

1. Publicação nº <i>INPE-3576-PRE/779</i>	2. Versão	3. Data <i>Julho 1985</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DTL/DAF</i>	Programa <i>ESPAC/TRANSP</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>AMPLIFICADORES REALIMENTAÇÃO RUÍDO</i>			
7. C.D.U.: <i>621.375</i>			
8. Título <i>PROJETO DE AMPLIFICADORES DE BAIXO RUÍDO COM REALIMENTAÇÃO</i>		10. Páginas: <i>25</i>	
		11. Última página: <i>A.6</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Eduardo Antonio Parada Tude</i>		<i>Lincoln</i> Claudemir Marcos da Silva	
<i>Eduardo Antonio Parada Tude</i>		13. Autorizada por	
Assinatura responsável		<i>Marco Antonio Raupp</i> Marco Antonio Raupp Diretor Geral	
14. Resumo/Notas <i>Apresenta-se a técnica de projeto de amplificadores de baixo ruído com realimentação, utilizada para aproximar a impedância ótima de ruído daquela que casa o transistor. Desenvolveu-se um programa de computador (REALIM) para análise do circuito e apresentam-se alguns exemplos.</i>			
15. Observações <i>Submetido para apresentação na 37ª Reunião Anual da SBPC, a realizar-se em Belo Horizonte, MG, de 10 a 17 de julho de 1985.</i>			

ABSTRACT

The technique to design low noise amplifiers with feedback, used to match for noise and gain simultaneously, is presented. A computer program (REALIM) to analyse this circuit and some examples are presented too.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
1. <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2. <u>TRANSFORMAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RUÍDO</u>	1
3. <u>PROGRAMA DE ANÁLISE</u>	6
4. <u>CONCLUSÃO</u>	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Quadripolo ruidoso	1
2 - Associação série	2
3 - Associação paralela	5
4 - Transistor realimentado	6

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
1 - Parâmetros de ruído para o FMT 940	7
2 - Parâmetros de ruído para o NEV222	8
3 - Parâmetros de ruído para o NE 02135	8

1. INTRODUÇÃO

Utiliza-se realimentação no projeto de amplificadores visando principalmente aumentar a banda de passagem ou estabilizar o transistor. Uma outra aplicação (Vendelin, 1981) é no projeto de amplificadores de baixo ruído, quando se pretende aproximar a impedância ótima de ruído daquela que casa o transistor, diminuindo assim o VSWR na entrada.

A análise de ruído de amplificadores realimentados foi apresentada por vários autores (Vendelin, 1981), sendo o tratamento mais completo o de Ha (1981). Estes trabalhos apresentam a matriz de transformação n , que relaciona os parâmetros de ruído do transistor com os novos parâmetros do transistor realimentado em função dos parâmetros S do transistor e das redes de realimentação. Neste trabalho apresenta-se um desenvolvimento alternativo, utilizando parâmetro Z , conforme Seção 2.

Na Seção 3 apresenta-se o programa de análise de amplificadores de baixo ruído e na Seção 4, as conclusões.

2. TRANSFORMAÇÃO DOS PARÂMETROS DE RUÍDO

Um quadripolo ruidoso pode ser representado por um quadripolo ideal sem ruído, acompanhado de uma fonte de tensão (e) e uma de corrente (i), conforme a Figura 1.

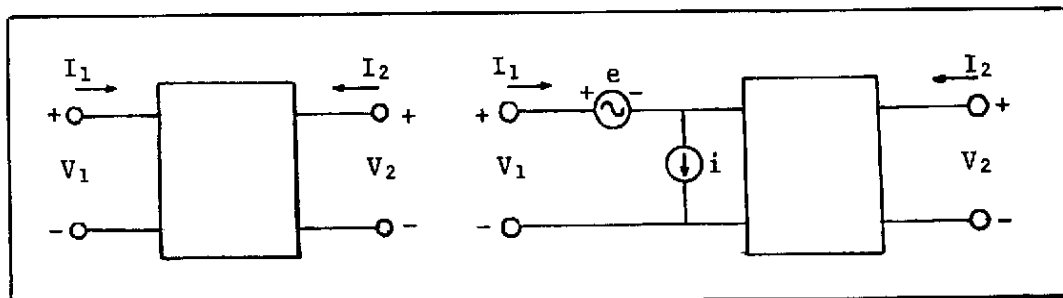


Fig. 1 - Quadripolo ruidoso.

A associação sêrie de um quadripolo ruidoso com um quadripolo reativo ideal está representada na Figura 2.

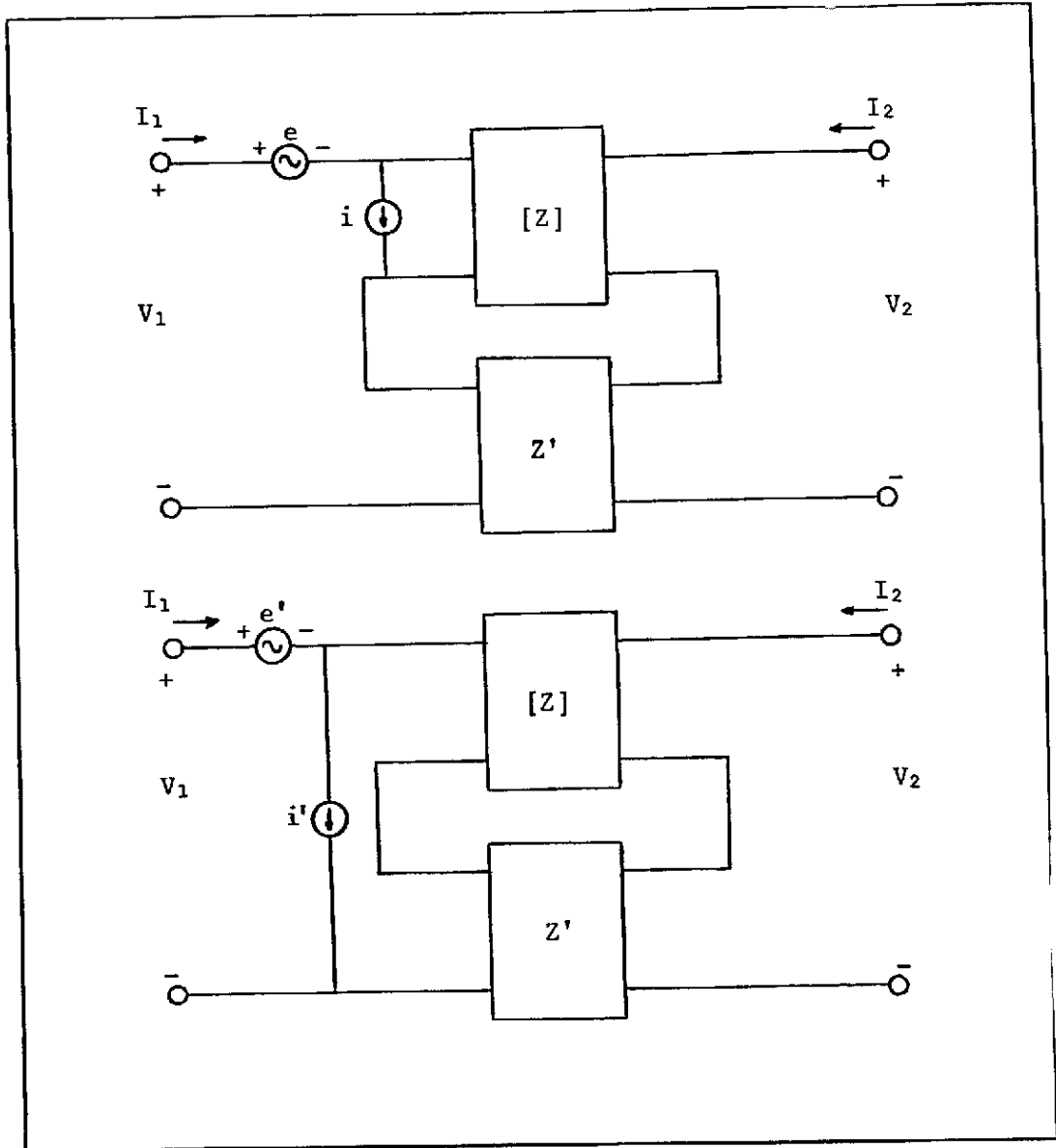


Fig. 2 - Associação sêrie.

O problema consiste então em relacionar e' e i' com e e i , o que pode ser feito escrevendo as expressões para V_1 e V_2 na Figura 2. Ha (1981) fez este desenvolvimento chegando às seguintes expressões:

$$i' = \frac{Z_{21}}{Z_{21} + Z'_{21}} i ,$$

$$e' = e + \frac{Z'_{11} Z_{21} - Z_{11} Z'_{21}}{Z_{21} + Z'_{21}} i ;$$

como $Z'_{11} = Z'_{21} = Z_N$,

$$i' = Z_{21}/(Z_{21} + Z_N) i ,$$

$$e' = e + Z_N(Z_{21} - Z_{11})/(Z_{21} + Z_N) i .$$

Pode-se, desta forma, representar a transformação ocorrida por uma matriz n , tal que:

$$\begin{bmatrix} e' \\ i' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ i \end{bmatrix}$$

onde:

$$n_{11} = 1 , \quad n_{12} = Z_N (Z_{21} - Z_{11})/(Z_{21} + Z_N) ,$$

$$n_{21} = 0 , \quad n_{22} = Z_{21}/(Z_{21} + Z_N) .$$

Desta forma análoga, para a associação paralela (Figura 3), pode-se partir das expressões desenvolvidas por Ha (1981):

$$e' = \frac{Y_{21}}{Y_{21} + Y'_{21}} e ,$$

$$i' = i + \frac{Y'_{11} Y_{21} - Y_{11} Y'_{21}}{Y_{21} + Y'_{21}} e ;$$

como $Y'_{11} = Y_N$

$$Y'_{21} = -Y_N$$

$$e' = \frac{Y_{21}}{Y_{21} - Y_N} e ,$$

$$i' = i + Y_N \frac{(Y_{21} + Y_{11})}{Y_{21} - Y_N} e ,$$

isto permite que se escreva a matriz n como:

$$n_{11} = Y_{21}/(Y_{21} - Y_N) , \quad n_{12} = 0 ,$$

$$n_{21} = Y_N (Y_{21} + Y_{11})/(Y_{21} - Y_N) , \quad n_{22} = 1 .$$

Os parâmetros de ruído mais conhecidos F_{\min} , Γ_{ot} e RN podem ser substituídos por:

$$RN, GN \text{ e } Y_{\text{cor}} ,$$

onde:

$$G_{\text{cor}} = (F_{\min} - 1)/2RN - G_{ot} ,$$

$$B_{\text{cor}} = -B_{ot} ,$$

$$G_N = RN (G_{ot}^2 - G_{\text{cor}}^2) .$$

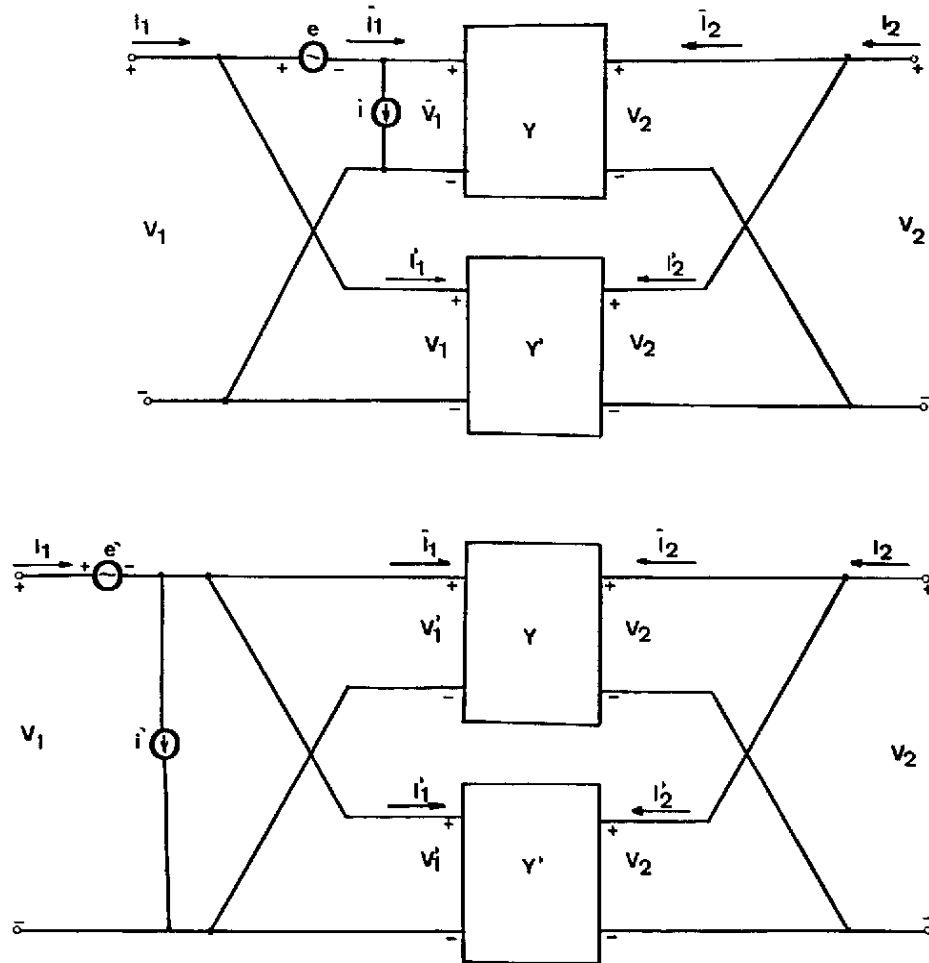


Fig. 3 - Associação paralela.

Ha (1981) mostra que R_N , G_N e Y_{cor} podem ser relacionados aos novos parâmetros do transistor realimentado R_N' , G_N' e Y'_{cor} pelas expressões:

$$R_N' = R_N \left| n_{11} + n_{12} Y_{cor} \right|^2 + G_N \left| n_{12} \right|^2 ,$$

$$G_N' = G_N \left| n_{11} n_{22} - n_{12} n_{21} \right|^2 \cdot R_N / R_N' ,$$

$$Y'_{cor} = \frac{R_N}{R_N'} (n_{21} + n_{22} Y_{cor})(n_{11} + n_{12} Y_{cor}) + G_N / R_N' n_{22} n_{12} ,$$

podendo então ser recalculados:

$$G'_{ot} = [(G'_N + RN'G'_{cor})/R_p]^{1/2} ,$$

$$B'_{ot} = -B'_{cor} ,$$

$$F'_{min} = 1 + 2RN' (G'_{cor} + G'_{ot}) .$$

3. PROGRAMA DE ANÁLISE

Foi desenvolvido um programa de computador (REALIM) para auxiliar o projeto de amplificadores. O programa tem como dados de entrada os parâmetros S do transistor e as impedâncias de realimentação sêrie e paralela (Figura 4). Os parâmetros S são convertidos em parâmetro Z ou Y, de forma a se obter a matriz de transformação n e os parâmetros de ruído modificados. Esta operação é feita inicialmente para a associação sêrie, e os parâmetros obtidos servem como dados de entrada para a associação paralela. A listagem do programa encontra-se no Apêndice A.

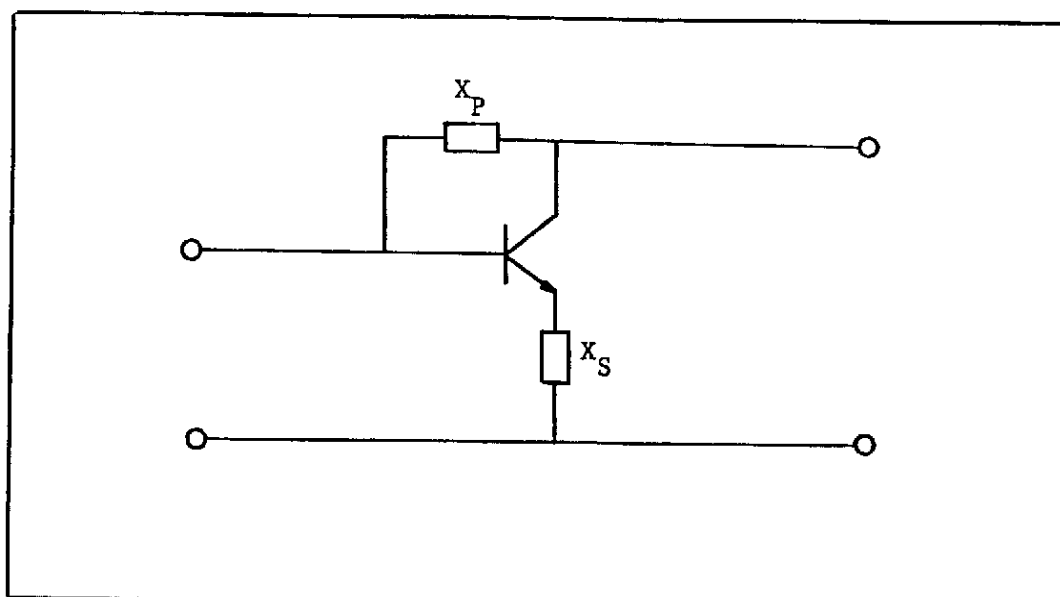


Fig. 4 - Transistor realimentado.

4. CONCLUSÃO

Desenvolveu-se um programa de computador que permite a análise do ruído de amplificadores realimentados. Testou-se o programa reproduzindo os resultados obtidos por Vendelin (1981) e Besser (1981). As tabelas 1, 2 e 3 apresentam exemplos para uma reatância série XL.

Para realimentação série de FETs, Weinreb (1982) conclui a partir de Vendelin (1981), que para "XL pequeno, seu efeito na impedância ótima de ruído é reduzi-la de XL". As tabelas 1 e 2 mostram que esta afirmação deve ser tomada com certos cuidados.

TABELA 1

PARÂMETROS DE RUÍDO PARA O FMT 940

XL	RN	F _{min}	Y _{ot}	Z _{ot}
0	2	3,3	0,25 - j0,65	0,515 + j 1,34
0,1	1,608	3,128	0,294 - j0,655	0,570 + j 1,271
0,5	0,698	2,581	0,557 - j0,738	0,652 + j0,863
1,0	0,313	2,111	1,018 - j0,496	0,794 + j0,387
1,5	0,256	1,784	1,055 + j0,101	0,439 - j0,09

TABELA 2

PARÂMETROS DE RUÍDO PARA O NEV222

XL	RN	F _{min}	Y _{ot}	Z _{ot}
0	0,228	1,2	0,5 + j 0,025	1,995 - j 0,1
0,1	0,231	1,23	0,506 + j 0,042	1,463 - j 0,163
0,5	0,249	1,36	0,516 + j 0,115	1,846 - j 0,411
1,0	0,292	1,54	0,493 + j 0,207	1,724 - j 0,724
1,5	0,366	1,71	0,437 + j 0,278	1,629 - j 1,036

TABELA 3

PARÂMETRO DE RUÍDO PARA O NE 02135

XL	RN	F _{min}	Y _{ot}	Z _{ot}
0	0,14	1,2	0,627 - j 0,484	0,999 + j 0,771
0,1	0,27	1,19	0,683 - j 0,459	1,009 + j 0,678
0,5	0,095	1,15	0,884 - j 0,257	1,043 + j 0,303
1,0	0,089	1,11	0,9 + j 0,136	1,086 - j 0,164
1,5	0,115	1,07	0,674 + j 0,377	1,13 - j 0,632

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESSER, L. Stability Considerations of Low-Noise Transistor Amplifier with Simultaneous Noise and Power Match. IN: Fujui, H. ed. *Low-noise microwave transistor and amplifiers*. New York, NY, IEEE, 1981. p. 272-274.
- HA, T.T. *Solid-state microwave amplifiers design*. New York, NY, John Wiley, 1981.
- VENDELIN, G.D. Feedback effects on the Noise Performance of MESFETs. IN: Fukui, H. ed. *Low-noise microwave transistor and amplifiers*. New York, NY, IEEE, 1981. P. 294-296.
- WEINREB, S., EENSTERMACHER, D.D., HARRIS, R.W. Ultra-low-noise 1-2 to 1.7 GHz cooled GaAs FET amplifiers. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 30(6):849-853, June 1982.

APÊNDICE A

LISTAGEM DO PROGRAMA

WORKFILE: PEALJM (05/17/85)

```
100 $ SET FREE
200 FILE 2(KIND=REMOTE)
300 FILE 5(KIND=PRINTER)
400 C*
500 C* RUIDO DE AMPLIFICADORES COM REALIMENTACAO
600 C*
700 DIMENSION S(2,2),T(2,2),TC(2,2)
800 COMPLEX S,T,TC,ZP,YDT
850 COMPLEX Z(2,2),ZS(2,2),Y(2,2),YP(2,2),SS(2,2)
860 COMPLEX TNP(2,2),TNS(2,2)
870 COMPLEX SP(2,2),ZN,YN
900 COMPLEX COM,A
950 COMPLEX PS(2,2),PSP(2,2)
1000 COMPLEX YLCOR,YCCOR
1100 COMPLEX TEMP,YCOR,XLCOR,TYLCOR
1150 COMPLEX YUTS,YOTP
1200 READ(2,/)CONF,ZSR,ZSI,ZPR,ZPI
1300 ZN=CMPLX(ZSR,ZSI)
1400 ZP=CMPLX(ZPR,ZPI)
1500 C*
1550 IF (CONF)2,3,4
1600 2 CONTINUE
1610 S(1,1)=COM(.86,-76)
1620 S(2,1)=COM(.82,98)
1630 S(1,2)=COM(.031,42)
1640 S(2,2)=COM(.87,50)
1650 RN=2.
1660 FMR=3.3
1670 YDT=CMPLX(.25,-0.65)
1680 GOTO 6
1700 C*
1705 3 CONTINUE
1710 S(1,1)=COM(.67,-133)
1720 S(2,1)=COM(6.53,103)
1730 S(1,2)=COM(.07,34)
1740 S(2,2)=COM(.51,-43)
1750 RN=.14
1760 FMR=1.2
1770 YDT=CMPLX(.627,-0.484)
1780 A=(1.,0)
1790 GOTO 6
1795 4 CONTINUE
1800 S(1,1)=COM(.68,-161)
1900 S(2,1)=COM(4.17,82)
2000 S(1,2)=COM(.08,25)
2100 S(2,2)=COM(.39,-59)
2200 C*
2300 C* PARAMETROS DE RUIDO DO TRANSISTOR
2400 C*
2500 RN=.14
2600 FMR=1.2
2650 A=(1.,0)
2700 YDT=CMPLX(.627,-0.484)
2800 6 CONTINUE
2860 C*
2870 C* TRANSISTOR COM REALIMENTACAO SERIE
2880 C*
```

```
2900 CALL CSZY(0,S,Z,Y)
3000 ZS(1,1)=Z(1,1)+ZN
3010 ZS(1,2)=Z(1,2)+ZN
3020 ZS(2,1)=Z(2,1)+ZN
3040 ZS(2,2)=Z(2,2)+ZN
3045 CALL CZS(ZS,SS)
3050 TNS(1,1)=(1,0)
3100 TNS(1,2)=ZN*(Z(2,1)-Z(1,1))/(Z(2,1)+ZN)
3300 TNS(2,1)=(0,0)
3400 TNS(2,2)=Z(2,1)/(Z(2,1)+ZN)
3500 CALL RUI(TNS,RN,FMB,YOT,RNS,FNS,YOTS)
3520 CALL VSWR(YOTS,SS,VSW)
3540 20 CONTINUE
3560 C*
3570 C* TRANSISTOR COM REALIMENTACAO PARALELO
3580 C*
3600 CALL CSZY(1,SS,Z,Y)
3700 IF(ZP.EQ.0)GOTO 10
3800 YN=1./ZP
3900 YP(1,1)=Y(1,1)+YN
3910 YP(1,2)=Y(1,2)-YN
3920 YP(2,1)=Y(2,1)-YN
3930 YP(2,2)=Y(2,2)+YN
4000 CALL CYS(YP,SP)
4100 TNP(1,1)=Y(2,1)/(Y(2,1)-YN)
4150 TNP(1,2)=(0,0)
4200 TNP(2,1)=YN*(Y(2,1)+Y(1,1))/(Y(2,1)-YN)
4300 TNP(2,2)=(1,0)
4400 CALL RUI(TNP,RNS,FNS,YOTS,RNP,FNP,YOTP)
4450 CALL VSWR(YOTP,SP,VSWP)
4500 10 CONTINUE
4505 DO 11 IS=1,2
4506 DO 11 IP=1,2
4510 CALL POLAR(S(IS,IP),PS(IS,IP))
4520 CALL POLAR(SP(IS,IP),PSP(IS,IP))
4521 11 CONTINUE
4550 WRITE(5,110)RN,FMB,YOT
4552 110 FORMAT(2X,'RN=',F8.3,2X,'FMB=',F8.3,2X,'YOTS=',2F8.3)
4554 WRITE(5,120)ZN,ZP
4556 120 FORMAT(2X,'ZN=',2F8.3,2X,'ZP=',2F8.3,2X,'//')
4560 WRITE(5,130)RNP,FNP,YOTP
4562 130 FORMAT(2X,'RNP=',F8.3,2X,'FNP=',F8.3,2X,'YOTP=',2F8.3)
4564 WRITE(5,140)VSWP
4566 140 FORMAT(2X,'VSWR=',F8.3,2X,'//')
4600 WRITE(2,100)RNS,FNS,YOTS,RNP,FNP,YOTP
4630 WRITE(2,100)PS,PSP
4640 WRITE(5,100)PS,PSP
4650 WRITE(5,100)RNS,FNS,YOTS,RNP,FNP,YOTP
4655 WRITE(5,100)VSW,VSWP
4658 WRITE(2,100)VSW,VSWP
4660 100 FORMAT(2X,7F8.3)
4670 CALL ESTAB(S)
4680 CALL ESTAB(SS)
4690 CALL ESTAB(SP)
4700 END
4800 FUNCTION COM(X,Y)
4900 COMPLEX COM
5000 P1=3.1415926
5100 A1=X*COS(Y*PI/180)
5200 A2=X*SIN(Y*PI/180)
```

```

5300   CDM=CMPLX(A1,A2)
5400   RETURN
5500   END
5600   SUPROUTINE RUI(T,RN,FMB,YOT,RLN,FLM,YLOT)
5700   COMPLEX YOT,YCOR,YCCOR,TC(2,2),T(2,2),TEMP,YLCOR
5750   COMPLEX TYLCOR,YLOT
5800   Z0=1
5900   FR=10*(FMB/10)
6000   RR=RN*Z0
6100   GOT=REAL(YOT)
6200   BDT=AIMAG(YOT)
6300   GCDR=(FR-1)/2/RR-GOT
6400   BCDR=-BDT
6500   YCOR=CMPLX(GCDR,BCDR)
6600   YCCOR=CONJG(YCOR)
6700   GR=RR*(GOT**2-GCDR**2)
6800   TC(1,1)=CONJG(T(1,1))
6900   TC(1,2)=CONJG(T(1,2))
7000   TEMP=T(1,1)+T(1,2)*YCOR
7100   PLP=RR*CABS(TEMP)**2+GR*CABS(T(1,2))**2
7200   TEMP=T(1,1)*T(2,2)-T(1,2)*T(2,1)
7300   GLP=GR*RR/RLR*CABS(TEMP)**2
7400   YLCOR=RR/RLR*(T(2,1)+T(2,2)*YCOR)
7500   TYLCOR=TC(1,1)+TC(1,2)*YCCOR
7600   YLCOR=YLCOR*TYLCOR+GR/RLR*T(2,2)*TC(1,2)
7700   GLCOR=REAL(YLCOR)
7800   BLCOR=AIMAG(YLCOR)
7900   RLN=PLR/Z0
8000   GLOT1=GLP+RLR*GLCOR**2
8100   GLOT=SQRT(GLOT1/RLR)
8200   BLOT=-BLCOR
8300   YLOT=CMPLX(GLOT,BLOT)
8400   FLM=(1+2*RLR*(GLCOR+GLOT))
8500   FLM=10*ALOG10(FLM)
8550   RETURN
8600   END
8700   SUPROUTINE CSZY(NC,S,Z,Y)
8800   COMPLEX S(2,2),Z(2,2),Y(2,2),A,B,C,D,E,F
8900   C*
9000   C*  CONVERSÃO DE PARAMETROS
9100   C*
9200   A=(1.,0)+S(1,1)
9300   B=(1.,0)-S(2,2)
9400   C=(1.,0)-S(1,1)
9500   D=(1.,0)+S(2,2)
9600   IF(NC)10,10,20
9700   C*
9800   C*  CONVERSÃO DE S PARA Z
9900   C*    VC=0
10000  C*
10100   10 F=C*B*S(1,2)*S(2,1)
10200   Z(1,1)=(A*B+S(1,2)*S(2,1))/E
10300   Z(1,2)=2*S(1,2)/E
10400   Z(2,1)=2*S(2,1)/E
10500   Z(2,2)=(D*C+S(1,2)*S(2,1))/E
10600   GOTO 30
10700  C*
10800  C*  CONVERSÃO DE S PARA Y
10900  C*    NC=1
11000  C*

