

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                |                                                                                                                |                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Publicação nº<br><i>INPE-3171-PRE/541</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2. Versão                      | 3. Data<br><i>Julho, 1984</i>                                                                                  | 5. Distribuição<br><input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa<br><br><input type="checkbox"/> Restrita |
| 4. Origem<br><i>DTL/DAF</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Programa<br><i>SPAC/TRANSP</i> |                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| 6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)<br><i>CHAVES</i><br><i>DIODO PIN</i><br><i>MICROONDAS</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                |                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| 7. C.D.U.: <i>621.3.029.6</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                |                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| 8. Título<br><br><i>PROJETO DE CHAVES COM DIODO PIN</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                | 10. Páginas: <i>26</i><br>11. Última página: <i>19</i><br>12. Revisada por<br><br><i>Claudemir M. da Silva</i> |                                                                                                                                          |
| 9. Autoria <i>Eduardo Antonio Parada Tude</i><br><br><i>Eduardo Antonio Parada Tude</i><br>Assinatura responsável                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                | 13. Autorizada por<br><br><i>Nelson de Jesus Parada</i><br>Diretor Geral                                       |                                                                                                                                          |
| 14. Resumo/Notas<br><br><i>Apresentam-se as técnicas de projeto de chaves com diodo PIN em microondas. Discute-se a ação do diodo PIN como elemento chaveador nos seus estados curto e aberto, bem como os vários tipos de chaves. Construíram-se duas chaves SPDT (uma entrada e duas saídas). A primeira, na frequência de 400 MHz, apresenta isolamento de 40 dB e perda de 0,75 dB; a segunda, em 2,2 GHz, tem 20 dB de isolamento e perda menor que 0,7 dB.</i> |                                |                                                                                                                |                                                                                                                                          |
| 15. Observações <i>Submetido para apresentação na 36ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência - SBPC, de 4 a 11 de julho de 1984, em São Paulo, SP.</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                |                                                                                                                |                                                                                                                                          |

#### ABSTRACT

*This report describes the design of PIN switches in microwaves, the action of the PIN diode as a switch in the on and off states and several types of switches. Two SPDT (single pole double throw) switches prototypes were designed. The first, at 400 MHz, presents 40 dB isolation and 0.75 db insertion. The second, at 2.2 GHz, has 20 dB isolation and insertion low better than 0.7 dB.*



## SUMÁRIO

|                                        | <u>Pág.</u> |
|----------------------------------------|-------------|
| LISTA DE FIGURAS .....                 | v           |
| 1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....             | 1           |
| 2. <u>DIODO PIN</u> .....              | 1           |
| 2.1 - Física do diodo PIN .....        | 2           |
| 2.2 - Mudança de estado no diodo ..... | 4           |
| 2.3 - Circuito equivalente .....       | 5           |
| 3. <u>PROJETO DE CHAVES</u> .....      | 7           |
| 3.1 - Chave em 400 MHz .....           | 7           |
| 3.2 - Chave em 2,2 GHz .....           | 11          |
| 4. <u>CONCLUSÕES</u> .....             | 18          |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....       | 19          |



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                   | <u>Pág.</u> |
|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| 1 - Diodo PIN .....                                               | 2           |
| 2 - Comportamento do diodo com a frequência .....                 | 3           |
| 3 - Corrente no diodo .....                                       | 4           |
| 4 - Circuitos equivalentes do diodo PIN .....                     | 5           |
| 5 - Resistência versus corrente de alimentação .....              | 6           |
| 6 - Circuito equivalente com encapsulamento para linha de fita .. | 7           |
| 7 - Chave em 400 MHz .....                                        | 8           |
| 8 - Curva de transmissão para a chave de 400 MHz - Porta 1 .....  | 9           |
| 9 - Curva de transmissão para a chave de 400 MHz - Porta 2 .....  | 10          |
| 10 - Curva de transmissão para a chave de 2 GHz - Porta 1 .....   | 16          |
| 11 - Curva de transmissão para a chave de 2 GHz - Porta 2 .....   | 17          |



## 1. INTRODUÇÃO

Existem várias maneiras de construir uma chave em microondas. As mais comuns são as coaxiais e as que possuem diodo ou transistores como elemento chaveador. Dentre as chaves com diodo, a mais popular é a com diodo PIN, devido às suas características de chaveamento.

As chaves podem ser classificadas quanto ao número de portas como: SPST (uma entrada e uma saída), SPDT (uma entrada e duas saídas), ou "multithrow" (várias entradas e saídas).

Quanto à utilização do diodo como elemento chaveador, pode-se tê-lo em série, em paralelo, ou em uma combinação série e paralelo.

Neste trabalho, após algumas considerações sobre o diodo PIN na Seção 2, apresenta-se o projeto de duas chaves SPDT na Seção 3, sendo uma em 400 MHz e a outra em 2,2 GHz. Finalmente, na Seção 4 apresentam-se as conclusões.

## 2. DIODO PIN

O diodo PIN foi proposto inicialmente com um retificador de baixa frequência, que pode retificar mais potência que um simples diodo a junção PN, sem uma camada de alta resistividade. Entretanto, ele se torna um retificador pobre para frequência acima de poucos MHz. Suas características, no entanto, permitiram outros usos, principalmente em circuitos de chaveamento, pois com tensão de alimentação zero ou reversa o diodo apresenta alta impedância nas frequências de microondas, enquanto para uma corrente de alimentação moderada ele apresenta uma impedância muito baixa.

## 2.1 - FÍSICA DO DIODO PIN

O diodo PIN representado na Figura 1 é um diodo da junção PN, com uma camada intrínseca, "região I", entre a P e a N. A região I é aproximadamente uma camada  $\pi$  (P com alta resistividade) e uma  $\nu$  (N com alta resistividade).

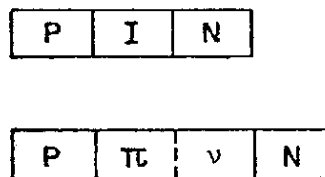


Fig. 1 - Diodo PIN.

Sem nenhuma tensão, uma camada de depleção é formada na junção das camadas N e  $\pi$ . Com tensão reversa aplicada ao diodo (região P negativa), portadoras móveis vão da região  $\pi$  para a P, e a camada de depleção aumenta até tomar toda a região  $\pi$ . Com uma corrente positiva aplicada ao diodo, buracos da região P e elétrons da N são injetados em  $\pi$ , o que aumenta a condutividade da região  $\pi$ , decrescendo a camada de depleção.

Portanto, a condutância do diodo é proporcional à carga armazenada, que está relacionada à corrente no diodo, ou seja:

$$i_d = \frac{dQ_d}{dt} + \frac{Q_d}{\tau}, \quad (1)$$

onde  $i_d$  e  $Q_d$  são a corrente e a carga no diodo, e  $\tau$  é o tempo de vida de recombinação.

$$\text{Se } i_d = \text{cte, ter-se-á } Q_d = i_d \tau.$$

Se  $i_d = \text{cte} + i(\omega)$ , a componente contínua será modulada pela presença da componente de corrente alternada. O grau de modulação depende do nível dos sinais e da frequência do sinal de RF, uma vez que:

$$Q_d(\omega) = \frac{i_d \tau(j\omega)}{1 + j\omega\tau} \quad (2)$$

Esta expressão foi obtida a partir da transformada de Laplace da Equação 1, representada na Figura 2.

