, Q2 au fost alese cu valori cât mai reduse pentru reducerea impedanței de intrare (de dorit a fi cât mai aproape de 50 Ω). Acest lucru aduce un inconvenient, și anume consumul de putere pe această linie devine semnificativ și trebuie luat în calcul în bilanțul energetic.

O primă etapă a proiectării a presupus simularea câștigului în tensiune în banda de lucru. **Fig. 2** prezintă această variație arătând dependența redusă a circuitului cu frecvența.

În vederea verificării stabilității circuitului s-au efectuat simulări cu software specifice circuitelor de microunde, care a determina valorile parametrilor K și μ . Condițiile de stabilitate impun valori $K > 1$ și $\mu > 1$ în banda utilă (30-80 MHz) [5], [6], iar figurile **Fig. 3** și **Fig. 4** evidențiază îndeplinirea acestor condiții.

Din punct de vedere al zgomotului, amplificatorul propus are un factor de zgomot FZ sub 3 dB în banda de lucru, acest lucru fiind expus în **Fig. 5**.

Implementarea fizică a circuitului este prezentată în **Fig. 6**. Cablajul (cu plan de masă inferior) are caracteristicile: lățimea de 50 mm, lungimea de 40 mm, grosime de 1.5 mm la care se adaugă 2x1.4 MIL grosimea stratului de cupru TOP/BOTTOM, lățimea traseelor: alimentare - 0.75mm, semnal- 0.45mm.

După plasarea componentelor pe cablajul imprimat s-a efectuat și testarea acestuia într-o cameră ecranată, măsurătorile fiind realizate cu ajutorul unui analizor vectorial, care măsoară modulul parametrului de transfer $|S_{21}|$ între bornele de intrare și ieșire pentru semnal radio, dar și impedanța de intrare a amplificatorului Z_{in} . Datele obținute au fost prelucrate pentru excluderea efectelor cablurilor iar rezultatele privind amplificarea în frecvență și impedanța de intrare sunt prezentate în **Fig. 7**, respectiv **Fig. 8**. **Fig. 7** prezintă în mod unitar câștigul măsurat în tensiune $|S_{21}|$ (linie marcată prin "+") și câștigul în putere $|S_{21}|^2$ (linie continuă).

A

K

BIBLIOGRAFIE

1. <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/79221-INFINION/BFP405.html>
2. Design and Test of a Low Noise Amplifier for Radio Antennas Measuring Atmospheric Showers - Maurice Stephan
3. http://people.seas.harvard.edu/~jones/es154/lectures/lecture_6/pdfs/lecture30.pdf
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_noise
5. G.Lojewski *Dispozitive și circuite de microunde*
Ed.Tehnică București 2005
6. G.Lojewski , R.Cacoveanu *Metode și aparate de măsură în microunde*
Ed.Electronica 2000 , București 2004
7. Amplificator de radiofrecvență pentru sisteme de detecție a particulelor cosmice-Vlad Moise
8. <https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/6-720jintegrated-microelectronic-devices-spring-2007/lecture-notes/lecture37.pdf>
9. http://www.seas.upenn.edu/~ese319/Lecture_Notes/Lec_10_HF_Model_12.pdf
10. <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-4/cascodeamplifier/#03142L>

A

REVENDICĂRI

- 1) Amplificator de semnal in banda 30-80 MHz pentru detecția de particule cosmice **caracterizat prin aceea că** folosește 3 etaje de amplificare. fiecare având un rol bine determinat și anume, primul etaj folosit pentru preluarea semnalului și creșterea nivelului de curent al acestuia; al doilea etaj folosit pentru amplificarea în tensiune; al treilea etaj folosit pentru realizarea adaptării între impedanța de ieșire din amplificator și impedanța caracteristică Z_c a cablului coaxial precum și izolarea nodului de impedanță relativ mare de la ieșirea celui de-al doilea etaj față de impedanța relativ mică a cablului coaxial.
- 2) Circuitul conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** folosește un singur tip de tranzistor npn BFP405.
- 3) Circuitul conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** puterea consumată este relativ redusă, cosumul static de curent fiind 35 de mA la o tensiune de alimentare de 5V.

