

# Relatório de Laboratório – EE522

Vitor Bergamaschi Dos Santos - 248212

Vinicius De Lima Quadrado - 225357

Leonardo Souza Boaventura - 250417

## **EXPERIMENTO IV: Crosstalk**

**Data:** 30/05/2025

## **1 Objetivos**

Nas seções abaixo seguem os objetivos de cada seção do experimento.

### **1.1 Crosstalk**

Nesta seção será tratada a interferência de campos elétricos e magnéticos entre trilhas de circuito impresso, também conhecido como crosstalk, avaliando a influência da distância e da orientação entre as trilhas na indução de tensão em trilhas e circuitos vizinhos. Também será comparada a diferença na tensão induzida quando usado sinais de ondas senoidais e quadradas, em diferentes frequências. Por fim discutiremos a razão do ganho de tensão em função da frequência para três circuitos, dentre eles dois com trilhas paralelas e outro com trilhas perpendiculares.

### **1.2 Casamento de impedância**

Será discutido o fenômeno de reflexão de sinais em linhas de transmissão e com isso avaliar a importância do casamento de impedâncias entre fonte, linha e carga. Iremos observar também que existem situações em que o casamento de impedância é desejado ou indesejado.

## **2 Procedimento Experimental**

Nas seções abaixo seguem os procedimentos experimentais de cada seção do experimento.

### **2.1 Seção I - Crosstalk em Placa de Circuito Impresso**

Abaixo seguem as seções que descrevem a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do Crosstalk em Placa de Circuito Impresso.

### 2.1.1 Montagem

Utilizou-se a placa com esquemático mostrado na figura 1, com quatro trilhas, uma de alimentação (A), P1, P2 e P $\perp$ . As trilhas com orientação paralela em relação a trilha A são as trilhas P1 e P2, com distância entre A de 1 e 2 milímetros, respectivamente. A trilha perpendicular a A é a trilha P $\perp$ .

