PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Alan Magalhães Braga[1], Sheyla Rodrigues Rabelo[1], Pedro Klecius Farias Cardoso[2]

[1]Graduandos do curso de Mecatrônica Industrial – IFCE. Bolsistas do CNPq e-mail: sheyla.rabello@gmail.com, alan_mbraga@hotmail.com
[2]Professor Doutor do departamento de Telemática - IFCE. E-mail: klecius@ifce.edu.br

Resumo: Com o rápido crescimento da indústria eletrônica, as placas de circuito impresso estão cada vez mais sendo utilizadas e sua complexidade aumentando, diminuindo assim seu tamanho e aumentando a densidade das trilhas. Paralelamente a esta evolução, os softwares que são utilizados no projeto, estão cada vez mais se tornando indispensáveis, pois estes possuem boas ferramentas para otimizar este processo. Para produzir uma placa de circuito impresso, devemos considerar vários fatores para se ter uma placa com qualidade e dentro das normas de compatibilidade eletromagnética. Neste artigo é descrito o processo de produção destas placas, desde a criação do esquemático até a fixação dos componentes na placa, mostrando as ferramentas que são utilizadas para otimizá-las. Espera-se que este trabalho auxilie tanto profissionais da área, como também alunos interessados neste assunto, mostrando lhes alguns procedimentos que contribuem para um resultado final satisfatório da placa, pois este é um assunto pouco comentado nos cursos e que acaba sendo exigido dos profissionais no mercado de trabalho.

Palavras–chave: interferência eletromagnética, placa de circuito impresso, softwares para projeto de PCI.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos documentos sobre placas de circuito impresso (PCI) dão credito a este invento ao engenheiro austríaco Paul Eisler, que em 1936, enquanto trabalhava na Inglaterra, patenteou um método de se corroer uma camada de cobre depositada sobre uma superfície isolante (MEHL, 2011). No entanto, estes circuitos impressos apenas tiveram uma utilização mais ampla por volta de 1943, onde foram empregados em aparelhos de rádio para uso militar. Depois da Segunda Guerra Mundial, os circuitos impressos foram utilizados em muitas outras aplicações (MEHL, 2011).

As primeiras placas produzidas utilizavam apenas uma camada de cobre para interligar todos os componentes eletrônicos de um circuito. Com o aumento da complexidade dos circuitos eletrônicos foi necessário utilizar duas camadas de cobre, uma em cada lado do substrato (ou dielétrico). O surgimento dos circuitos integrados com larga escala de integração, utilizando arranjo de terminais em forma de grade, tornou necessária a utilização de placas de múltiplas camadas, que são construídas a partir da superposição de placas de duas camadas, placas de cobre e substratos (VERASTEGUI, 2007).

A confecção de PCI é de grande importância para aqueles que trabalham com pesquisa e desenvolvimento de novos projetos. Um dos maiores problemas que os projetistas de PCI encontram atualmente é a interferência eletromagnética. A utilização de técnicas para reduzir estas interferências é indispensável para obter sucesso no resultado final da placa.

Apesar das informações para produção de PCI serem pouco comentadas nos cursos, elas acabam sendo exigidas dos profissionais da área de eletrônica no mercado de trabalho. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo auxiliar alunos que tenham interesse neste assunto, como também ajudar profissionais que já atuam nesta área, apresentando-lhes as etapas do processo de produção de placas de circuito impresso. Para alcançar tal fim, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre as principais técnicas empregadas no projeto e confecção de uma PCI, as quais são descritas na sessão seguinte.

2. PROCESSO DE CONFECÇÃO DE PCI

Com o aumento da complexidade dos projetos de placas de circuito impresso, se faz necessário seguir uma seqüência bem definida de passos para se ter um bom resultado na criação da placa. Como

ISBN 978-85-62830-10-5

tópicos principais nessa seqüência de desenvolvimento, podem ser citados: criação do esquemático, roteamento do circuito, fabricação da placa e soldagem dos componentes. Uma ferramenta importante na criação das placas são os softwares para projetar PCI, que otimizam grande parte do processo.