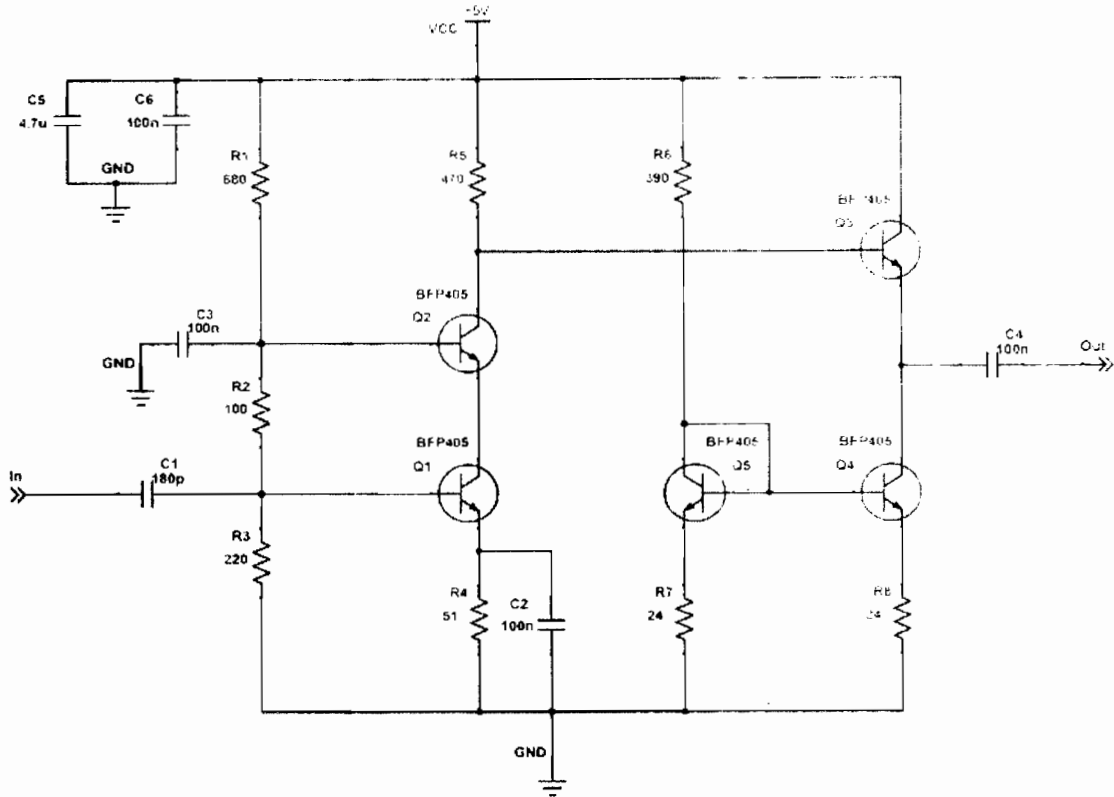


Fig. 1. Schema electrică a circuitului propus