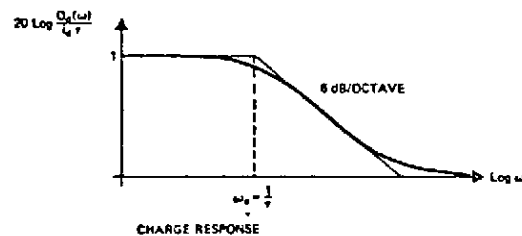


Fig. 2 - Comportamento do diodo com a frequência.

FONTE: Hewlett Packard (s.d.), p.1.

Para frequências menores que  $f_0 \approx 1/2 \pi \tau$ , o sinal de RF exerce o mesmo efeito que o sinal contínuo, mas este efeito decresce para frequências mais altas, ou seja, para  $f < f_0$  o diodo funciona como um diodo a junção PN, conforme a idéia inicial do projeto do diodo. Na vizinhança de  $f_0$ , o diodo começa a se comportar como um resistor linear, com um componente não-linear pequeno. O sinal conseqüentemente sofre algum grau de distorção. Para frequências  $f \gg f_0$ , o diodo aparece como uma resistência puramente linear, cujo valor pode ser controlado por um sinal contínuo ou de baixa frequência. Na ação de chaveamento consider-se-ão, portanto, sinais de RF em que  $f \gg f_0$ .

## 2.2 - MUDANÇA DE ESTADO NO DIODO

O diodo PIN, atuando como chave, varia entre dois estados:

- 1) possui alta resistência e corresponde a uma tensão  $V$  negativa ou  $V_{aberto}$ ;
- 2) possui resistência baixa para uma corrente de alimentação  $I$  ou  $I_{curto}$ .

Analisa-se agora a transição entre estes dois estados.

A partir das condições iniciais tem-se o diodo com um equilíbrio de cargas na camada intrínseca. Uma corrente aplicada ( $I_C$ ) ao diodo fará surgir uma carga armazenada  $Q_d$ . Ao aplicar uma tensão reversa, a carga armazenada no diodo produzirá uma corrente reversa ( $I_r$ ) que durará até que esta carga seja totalmente removida, ou  $I_r \tau = Q_d$ .

Esta corrente varia com o projeto do diodo, tem basicamente a forma apresentada na Figura 3 e é composta por um platô constante e por uma região variável.

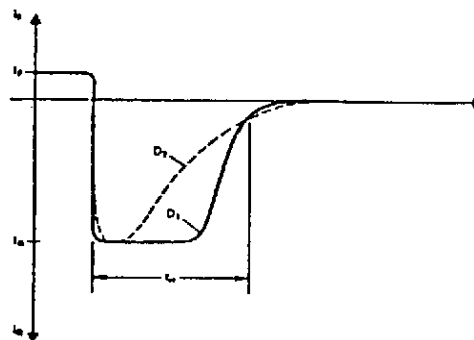


Fig. 3 - Corrente no diodo.

A velocidade de chaveamento pode ser aumentada pela diminuição do platô constante, por meio de um ajuste de  $I_C$  e  $I_r$ . Já a parte variável não pode ser reduzida, dependendo da estrutura do diodo. Pode-se dizer que: "O mínimo tempo de mudança realizável entre os dois estados de impedância é a parte do tempo de transição com  $I_r$  variável."

Portanto, a tensão reversa serve para apressar a transição (Q maior) e para remover pequenas quantidades de carga devido ao sinal de RF de alta potência. A extração destas cargas é chamada pulso de perda de corrente.

### 2.3 - CIRCUITO EQUIVALENTE

O diodo PIN pode ser representado pelos circuitos equivalentes apresentados na Figura 4.

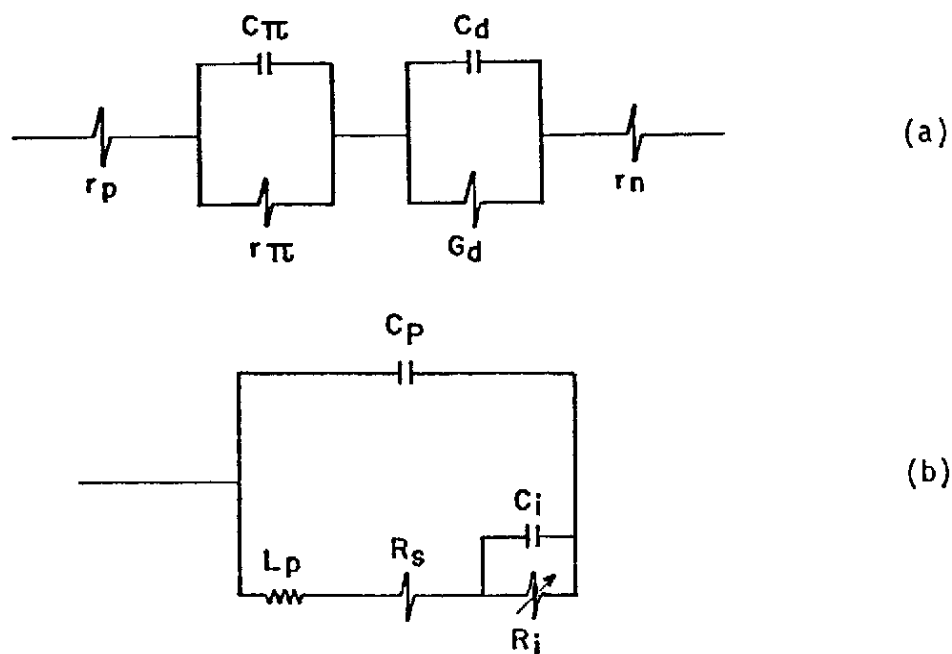


Fig. 4 - Circuitos equivalentes do diodo PIN.

Na Figura 4a, há uma correspondência entre os elementos do circuito e as camadas apresentadas na Figura 1, com  $r_p$  e  $r_n$  representando as camadas P e N; e  $C_\pi$ ,  $r_\pi$  e  $C_d$  representando as camadas  $\pi$  e de deplexão da região I.

Na Figura 4b, apresenta-se um circuito equivalente mais compacto, onde  $R_s$  representa a resistência série produzida pelas camadas P e N; e  $C_i$  e  $R_i$  representam a região intrínseca I.

Para  $f \ll f_0$ ,  $C_i$  é fixa e  $R_i$  é dada por:

$$R_i = \frac{K}{I_{CC}^x}, \quad (3)$$

onde K e x são determinados experimentalmente, e  $I_{CC}$  é a corrente contínua no diodo.

Na Figura 5 tem-se uma curva típica para a variação de  $R_i$  com  $I_{CC}$ .