2.1. Softwares para projeto de PCI

Com o aumento da complexidade dos circuitos, os softwares estão cada vez mais sendo necessários para projetar as placas de circuito impresso. Os softwares mais conhecidos para o projeto de PCI são: Altium Designer, Tango, Proteus, Orcad e Eagle.

Alguns destes softwares, além de permitir a montagem do esquemático e layout da placa, também oferecem um recurso de visualização da placa em 3D, possibilitando assim que o projetista tenha uma idéia de como a placa ficará no final do processo. Além disso, alguns deles também simulam o funcionamento do circuito. O Proteus é um software bastante utilizado para simular o circuito, pois possui uma biblioteca com vários tipos de componentes, de resistores a componentes mais complexos (SILVA, 2008).

2.1.1. Bibliotecas

Os softwares para projeto de PCI fornecem ao projetista uma grande variedade de componentes de diferentes fabricantes, localizados em suas bibliotecas, possibilitando assim uma forma mais rápida de fazer o esquemático. Porém, há casos em que os componentes não constam nas bibliotecas. Nestes casos o próprio projetista terá que criar o símbolo do componente.

Além dos símbolos dos componentes, as bibliotecas também possuem os *footprints* de seus componentes. *Footprint* é a forma gráfica do componente contendo suas dimensões reais e posicionamento de seus pinos e ilhas. Portanto, antes de transferir o circuito do esquemático para o ambiente onde será feito o roteamento, deve-se verificar a existência desses *footprints* nas bibliotecas. Caso não constem nas bibliotecas, assim como os símbolos, os *footprints* também deverão ser criados pelo projetista, obedecendo a seus dimensionamentos reais. A melhor maneira de conseguir isto é consultando o *datasheet* do componente.

2.1.2. Bill of Material

BOM (*Bill of Material*) é uma lista que contém informações importantes dos componentes que compõem o circuito do projeto. Algumas dessas informações são: o tipo de componente, sua referência, *footprint*, fabricante e outras informações que ajudam a identificar o componente.

Alguns softwares dão ao usuário a opção de criar o BOM a partir do layout da placa e exportá-la para outros programas como o EXCEL.

2.1.3. Esquemático

Esquemático é a representação gráfica do circuito contendo os símbolos dos diversos componentes e suas conexões. É a partir dele que os softwares para projeto de PCI transferem esse circuito para um ambiente onde será feito o roteamento. Na figura 1 tem-se um exemplo de um esquemático.

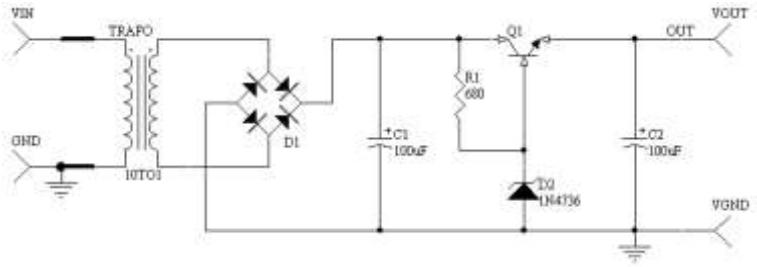

Figura 1- Esquema elétrico de uma fonte de alimentação.

2.2. Roteamento

Roteamento é o processo de colocar trilhas e vias no layout da placa para conectar os componentes. Pode ser de duas maneiras: roteamento manual e roteamento automático.

Alguns softwares fazem esse trabalho de roteamento fornecendo um número de ferramentas sofisticadas para o roteamento manual e também dão a opção para o roteamento automático. Apesar de o roteamento automático fornecer uma maneira fácil e poderosa de rotear, existe situações que o projetista precisa ter um controle mais preciso do posicionamento das trilhas. Apesar dos algoritmos dos roteadores automáticos estarem sempre evoluindo e atualmente já estão bastante avançados, o projetista nunca irá perder sua função no projeto de placas de circuito impresso, pois o ser humano consegue considerar regras, restrições e prioridades de forma heurística, projetando assim placas que os roteadores automáticos não conseguem. Um exemplo disto é que em placas extremamente criticas, como placas de assinantes de centrais telefônicas, todo o roteamento deve ser feito manualmente, não pela complexidade, mas para atender normas extremamente rígidas de traçado que não são suportadas pelos algoritmos dos roteadores automáticos (KUGLER, 2004).

