

PROPOSTA DE KIT DIDÁTICO PARA ESTUDO DE INTEGRIDADE DE SINAL EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Pablo Dutra da Silva – pablo.silva@ifsc.edu.br
Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Jaraguá do Sul - Rau
Rua dos Imigrantes, 445
89254-430 – Jaraguá do Sul – SC

Giovane Rodrigues de Oliveira - giovane.ro@aluno.ifsc.edu.br

Gustavo Melsi Floriani - gustavo.floriani1999@gmail.com

Resumo: Tendo em vista o singular avanço nos mais diversos ramos da eletrônica, fica difícil não se preocupar com o processamento de sinais, que vem apresentando tempos de transição cada vez menores entre seus níveis lógicos. Este fato faz com que até mesmo as trilhas de uma placa de circuito impresso (PCI) se tornem empecilhos para o bom funcionamento dos sistemas eletrônicos. O objetivo deste trabalho é desenvolver um kit didático para estudo do problema de integridade de sinal em PCI, utilizando, para isso, uma fonte de alimentação e um osciloscópio digital de uso geral, equipamentos considerados de baixo custo e presentes na maioria das bancadas das instituições de ensino. Desta forma, os discentes terão a oportunidade de inter-relacionar aspectos teóricos e práticos relativos à sua área de atuação. Os resultados aqui apresentados foram obtidos a partir de um protótipo constituído de um gerador de clock com saída programada para 4MHz, tempos de transição entre níveis lógicos da ordem de 5ns e com cinco trilhas de comprimentos diferentes. Todas as trilhas foram submetidas às mesmas condições e as medidas dos sinais na carga mostraram que o fenômeno de reflexão de onda pode ser verificado, principalmente, através do sobressinal de 1,7V na trilha de 80cm. Demonstrando que, o comprimento das trilhas, juntamente com os tempos de transição entre níveis lógicos são variáveis fundamentais para o projeto de circuitos digitais e de sinais mistos. Somado a isso, o resistor de casamento de impedância demonstrou-se eficiente na minimização do sobressinal mencionado.

Palavras-chave: Integridade de sinal. Kit didático. Placa de circuito impresso. Reflexão de onda.

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da década de 1980 houve um incremento na taxa de processamento de sistemas digitais. As frequências de clock começaram a ultrapassar a casa dos GHz (PAUL, 2016). Com isso, houve a necessidade de que, estes sinais, também fossem mais rápidos no que diz respeito à transição entre níveis lógicos. A questão do tempo de transição entre níveis lógicos sempre foi negligenciada por projetistas de circuitos eletrônicos. Isto porque a preocupação maior em termos de projeto de trilhas longas em placas de circuito impresso (PCI) esteve sempre atrelada à frequência fundamental e/ou máxima do sinal que seria aplicado à trilha. Assim sendo, se a frequência fosse considerada baixa o bastante para que a

trilha não fosse considerada uma linha de transmissão o projetista ficaria seguro com a escolha que havia feito. No entanto, o fenômeno do aumento da velocidade de transição, mesmo não sendo acompanhado pelo aumento da frequência tornou-se uma armadilha para muitos projetistas de circuitos eletroeletrônicos.

Considerar uma trilha de PCI eletricamente grande ou pequena não depende apenas da frequência do sinal que será transportado por ela, mas, também do tempo de transição entre níveis lógicos. Trilhas consideradas eletricamente grandes podem ser consideradas como uma linha de transmissão que propaga uma onda eletromagnética. Isto faz com que o sinal que é aplicado a uma determinada trilha demore um tempo para ser transmitido ao final desta. Este tempo é chamado de tempo de propagação. Outra consequência importante ligada a esta condição é a reflexão de onda.

A reflexão de onda se apresenta em PCI como um problema de compatibilidade eletromagnética (EMC do Inglês) chamado de integridade de sinal. No caso específico de transmissão de dados por uma trilha de PCI, um sinal íntegro é aquele que é transmitido e recebido sem alterações significativas em suas características. Problemas deste tipo podem, por exemplo, causar a interpretação errada de dados no receptor além de, dependendo de suas características técnicas, também diminuir a vida útil do circuito eletrônico.