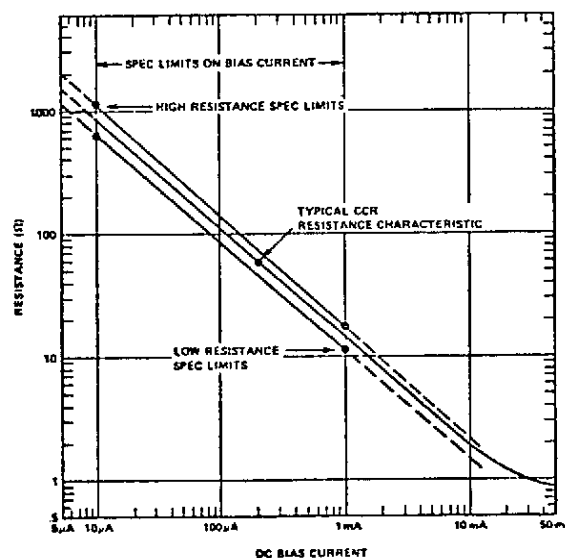


Fig. 5 - Resistência versus corrente de alimentação.

FONTE: Hewlett Packard (s.d.), p.2.

$L_p$  e  $C_p$  representam o tipo de encapsulamento do diodo. Para frequências maiores que 500 MHz, costuma-se sintonizar estes elementos parasitas através de reatâncias adicionais externas, de modo a garantir a performance do circuito em uma banda maior.

Para montagens em linha de fita, encontram-se diodos cujos elementos internos são projetados para formar um filtro passa-baixa, com alta frequência de corte (30 GHz). Na Figura 6 apresenta-se um circuito equivalente para este tipo de diodo.

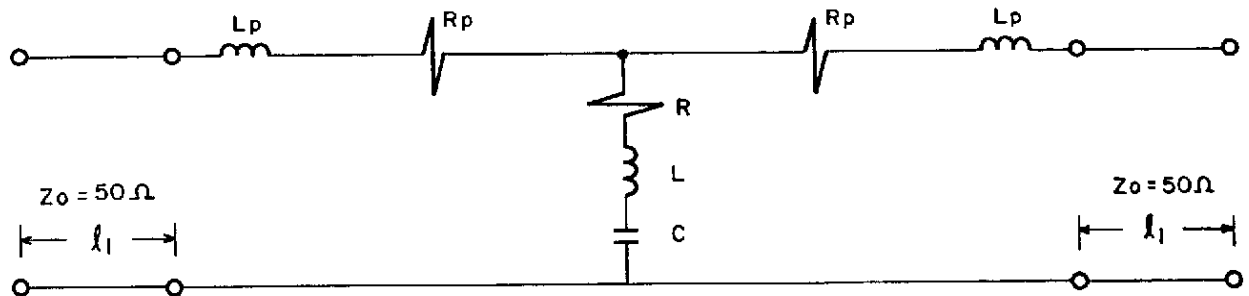


Fig. 6 - Circuito equivalente com encapsulamento para linha de fita.

### 3. PROJETO DE CHAVES

#### 3.1 - CHAVE EM 400 MHz

Para construir uma chave em 400 MHz selecionou-se o diodo HP 5082-3043, que pode ter seu circuito equivalente representado por um resistor ( $R_S = 1,5\Omega$ ) para o estado em curto e por um capacitor ( $C_T = 0,4\text{pF}$ ) para o estado em aberto. A chave é do tipo SPDT e com os diodos na configuração série paralela, para obter maior isolamento, conforme a Figura 7.

A chave apresentou perda menor que 0,75 dB (Figuras 8 e 9) e isolamento maior que 40 dB.

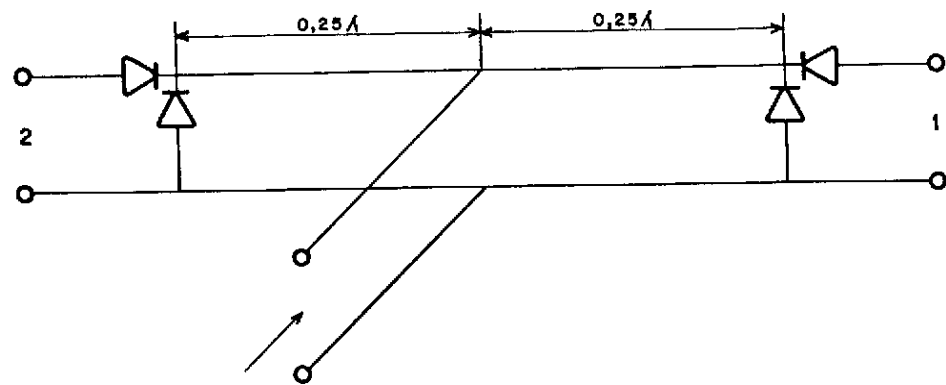


Fig. 7 - Chave em 400 MHz.