2.2.1. Procedimentos para roteamento

Apenas fazer as ligações dos componentes envolvidos no projeto não é o bastante para se ter um bom rendimento no roteamento. Alguns itens devem ser analisados antes e durante o roteamento, como por exemplo:

- Número de camadas a serem utilizadas;
- Posicionamento adequado dos componentes;
- Técnicas de redução de interferência eletromagnética (EMI).

2.2.1.1. Número de camadas

Para interligar os componentes de uma placa de circuito impresso podem ser utilizadas trilhas em várias camadas. O número de camadas a serem utilizadas dependerá da complexidade do circuito. Porém por razões de redução de EMI e também por razões financeiras, o projetista deve deixar o layout do PCI com o menor número possível de camadas.

2.2.1.2 Posicionamento dos componentes

Para posicionar os componentes devem ser considerados vários fatores como densidade dos componentes, facilidade de roteamento, compatibilidade eletromagnética e muitos outros.

Para iniciar essa parte do projeto, pode ser feita uma análise da densidade dos componentes e de suas ligações e das restrições de posicionamento, seja ela devido a fatores térmicos, eletromagnéticos ou mecânico. Para isso, todos os componentes podem ser colocar fora do desenho das limitações da placa e ter uma idéia inicial do melhor posicionamento dos componentes, já pensando nas menores ligações possíveis, com isso reduzir os efeitos de EMI e também analisar a quantidade de componentes em relação ao tamanho da placa.

Depois disto, componentes com coordenadas fixas ou restrições rígidas de posicionamento podem ser colocados, como conectores, LEDs, componentes de tamanho muito grande, pois os outros dependeram destes. A seguir posicionar os mais críticos como processadores, memórias, cristais (que sempre ficam perto de seus respectivos circuitos integrados). Então posicionar os demais componentes. Com isso, o projetista terá uma visão melhor do circuito e poderá fazer alguns ajustes mais precisos no posicionamento dos componentes. Esta disposição não necessariamente será a final, pois as dificuldades de roteamento e análise de EMC poderão exigir que alguns componentes sejam colocados em outras posições (KUGLER, 2004).

2.2.1.3. Técnicas de redução de interferência eletromagnética (EMI)

Antes de começar a ver as técnicas é importante ver alguns conceitos.

2.2.1.3.1. Conceitos de EMI e EMC

Apesar de terem conceitos interligados, EMI e EMC têm definições diferentes. A EMI (*Electromagnetic Interference*) é o fenômeno físico da interferência eletromagnética. Ocorre quando uma energia eletromagnética influência de modo prejudicial o funcionamento de um aparelho/equipamento. Já a EMC (*Electromagnetic Compatibility*) é a capacidade de um equipamento eletrônico operar sem interferir e/ou ser interferido, quando colocado em um ambiente com outros equipamentos (Oliveira, 2002). Há normas que controlam essas interferências e estão cada vez mais exigentes. Isto é devido principalmente ao fato das altas freqüências de operação dos equipamentos atuais, pois o aumento da freqüência contribui para a geração de sinais de RF (rádio freqüência). Aliada a alta freqüência de operação dos circuitos integrados, outras causas para a emissão destes sinais são o posicionamento inadequado destes componentes e das trilhas que fazem suas ligações. Com isso, faz-se necessário a utilização de técnicas que reduzem a geração destas interferências, para que os equipamentos tenham seus níveis de EMI, dentro dos limites estabelecidos pelas normas de compatibilidade eletromagnética.

2.2.1.3.2. Comprimento das trilhas

Trilhas muito longa possuem um alto valor de impedância própria, que por sua vez, afetam a qualidade de transmissão do sinal gerando alto nível de interferência. Portanto, no roteamento da placa deve-se procurar fazer as conexões dos componentes o mais curto possível. Um bom caminho para se obter isto é fazendo um posicionamento adequado dos componentes no layout da placa. Deve-se evitar a utilização do auto-roteamento dos softwares de confecção de PCI, pois estes roteadores não possuem um algoritmo otimizado para atender às regras de compatibilidade eletromagnética durante a execução do roteamento, fazendo muitas vezes trilhas longas e desnecessárias.

