

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Desenvolvimento de Forno para Solda de Componentes SMD

Gabriel Duarte Meceneiro¹

Divisão de Telecomunicações, Faculdade de Tecnologia, Unicamp, Limeira, SP

Bruno Tavares de Souza Conrado²

Departamento Acadêmico de Matemática, Unicamp, Campinas, SP

Rodrigo Luiz Ximenes³

Divisão de Telecomunicações, Faculdade de Tecnologia, Unicamp, Limeira, SP

Talía Simões dos Santos⁴

Divisão de Telecomunicações, Faculdade de Tecnologia, Unicamp, Limeira, SP

Resumo. Os circuitos eletrônicos estão fazendo cada vez mais o uso de componentes com tecnologia de superfície. Os equipamentos necessários para a soldagem componentes SMD têm um custo elevado e grande parte, são destinados para produção em massa. O projeto proposto consiste no desenvolvimento de um forno para soldagem de componentes SMD. O forno é controlado por um microcontrolador de 8 bits. Foi usado um sensor do tipo termopar e o controle de temperatura utilizando PWM. Os elementos de aquecimento são duas lâmpadas de holofote de 500W cada. Foram definidos dois tipos de curva para soldagem. A estrutura do forno é indiferente, porém, foi utilizada uma caixa metálica de paredes finas, para minimizar a inércia e dissipação térmica. Os testes de funcionamento foram realizados com a montagem de placas de circuito impresso e componentes SMD. O resultado mostrou que a técnica apresentada permite a soldagem dos componentes de forma satisfatória, além de possibilitar adaptações para outras curvas e aplicações.

Palavras-chave. Componentes SMD, Forno, Microcontrolador, Solda, Temperatura.

1 Introdução

Componentes SMD (*Surface Mounting Devices*) são encontrados em circuitos integrados, resistores, capacitores, indutores, diodos, etc. São componentes com seus invólucros reduzidos e seu processo de soldagem dispensa a furação da placa como os componentes convencionais THT (*Through Hole Technology*). Esta tecnologia aumenta a confiabilidade de montagem, diminui consideravelmente o tamanho do circuito e o custo de fabricação.

A fabricação de circuitos que utilizam a tecnologia SMD tem necessidade de um controle minucioso do aquecimento no momento de soldagem. Esse processo necessita de um

¹g116915@dac.unicamp.br

²b148390@dac.unicamp.br

³ximenes@ft.unicamp.br

⁴talia@ft.unicamp.br

forno de soldagem SMD. Em grande parte, os fornos são comercializados para produção em massa e seus preços relativamente altos. Para laboratórios de pesquisa e/ou mesmo empresa com baixa quantidade de produção, acaba sendo dificultoso devido ao custo para a aquisição de um forno. Desta forma, torna-se viável a construção do equipamento.

Em [1], os autores realizam um procedimento de solda a laser de componentes SMD, levando em consideração o tipo e a quantidade de pasta de solda utilizada, energia bombeada para dentro do sistema, etc. Na eletrônica moderna, existem várias situações onde o forno precisa ser controlado com precisão, por exemplo, temperatura de solda de componentes sensíveis, ou o uso de diferentes substratos que requerem uma temperatura de solda diferente das usuais. Foi feita a modelagem matemática da energia necessária para conseguir alta qualidade de juntas de solda e otimização dos parâmetros. Para a validação do modelo teórico, soldaram componentes e realizaram testes elétricos e mecânicos, seções transversais, óptica e inspeção por raio X.

Em [2] é apresentado um certo número de modelos numéricos de processo de soldagem por refusão em infra-vermelhos. O objetivo foi investigar o processo, as variáveis de projeto e seus efeitos na qualidade das juntas. O processo de solda pode ser dividido em duas partes: pré-refusão e refusão. O processo de pré-refusão se dá pelo volume de pasta de solda e a localização onde o componente será soldado, preocupando-se com a geometria. Já na refusão, o foco é o processo de aquecimento da solda e o tempo necessário para soldagem. Portanto, foram apresentados os processos de solda e seus modelos.