Na busca por contribuir com uma educação que valorize a aproximação do trabalho de engenharia no que tange o processo de abordagem e solução da problemática da integridade de sinal, este trabalho propõe a elaboração de um kit didático para o ensino desta matéria aos acadêmicos de Engenharia Elétrica e Eletrônica, facilitando o estudo, a pesquisa, a caracterização e a distinção de problemas reflexão de onda em circuitos elétricos. Através do mesmo, propõe-se a capacitação do profissional moderno às novas adversidades advindas do aumento das velocidades de processamento. O kit didático se apresentará com baixo custo e será compatível com a realidade de equipamentos comumente utilizados em bancadas de laboratórios de eletrônica como por exemplo, osciloscópios convencionais, fontes de alimentação e/ou geradores de função. Isso permitirá que mais estudantes de Engenharia elétrica ou Eletrônica possam ter acesso a este tipo de conhecimento, fundamental à prática do projeto de circuitos eletroeletrônicos.

Este kit será base para um estudo prático de compatibilidade eletromagnética e tem os seguintes objetivos educacionais: apresentar o problema de integridade de sinal em PCI, verificar e analisar as causas deste problema, verificar formas de minimizar problemas de integridade de sinal durante a fase de projeto e conscientizar que o tempo de transição entre níveis lógicos deve ser característica importante a ser levada em conta na hora de projetar PCI e de escolher os componentes eletrônicos para o projeto. Salientamos que este último item é uma quebra de paradigma importante nesta área de estudo.

É importante salientar que cursos em nível de graduação com o estudo do tema já existem, no entanto, são cursos basicamente teóricos. Pois, mesmo a instituição de ensino dispondo de certa quantidade de equipamentos e de laboratórios de compatibilidade eletromagnética, pelo alto custo destes mesmos, estes equipamentos, não estão em quantidade suficiente para atender turmas de graduação em Engenharia Elétrica, Eletrônica e correlatas. Com o desenvolvimento e a aplicação deste projeto, os alunos de graduação poderão ter um diferencial importante no que tange o projeto de circuitos eletroeletrônicos de alto desempenho, pois apenas é na prática que se confirmam, se modificam ou se ampliam os saberes relacionados a um determinado tema de estudo (RESNICK, 2017).

2 REFLEXÃO DE ONDA, INTEGRIDADE DE SINAL, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E SUA IMPORTÂNCIA NO ENSINO DE ENGENHARIA.

Segundo (BOGATIN, 2003) o processo de projeto de um produto é intuitivo e criativo. Para o autor em questão, proporcionar subsídios para a formação (intuição) do Engenheiro sobre integridade de sinal é especialmente importante para que o projeto de produtos eletrônicos se torne mais rápido e com maior qualidade. Além disto, todos os Engenheiros envolvidos neste tipo de projeto devem ter a compreensão de como suas decisões impactam no desempenho geral do produto. Sendo assim, torna-se imperativo que um entendimento, tanto intuitivo quanto quantitativo, sobre integridade de sinal seja adquirido pelo Engenheiro. Pois, apenas assim ele pode influenciar de forma positiva o desempenho do produto que em que está envolvido, especialmente no que tange a questão de integridade de sinal em circuitos eletrônicos. De forma mais geral ainda, faz-se necessário o entendimento de outros problemas de EMC.

Autores como (RESNICK, 2017) tem defendido o aprendizado através de vivências práticas. Algumas metodologias de ensino, chamadas de metodologias ativas, defendem que o aprendizado se dá através do trabalho ativo do estudante, partindo de uma materialidade específica. Por exemplo, na metodologia de aprendizado por problemas, a materialidade citada é um problema real a ser solucionado. Já na aprendizagem por projetos, um projeto, com certas especificações, é apresentado para que os estudantes apresentem um protótipo de uma possível solução para atender às especificações. Todas estas práticas citadas aproximam os estudantes das práxis da sua profissão ao mesmo tempo em que aprendem as teorias que fundamentam a solução proposta.