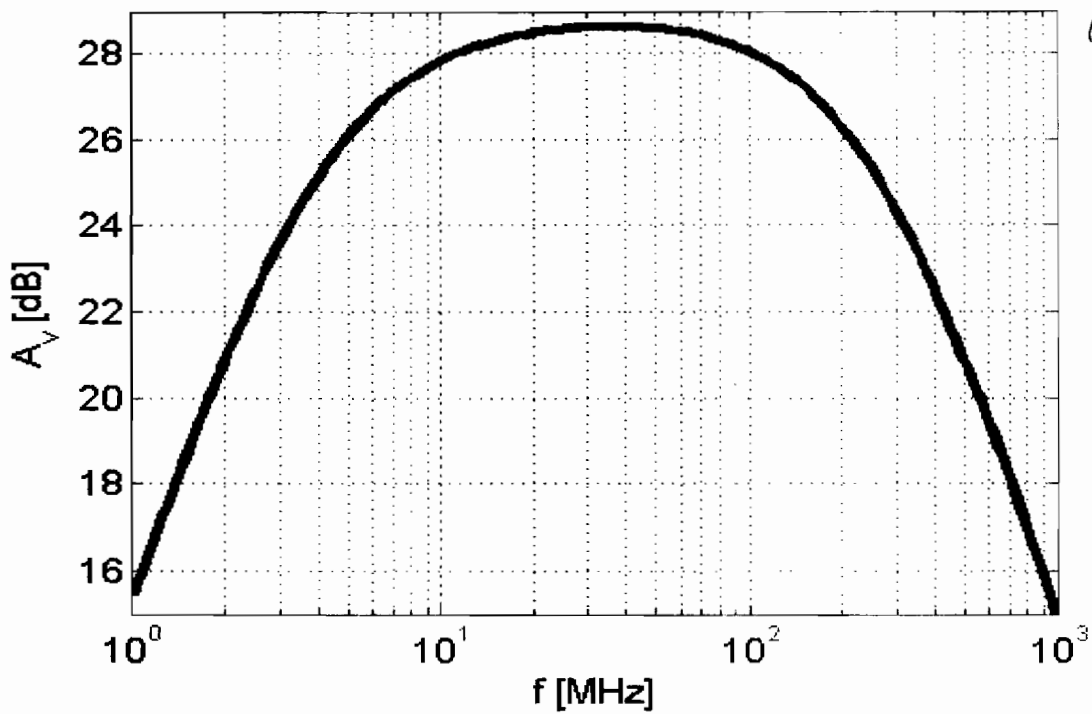


Fig. 2

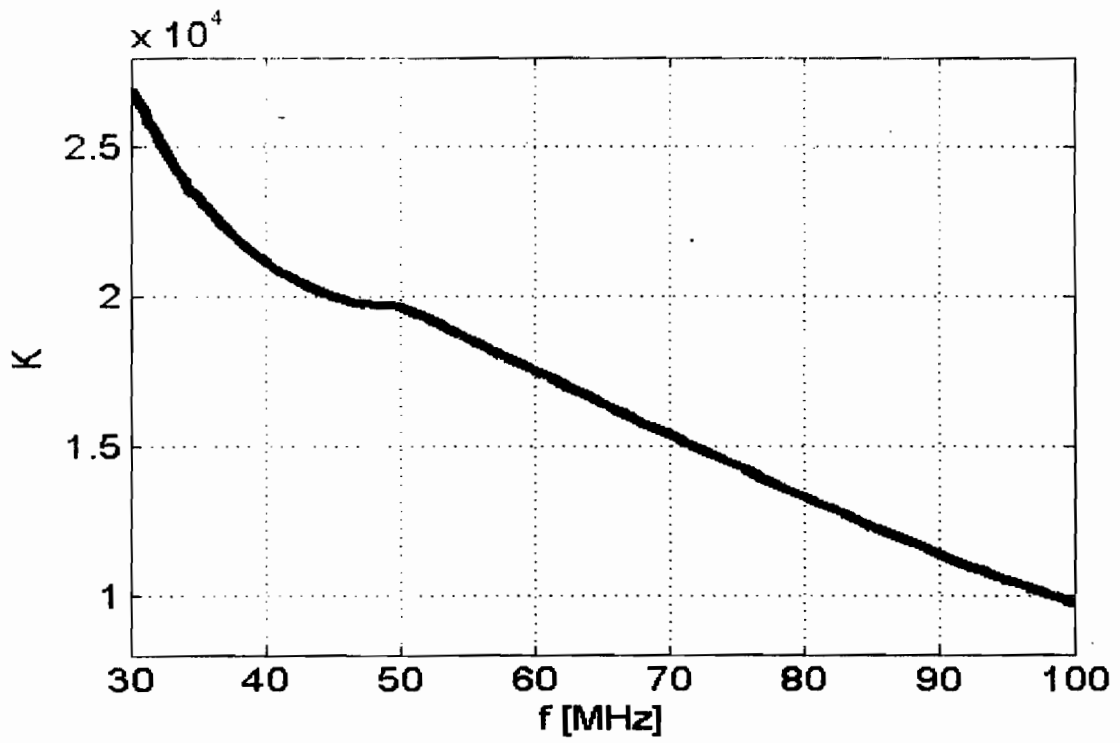