Em [4], os autores implementam um modelo através de uma ferramenta capaz de computar as temperaturas em diferentes setores da solda da junta. Este artigo serve de base para a implementação de um forno para soldagem de componentes.

Em [7] o autor mede o empenamento do componente através de uma fonte de luz inclinada em relação à superfície do objeto a ser soldado. Esta luz reflete e uma câmera capta a intensidade desta luz, que é uma função da diferença de altura entre a superfície do objeto e a grade. A medida do empenamento sob mudança de temperatura pode contribuir para o avanço da qualidade das placas SMT (*Surface Mounting Technology*).

Muitas técnicas de fabricação de baixo custo utilizam a estrutura de um forno elétrico do tipo doméstico, o que é inviável, uma vez que o poder de aquecimento é baixo e inércia térmica alta. Neste artigo, buscou-se construir um forno acessível em termos de custo de construção, além de seus parâmetros de aquecimento aceitáveis para montagem SMD. Os parâmetros de aquecimento podem ser facilmente encontrados em normas.

2 Construção do Forno

Os materiais utilizados são: 2 lâmpadas halógenas de 500W 127V Temp. de cor 2700K 3,5A; microcontrolador PIC 18f4550 da Microship; display LCD 16X2; fonte de alimentação de 12VDC; regulador de tensão de 5V LM7805; integrado MOC3011; led; botões; resistores; capacitores; cristal de 20MHz; termopar tipo K; integrado AD 595.

Os softwares utilizados para executar o projeto são: Eagle (desenho do esquema elétrico); Editor PCW e Compilador CCS (programação do Pic).

2.1 PWM

O controle de temperatura é feito com a utilização do PWM (*Pulse-Width Modulation*). O sinal de PWM é gerado pelo microcontrolador através do terminal CCP1 (*Capture/Compare/PWM*), pino 17 do integrado 18F4550.

A escolha da frequência de PWM foi feita de forma experimental, utilizando as lâmpadas. Teve-se a preocupação com os possíveis efeitos capacitivos e indutivos. Após testes foi utilizado 2kHz, gerado pelo TIMER1 do microcontrolador com resolução de 256. A Figura 1 exemplifica os sinais de PWM para 10%, 50% e 90%.

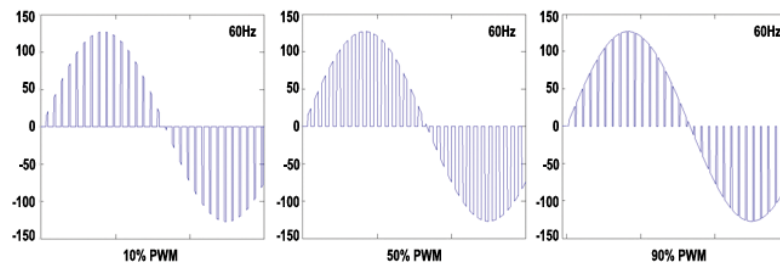


Figura 1: PWM aplicado na lâmpada.

A representação matemática do PWM pode ser descrita da seguinte forma:

$$v(t) = V_0 \sin(2\pi ft) \left[\frac{1}{2} \sin \left((1 - p)\pi + \frac{\pi}{2} (1 + \sin(2\pi f' t)) \right) t \right] \quad (1)$$

onde V_0 é a tensão da rede (em V); f é a frequência da rede (60Hz); p é o *duty cycle* (em %) e f' é a frequência do PWM (2kHz).