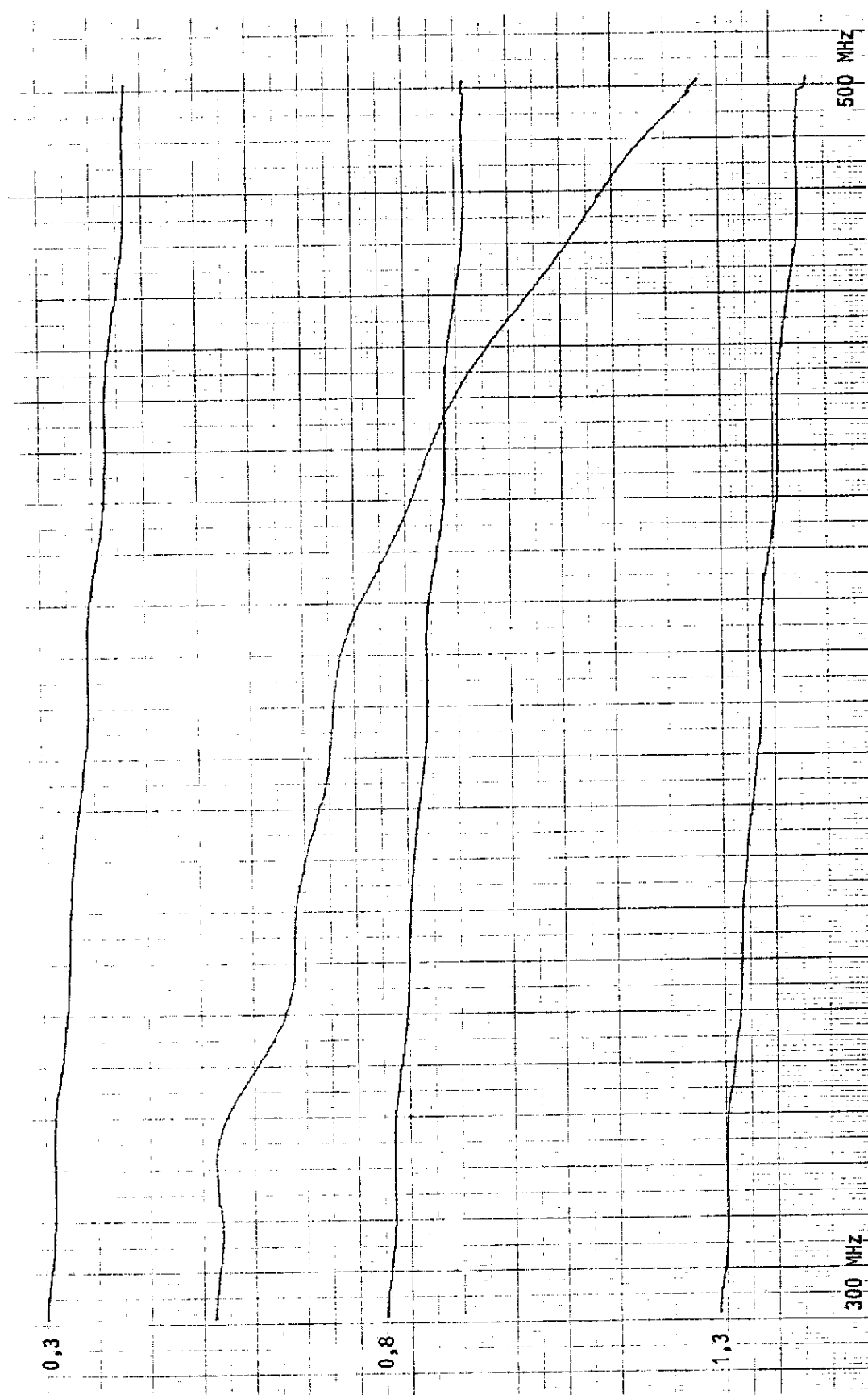


Fig. 8 - Curva de transmissão para a chave de 400 MHz - Porta 1.

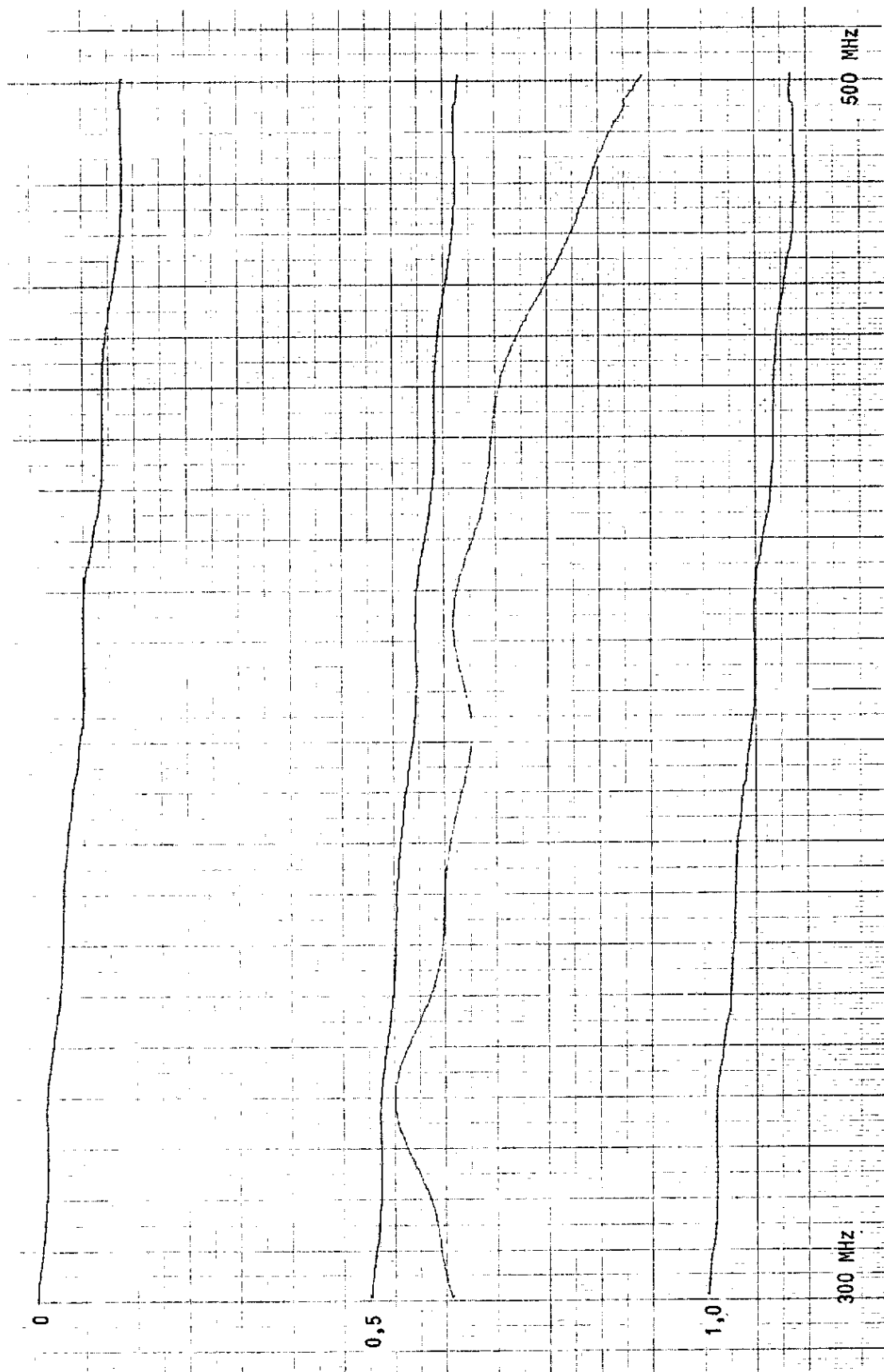


Fig. 9 - Curva de transmissão para a chave de 400 MHz - Porta 2.

### 3.2 - CHAVE EM 2,2 GHz

Esta chave utilizou diodos PIN HP 5082 3040, que têm en capsulamento especial para "microstrip". O circuito equivalente considerado está representado na Figura 6 com os valores dos elementos da Tabela 1.

TABELA 1

PARÂMETROS DO DIODO

|                | ISOLAÇÃO | TRANSMISSÃO |
|----------------|----------|-------------|
| R <sub>p</sub> | 0,25Ω    | 0,25Ω       |
| L <sub>p</sub> | 200 pH   | 200 pH      |
| e <sub>1</sub> | 2,4 mm   | 2,4 mm      |
| e <sub>2</sub> | 5,0 mm   | 5,0 mm      |
| L              | 20 pHΩ   | 0           |
| C              | ∞        | 0,1 pF      |

Este diodo teve sua performance analisada pelo programa PROCAOC, conforme apresentado nas Tabelas 2 e 3, para os estados de isolação e transmissão. O circuito montado é semelhante ao da Figura 7 e tem uma análise apresentada nas Tabelas 4 e 5. A chave apresentou perda menor que 0,7 dB (Figuras 10 e 11) e isolação maior que 20 dB.