Fig. 3

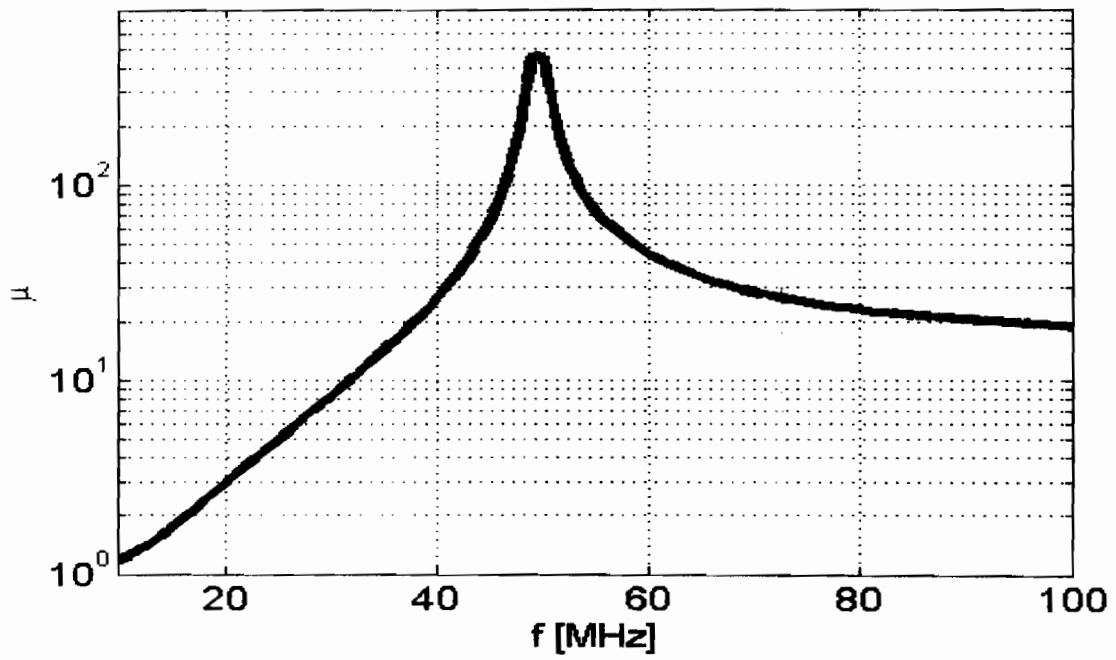


Fig. 4

17

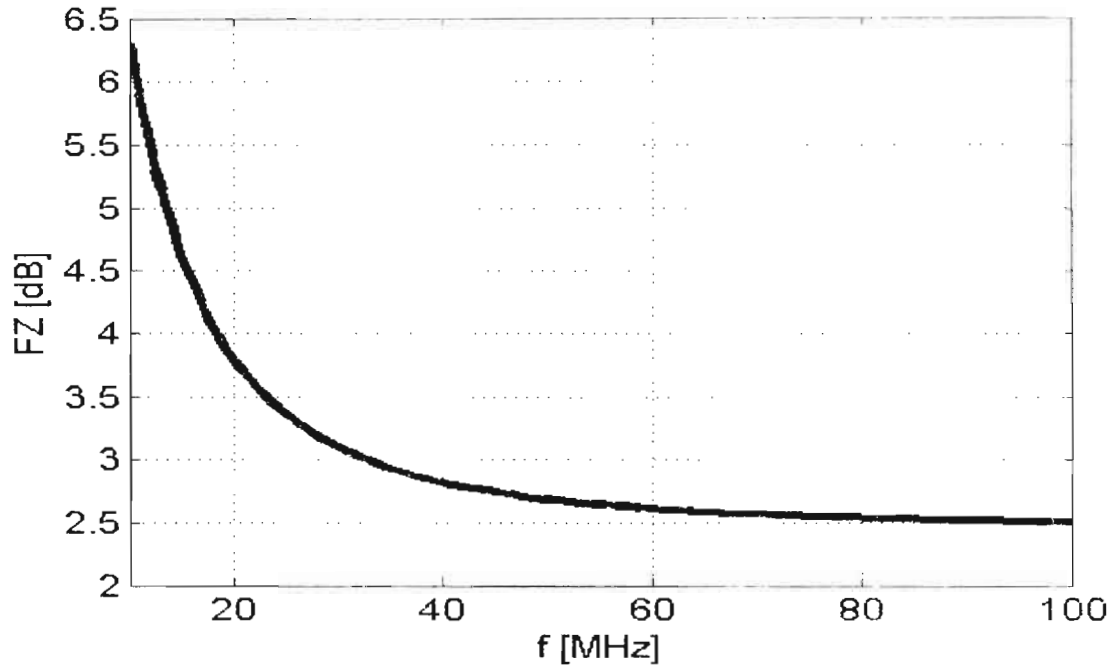