2.2.1.3.3. Desacoplamento da alimentação

O desacoplamento da alimentação tem como objetivo manter a impedância da fonte de cada CI com um valor baixo, para que estes operem corretamente. As trilhas que conectam o CI possuem uma indutância elevada, principalmente em altas freqüências, o que requer a utilização de um capacitor de desacoplamento para poder prover uma baixa indutância, em toda a faixa de freqüência de interesse (LIZ, 2003).

Este capacitor deve ser conectado através dos pinos Vss e o pino Vcc, com trilhas com um diâmetro mais largo do que outros sinais. Para que este capacitor tenha a eficiência desejada, ele deve ser colocado o mais próximo possível do CI e as trilhas de alimentação Vss e Vcc devem passar por ele primeiro antes de alimentar o CI, como mostra a figura 2 (RENESAS TECHNOLOGY, 2006).

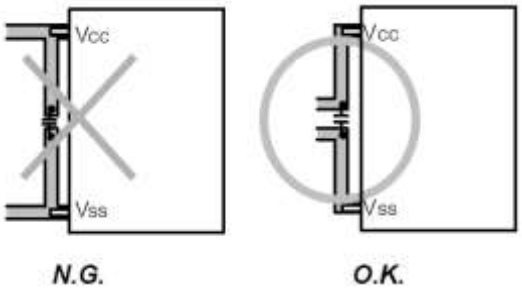

Figura 2 – Correta conexão de um capacitor de desacoplamento para os pinos Vss e Vcc do microcontrolador. Fonte: RENESAS TECHNOLOGY (2006).

2.2.1.3.4. Interferência capacitiva e indutiva em trilhas

Interferência capacitiva e indutiva ocorre entre trilhas que percorrem paralelamente até mesmo em distâncias curtas. Quando em longas distâncias, se comportam como capacitores ou indutores,

gerando assim ruídos no circuito. A quantidade dos ruídos é proporcional ao comprimento do trecho em paralelo, a freqüência, a amplitude da tensão na fonte, e da impedância, e inversamente proporcional a distância de separação.

Para diminuir esse tipo de interferência, algumas medidas podem ser tomadas como: manter trilhas com sinal RF que estão conectadas ao microcontrolador longe de outros sinais, trilhas sem ruídos devem estar longe de áreas da placa onde elas possam adquirir ruídos, como conectores, circuitos osciladores e relés, não passar trilhas com grande possibilidade de ruídos nas partes externas da placa e se possível juntar o maior número possível de trilhas que provavelmente terão ruídos e rodeá-las com trilhas de terra (TEXAS INSTRUMENTS, 1999).

2.2.1.3.5. Plano de terra

O plano de terra é uma concepção muito importante em um projeto de PCI, pois ele fornece o caminho de retorno da corrente. O caminho de retorno com alta impedância leva a um aumento na EMI.

As correntes sempre procuram por caminhos de impedância baixa. Se existe alguma descontinuidade no caminho do retorno da corrente, esta pode ir para um caminho não intencional. Por exemplo, a impedância do ar é aproximadamente 377Ω. Se a impedância do caminho de retorno não for baixa o bastante, a corrente pode escolher retornar pelos 377Ω e transmitir energia eletromagnética a circuitos vizinhos, podendo interferir de forma prejudicial no funcionamento deles (ZHANGPENG; SHUFANG, 2005).

Portanto, sempre que possível, devemos fornecer um plano de terra com baixa impedância para a corrente retornar e assim diminuir a EMI no circuito. A eficiência de um plano aumenta se ele for sólido, ou seja, sem descontinuidades. A presença de vias e descontinuidades aumenta a impedância do plano, pois a corrente de retorno terá que se deslocar por um caminho maior, gerando dessa forma mais EMI.