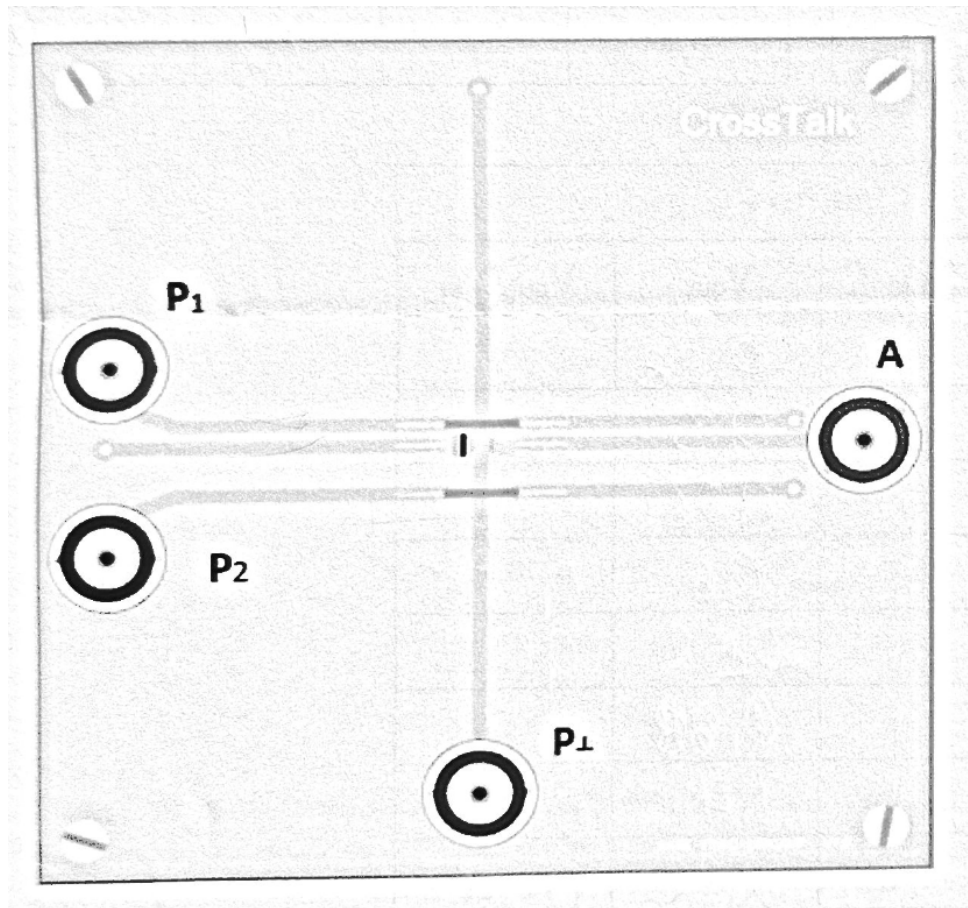


Figura 1: Esquemático da placa de circuito impresso utilizada no experimento

Liga-se o gerador de sinais ao conector A e liga-se a trilha de interesse ao osciloscópio, ambas conexões são feitas via cabo coaxial.

### 2.1.2 Equipamentos utilizados

Foram usados um gerador de sinais configurado com output de 10 Vpp e frequência variável, um osciloscópio, dois cabos coaxiais e uma placa de circuito impresso customizada.

### 2.1.3 Execução

Fixou-se a nível da tensão de entrada em 10Vpp, e iniciamos o processo de aumentar a frequência do gerador em conectado a trilha A. Para cada trilha de medição (p1, p2, P $\perp$ ) foi colhido o valor vpp da tensão induzida dada uma frequência definida. Na sequência medimos também a tensão induzida em P1 e P $\perp$  para o caso de onda quadrada, em função de um rol menor de frequências. Por fim calculou-se a razão do ganho de tensão  $V_{out}/V_{in}$  para cada ponto de cada circuito.

## **2.2 Seção II - Casamento de Impedâncias / Reflexão de Sinais em Linhas de Transmissão**

Abaixo seguem as seções que descrevem a montagem, equipamentos utilizados e procedimento de execução do experimento de Casamento de Impedâncias e Reflexões de Sinais em Linhas de Transmissão.

### **2.2.1 Montagem**

[placeholder]

### **2.2.2 Equipamentos utilizados**

[placeholder]

### **2.2.3 Execucao**

[placeholder]

## **3 Resultados**

Nas seções abaixo seguem as discussões dos resultados de cada seção do experimento.

### **3.1 Seção I - Crosstalk em Placa de Circuito Impresso**

Nestas seções apresentaremos os dados, os equipamentos utilizados e o método de execução desta seção

#### **3.1.1 Apresentação de dados**

Os gráficos 2, 3 e 4 representam respectivamente os ganhos de tensão de entrada em A e tensão induzida em P1, P2 e P $\perp$ , em função da frequência da tensão de entrada. As tabelas dos dados obtidos no experimento estão disponíveis no anexo A.

Já a tabela 1 mostra os ganhos de tensão de entrada em A e tensão induzida em P1 e P $\perp$ , para o caso de onda quadrada, em três frequências distintas.