Sendo assim, a proposta dos kits didáticos, que está aqui sendo apresentada, se encaixa na questão da prática como ferramenta que facilita a compreensão, modifica e amplia os conceitos sobre integridade de sinal em PCI, bem como alimenta o estudante com subsídios para a formação (intuição) do Engenheiro, como diz (BOGATIN, 2003). Estes subsídios poderão ser utilizados nos projetos que os estudantes virão a realizar, tendo assim uma prática que o aproxima da problemática real do projetista de circuitos eletroeletrônicos. Para o entendimento destes subsídios apresentamos a seguir alguns pontos teóricos relacionados aos subsídios que serão proporcionados aos estudantes através do kit proposto por este trabalho.

2.1 Quando utilizar o modelo de linhas de transmissão?

Os efeitos capacitivos e indutivos, causados pela formação de campo elétrico e campo magnético, respectivamente, entre condutores sempre existirá. No entanto, enquanto sua influência não causar problemas à funcionalidade do circuito isso não será problema. Todavia, esses efeitos podem causar atraso no sinal e podem degradá-lo, ou seja, o dispositivo a receber o sinal pode obter um sinal inferior ou diferente do sinal originalmente enviado (HAYT JUNIOR; BUCK, 2013). Dessa forma, este tempo de propagação (T_D) deve ser considerado.

A velocidade de propagação de uma onda eletromagnética em qualquer meio pode ser dada pela Equação (1), onde μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo; ϵ_0 é a permissividade elétrica do vácuo; μ_r é a permeabilidade magnética relativa a um material; e ϵ_r é a permissividade elétrica relativa a um material. Caso a propagação seja no espaço livre considera-se $\mu_r = \epsilon_r = 1$ obtendo-se assim o valor da velocidade da luz no vácuo. No entanto, dificilmente serão utilizadas as considerações de espaço livre em PCI. Como o meio

geralmente não é o vácuo, é necessário considerar a permissividade elétrica relativa e a permeabilidade magnética relativa para calcular a velocidade de propagação. Considerando que o meio no qual o condutor está envolvido não seja magnético, ou seja, considerando a permeabilidade magnética relativa, μ_r , como unitária, a Equação (1) pode ser simplificada como pode ser verificado:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{v_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

Ou seja, ponderando apenas a permissividade elétrica do ambiente ao redor da trilha e a velocidade de propagação da luz no meio livre é possível determinar a velocidade de propagação em uma trilha de PCI. Dessa forma, tendo a velocidade de propagação da onda em uma trilha, e o comprimento da mesma, é possível determinar o tempo de propagação na mesma.

2.2 Integridade de sinal

O tempo de propagação em linhas de transmissão (LT) é o tempo que leva para que a onda eletromagnética que se propaga, em um determinado meio, saia do transmissor deste sinal até o receptor. O T_D é dado pela Equação (2) onde \mathcal{L} é o comprimento da linha de transmissão e v é a velocidade de propagação no meio considerado (PAUL, 2006).

$$T_D = \frac{\mathcal{L}}{v} \quad (2)$$

O tempo de propagação está se tornando fator importante com relação aos tempos de subida e descida de sinais, principalmente digitais, pois as mais recentes tecnologias de famílias lógicas têm apresentado tempos de transição entre níveis lógicos (T_H) cada vez menores.

Uma trilha de circuito impresso ou um fio será considerado uma LT se o tempo de transição do sinal (T_H) for de ordem de grandeza próxima ao tempo de propagação das trilhas da PCI. (PAUL, 2006), (ARCHAMBEAULT, 2004). Assim pode-se verificar na Equação (2) uma relação direta entre os tempos de propagação de LT e o comprimento das mesmas.

Em compatibilidade eletromagnética o termo integridade de sinal significa garantir que, por exemplo, um pulso digital quando enviado através de um par de trilhas, chegará ao receptor com o nível de tensão e formato do sinal original. Ou seja, a trilha da placa de circuito, que é o caminho para um sinal entre dois componentes, não deve influenciar na forma ou nível de tensão deste.