2.3. Fabricação de placas de circuito impresso

Após a etapa de roteamento, pode-se iniciar o processo de fabricação das PCI. A placa pode ser fabricada manualmente, utilizar o processo de fresagem, corrosão química ou outros processos menos conhecidos.

2.3.1. Fabricação manual

Este processo é recomendado apenas para fabricação de placas de simples face. Neste processo o desenho do circuito tem que ser transferido para a fase cobreada da placa e pode ser de duas maneiras:

- O projetista deve imprimir o roteamento feito em algum software em um papel especial e prensar e aquecer este papel na fase cobreada. Após remover o papel, deve verificar se o desenho ficou nítido e sem falhas na placa.
- Desenhando o circuito diretamente na placa com uma caneta de tinta permanente.

Com o circuito desenhado na placa, pode-se iniciar a corrosão. Esta corrosão é feita utilizando uma solução de percloreto de ferro diluída em água em um recipiente, onde a placa é colocada dentro. É recomendado que faça um pequeno furo na placa e passe um fio por ele, para ter uma facilidade melhor quando for retirar a placa da solução. Apenas as partes que não estão protegidas irão reagir com a solução.

Após a corrosão, a placa deve ser limpa e protegida com um material adequado. Já com os furos necessários, a placa estará pronta para receber os componentes e soldá-los.

2.3.2. Geração dos dados de fabricação

Para a fabricação dessas placas é utilizada ferramentas CAM (*Computer Aided Manufacturing*). Pelo fato de que essas ferramentas não serem muitas vezes compatíveis com as ferramentas CAD

(*Computer Aided Design*) utilizadas no projeto das placas, foram criados formatos universais de arquivos, que são utilizados por todos os fabricantes de CAD para projetar PCI e pelos softwares CAM (KUGLER, 2004).

O formato GERBER é o mais comum. Um arquivo GERBER contém, em ASCII, a representação do cobre impresso na placa, mas sem diferencias ligações por sinais lógicos. É apenas um arquivo vetorial, informando onde há e não há cobre.

2.3.3. Fresagem

Consiste na retirada do cobre por uma fresa. Este processo separa as trilhas e os anéis de furos de passagem, deixando o restante de cobre na placa. Esta máquina disponibiliza fresas de diferentes tamanhos para os mais diversos diâmetros de furos e espessura das trilhas. Este processo é recomendado para fabricação de protótipos e sua precisão não é tão boa quanto à corrosão química.

2.3.4. Corrosão química

Este processo é o mais utilizado por grandes fabricantes de placas, pois tem uma alta precisão. Pode ser subtrativo, que utiliza processos fotográficos na transferência dos fotolitos e aditivo, que utiliza processos serigráficos na transferência dos fotolitos.

2.3.4.1. Gerando os fotolitos

A corrosão química depende da transferência do desenho de cada camada para as chapas de cobre, por um processo de foto-estimulação, utilizando para isso as máquinas fotoploters. Estas máquinas reproduzem as ligações que serão reproduzidas na placa em uma folha, o fotolito. Este consiste em uma folha transparente onde é impresso o desenho correspondente ao arquivo GERBER (KUGLER, 2004).

2.3.4.2. Processo subtrativo

Este processo consiste na retirada do cobre não desejado do laminado e é o mais difundido atualmente obtendo a maior precisão de traçados em relação a todos os outros.

2.3.4.3. Processo aditivo

O processo aditivo é o inverso do subtrativo. Ao invés de retirar o cobre das regiões não desejadas, neste processo coloca-se cobre nas regiões desejadas. Por usar processos serigráficos na transferência dos fotolitos, apresenta uma eficiência menor em relação ao subtrativo, que utiliza processos fotográficos. Por ter um custo mais baixo do que o subtrativo, este processo é o mais utilizado para fabricação de placas simples em larga escala (KUGLER, 2004).

2.4. Soldagem em placas de circuito impresso

Com as trilhas e os furos necessários, a placa pode passar para a etapa da soldagem. Para facilitar a soldagem, atualmente os componentes têm seus terminais recobertos de estanho. Abaixo são listadas algumas ligas para solda:

- **Liga 60% Sn + 40% Pb:** É o tipo mais usado em eletrônica e encontra-se na forma de arames com 2 mm e 1 mm de diâmetro. Funde a aproximadamente 310 °C;
- **Liga 63% Sn + 37% Pb:** Chamada de *liga eutética*, é a liga de Sn/Pb que tem a menor temperatura de fusão, aproximadamente 290 °C e encontra-se na forma de arames com 1 mm de diâmetro. É a mais indicada para eletrônica, porém não é tão fácil encontrá-la no mercado. Na maioria das aplicações a liga **60% Sn + 40% Pb** pode ser utilizada sem problemas;
- **Ligas de prata:** são utilizadas em circuitos especiais e apresenta ponto de fusão de aproximadamente 220°C.

Após a soldagem, a placa pode ficar com um aspecto sujo. Assim, pode-se limpar a superfície das trilhas usando-se álcool hidratado. Os componentes são resistentes a maioria dos solventes

orgânicos. Após a secagem da placa, pode-se aplicar às trilhas um verniz feito com breu dissolvido em álcool ou solvente para tintas. A aplicação desse verniz serve para impedir a oxidação do cobre exposto. Este mesmo verniz pode ser aplicado na placa antes da soldagem, facilitando a aderência da solda ao cobre (MEHL, 1998).

3. CONCLUSÕES

Pode-se concluir ao final deste trabalho, a importância da utilização dos softwares para projeto de PCI, por causa da complexidade dos circuitos que existem atualmente e por toda a funcionalidade destes softwares, que otimizam bastante todo o processo do projeto.

Foram discutidos os procedimentos no roteamento, mostrando que o projetista não deve apenas interligar os componentes, mas também atentar para uma série de fatores para se ter uma placa de circuito impresso com qualidade e de acordo com as normas de compatibilidade eletromagnética. Também foram mostrados alguns processos de fabricação destas placas e soldagem.

Portanto, os passos necessários para produção de placas de circuito impresso foram apresentados, atingindo dessa forma o objetivo deste artigo.

Pretende-se construir uma apostila com mais informações com base neste artigo e outras pesquisas complementares, com o objetivo de auxiliar ainda mais os interessados em confecção de placas de circuito impresso.

REFERÊNCIAS

KUGLER, M. **Projeto de placas de circuito impresso.** [S.l.]: [S.l.], 2004. Disponível em: < http://www.mauriciokugler.com/publications/pcb_mauricio_kugler.pdf> Acesso em: 12 jun 2012.

LIZ, M.B. **Contribuição para a redução da interferência eletromagnética em fontes chaveadas.** 2003. 168p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

MEHL, E.L.M. **Alguns conselhos para soldagem de componentes em Placas de Circuito Impresso**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1998.

MEHL, E.L.M. **Placas de circuito impresso: Conceitos Fundamentais**. [Curitiba]: Universidade Federal do Paraná, 2011.

OLIVEIRA, A.B.M. **Introdução ao Estudo da Interferência Eletromagnética (EMI) no Projeto de Placas de Circuito Impresso (PCBs) de Fontes Chaveadas**. 2002. Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção de créditos na Disciplina Teoria Eletromagnética, CPDEE, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

PEDROSO, L.J. **Desenho de Circuitos Eletrônicos**: **Projeto de placas de circuito impresso**. [S.l.]: Escola Técnica Federal de Mato Grosso, [2005?].

RENESAS TECHNOLOGY. **M16C Family**: **Countermeasures against noise**. Rev.1.01. [S.l.], 2006.

SILVA, T.S. **Processo de produção de um circuito impresso com roteamento otimizado**. Fortaleza: CEFET-CE, 2008. Apresentado como trabalho de conclusão de curso de graduação, Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2008.

TEXAS INSTRUMENTS. **PCB design guidelines for reduced EMI**. Dallas, 1999.

VERASTEGUI, T.M.N. **Propagação de modos entre planos de referência em placas de circuito impresso de múltiplas camadas.** 2007. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ZHANGPENG; SHUFANG, L. **The relationship between Ground and EMI**. In: IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications Proceedings, 2005, [s.l.]. **anais ...** [S.l.]: Beijing University of Posts & Telecommunications, 2005. p 662-665.