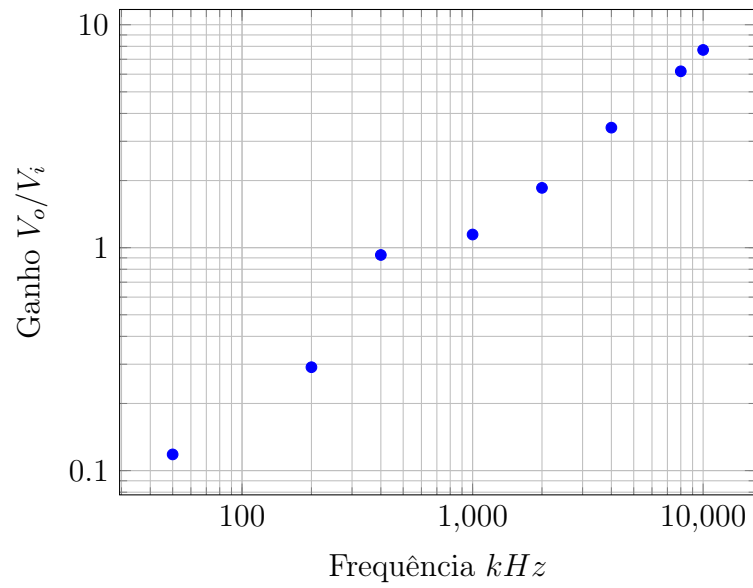


Gráfico 2: Ganho em função da frequência para o circuito P1

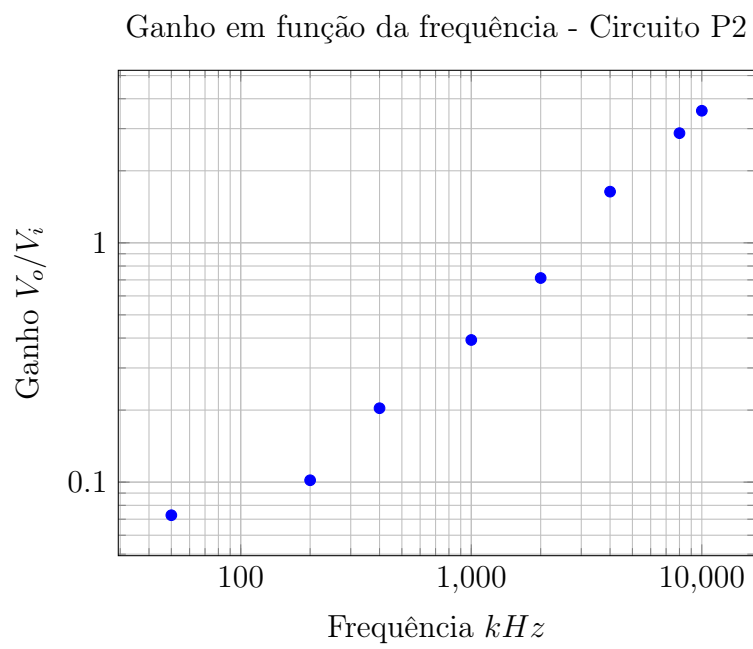


Gráfico 3: Ganho em função da frequência para o circuito P2

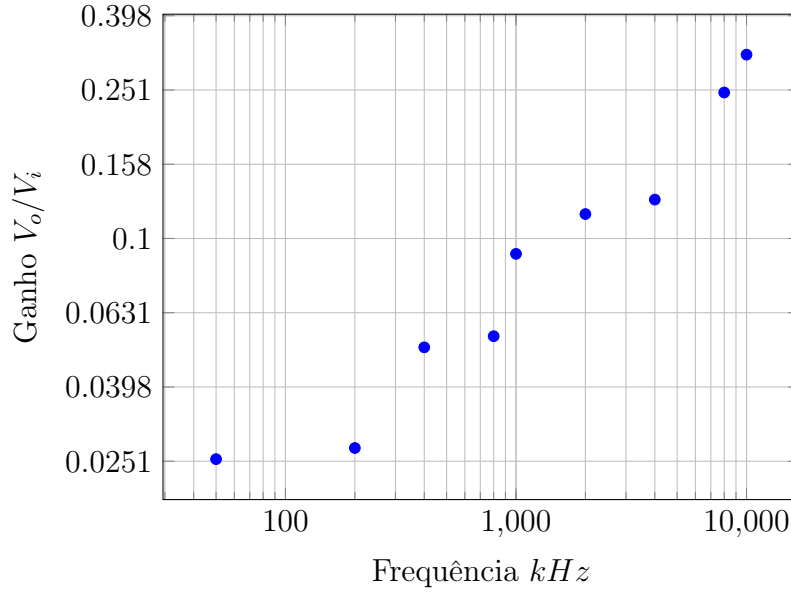


Gráfico 4: Ganho em função da frequência para o circuito P⊥

freq (kHz)	Circuito P1		Circuito P	
	$V_{in}$	$V_{out}$ (mV)	$V_{in}$	$V_{out}$ (mV)
50	11	1.5	10	0.24
1000	11	21.6	10	20
10000	11	200	10	30

Tabela 1: Ganho em função da frequência - Onda Quadrada

### 3.1.2 Análise qualitativa

A lei de Faraday 1 nos diz que a força eletromotriz induzida em um circuito fechado é igual ao negativo da variação no tempo do fluxo magnético através da área limitada pelo circuito fechado.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

Com isto verificamos que a tensão induzida (força eletromotriz) na bobina dos circuitos P1, P2 e P⊥ é diretamente proporcional ao fluxo magnético que as atravessa. O campo magnético gerado pela corrente que está no circuito fechado A gera o fluxo magnético necessário para ocorrer a indução magnética.

Através dos resultados obtidos, nota-se que a proximidade entre bobinas A e P1 ou A e P2 é inversamente proporcional à tensão induzida: P1 com distanciamento de 1mm de A possui maior tensão induzida que P2 com distanciamento de 2mm de A.

Também como resultado do experimento, notou-se maior ganho de tensão conforme o aumento da frequência de alimentação, e isso está previsto na Lei de Faraday. O fluxo magnético cresce quando a variação do campo magnético cresce, então aumentar a frequência causa a derivada temporal do campo magnético aumentar. Por isso, em todos os casos vistos a tensão induzida é sempre maior quando a frequência é maior.

A Lei de Faraday da forma enunciada acima prevê que o circuito fechado descrito esteja perpendicular à direção do fluxo magnético. Todavia, quando temos um fluxo magnético em direção qualquer, o  $dA$  é multiplicado pelo cosseno do ângulo entre a direção do fluxo magnético e o vetor de área de  $A$ , vemos isso na equação 2.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \iint \frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S} \cdot \cos(\theta) \quad (2)$$

Então foi montada uma espira perpendicular a outra, portanto  $\theta=90^\circ$ , o cosseno de  $\theta$  é nulo e temos uma tensão induzida nula, segundo a Lei de Faraday.

Através dos resultados obtidos com as bobinas A e  $P \perp$  notamos uma tensão induzida baixíssima e proporcional a frequência. Apesar do resultado esperado ser tensão induzida nula, temos que levar em consideração que as bobinas não estão perfeitamente perpendiculares e isso é suficiente para induzir tensão em  $P \perp$ .

Por fim testamos os circuitos P1 e  $P \perp$  com ondas quadradas nas frequências de 50, 1000 e 10.000 KHz, em ambos os casos tivemos um ganho de tensão substancialmente maior do que para as ondas senoidais. Isso se deve a termos variações abruptas no sinal, na região de degrau da onda, onde temos uma maior derivada temporal da corrente em A, consequentemente uma maior derivada do campo magnético e um maior fluxo de campo magnético.

### 3.1.3 Conclusão parcial

Conclui-se que a proximidade de trilhas em uma placa de circuito impresso geram tensão induzida nas trilhas vizinhas, e que a tensão induzida é proporcional a frequência de operação e inversamente proporcional à distância, logo devemos projetar placas de circuito impresso que levem em consideração estes fatores.

## 3.2 Seção II - Casamento de Impedâncias / Reflexão de Sinais em Linhas de Transmissão

Nestas seções apresentaremos os dados, os equipamentos utilizados e o método de execução desta seção

### 3.2.1 Apresentação de dados

[placeholder]

### 3.2.2 Análise qualitativa

[placeholder]

### 3.2.3 Conclusão parcial

[placeholder]

## 4 Conclusão

[placeholder]

## 5 Bibliografia

WIKIPÉDIA. Lei de Faraday-Neumann-Lenz. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei\\_de\\_Faraday-Neumann-Lenz](https://pt.wikipedia.org/wiki/Lei_de_Faraday-Neumann-Lenz) . Acesso em: 29/05/2025.

## Anexo A - Tabelas de dados do experimento de Crosstalk

Frequência (kHz)	$V_{in}$ (mV)	$V_{in}$ (mV)	$V_{out}/V_{in}$
50	11	1.3	0.11818
200	11	3.2	0.29091
400	11	10.2	0.92727
1000	11	12.6	1.14545
2000	11	20.4	1.85455
4000	11	38	3.45455
8000	11	68	6.18182
10000	11	84.8	7.70909

Tabela 2: Ganho de tensão induzida em P1 por A

Frequência (kHz)	$V_{in}$ (mV)	$V_{in}$ (mV)	$V_{out}/V_{in}$
50	11	0.8	0.07273
200	11	1.12	0.10182
400	11	2.24	0.20364
1000	11	4.32	0.39273
2000	11	7.84	0.71273
4000	11	18	1.63636
8000	11	31.6	2.87273
10000	11	39.2	3.56364

Tabela 3: Ganho de tensão induzida em P2 por A



Frequência (kHz)	$V_{in}$ (mV)	$V_{in}$ (mV)	$V_{out}/V_{in}$
50	11	0.28	0.02545
200	11	0.3	0.02727
400	11	0.56	0.05091
800	11	0.6	0.05455
1000	11	1	0.09091
2000	11	1.28	0.11636
4000	11	1.4	0.12727
8000	11	2.72	0.24727
10000	11	3.44	0.31273

Tabela 4: Ganho de tensão induzida em  $P_{\perp}$  por A