```

```
11100      20 F=A+D*S(1,2)*S(2,1)
11200      Y(1,1)=(D*C+S(1,2)*S(2,1))/F
11300      Y(1,2)=-2*S(1,2)/F
11400      Y(2,1)=-2*S(2,1)/F
11500      Y(2,2)=(A+B+S(1,2)*S(2,1))/F
11600      30 RETJRN
11700      END
11800      SUBROUTINE CZS(Z,S)
11900      COMPLEX Z(2,2),S(2,2),A,B,C,D,E
12000      C*
12100      C*  CONVERSAD DE PARAMETROS Z PARA S
12200      C*
12300      A=Z(1,1)-(1.,0)
12400      B=Z(1,1)+(1.,0)
12500      C=Z(2,2)-(1.,0)
12600      D=Z(2,2)+(1.,0)
12700      E=P*D-Z(1,2)*Z(2,1)
12800      S(1,1)=(A*D-Z(1,2)*Z(2,1))/E
12900      S(1,2)=2*Z(1,2)/E
13000      S(2,1)=2*Z(2,1)/E
13100      S(2,2)=(B*C-Z(1,2)*Z(2,1))/E
13200      RETURN
13300      END
13400      SUBROUTINE CYS(Y,S)
13500      COMPLEX Y(2,2),S(2,2),A,B,C,D,E
13600      C*
13700      C*  CONVERSAD DE PARAMETROS Y PARA S
13800      C*
13900      A=(1.,0)-Y(1,1)
14000      B=(1.,0)+Y(2,2)
14100      C=(1.,0)+Y(1,1)
14200      D=(1.,0)-Y(2,2)
14300      E=C*B-Y(1,2)*Y(2,1)
14400      S(1,1)=(A*B+Y(1,2)*Y(2,1))/E
14500      S(1,2)=-2*Y(1,2)/E
14600      S(2,1)=-2*Y(2,1)/E
14700      S(2,2)=(C*D+Y(2,1)*Y(1,2))/E
14900      END
15000      SUBROUTINE VSWR(YOT,S,VSW)
15100      COMPLEX YOT,YOTC,YIN,S(2,2),GAMA
15200      COMPLEX A
15300      A=(1.,0)
15400      YIN=(A*S(1,1))/(A+S(1,1))
15500      YOTC=CONJG(YOT)
15600      GAMA=(YOTC-YIN)/(YOT+YIN)
15700      VSW=(1+CABS(GAMA))/(1-CABS(GAMA))
15800      RETURN
15900      END
16000      SUBROUTINE ESTAR(S)
16100      COMPLEX S(2,2),A,B,C,D,E
16200      COMPLEX COM,RC1,RC2
16250      COMPLEX PRC1,PRC2
16300      A=(1.,0)
16400      D=S(1,1)*S(2,2)-S(1,2)*S(2,1)
16500      EK=1+CABS(D)**2-CABS(S(1,1))**2-CABS(S(2,2))**2
16600      EK=EK/(2*CABS(S(2,1)*S(1,2)))
16700      R=S(1,1)-D*CONJG(S(2,2))
16800      C=S(2,2)-D*CONJG(S(1,1))
16900      PC1=CONJG(R)/((CABS(S(1,1))**2-CABS(D)**2)
17000      P1=CABS(S(1,2)*S(2,1))/(CABS(S(1,1))**2-CABS(D)**2)
```

```
17100 RC2=CONJG(C)/((CABS(S(2,2))**2-CABS(D)**2)
17200 R2=CABS(S(1,2)*S(2,1))/(CABS(S(2,2))**2-CABS(D)**2)
17300 CALL POLAR(RC1,PRC1)
17400 CALL POLAR(RC2,PRC2)
17500 WRITE(2,100)EK,PRC1,R1,PRC2,R2
17600 WRITE(5,100)EK,PRC1,R1,PRC2,R2
17700 100 FORMAT(2X,7F8.3)
17800 END
17900 SUBROUTINE POLAR(Z,PZ)
18000 COMPLEX Z,PZ
18100 PI=3.145926
18200 X=REAL(Z)
18300 Y=AIMAG(Z)
18400 R=X**2+Y**2
18500 R=SQRT(R)
18600 T=ATAN(Y/X)*180./PI
18650 PZ=CMLPX(R,T)
18700 RETURN
18800 END
```