O sinal gerado pelo microcontrolador é aplicado no emissor do integrado opto acoplador MOC3011 sendo limitado em corrente por um resistor de 330Ω . A utilização do integrado é necessária para o isolamento dos circuitos de baixa e alta tensão. A saída de sinal isolada, é então entregue ao Triac BTA16, responsável por chavear em PWM as lâmpadas ligadas à rede 127V 60Hz. Optou-se por utilizar o Triac BTA16 devido sua capacidade de corrente ser da ordem de 16A, o que permite trabalhar em uma boa margem, uma vez que o consumo máximo das duas lâmpadas é de 7A.

O circuito para o chaveamento de PWM é mostrado na Figura 2.

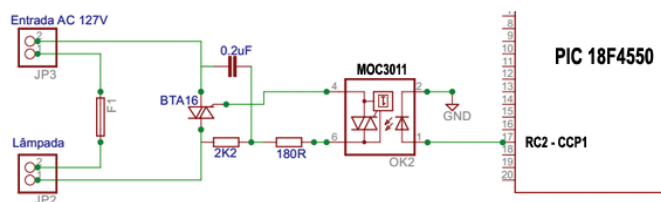


Figura 2: Circuito PWM com MOC3111 e BTA16.

2.2 Interface

O processo de soldagem até o pico tem por volta 360 segundos. Para que o usuário fique informado das etapas de soldagem, foi utilizado um display de cristal líquido 2x16, com objetivo de informar em tempo real a temperatura atual do forno, os segundos correntes, além das informações de etapa do processo. Foram instalados 3 botões do tipo *push button*, que podem ser usados com a função de *Start*, *Stop*, emergência *Reset*, além da seleção do tipo de rampa de temperatura.

Além de sua interface visual, foi disponibilizada a conexão do tipo USB (*Universal Serial Bus*), que permite armazenar e monitorar as temperaturas de soldagem, através da conexão com um computador.

2.3 Sensor

Foi utilizado um termopar do tipo K, onde o positivo é níquel-cromo (KP: Ni90% Cr10%) e o negativo de níquel-alumínio (KN Ni95%Mn2%Si1%Al2%). Este sensor por não ter uma resposta linear, foi utilizado no projeto juntamente com o conversor AD595 [3].

O integrado AD595, tem como resposta 10mV/°C, tornando a leitura do termopar linear. O sinal é entregue ao microcontrolador através da porta configurada como entrada analógica (AN0 pino 2), em resolução de 1024 bits.

2.4 Curva de Soldagem SMD

A curva de temperatura de soldagem adotada neste projeto é a da proposta de [6]. A curva apresentada pode ser aplicada em uma vasta gama de componentes SMD. A Figura 3 mostra a curva e suas particularidades, onde T_p pode assumir o valor de 220 ou 235°C, dependendo da aplicação.

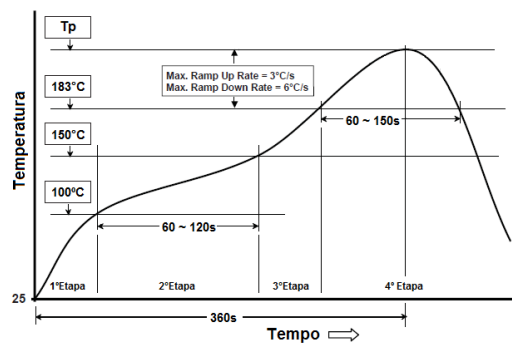


Figura 3: Curva de soldagem proposta, adaptada de [6] fora de escala.

As etapas de soldagem (Figura 3), podem ser descritas da seguinte forma:

- **1ª Etapa:** Pré-aquecimento, temperatura ambiente até 100°C, tempo não especificado;
- **2ª Etapa:** Rampa de 100 a 150°C, tempo entre 60 a 120 segundos;
- **3ª Etapa:** Rampa de 150 a 183°C, tempo não especificado;

- **4ª Etapa:** Rampa de 183 a 220°C (T_p), subida até 3°C/s, descida até 6°C/s, tempo de 60 a 150 segundos.