De modo geral, a integridade de sinal está atrelada a todos os problemas que existem em equipamentos e dispositivos eletrônicos causados por suas interconexões. Também se pode dizer que a mesma é a relação de como as propriedades elétricas das interconexões interagem com os sinais elétricos de tensão e corrente, podendo afetar o desempenho do equipamento (PETROLI, 2012). Quando o sinal passa através de uma interconexão (trilha), ele está sujeito à impedância da mesma. Caso esse valor sofra variações no decorrer da trilha, parte do sinal irá voltar ao ponto de partida (CHIP) e o restante seguirá o seu curso descaracterizado (PETROLI, 2012).

2.3 Possíveis soluções para as problemáticas apresentadas.

A integridade de sinal para sinais digitais está intimamente ligada à reflexão de onda. A reflexão de onda se caracteriza pela não transferência total de potência entre componentes alimentados pelo mesmo sinal. Dessa forma, há um retorno de potência e acúmulo de energia no circuito. Tal efeito pode causar picos de tensão e corrente nas trocas de sinais lógicos, podendo causar queima de componentes, erros lógicos e falhas de processamento (PAUL, 2006).

Verificamos que o problema de reflexão de onda está ligado ao tempo de transição entre níveis lógicos do sinal aplicado à interconexão (segmento de trilha). Então, pode-se inferir que uma das soluções é a escolha de componentes que apresentem tempos de transição maiores, acima de 10ns (BOGATIN, 2003), caso a frequência de operação do sistema permita tempos de transição maiores. Em muitos casos práticos isto não é uma solução possível, pois para projetos de circuitos eletrônicos existe a necessidade de compartilhamento de componentes para vários produtos. Poderia não ser financeiramente viável a troca de tecnologia de um chip que participa deste compartilhamento.

Outra solução é o cuidado e a consideração dos saberes apresentados anteriormente no projeto das trilhas de uma PCI. Ou seja, projetar trilhas curtas o suficiente para que elas não se comportem como uma linha de transmissão. O kit que está sendo proposto contempla a importância deste cuidado no momento do projeto da PCI.

No caso da PCI já estar projetada, e uma mudança significativa no projeto das trilhas for descartada, há a possibilidade de, com pequenas alterações, minimizar o problema de reflexão de onda já estabelecido. A esta técnica se dá o nome de casamento de impedâncias. Quando fazemos um casamento de impedâncias, dizemos que as impedâncias da fonte e da carga estão casadas, ou seja, ajustadas para um propósito desejado. Assim sendo, o casamento de impedância tem como objetivo tornar a impedância da carga igual à impedância da fonte, fazendo com que as condições de mínima reflexão de sinal e de máxima transferência de potência sejam atendidas concomitantemente (DORNELLES, 2015).

O casamento de impedâncias é uma solução bastante pragmática, utilizada em projetos onde o cuidado anterior não foi observado pelo projetista ou mesmo as condições de contorno do projeto não permitiram o projeto de uma trilha mais curta. Isto porque ele é feito com a adição de uma resistência em série com a LT para que a impedância característica seja alterada.

3 METODOLOGIA

Por meio da experimentação, acadêmicos de Engenharia Elétrica, poderão relacionar teoria e prática de diferentes disciplinas do seu curso de graduação. Disciplinas como eletromagnetismo e circuitos elétricos serão requisitadas na construção das conclusões do experimento. A abordagem, faz com que os acadêmicos tenham um ensino mais contextualizado e relacionado interdisciplinarmente.

A Figura 1 apresenta como são ligados o kit aos equipamentos necessários à realização do experimento. Pode-se observar que o estudante terá a possibilidade de verificar o comportamento de trilhas de diversos comprimentos através do uso do osciloscópio. Alguns resultados que serão verificados e analisados pelos estudantes podem ser verificados nas Figura 2 e Figura 3.