Fig.5

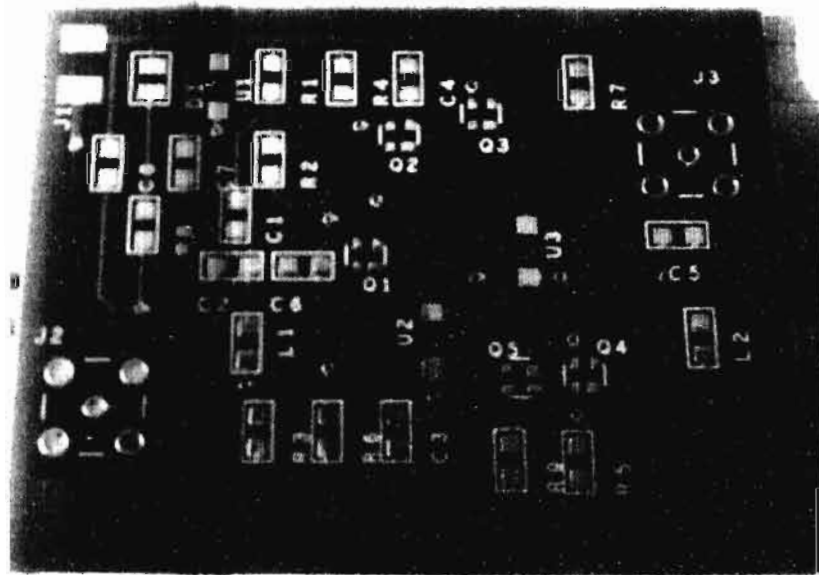


Fig.6

X

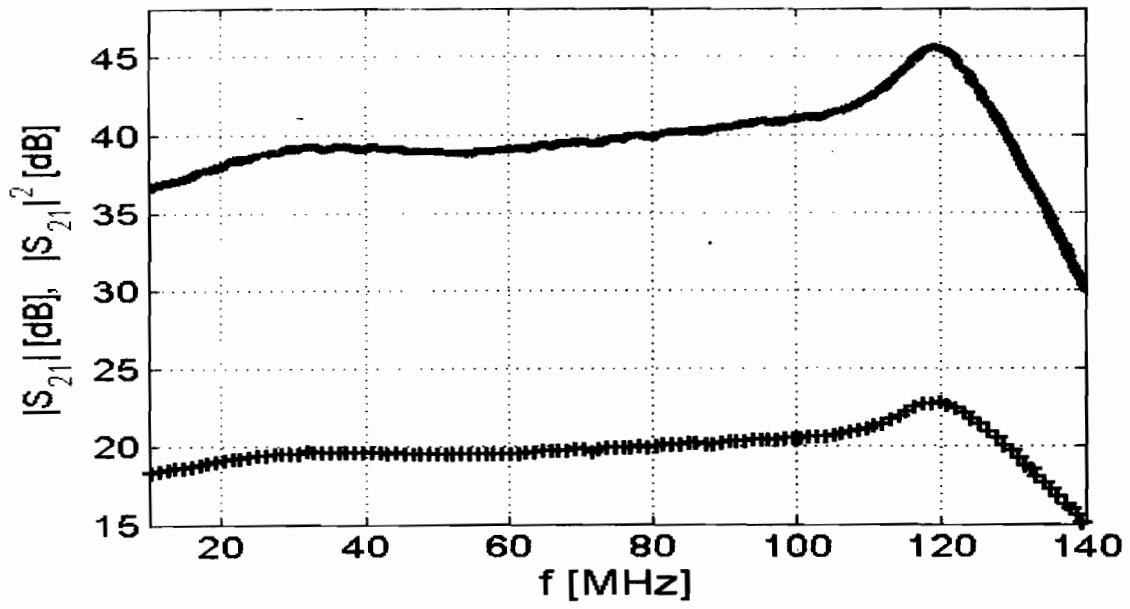


Fig.7

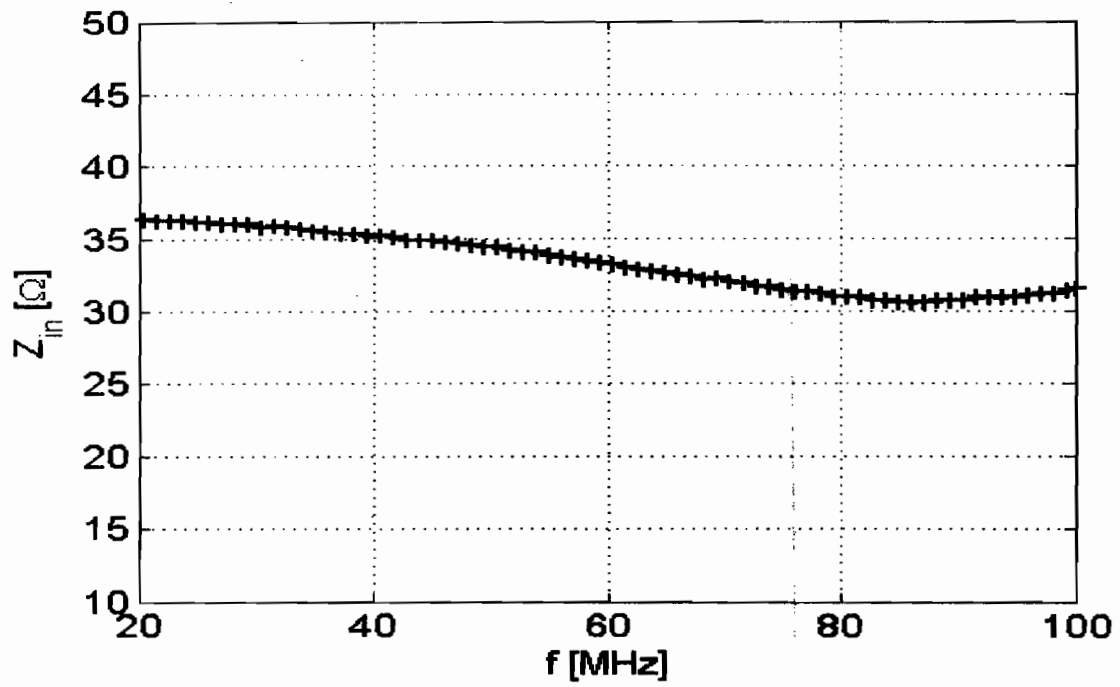


Fig.8