A Tabela 1 mostra os valores que foram definidos para a operação do forno. Os tempos foram medianos aos limites de tempo permitido conforme a norma sugere [6].

Tabela 1: Valores adotados para o forno.

Etapa	Temperatura (°C)	Tempo adotado (s)
1ª	30 a 100	36
2ª	100 a 150	90 (permitido de 60 a 120)
3ª	150 a 183	84
4ª	183 a T_p^5 a 183	105 (permitido de 60 a 150)

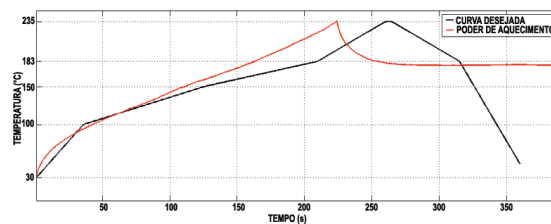
⁵pode assumir 220 ou 235°C

O forno proposto neste trabalho permitirá o uso de duas opções de curva 235 e 220°C, sendo diferenciadas apenas pelo valor da temperatura de pico (T_p).

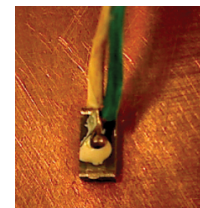
2.5 Elemento de Aquecimento

Foram utilizadas, como elemento de aquecimento, 2 lâmpadas halógenas. Elas foram instaladas em uma caixa metálica, onde sua dissipação térmica seria uma incógnita. Frente a isso, foi feita uma análise de forma experimental do poder de aquecimento, uma vez que o mesmo deve ser acima da curva de soldagem SMD desejada.

O teste foi realizado aplicando 100% de PWM. A Figura 4(a) mostra a curva de aquecimento e resfriamento (vermelha), e a curva desejada (preta). O resfriamento apresentado não faz uso de ventilação forçada. A acomodação do termopar é vista na Figura 4(b).



(a)



(b)

Figura 4: (a) Poder de aquecimento e resfriamento; (b) Acomodação do termopar.

Através da Figura 4(a) é possível observar que o poder de aquecimento é superior à rampa de soldagem desejada, com uma pequena limitação próxima de 100°C. Com o controle de temperatura, é possível reproduzir próximo da curva desejada.

Em [5], são apresentadas várias técnicas de fixação de termopar no componente e suas alterações em temperatura. Em vista dos resultados, para este trabalho acomodou-se o termopar em um resistor SMD utilizando pasta térmica.

3 Funcionamento (Resultados)

O forno foi projetado com a possibilidade de uso de dois tipos de curva, 220 e 235°C, que são curvas com características para soldagem usando pasta de soda do tipo (63Sn 37Pb). Caso seja necessário outra pasta de solda, a curva de temperatura deve ser ajustada.

O fluxograma de operação do microcontrolador é apresentado na Figura 5. O incremento e decremento do PWM de 255 bits de resolução é realizado em passos de 5.

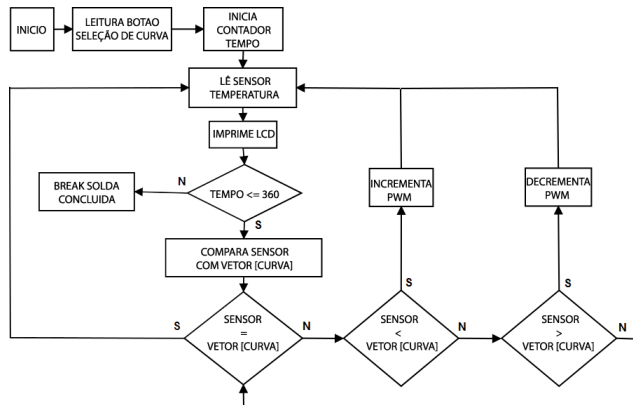


Figura 5: Fluxograma do microcontrolador.