Primeiramente, a partir do dimensionamento de uma trilha eletricamente grande no que diz respeito à integridade de sinal, utilizando a relação T_H/T_D , o acadêmico poderá instruir-se quanto à importância de um bom projeto para a qualidade do sinal transmitido. Conseguirá perceber que trilhas com dimensões menores, apresentam menor ruído em suas transições e

saberá determinar qual é o limite dimensional para as trilhas do seu projeto, observando o tempo de propagação e tempo de transição do sinal enviado.

Outro fato importante, a agregar ao conhecimento dos discentes, é a desconstrução de um conceito habitualmente usado, erroneamente, de que o aumento da frequência aumenta as oscilações de reflexão de onda em sinais digitais. O acadêmico verá que, em uma mesma frequência, apenas alterando o comprimento das trilhas estes ruídos podem aumentar ou diminuir. Bastará a ele, via prática, elaborar a caracterização do fenômeno com base nos resultados experimentais.

Como estratégia de resolução destes problemas de perda de sinal, este trabalho propõe uma alternativa, o casamento de impedância. O aluno poderá através da adição de um resistor em série no início da trilha diminuir as oscilações indesejadas nas transições dos sinais digitais. Verá que, dependendo, do valor do resistor, o sinal apresentará menores oscilações e que o formato do sinal aplicado à trilha será muito similar ao formato do sinal observado no final desta, caracterizando assim a integridade do sinal transmitido. Dessa forma, mais uma vez, o trabalho propõe-se a construir conhecimento por vias da prática.

O experimento, ainda, mostrar-se-á de forma simples e barata para o estudo da interferência eletromagnética, de forma que, com apenas equipamentos usualmente presentes em laboratórios de graduação, será possível estudar estes fenômenos. Fomentará a interdisciplinaridade e agregará um conhecimento valioso ao futuro engenheiro do mundo contemporâneo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com auxílio da Equação (1), e considerando o meio circundante das trilhas não magnético ($\mu_r = 1$) e com a permissividade relativa média de seis vezes superior à do meio livre ($\epsilon_r = 6$) chega-se a velocidade de propagação na trilha da PCI. Tomando a Equação (2), e com o objetivo de projetar trilhas com relações T_H/T_D de 1, 2, 5, 10 e 20, para o circuito integrado gerador de sinal, chegou-se às dimensões apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Comprimento de trilhas de acordo com a relação T_H/T_D .

L [cm]	T_H [ns]	T_D [ns]	T_H/T_D
80	5	5	1
40		2,5	2
16		1	5
8		0,5	10
4		0,25	20

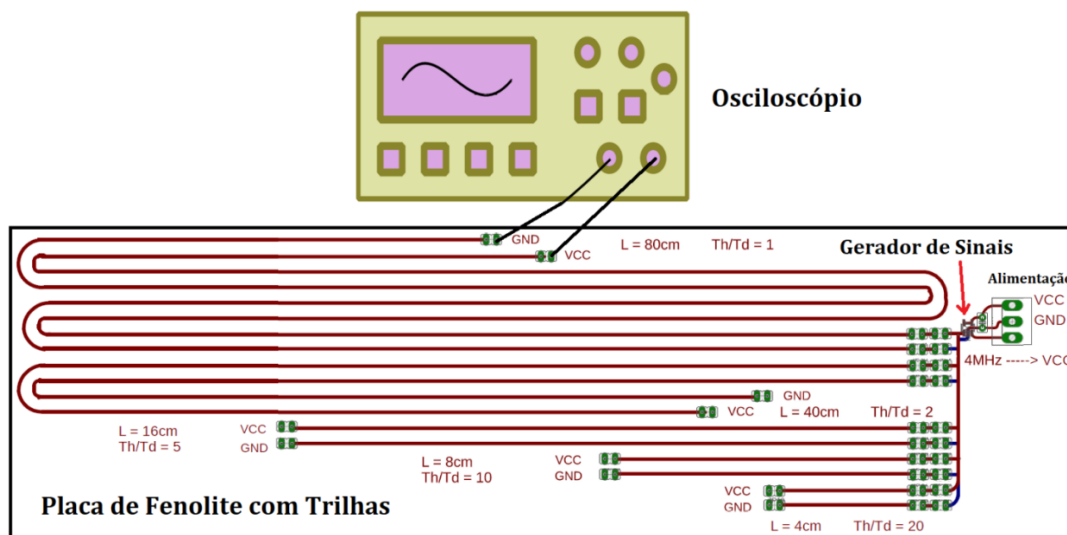
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como se pode observar, na Tabela 1, o circuito integrado MAX7377 apresenta valor de T_H fixo de 5ns, e dessa forma para aumentar a relação T_H/T_D é necessário alterar o tempo de propagação, o qual está intimamente ligado ao comprimento das trilhas. Dessa forma, foi aplicado um sinal de onda quadrada, com amplitude de 5V, no início da trilha, com o osciloscópio como carga, no final da trilha, e a trilha de retorno imediatamente abaixo. A representação da montagem do experimento está ilustrada na Figura 1.

