

# Diseño de Circuitos en Microondas

## Parámetros S o de Dispersión

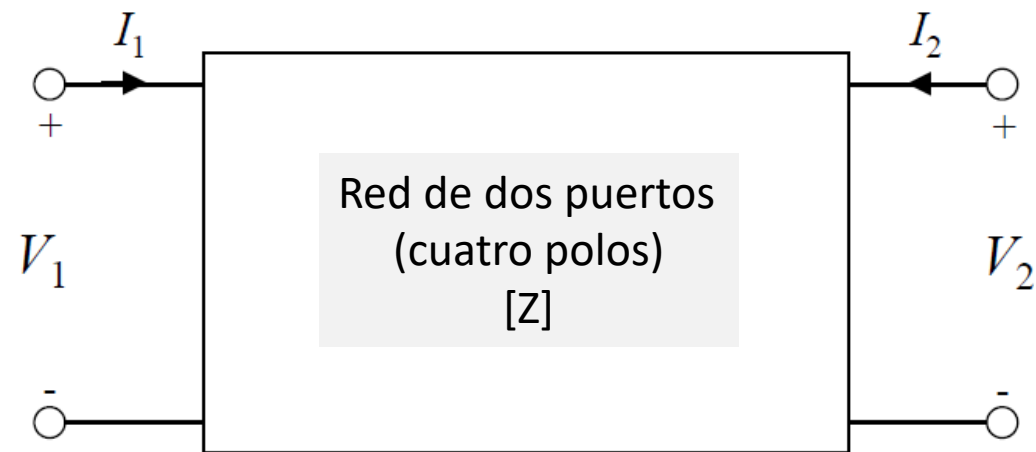
2023 Laboratorio de Comunicaciones  
Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en Electrónica (ICYTE)  
CONICET – UNMDP

---

- Los sistemas electrónicos de **dos** puertos (“entrada” y “salida”) por lo general pueden modelarse como cuadripolos.
- Estos a su vez se caracterizan con parámetros, como los Z e Y.
- Conocer la matriz de parámetros permite caracterizar completamente al sistema representado.

Parámetros Z – de circuito abierto.

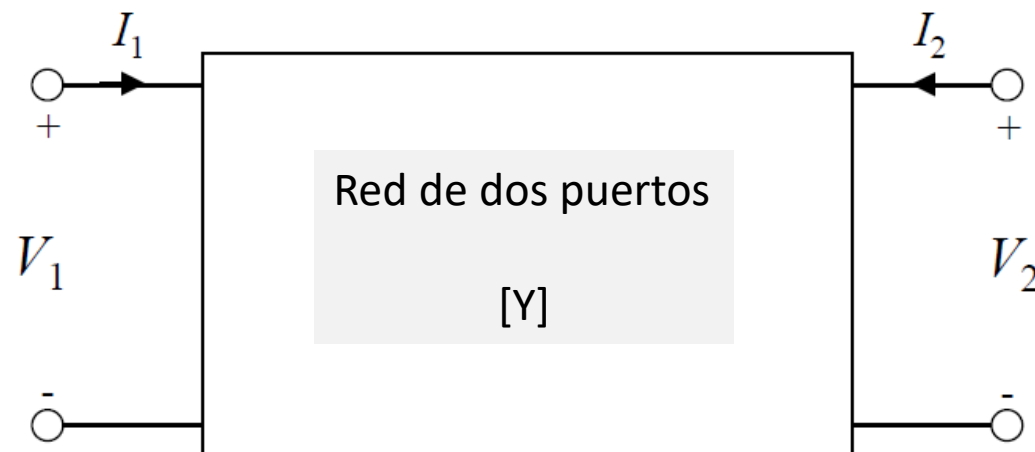
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$



$$Z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad Z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \quad Z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad Z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

Parámetros  $Y$  – de cortocircuito.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