Aplicando o controle de temperatura, obteve-se a curva de soldagem SMD. Nas Figuras 6(a) e 6(b) são apresentadas as curvas do forno desenvolvido (vermelha) e a teórica ideal adotada (azul). A Figura 6(a) mostra o resultado para as curvas de pico de 220°C e a 6(b) de 235°C. Na Figura 6(c) é apresentada a placa com componente a ser soldado, a placa com a pasta de solda, o componente (CI) depois de soldado, além de um transistor pós soldado. O forno desenvolvido com a caixa de circuitos de controle é visto na Figura 6(d).

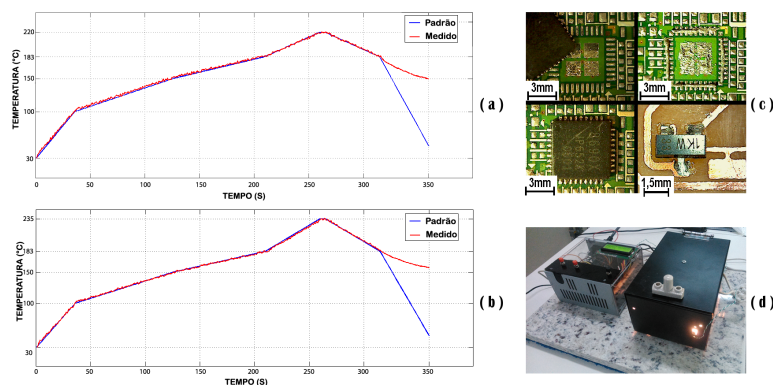


Figura 6: (a) Curvas de 220°C; (b) de 235°C; (c) placa com componentes soldados e (d) forno construído.

4 Conclusões

Os resultados mostraram que a técnica utilizada foi suficiente para a construção do forno, não sendo necessário o aprimoramento do controle de temperatura. As curvas de aquecimento foram feitas baseadas em normas, porém, o forno apresentado, permite ajustes na curva para algumas exigências de aplicação. É importante que a estrutura do forno seja de pouca massa, uma vez que são conhecidos os problemas de inércia e dissipação térmica. A capacidade de aquecimento deve estar acima da curva desejada, para ser possível o controle da temperatura. O acomodamento do sensor termopar exige certo cuidado, pois o valor do sensor representa a temperatura dentro do forno. O melhor caso para a medição da temperatura, se deu ao acoplar o termopar a um componente SMD usando pasta térmica. Os materiais utilizados são de fácil acesso, o que permite a construção do forno sem grandes dificuldades, sendo uma opção para laboratórios e empresas, que montam circuitos em pequena quantidade.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro a este trabalho.

Referências

- [1] R. Bunea, P. Svasta, Z. Illyefalvi-Vitez, R. Batorfi e A. Geczy, Optimizing Laser Soldering of SMD Components: from Theory to Practice, IEEE 17th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging, 55–58, (2011).
- [2] P. P. Conway, A. O. Ogunjimi, P. M. Sargent, A. C. T. Tang, D. C. Whalley e D. J. Williams, SMD Reflow Soldering: A Thermal Process Model, Annals of the CIRP, vol. 40, 21–24, (1991).
- [3] A. Devices, Monolithic Thermocouple Amplifiers with Cold Junction Compensation, AD594/AD595, 1–8, (1999).
- [4] J. Niemeier e G. Seliger, Simulation of the Soldering Process, Annals of the CIRP, vol. 47, 27–30 (1998).
- [5] M. Niskala, Soldering of SMD Film Capacitors in Practical Lead Free Processes, Proceedings CARTS Europe 2007 Symposium, 1–8, (2007).
- [6] J. I. Standard, Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices, IPC/JEDEC J-STD-020D.1, (2008).
- [7] H. Wohlrabe, Warpage Measurements of SMD-Components under Soldering Conditions, 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology, 1–5, (2009), DOI: 10.1109/ISSE.2009.5207028.