Iniciando os testes de influência de comprimento de trilhas para a integridade de sinal, começou-se aplicando o sinal de 4MHz, de onda retangular, geradas pelo circuito integrado MAX7377, nas trilhas com relação T_H/T_D de 1, 2, 5, 10 e 20, ou seja, para os comprimentos de 80, 40, 16, 8 e 4cm, respectivamente. Os resultados para as trilhas de 8cm, 80cm e para a saída do gerador de sinal estão ilustrados na Figura 2.

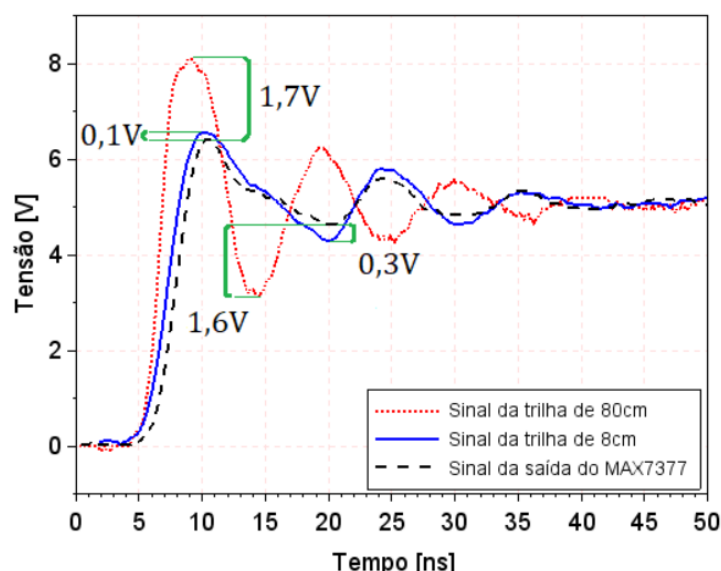
Pode-se notar, na Figura 2, que com o aumento do comprimento, houve o aumento da sobre-tensão máxima atingida na transição do nível baixo para o alto. Os níveis de tensão finais de nível alto (5V) e de nível baixo (0V) mantiveram-se íntegros, mesmo com o aumento da dimensão das trilhas. Entretanto, a sobre-tensão de nível alto, para a trilha maior, 80cm, chegou a cerca de 1,7V acima do valor registrado pelo sinal da saída do circuito integrado, e aproximadamente 8V em termos absolutos. Já para a trilha menor, 8cm, a sobre-tensão chegou apenas 0,1V acima do valor da saída do MAX7377. Esta sobre-tensão pode causar danos ou diminuir a vida útil do circuito que receber este sinal. Quanto mais avançada a tecnologia de circuitos digitais, menor é a tensão de alimentação e menor são os valores de tensão tolerados na entrada destes em relação à primeira. Este é um aprendizado relacionado a práxis do projeto de circuito eletrônico que os estudantes poderão se beneficiar.

Figura 1 – Esquema da bancada de testes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2: Sinais verificados no osciloscópio.