TABELA 2

DIODO NO ESTADO DE ISOLAÇÃO

| FREQUENCIA<br>(HZ) | SWR DE ENTRADA | SWR DE SAIDA | GANHO DIRETO<br>(DB) | GANHO REVERSO<br>(DB) | DEFASAGEM<br>(GRaus) | ATRASO DE GRUPO<br>(SEGUNDOS) |
|--------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1.500E+00          | 40.690         | 40.690       | -28.247              | -28.247               | -7.3                 | -1.395E-11                    |
| 1.600E+00          | 40.697         | 40.697       | -28.229              | -28.229               | -7.8                 | -1.404E-11                    |
| 1.700E+00          | 40.705         | 40.705       | -28.209              | -28.209               | -8.3                 | -1.414E-11                    |
| 1.800E+00          | 40.714         | 40.714       | -28.188              | -28.188               | -8.8                 | -1.424E-11                    |
| 1.900E+00          | 40.723         | 40.723       | -28.167              | -28.167               | -9.3                 | -1.435E-11                    |
| 2.000E+00          | 40.733         | 40.733       | -28.144              | -28.144               | -9.8                 | -1.446E-11                    |
| 2.100E+00          | 40.743         | 40.743       | -28.120              | -28.120               | -10.3                | -1.458E-11                    |
| 2.200E+00          | 40.753         | 40.753       | -28.095              | -28.095               | -10.9                | -1.470E-11                    |
| 2.300E+00          | 40.754         | 40.754       | -28.074              | -28.074               | -10.9                | -1.470E-11                    |
| 2.400E+00          | 40.754         | 40.754       | -28.053              | -28.053               | -10.9                | -1.471E-11                    |
| 2.500E+00          | 40.755         | 40.755       | -28.031              | -28.031               | -10.9                | -1.471E-11                    |
| 2.600E+00          | 40.756         | 40.756       | -28.010              | -28.010               | -11.0                | -1.472E-11                    |
| 2.700E+00          | 40.756         | 40.756       | -28.009              | -28.009               | -11.0                | -1.473E-11                    |
| 2.800E+00          | 40.757         | 40.757       | -28.008              | -28.008               | -11.0                | -1.473E-11                    |
| 2.900E+00          | 40.757         | 40.757       | -28.006              | -28.006               | -11.0                | -1.474E-11                    |
| 2.000E+00          | 40.758         | 40.758       | -28.005              | -28.005               | -11.1                | -1.475E-11                    |
| 2.100E+00          | 40.758         | 40.758       | -28.004              | -28.004               | -11.1                | -1.475E-11                    |
| 2.200E+00          | 40.759         | 40.759       | -28.002              | -28.002               | -11.1                | -1.476E-11                    |
| 2.300E+00          | 40.759         | 40.759       | -28.001              | -28.001               | -11.2                | -1.476E-11                    |
| 2.400E+00          | 40.760         | 40.760       | -28.000              | -28.000               | -11.2                | -1.477E-11                    |
| 2.500E+00          | 40.761         | 40.761       | -28.079              | -28.079               | -11.2                | -1.478E-11                    |
| 2.600E+00          | 40.761         | 40.761       | -28.077              | -28.077               | -11.2                | -1.478E-11                    |
| 2.700E+00          | 40.762         | 40.762       | -28.076              | -28.076               | -11.3                | -1.479E-11                    |
| 2.800E+00          | 40.762         | 40.762       | -28.075              | -28.075               | -11.3                | -1.479E-11                    |
| 2.900E+00          | 40.763         | 40.763       | -28.073              | -28.073               | -11.3                | -1.480E-11                    |
| 2.000E+00          | 40.763         | 40.763       | -28.072              | -28.072               | -11.3                | -1.481E-11                    |
| 2.100E+00          | 40.764         | 40.764       | -28.071              | -28.071               | -11.4                | -1.481E-11                    |
| 2.200E+00          | 40.764         | 40.764       | -28.069              | -28.069               | -11.4                | -1.482E-11                    |
| 2.300E+00          | 40.764         | 40.764       | -28.069              | -28.069               | -11.4                | -1.482E-11                    |
| 2.400E+00          | 40.775         | 40.775       | -28.043              | -28.043               | -11.9                | -1.493E-11                    |
| 2.500E+00          | 40.780         | 40.780       | -28.015              | -28.015               | -12.5                | -1.508E-11                    |
| 2.600E+00          | 40.801         | 40.801       | -27.987              | -27.987               | -13.0                | -1.521E-11                    |
| 2.700E+00          | 40.814         | 40.814       | -27.957              | -27.957               | -13.8                | -1.535E-11                    |
| 2.800E+00          | 40.827         | 40.827       | -27.927              | -27.927               | -14.1                | -1.549E-11                    |
| 2.900E+00          | 40.841         | 40.841       | -27.896              | -27.896               | -14.7                | -1.563E-11                    |
| 3.000E+00          | 40.856         | 40.856       | -27.864              | -27.864               | -15.2                | -1.578E-11                    |
| 3.100E+00          | 40.871         | 40.871       | -27.831              | -27.831               | -15.8                | -1.593E-11                    |
| 3.200E+00          | 40.886         | 40.886       | -27.798              | -27.798               | -16.4                | -1.608E-11                    |
| 3.300E+00          | 40.902         | 40.902       | -27.764              | -27.764               | -16.9                | -1.623E-11                    |
| 3.400E+00          | 40.917         | 40.917       | -27.729              | -27.729               | -17.5                | -1.638E-11                    |
| 3.500E+00          | 40.936         | 40.936       | -27.694              | -27.694               | -18.1                | -1.654E-11                    |

TABELA 3

DIODO NO ESTADO DE TRANSMISSÃO

| FREQUENCIA<br>(HZ) | SWR DE ENTRADA | SWR DE SAÍDA | GANHO DIRETO<br>(DB) | GANHO REVERSO<br>(DB) | DEFASAGEM<br>(GRaus) | ATRASO DE GRUPO<br>(SEGUNDOS) |
|--------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1.500E+00          | 1.079          | 1.079        | -0.092               | -0.092                | -16.3                | 0.                            |
| 1.600E+00          | 1.085          | 1.085        | -0.093               | -0.093                | -17.4                | 0.                            |
| 1.700E+00          | 1.091          | 1.091        | -0.094               | -0.094                | -18.5                | 0.                            |
| 1.800E+00          | 1.097          | 1.097        | -0.095               | -0.095                | -19.6                | 0.                            |
| 1.900E+00          | 1.103          | 1.103        | -0.096               | -0.096                | -20.6                | 0.                            |
| 2.000E+00          | 1.108          | 1.108        | -0.098               | -0.098                | -21.7                | 0.                            |
| 2.100E+00          | 1.114          | 1.114        | -0.099               | -0.099                | -22.8                | 0.                            |
| 2.200E+00          | 1.120          | 1.120        | -0.100               | -0.100                | -23.9                | 0.                            |
| 2.300E+00          | 1.121          | 1.121        | -0.100               | -0.100                | -23.9                | 0.                            |
| 2.400E+00          | 1.121          | 1.121        | -0.100               | -0.100                | -24.0                | 0.                            |
| 2.500E+00          | 1.121          | 1.121        | -0.100               | -0.100                | -24.1                | 0.                            |
| 2.600E+00          | 1.121          | 1.121        | -0.101               | -0.101                | -24.1                | 0.                            |
| 2.700E+00          | 1.122          | 1.122        | -0.101               | -0.101                | -24.2                | 0.                            |
| 2.800E+00          | 1.122          | 1.122        | -0.101               | -0.101                | -24.3                | 0.                            |
| 2.900E+00          | 1.123          | 1.123        | -0.101               | -0.101                | -24.4                | 0.                            |
| 3.000E+00          | 1.123          | 1.123        | -0.101               | -0.101                | -24.4                | 0.                            |
| 3.100E+00          | 1.123          | 1.123        | -0.101               | -0.101                | -24.4                | 0.                            |
| 3.200E+00          | 1.123          | 1.123        | -0.101               | -0.101                | -24.5                | 0.                            |
| 3.300E+00          | 1.124          | 1.124        | -0.101               | -0.101                | -24.5                | 0.                            |
| 3.400E+00          | 1.124          | 1.124        | -0.101               | -0.101                | -24.6                | 0.                            |
| 3.500E+00          | 1.124          | 1.124        | -0.101               | -0.101                | -24.6                | 0.                            |
| 3.600E+00          | 1.125          | 1.125        | -0.101               | -0.101                | -24.7                | 0.                            |
| 3.700E+00          | 1.125          | 1.125        | -0.101               | -0.101                | -24.7                | 0.                            |
| 3.800E+00          | 1.125          | 1.125        | -0.101               | -0.101                | -24.8                | 0.                            |
| 3.900E+00          | 1.126          | 1.126        | -0.101               | -0.101                | -24.8                | 0.                            |
| 4.000E+00          | 1.126          | 1.126        | -0.102               | -0.102                | -24.9                | 0.                            |
| 4.100E+00          | 1.126          | 1.126        | -0.102               | -0.102                | -25.0                | 0.                            |
| 4.200E+00          | 1.126          | 1.126        | -0.102               | -0.102                | -25.0                | 0.                            |
| 4.300E+00          | 1.132          | 1.132        | -0.103               | -0.103                | -26.0                | 0.                            |
| 4.400E+00          | 1.138          | 1.138        | -0.105               | -0.105                | -27.1                | 0.                            |
| 4.500E+00          | 1.144          | 1.144        | -0.106               | -0.106                | -28.2                | 0.                            |
| 4.600E+00          | 1.150          | 1.150        | -0.108               | -0.108                | -29.3                | 0.                            |
| 4.700E+00          | 1.156          | 1.156        | -0.109               | -0.109                | -30.4                | 0.                            |
| 4.800E+00          | 1.162          | 1.162        | -0.111               | -0.111                | -31.4                | 0.                            |
| 4.900E+00          | 1.168          | 1.168        | -0.113               | -0.113                | -32.5                | 0.                            |
| 5.000E+00          | 1.175          | 1.175        | -0.115               | -0.115                | -33.6                | 0.                            |
| 5.100E+00          | 1.181          | 1.181        | -0.117               | -0.117                | -34.7                | 0.                            |
| 5.200E+00          | 1.187          | 1.187        | -0.119               | -0.119                | -35.8                | 0.                            |
| 5.300E+00          | 1.193          | 1.193        | -0.121               | -0.121                | -36.9                | 0.                            |
| 5.400E+00          | 1.199          | 1.199        | -0.123               | -0.123                | -37.9                | 0.                            |

TABELA 4  
CIRCUITO NO ESTADO DE TRANSMISSÃO

| FREQUÊNCIA<br>(HZ) | SMR DE ENTRADA | JNR DE SAÍDA | GANHO DIRETO<br>(DB) | GANHO REVERSO<br>(DB) | DEFASAGEM<br>(GRaus) | ATRASO DE GRUPO<br>(SEGUNDOS) |
|--------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1.500E+00          | 1.387          | 1.390        | -0.327               | -0.327                | -130.2               | 0.                            |
| 1.600E+00          | 1.256          | 1.260        | -0.260               | -0.260                | -142.2               | 0.                            |
| 1.700E+00          | 1.135          | 1.149        | -0.217               | -0.217                | -154.0               | 0.                            |
| 1.800E+00          | 1.035          | 1.064        | -0.197               | -0.197                | -165.8               | 0.                            |
| 1.900E+00          | 1.061          | 1.075        | -0.197               | -0.197                | -177.6               | 0.                            |
| 2.000E+00          | 1.156          | 1.156        | -0.215               | -0.215                | 170.8                | 0.                            |
| 2.100E+00          | 1.261          | 1.256        | -0.250               | -0.250                | 159.1                | 0.                            |
| 2.200E+00          | 1.367          | 1.356        | -0.299               | -0.299                | 147.5                | 0.                            |
| 2.205E+00          | 1.374          | 1.362        | -0.302               | -0.302                | 146.9                | 0.                            |
| 2.210E+00          | 1.36           | 1.367        | -0.305               | -0.305                | 146.3                | 0.                            |
| 2.215E+00          | 1.385          | 1.372        | -0.308               | -0.308                | 145.7                | 0.                            |
| 2.220E+00          | 1.391          | 1.376        | -0.311               | -0.311                | 145.2                | 0.                            |
| 2.225E+00          | 1.397          | 1.383        | -0.314               | -0.314                | 144.6                | 0.                            |
| 2.230E+00          | 1.402          | 1.388        | -0.317               | -0.317                | 144.0                | 0.                            |
| 2.235E+00          | 1.407          | 1.394        | -0.320               | -0.320                | 143.4                | 0.                            |
| 2.240E+00          | 1.414          | 1.399        | -0.323               | -0.323                | 142.8                | 0.                            |
| 2.245E+00          | 1.419          | 1.404        | -0.326               | -0.326                | 142.3                | 0.                            |
| 2.250E+00          | 1.425          | 1.411        | -0.329               | -0.329                | 141.7                | 0.                            |
| 2.255E+00          | 1.431          | 1.415        | -0.332               | -0.332                | 141.1                | 0.                            |
| 2.260E+00          | 1.436          | 1.421        | -0.335               | -0.335                | 140.5                | 0.                            |
| 2.265E+00          | 1.442          | 1.426        | -0.339               | -0.339                | 139.9                | 0.                            |
| 2.270E+00          | 1.446          | 1.431        | -0.342               | -0.342                | 139.3                | 0.                            |
| 2.275E+00          | 1.454          | 1.437        | -0.345               | -0.345                | 138.8                | 0.                            |
| 2.280E+00          | 1.459          | 1.442        | -0.348               | -0.348                | 138.2                | 0.                            |
| 2.285E+00          | 1.465          | 1.448        | -0.352               | -0.352                | 137.6                | 0.                            |
| 2.290E+00          | 1.471          | 1.453        | -0.355               | -0.355                | 137.0                | 0.                            |
| 2.295E+00          | 1.477          | 1.459        | -0.359               | -0.359                | 136.4                | 0.                            |
| 2.300E+00          | 1.483          | 1.464        | -0.362               | -0.362                | 135.9                | 0.                            |
| 2.300E+00          | 1.483          | 1.464        | -0.362               | -0.362                | 135.9                | 0.                            |
| 2.400E+00          | 1.603          | 1.579        | -0.436               | -0.436                | 124.2                | 0.                            |
| 2.500E+00          | 1.733          | 1.706        | -0.528               | -0.528                | 112.5                | 0.                            |
| 2.600E+00          | 1.871          | 1.832        | -0.634               | -0.634                | 100.6                | 0.                            |
| 2.700E+00          | 2.032          | 1.981        | -0.758               | -0.758                | 88.6                 | 0.                            |
| 2.800E+00          | 2.215          | 2.149        | -0.909               | -0.909                | 76.3                 | 0.                            |
| 2.900E+00          | 2.432          | 2.354        | -1.096               | -1.096                | 63.8                 | 0.                            |
| 3.000E+00          | 2.722          | 2.613        | -1.337               | -1.337                | 50.8                 | 0.                            |
| 3.100E+00          | 3.105          | 2.959        | -1.658               | -1.658                | 37.3                 | 0.                            |
| 3.200E+00          | 3.647          | 3.447        | -2.103               | -2.103                | 23.2                 | 0.                            |
| 3.300E+00          | 4.460          | 4.174        | -2.735               | -2.735                | 6.4                  | 0.                            |
| 3.400E+00          | 5.769          | 5.319        | -3.657               | -3.657                | -7.3                 | 0.                            |
| 3.500E+00          | 8.067          | 7.225        | -5.028               | -5.028                | -23.7                | 0.                            |

TABELA 5

CIRCUITO NO ESTADO DE ISOLAÇÃO

| FREQUENCIA<br>(HZ) | SWR DE ENTRADA | SWR DE SAÍDA | GANHO DIRETO<br>(DB) | GANHO REVERSO<br>(DB) | DEFASAGEM<br>(GRaus) | ATRASO DE GRUPO<br>(SEGUNDOS) |
|--------------------|----------------|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------|
| 1.500E+00          | 1.387          | 40.508       | -33.476              | -33.476               | -143.2               | 0.                            |
| 1.600E+00          | 1.252          | 40.493       | -33.544              | -33.544               | -150.4               | 0.                            |
| 1.700E+00          | 1.135          | 40.479       | -33.745              | -33.745               | -157.6               | 0.                            |
| 1.800E+00          | 1.033          | 40.467       | -33.899              | -33.899               | -164.6               | 0.                            |
| 1.900E+00          | 1.061          | 40.457       | -33.985              | -33.985               | -171.5               | 0.                            |
| 2.000E+00          | 1.151          | 40.447       | -34.040              | -34.040               | -178.4               | 0.                            |
| 2.100E+00          | 1.261          | 40.436       | -34.062              | -34.062               | -174.9               | 0.                            |
| 2.200E+00          | 1.369          | 40.430       | -34.046              | -34.046               | -168.3               | 0.                            |
| 2.205E+00          | 1.374          | 40.430       | -34.044              | -34.044               | -168.0               | 0.                            |
| 2.210E+00          | 1.381          | 40.430       | -34.042              | -34.042               | -167.6               | 0.                            |
| 2.215E+00          | 1.385          | 40.429       | -34.040              | -34.040               | -167.3               | 0.                            |
| 2.220E+00          | 1.391          | 40.429       | -34.038              | -34.038               | -167.0               | 0.                            |
| 2.225E+00          | 1.397          | 40.429       | -34.036              | -34.036               | -166.6               | 0.                            |
| 2.230E+00          | 1.402          | 40.428       | -34.033              | -34.033               | -166.3               | 0.                            |
| 2.235E+00          | 1.405          | 40.427       | -34.031              | -34.031               | -166.0               | 0.                            |
| 2.240E+00          | 1.414          | 40.427       | -34.028              | -34.028               | -165.7               | 0.                            |
| 2.245E+00          | 1.419          | 40.427       | -34.025              | -34.025               | -165.3               | 0.                            |
| 2.250E+00          | 1.425          | 40.427       | -34.023              | -34.023               | -165.0               | 0.                            |
| 2.255E+00          | 1.431          | 40.426       | -34.020              | -34.020               | -164.7               | 0.                            |
| 2.260E+00          | 1.436          | 40.426       | -34.017              | -34.017               | -164.3               | 0.                            |
| 2.265E+00          | 1.442          | 40.425       | -34.013              | -34.013               | -164.0               | 0.                            |
| 2.270E+00          | 1.448          | 40.425       | -34.010              | -34.010               | -163.7               | 0.                            |
| 2.275E+00          | 1.454          | 40.425       | -34.007              | -34.007               | -163.4               | 0.                            |
| 2.280E+00          | 1.459          | 40.425       | -34.003              | -34.003               | -163.0               | 0.                            |
| 2.285E+00          | 1.465          | 40.424       | -34.000              | -34.000               | -162.7               | 0.                            |
| 2.290E+00          | 1.471          | 40.424       | -33.996              | -33.996               | -162.4               | 0.                            |
| 2.295E+00          | 1.477          | 40.424       | -33.992              | -33.992               | -162.1               | 0.                            |
| 2.300E+00          | 1.483          | 40.423       | -33.988              | -33.988               | -161.7               | 0.                            |
| 2.300E+00          | 1.483          | 40.423       | -33.988              | -33.988               | -161.7               | 0.                            |
| 2.400E+00          | 1.603          | 40.417       | -33.882              | -33.882               | -155.2               | 0.                            |
| 2.500E+00          | 1.733          | 40.413       | -33.723              | -33.723               | -148.6               | 0.                            |
| 2.600E+00          | 1.874          | 40.411       | -33.504              | -33.504               | -142.3               | 0.                            |
| 2.700E+00          | 2.032          | 40.411       | -33.220              | -33.220               | -135.7               | 0.                            |
| 2.800E+00          | 2.214          | 40.415       | -32.865              | -32.865               | -129.0               | 0.                            |
| 2.900E+00          | 2.431          | 40.426       | -32.436              | -32.436               | -122.0               | 0.                            |
| 3.000E+00          | 2.724          | 40.446       | -31.932              | -31.932               | -114.6               | 0.                            |
| 3.100E+00          | 3.103          | 40.480       | -31.357              | -31.357               | -106.8               | 0.                            |
| 3.200E+00          | 3.647          | 40.535       | -30.723              | -30.723               | -98.2                | 0.                            |
| 3.300E+00          | 4.461          | 40.617       | -30.050              | -30.050               | -89.8                | 0.                            |
| 3.400E+00          | 5.789          | 40.735       | -29.374              | -29.374               | -78.3                | 0.                            |
| 3.500E+00          | 9.067          | 40.893       | -28.744              | -28.744               | -66.8                | 0.                            |

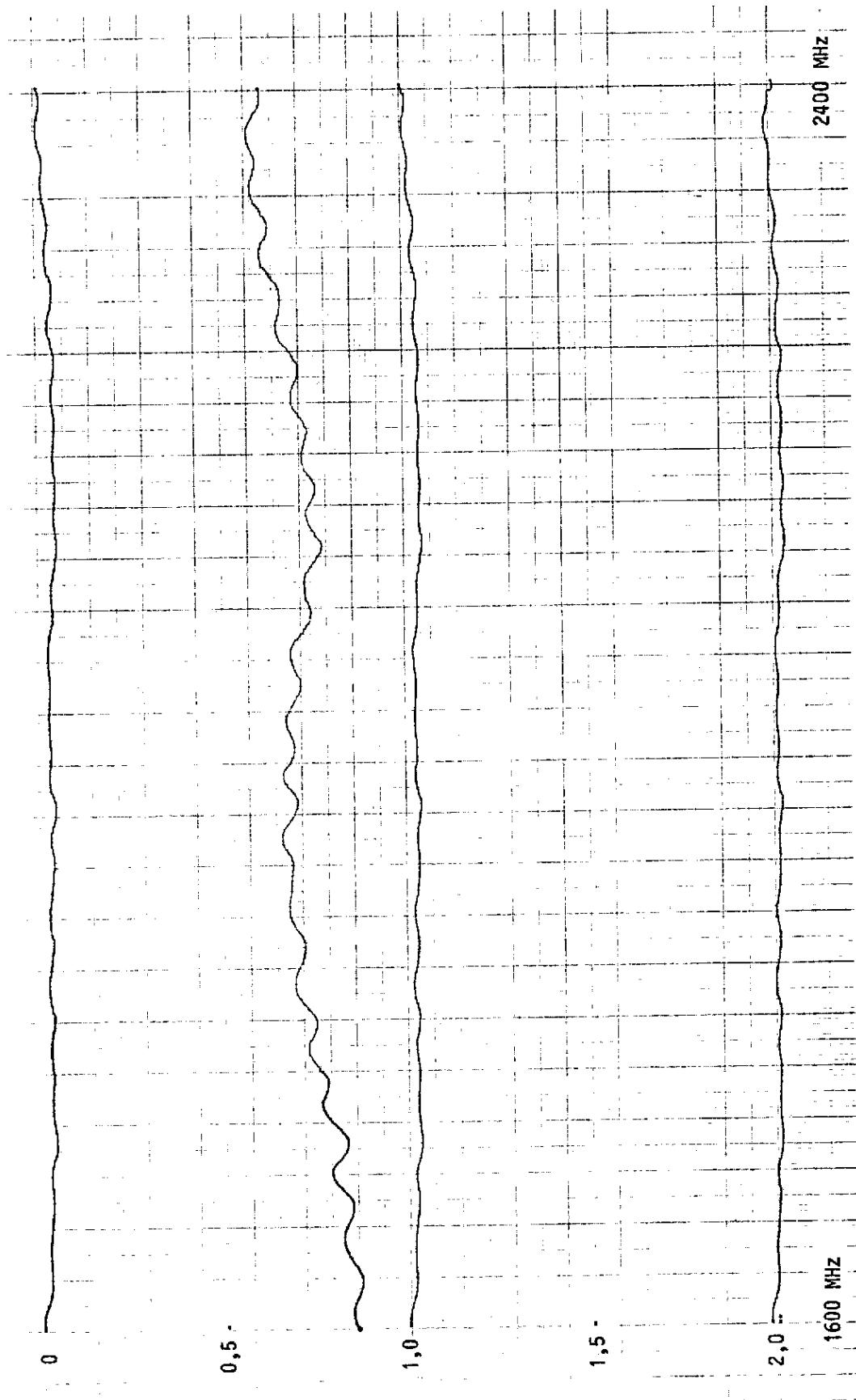


Fig. 10 - Curva de transmissão para a chave de 2 GHz - Porta 1.

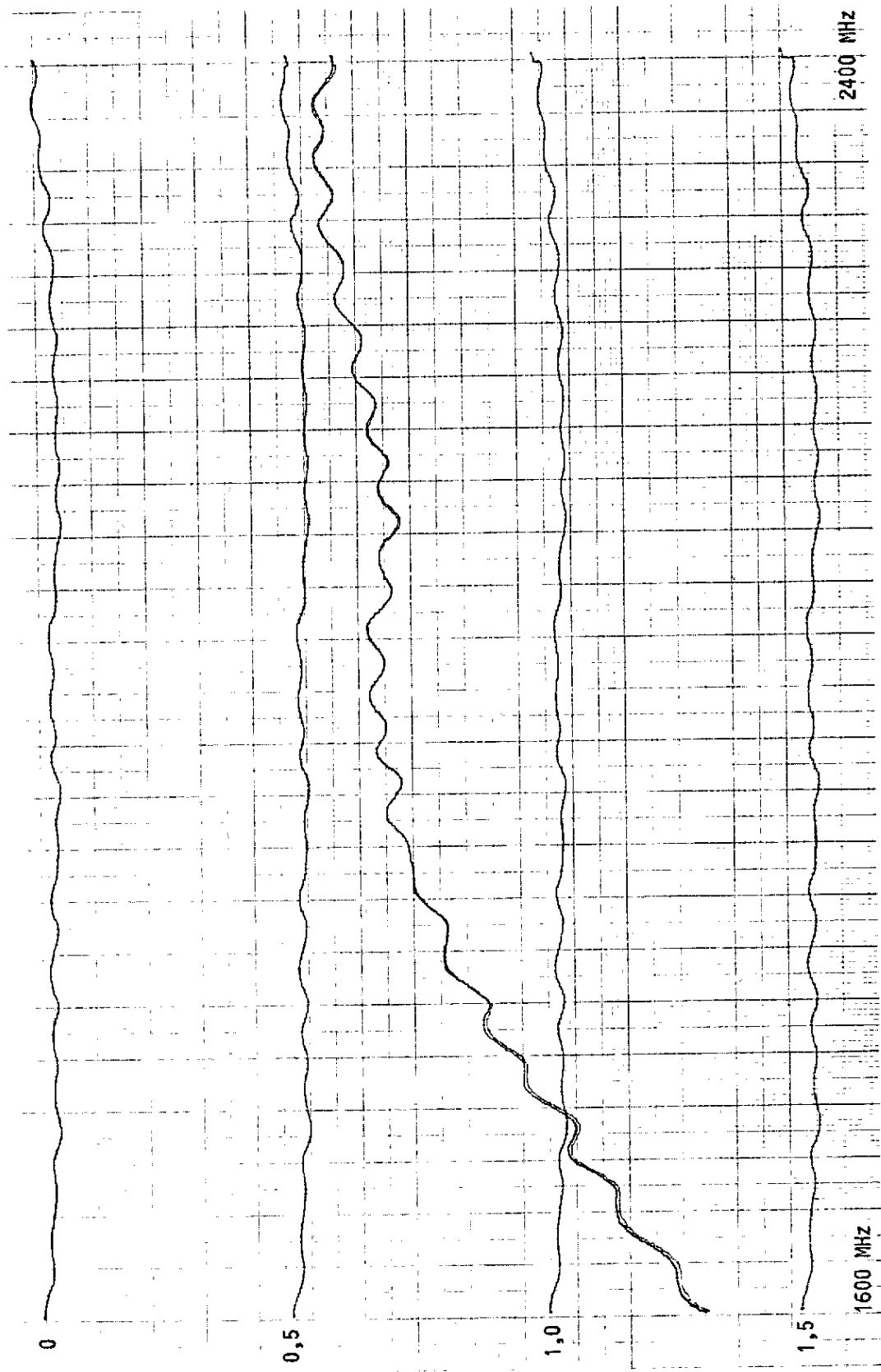


Fig. 11 - Curva de transmissão para a chave de 2 GHz - Porta 2.

#### 4. CONCLUSÕES

Apresentou-se o projeto de duas chaves SPDT em microon\_  
das, analisaram-se suas características e mediram-se seus resultados.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HEWLETT PACKARD. *Applications of PIN Diodes*. Palo Alto, CA, s.d.  
(Application Note 922).