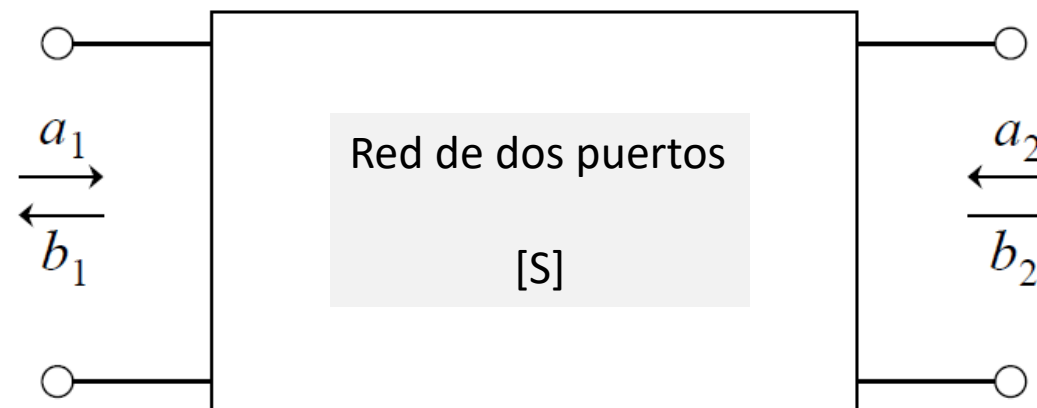


$$Y_{11} = \left. \frac{I_1}{V_1} \right|_{V_2=0} \quad Y_{12} = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{V_1=0} \quad Y_{21} = \left. \frac{I_2}{V_1} \right|_{V_2=0} \quad Y_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{V_1=0}$$

- Los parámetros  $Z$  e  $Y$  no suelen ser usados en altas frecuencias ya que no pueden ser medidos directamente (tensiones y corrientes).
- En cambio, las ondas incidentes y reflejadas contienen información similar pues dependen de  $Z$  e  $Y$ .
- Existen dispositivos (acopladores direccionales, analizadores de redes) que permiten medir ondas de tensión incidentes/salientes a un puerto y aquellas reflejadas (amplitud y fase).

## Parámetros S (de dispersión o *scattering*)

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$



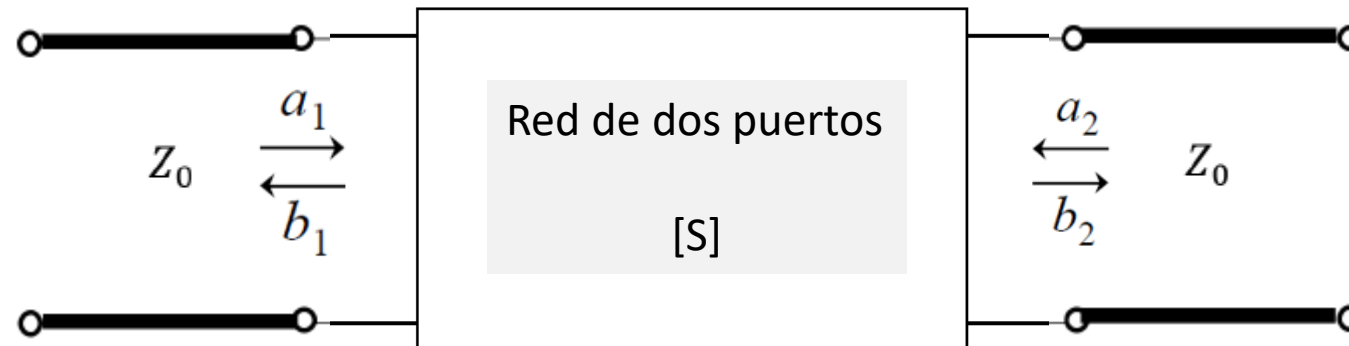
$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0}$$

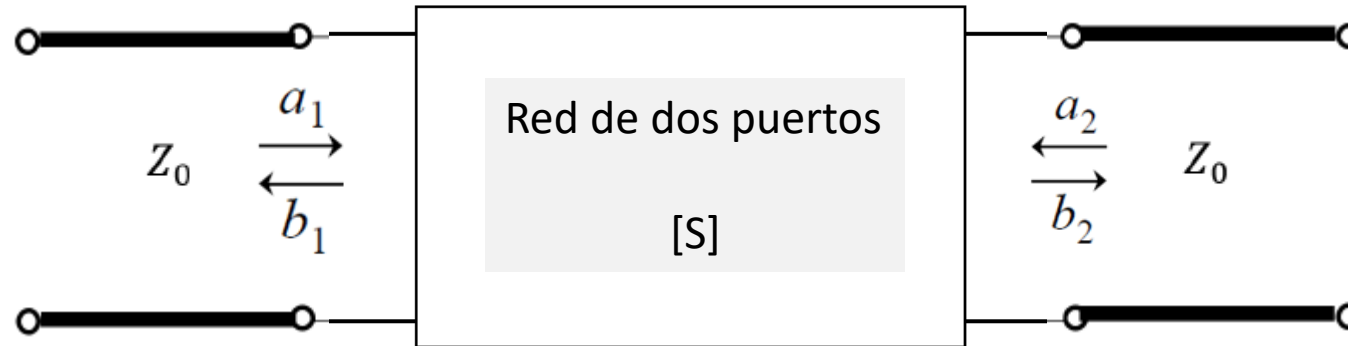
$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0}$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

- Se asume que hay líneas de transmisión conectadas a los extremos de la red a caracterizar. De esta manera la existencia de ondas incidentes y reflejadas tiene sentido.
- Entonces, la matriz de parámetros  $S$  se especifica para una impedancia de referencia,  $Z_0$  (por lo general  $50 \Omega$ ) y a una frecuencia específica.

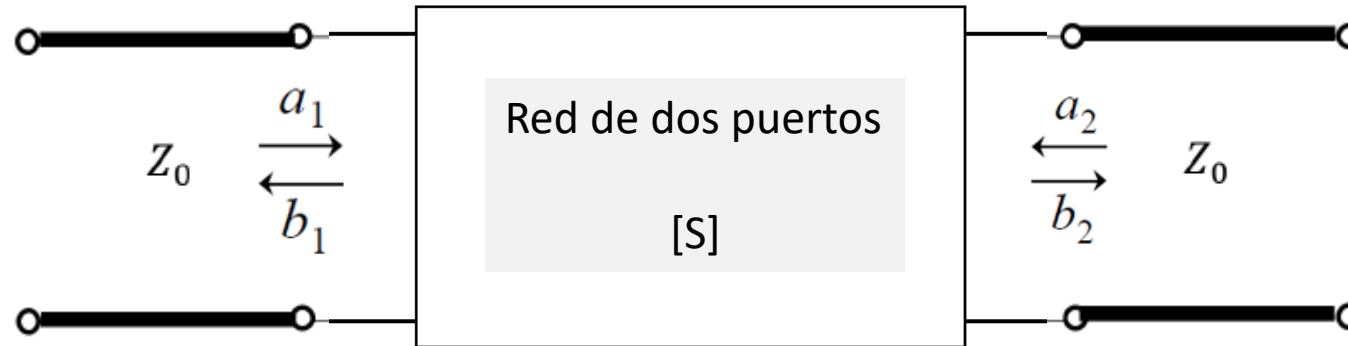




$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

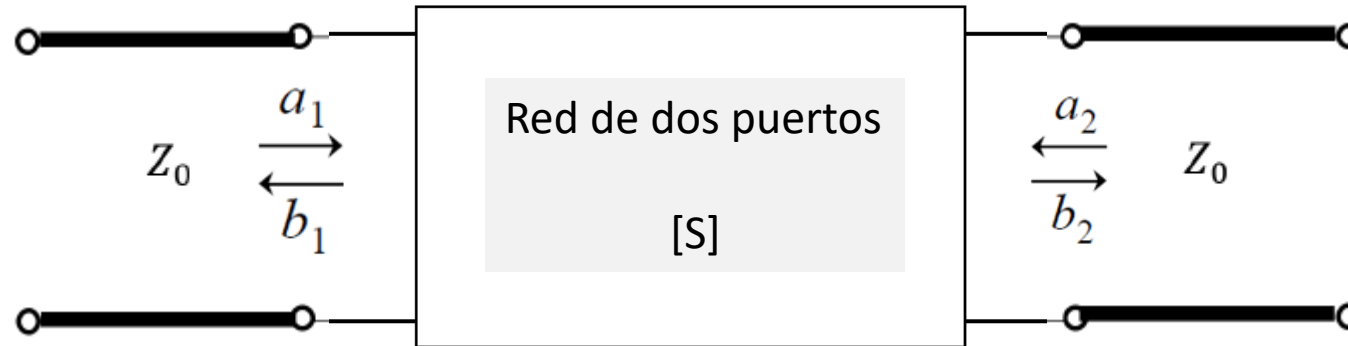
Por ejemplo,  $S_{11}$  es el coeficiente de reflexión en el puerto 1 cuando el puerto 2 está adaptado (cargado con  $Z_0$ ).





$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

El parámetro  $S_{21}$  sería el que mejor se asocia a la “transferencia” del sistema en términos del diseño de amplificadores o filtros (usando el puerto 1 como entrada y el 2 como salida).



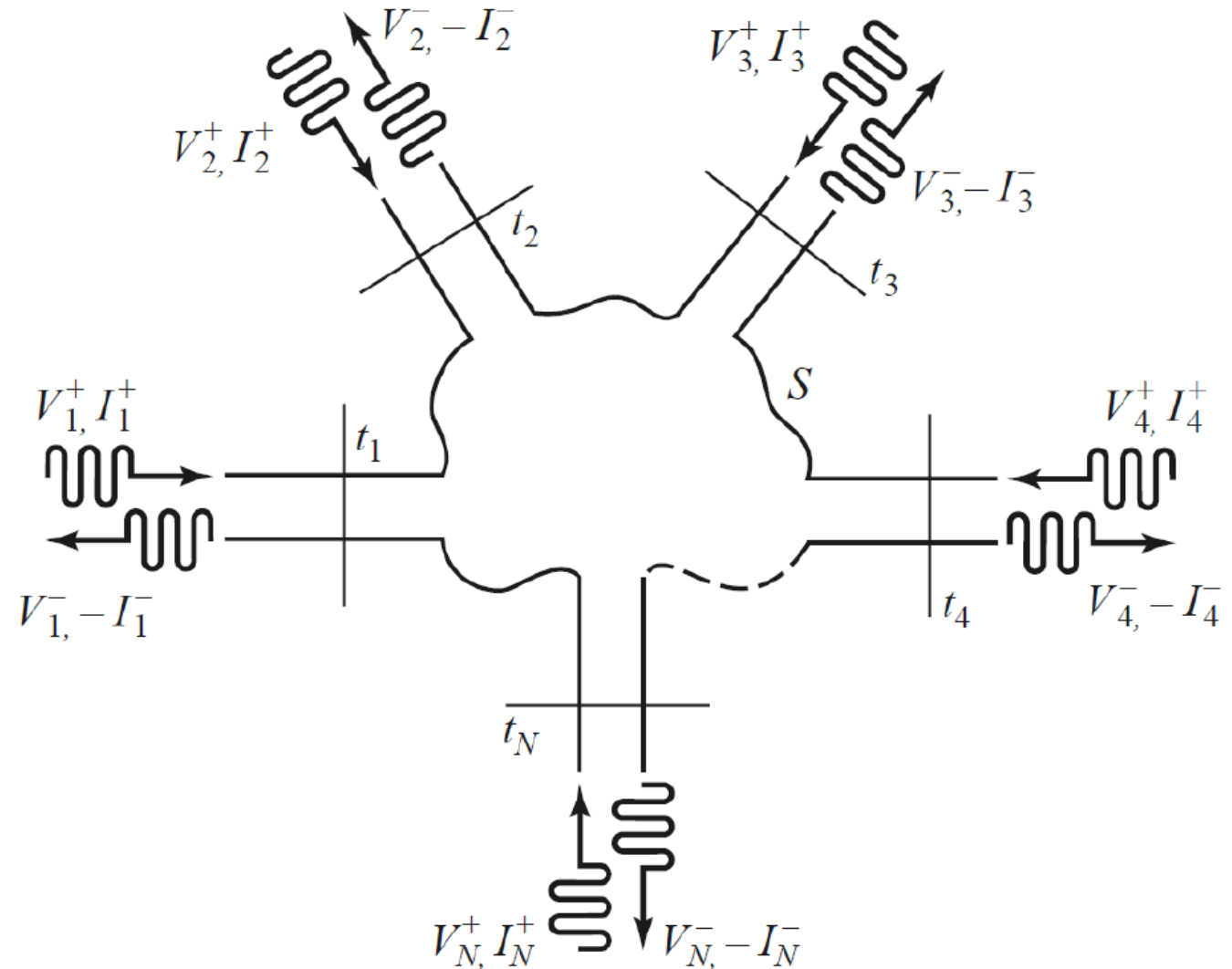
$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0}$$

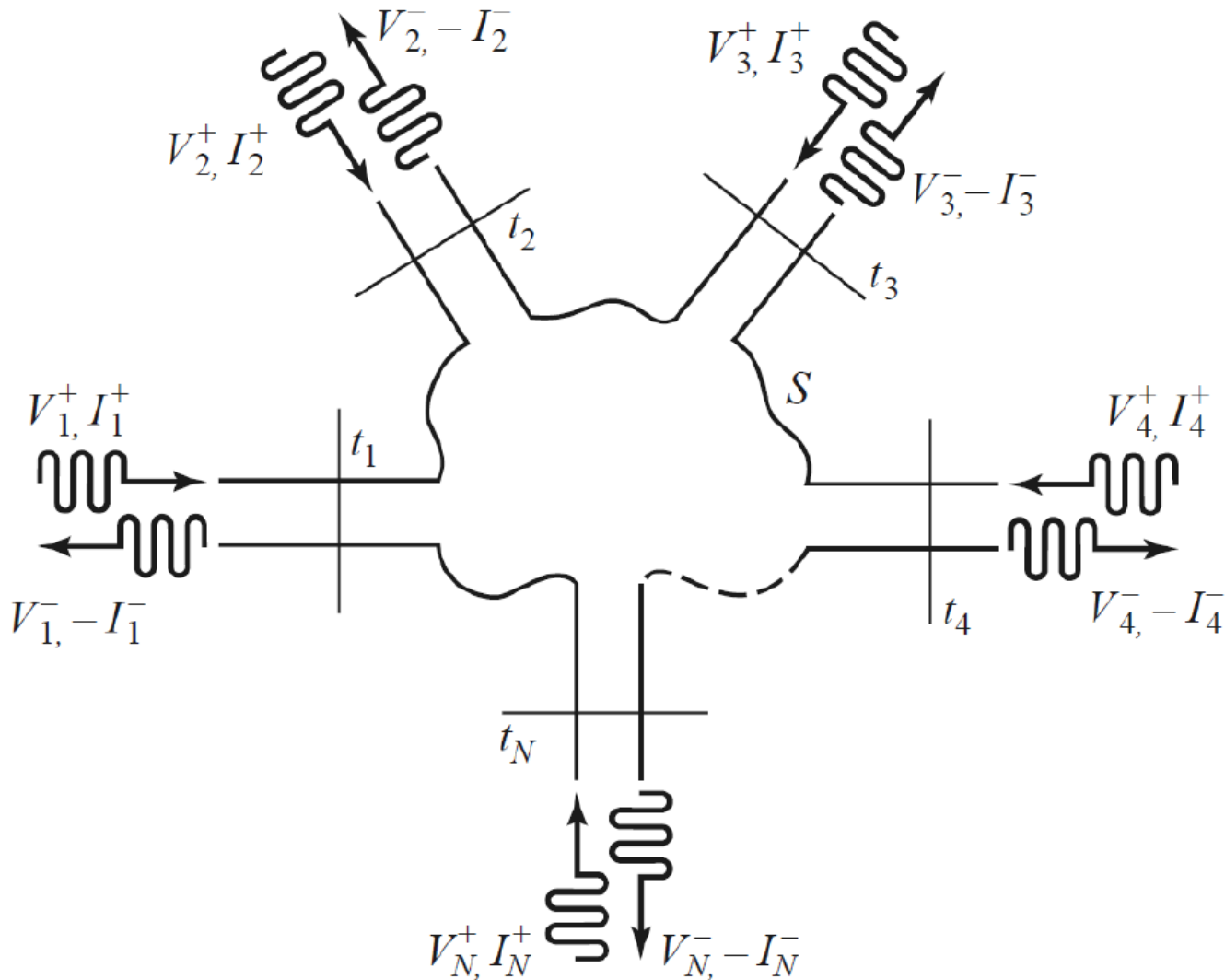
Al igual que con los parámetros  $Z$  e  $Y$ , la matriz de parámetros  $S$  es simétrica ( $S_{ij} = S_{ji}$ ) cuando la red es pasiva.

Los parámetros  $S$  pueden extenderse a redes de un número arbitrario ( $N$ ) de puertos.

Ejemplos:

- 1: Cargas, antenas, detectores, generadores, osciladores.
- 2: Amplificadores, filtros, atenuadores, redes de adaptación, líneas de Tx, guías de onda.
- 3 o más: Combinadores, *splitters*, acopladores direccionales, conectores “T”, circuladores, matrices de retardos para arreglos de antenas.





$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \\ \vdots \\ V_N^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1N} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & S_{N2} & \cdots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \\ \vdots \\ V_N^+ \end{bmatrix}$$

$$S_{ij} = \left. \frac{V_i^-}{V_j^+} \right|_{V_k^+ = 0 \text{ con } k \neq j}$$

Los otros puertos deben adaptarse para medir cada parámetro!

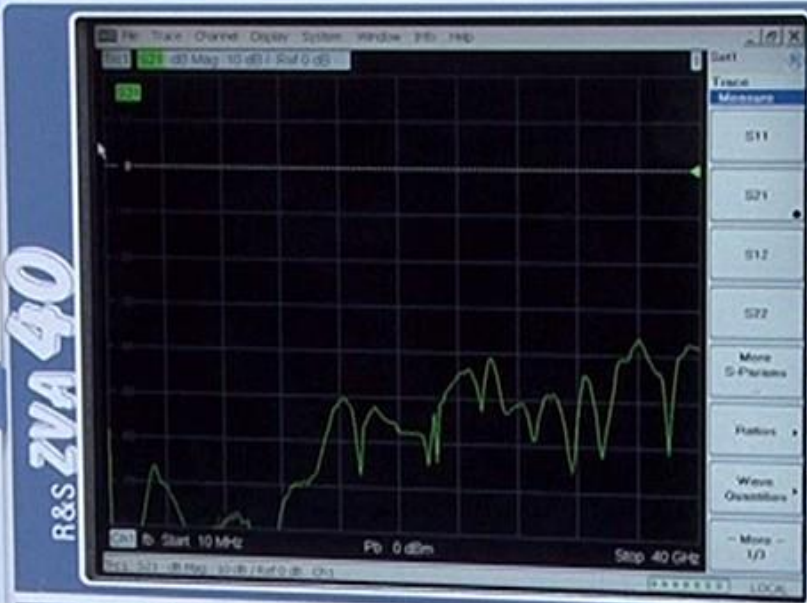




ROHDE &amp; SCHWARZ

ZVA 40 · VECTOR NETWORK ANALYZER · 10 MHz ... 40 GHz

1145.1110.42



```
1 !S-Parameters
2 !
3 !Created: 03-21-2014 at 14:25:30
4 !MODEL: ZABDC20-322H+, UNIT 2
5 !Run: ..... H64320, Date Code:NA
6 !Fixture: ..... NA
7 !Temperature: ..... 25°C
8 !Connection: ..... Network Analyzer- DUT Pins
9 ! ..... PORT 1 ..... - PIN IN
10 ! ..... PORT 2 ..... - PIN OUT
11 ! ..... PORT 3 ..... - PIN CPL IN
12 ! ..... PORT 4 ..... - PIN CPL OUT
13 !Tested With: ..... Network Analyzer- E5071C, S/N- 67998, DUE- 09/25/2014
14 !
15 !
16 # MHz S DB R 50
17 !Frequency ..... S11 dB ..... S11 DEG ..... S12 dB ..... S12 DEG ..... S13 dB ..... S13 DEG ..... S14 dB ..... S14 DEG
18 ! ..... S21 dB ..... S21 DEG ..... S22 dB ..... S22 DEG ..... S23 dB ..... S23 DEG ..... S24 dB ..... S24 DEG
19 ! ..... S31 dB ..... S31 DEG ..... S32 dB ..... S32 DEG ..... S33 dB ..... S33 DEG ..... S34 dB ..... S34 DEG
20 ! ..... S41 dB ..... S41 DEG ..... S42 dB ..... S42 DEG ..... S43 dB ..... S43 DEG ..... S44 dB ..... S44 DEG
21 1000.0000 ..... -2.722878E+001 ..... 1.389237E+002 ..... -1.371705E-001 ..... -1.212779E+002 ..... -2.301965E+001 ..... -3.152850E+001 ..... -4.204390E+001 ..... -5.988614E+001
22 ..... -1.361610E-001 ..... -1.213041E+002 ..... -2.683342E+001 ..... 1.562925E+002 ..... -4.180990E+001 ..... -5.814621E+001 ..... -2.299628E+001 ..... -3.144772E+001
23 ..... -2.302074E+001 ..... -3.155632E+001 ..... -4.180954E+001 ..... -5.820045E+001 ..... -2.413367E+001 ..... 1.443862E+002 ..... -1.608354E-001 ..... -1.217359E+002
24 ..... -4.195588E+001 ..... -5.997163E+001 ..... -2.300240E+001 ..... -3.142899E+001 ..... -1.650380E-001 ..... -1.217201E+002 ..... -2.358679E+001 ..... 1.502130E+002
25 1002.0000 ..... -2.725842E+001 ..... 1.387675E+002 ..... -1.365452E-001 ..... -1.215178E+002 ..... -2.300666E+001 ..... -3.177222E+001 ..... -4.202915E+001 ..... -6.014349E+001
26 ..... -1.369247E-001 ..... -1.215442E+002 ..... -2.680747E+001 ..... 1.559069E+002 ..... -4.183238E+001 ..... -5.851022E+001 ..... -2.298179E+001 ..... -3.169481E+001
27 ..... -2.300565E+001 ..... -3.178932E+001 ..... -4.181031E+001 ..... -5.863255E+001 ..... -2.409802E+001 ..... 1.440074E+002 ..... -1.615158E-001 ..... -1.219746E+002
28 ..... -4.193896E+001 ..... -6.024041E+001 ..... -2.298824E+001 ..... -3.167663E+001 ..... -1.649373E-001 ..... -1.219612E+002 ..... -2.356330E+001 ..... 1.500135E+002
29 1004.0000 ..... -2.723186E+001 ..... 1.383327E+002 ..... -1.370073E-001 ..... -1.217601E+002 ..... -2.299339E+001 ..... -3.200187E+001 ..... -4.202874E+001 ..... -6.041000E+001
30 ..... -1.366702E-001 ..... -1.217840E+002 ..... -2.681974E+001 ..... 1.558831E+002 ..... -4.180220E+001 ..... -5.879503E+001 ..... -2.296675E+001 ..... -3.192946E+001
31 ..... -2.299184E+001 ..... -3.203414E+001 ..... -4.181060E+001 ..... -5.879976E+001 ..... -2.408773E+001 ..... 1.438758E+002 ..... -1.622712E-001 ..... -1.222206E+002
32 ..... -4.193543E+001 ..... -6.062577E+001 ..... -2.297385E+001 ..... -3.190553E+001 ..... -1.658303E-001 ..... -1.222006E+002 ..... -2.356058E+001 ..... 1.497536E+002
33 1006.0000 ..... -2.724931E+001 ..... 1.381424E+002 ..... -1.372261E-001 ..... -1.220050E+002 ..... -2.297820E+001 ..... -3.225230E+001 ..... -4.201506E+001 ..... -6.070537E+001
34 ..... -1.371182E-001 ..... -1.220282E+002 ..... -2.679806E+001 ..... 1.556087E+002 ..... -4.179519E+001 ..... -5.910806E+001 ..... -2.295415E+001 ..... -3.217255E+001
35 ..... -2.297839E+001 ..... -3.227309E+001 ..... -4.179086E+001 ..... -5.910096E+001 ..... -2.407708E+001 ..... 1.434978E+002 ..... -1.621474E-001 ..... -1.224591E+002
36 ..... -4.193551E+001 ..... -6.072750E+001 ..... -2.295947E+001 ..... -3.215548E+001 ..... -1.659169E-001 ..... -1.224464E+002 ..... -2.351431E+001 ..... 1.494941E+002
```

```

1  !.Infineon Technologies .Discrete & RF Semiconductors
2  !.BFP420
3  !.VCE = .3.0 V, .IC = .9.0 mA
4  !.Common Emitter S-Parameters: .....Jan 2016
5  #.GHz .S .MA .R .50
6  !.f .....S11 .....S21 .....S12 .....S22
7  !.GHz .....MAG .....ANG .....MAG .....ANG .....MAG .....ANG .....MAG .....ANG
8  .0.010 .0.7388 .-1.5 .25.341 .178.9 .0.0012 .60.1 .0.9708 .0.8
9  .0.015 .0.7359 .-2.3 .25.009 .178.2 .0.0014 .71.1 .0.9739 .-0.5
10 ► .0.020 .0.7332 .-3.1 .24.681 .177.5 .0.0017 .78.9 .0.9775 .-1.7
79 ◀ .0.840 .0.5388 .-108.0 .13.988 .109.6 .0.0447 .48.4 .0.5903 .-54.5
80 .0.860 .0.5356 .-109.7 .13.756 .108.7 .0.0452 .48.0 .0.5818 .-55.3
81 .0.880 .0.5329 .-111.4 .13.528 .107.6 .0.0457 .47.7 .0.5733 .-56.0
82 .0.900 .0.5307 .-113.2 .13.305 .106.6 .0.0462 .47.3 .0.5649 .-56.8
83 .0.920 .0.5276 .-114.7 .13.093 .105.8 .0.0467 .47.0 .0.5569 .-57.4
84 .0.940 .0.5248 .-116.3 .12.883 .104.9 .0.0471 .46.6 .0.5491 .-58.1
85 .0.960 .0.5225 .-117.9 .12.676 .104.0 .0.0476 .46.3 .0.5413 .-58.8
86 .0.980 .0.5205 .-119.5 .12.472 .103.1 .0.0480 .46.0 .0.5335 .-59.5
87 .1.000 .0.5190 .-121.1 .12.272 .102.2 .0.0485 .45.7 .0.5259 .-60.2
88 .1.020 .0.5164 .-122.5 .12.084 .101.4 .0.0489 .45.5 .0.5190 .-60.7
89 .1.040 .0.5140 .-123.9 .11.897 .100.7 .0.0493 .45.2 .0.5121 .-61.3
90 .1.060 .0.5120 .-125.3 .11.713 .99.9 .0.0498 .45.0 .0.5053 .-61.9
91 .1.080 .0.5102 .-126.7 .11.531 .99.1 .0.0502 .44.7 .0.4986 .-62.5
92 .1.100 .0.5088 .-128.1 .11.352 .98.2 .0.0506 .44.5 .0.4919 .-63.1
93 .1.120 .0.5068 .-129.4 .11.186 .97.5 .0.0510 .44.3 .0.4854 .-63.7
94 .1.140 .0.5052 .-130.7 .11.021 .96.7 .0.0514 .44.0 .0.4790 .-64.3
95 .1.160 .0.5037 .-132.0 .10.858 .96.0 .0.0518 .43.8 .0.4727 .-64.9
96 .1.180 .0.5026 .-133.4 .10.698 .95.2 .0.0522 .43.6 .0.4664 .-65.5
97 .1.200 .0.5017 .-134.7 .10.539 .94.4 .0.0526 .43.4 .0.4601 .-66.1

```