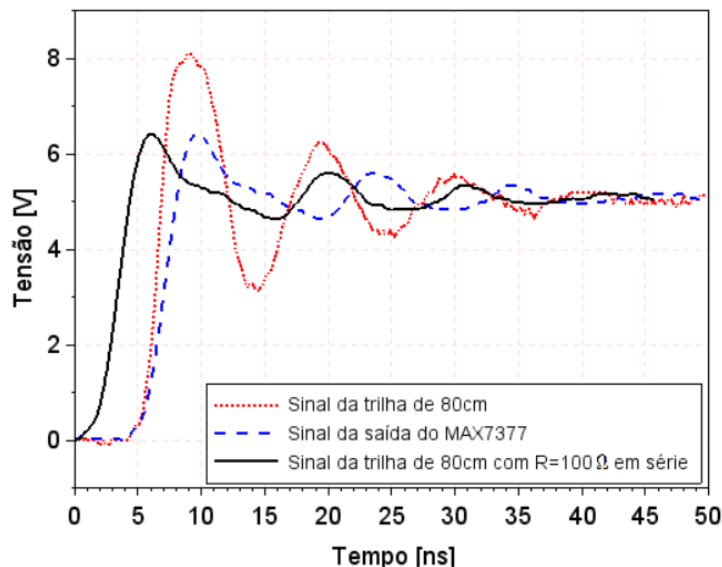
Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, também, na Figura 2 que, a tensão mínima atingida na transição de nível baixo para nível alto, para a trilha de 80cm apresentou valor cerca de 1,6V inferior ao valor da saída do gerador de sinal. Já para a trilha de 8cm a tensão chegou a 0,3V abaixo do valor registrado na saída do MAX7377. Dessa forma, ficou claro que a diminuição do comprimento da trilha acarretou redução da variação de tensão mínima de nível alto. Verifica-se também que a tensão mínima registrada durante a transição entre níveis lógicos foi de aproximadamente 3V em termos absolutos. Este nível de tensão é especialmente importante, pois para alguns circuitos digitais que receberão este sinal, este nível de tensão de 3V pode ocasionar um erro na interpretação do nível lógico. Este é outro problema de ordem prática que os estudantes terão a oportunidade de verificar em laboratório.

De forma análoga, foram realizados testes para as demais trilhas, 40, 16 e 4cm apresentando valores de sobretensão de nível alto crescente a medida que aumentavam os comprimentos L . Os valores mínimos de nível alto, da mesma forma, apresentaram maior variação conforme cresciam os comprimentos das trilhas.

Para sanar os problemas, tanto de sobretensão quanto de sobtensão, adicionaram-se resistores em série no início da trilha com o objetivo de melhorar o casamento de impedâncias. Tal experimento foi realizado para a maior das trilhas, 80cm, alimentação do circuito integrado MAX7377. Tal etapa teve a opção de utilização de resistores de 10, 22, 33, 56 e 100 Ω . Os resultados sobre a influência do resistor de 100 Ω estão esboçados na Figura 3.

Figura 3: Influência do resistor-série no início da trilha.



Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 3 mostra que a adição de resistor em série no início da trilha reduz as oscilações decorrentes de reflexão de onda e assim adiciona confiabilidade ao sinal transmitido pela linha de transmissão. Para resistores maiores, as transições apresentaram, inclusive, valores melhores do que a própria saída do gerador, evidenciando que o resistor série atua como um casamento de impedâncias reduzindo oscilações indesejadas causadas pelo fenômeno de reflexão de ondas. Os testes foram realizados para todos os resistores mencionados, e os níveis de tensão se mostraram mais próximos ao da saída do gerador de sinal à medida que aumentavam suas resistências. Evidenciando assim a redução do efeito de reflexão de onda que estava causando a degradação do sinal transmitido. Estes são outros aprendizados

diretamente ligados à atuação de projetistas, demonstrando assim que os kits podem apresentar a estudantes de Engenharia subsídios para uma tomada de decisão com relação à integridade de sinal de alguns circuitos que vierem a projetar no futuro.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O kit didático elaborado para estudo de integridade de sinal demonstrou, com os resultados apresentados, ser eficaz em confirmar, modificar e ampliar os conhecimentos necessários para o aprendizado de habilidades importantes no projeto de circuitos eletrônicos. Ele confirma com seus resultados a teoria de propagação de ondas em LT e seus efeitos com relação ao problema de integridade de sinal. Proporciona uma ampliação e uma modificação no senso comum entre projetistas de circuitos eletrônicos, principalmente em baixas frequências, centrado no princípio de que para se considerar na análise uma propagação em LT o sinal aplicado ao sistema teria de apresentar uma frequência fundamental mínima da ordem de centenas de MHz. No entanto, o fator crítico é o tempo de transição entre níveis lógicos. Promove também uma ampliação dos conhecimentos, pois a prática de casamento de impedâncias também não é muito comum em projetos de circuitos digitais ou mistos.

Para se chegar a tudo o que foi descrito, foi utilizado, para obter os resultados apresentados, apenas um osciloscópio digital de uso geral e uma fonte de alimentação. Equipamentos estes comumente encontrados em laboratórios de ensino de eletrônica, tornando a utilização do referido kit acessível a diversas instituições que oferecem cursos de Engenharia Elétrica, Eletrônica e outras correlatas a estas.

Para trabalhos futuros se pretende construir mais protótipos para estudar integridade de sinal em diferentes configurações de trilhas. Além disso, estudar a elaboração de um kit didático para o estudo do problema de diafonia em trilhas de placas de circuito impresso.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer o apoio financeiro do Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul – Rau através do Edital nº 35/2017 – PROPPI-DAE.

REFERÊNCIAS

ARCHAMBEAULT, B. R. **PCB design for real-world EMI control**, First Edition. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2004.

BOGATIN, E. **Sinal Integrity Simplified**. 1.ed. Prentice Hall, 2003. 608p.

DORNELLES, L. T. **Síntese de Casadores de Impedância de Baixa Sensibilidade Utilizando Técnicas Evolucionárias para Aplicações em Radiofrequência**. 2015. 130f. Tese (Ciências em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HAYT JUNIOR, William H.; BUCK, John A. **Eletromagnetismo**. 8. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013.

PAUL, Clayton R. **Introduction to electromagnetic compatibility**, 1ª Edition, New York: Wiley Interscience, 2006.

PAUL, Clayton R. **Eletromagnetismo para Engenheiros:** com aplicações a sistemas digitais e interferência eletromagnética. 1ª edição, Rio de Janeiro: LTC, 2016.

RESNICK, Mitchel. **Lifelong Kindergarten: Cultivating Creativity through Projects, Passion, Peers, and Play.** First Edition, MIT Press, 2017.

A LABORATORY KIT PROPOSAL FOR SIGNAL INTEGRITY STUDY IN PRINTED CIRCUIT BOARD

Abstract: *Considering the technological improvement in electronics where the rise/fall time of digital circuits are each round faster, the data processing is becoming a challenge. In this scenario the printed circuit board tracks (PCB) are becoming an issue to be faced in this kind of design. The main objective in this work is to propose a laboratory kit for signal integrity study in PCB tracks, using a power source and a general-purpose oscilloscope. The mentioned equipment encountered in many learning institutions are considered low cost. In this way, students will be the opportunity to relate theoretical and practical aspects related with their profession. A prototype with a 4MHz and 5ns rise/fall time clock generator and five length PCB tracks was developed. The wave reflection phenomenon was observed when the five tracks was exited with the same signal and load conditions. A 1.7V overshoot can be observed in 80cm long track due to wave reflection. In addition, it demonstrates that track lengths and the signal rise/fall time are key aspect to take in account during the PCB design of digital and mixed signal circuits. Other study, the kit allows, is the wave reflection control by an impedance matching technic. Adding a resistor in series with de source signal is a manner to minimize this kind of issue without the need to change drastically the PCB layout.*

Key-words: *Signal Integrity. Laboratory Kit. Printed Circuit Board. Wave Reflection.*

Organização:



Realização:

