

XX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA
GRANDE



Medidor RFI portátil utilizando materiais de relativo baixo custo

Davy Araújo Sá Teles¹, Alexandre Jean René Serres²

RESUMO

A espectroscopia é o estudo da interação entre a radiação eletromagnética e a matéria. Os fenômenos físico-químicos que são objeto de estudo se caracterizam como interações (reflexão,refração,espalhamento elástico,interferência e difração) ou alterações nos níveis de energia de moléculas e átomos. Nessa ótica,surge o espectrômetro que é um instrumento óptico para medir as propriedades da luz em uma determinada faixa do espectro eletromagnético.No mundo, diversos espectrometria foram desenvolvidos, no entanto, aquele que vem se destacando no munda da tecnologia é o CALLISTO(do inglês Compound Astronomical Low Frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory) sua principal característica é o relativo baixo custo de hardware e software e o curto tempo de montagem.O instrumento é sensível e estável e opera nativamente entre as faixas de 45 e 870 Mhz e largura de sinal de 300 kHz,equivalente a 1000 medições por segundo.

Palavra-chave: Espectrômetro,Sintonizador,Radiotelescópio

¹ Aluno do Bacharel em Engenharia elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: davy.teles@ee.ufcg.edu.br

² Doutor, Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica , UFCG, Campina Grande, PB, e-mail: alexandreserres@dee.ufch.edu.br

Portable RFI meter using relatively low-cost materials

Abstract

Spectroscopy is the study of the interaction between electromagnetic radiation and matter. The physical-chemical phenomena that are the object of study are characterized as interactions (reflection, refraction, elastic scattering, interference and diffraction) or changes in the energy levels of molecules and atoms. In this light, the spectrometer is an optical instrument for measuring the properties of light in a certain range of the electromagnetic spectrum.

Several spectrometers have been developed around the world, but the one that has stood out in the world of technology is CALLISTO (Compound Astronomical Low Frequency Low cost Instrument for Spectroscopy and Transportable Observatory). Its main feature is the relative low cost of the hardware and software and the short assembly time. The instrument is sensitive and stable and operates natively between the 45 and 870 Mhz bands and a signal width of 300 kHz, equivalent to 1000 measurements per second.

INTRODUÇÃO

Os espectrômetros desempenham um papel crucial na ciência e tecnologia modernas, fornecendo uma janela única para o mundo invisível dos espectros eletromagnéticos. Esses dispositivos sofisticados são projetados para analisar e medir a distribuição de energia em diferentes partes do espectro eletromagnético, que abrange desde raios gama de alta energia até ondas de rádio de baixa energia. A capacidade dos espectrômetros de decompor a luz ou outras formas de radiação eletromagnética em seus componentes fundamentais oferece insights valiosos sobre a composição química, estrutura molecular, temperatura, pressão e outras características de materiais e fenômenos.

Com essa importância o Projeto BINGO utiliza-se o CALLISTO justamente porque o próprio instrumento receptor CALLISTO pode ser usado em um sistema básico composto pelo receptor, um sistema de antena de polarização linear e software de controle/registro. Um sistema mais avançado inclui um pré-amplificador montado na torre ou amplificador de baixo ruído, antenas adicionais e uma unidade de plano focal (FPA) com capacidades de comutação de polarização da antena e calibração de ruído. O receptor e o software associado podem ser configurados para polarização linear, polarização circular de mão direita (RHCP) ou polarização circular de mão esquerda (LHCP), mas um receptor é necessário para cada polarização.

Entretanto, um aspecto crítico a ser considerado é que um dos componentes internos do receptor, conhecido como "sintonizador" (tuner), faz uso de uma tecnologia considerada obsoleta no mercado atual. Como resultado, o objetivo primordial deste projeto consiste em empreender um estudo aprofundado com o propósito de substituir essa tecnologia defasada por uma alternativa que esteja em consonância com as tecnologias atuais, viabilizando assim a produção do receptor de maneira mais eficiente.

O sintonizador, que realiza o ajuste fino do instrumento, desempenha um papel fundamental nesse contexto. Sua função reside em calibrar e afinar o instrumento de acordo com as frequências específicas de interesse. Por meio desse ajuste, é possível aprimorar o desempenho do receptor, assegurando medições de alta precisão e confiabilidade. No âmbito do projeto CALLISTO, o

sintonizador assume uma relevância significativa ao possibilitar a configuração precisa e a operação adequada do receptor. Isso capacita o receptor a ser ajustado para

diferentes polarizações e frequências, desempenhando um papel crucial na garantia da qualidade dos dados coletados e na eficácia das análises subsequentes. Em suma, a modernização do sintonizador não apenas otimiza o funcionamento do instrumento, mas também contribui substancialmente para a excelência das atividades de pesquisa e exploração científica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi utilizado o google para pesquisar como são feitos analogicamente os os sintonizadores modernos. Então, procurou-se em sites de vendas de eletrônicos como a Mouser Electronics,DigiKey,que são empresas americanas com algum circuito integrado que possui-se o funcionamento semelhante ao sintonizador CD1300L utilizado. A imagem a seguir mostra o funcionamento desse tuner.

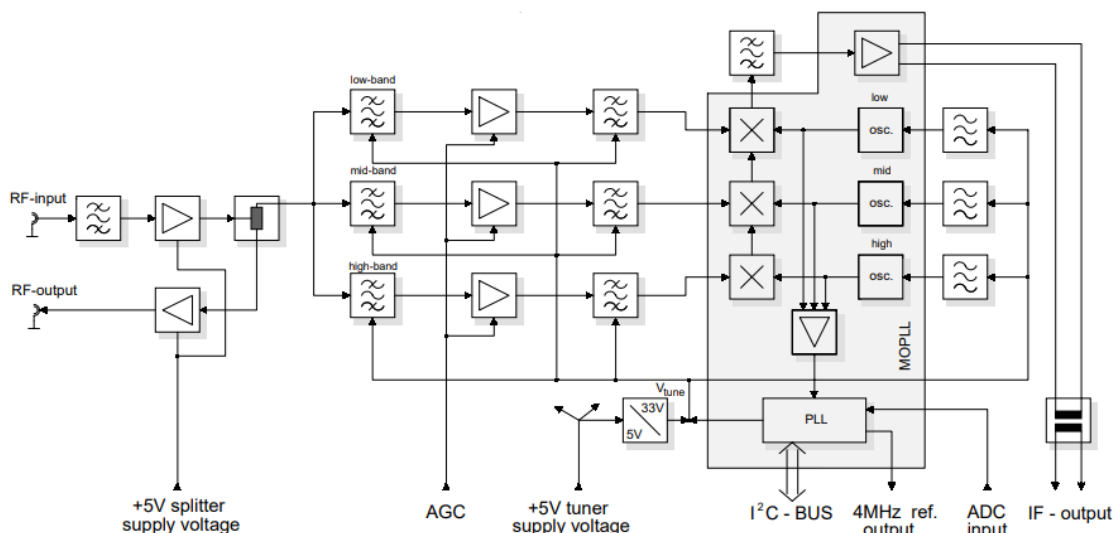


Figura 1 - esquemático do Tuner CD1300L (Adaptado de([CD1300L_03.pdf](#) [\(e-callisto.org\)](#)))

Os sintonizadores CD(M)1300L-3 são módulos RF complexos concebidos para aplicações híbridas, digitais e analógicas de Set Top Box por cabo híbrido e analógico. Para além da função de sintonizador principal, estes

módulos fornecem um número variado de funções adicionais que, como tal, permitem uma implementação rápida. O compartimento de entrada do CD(M)1300L-3 está equipado com um loop through ativo, RF-in para RF-out, que proporciona uma elevada linearidade e baixos valores de ruído. Opcionalmente, um caminho de corrente DC de um dos terminais do sintonizador para o conector de entrada RF para alimentar, por exemplo, uma unidade exterior, está disponível mediante pedido.

A secção de sintonizador de conversão única, I2C - controlada por PLL cobre toda a gama de frequências de cerca de 50 MHz a 860 MHz, sendo subdividida em três bandas, banda baixa, média e alta. Está integrado um circuito de controle de ganho que controla o ganho de RF; são endereçáveis quatro pontos de tomada de controle.

Este circuito de controle do ganho de RF está disponível opcionalmente, pelo que pode ser deixado em aberto caso os clientes prefiram uma aplicação de controle do ganho externo do sintonizador aplicação de controle do ganho externo do sintonizador. O conversor DC/DC integrado fornece a tensão de sintonização necessária. A parte IF está equipada com um filtro SAW de canal que é seguido por um amplificador IF equilibrado, de ganho controlável com controle de ganho e com capacidade de controle do decodificador de canais. A frequência de FI está centrada em 36,13 MHz para o sintonizador tipo de sintonizador "europeu" e em 44 MHz para o tipo de sintonizador "americano".

Assim, após pesquisar descobriu-se o circuito integrado fabricado pela Maxim Integrated chamado de MAX 2121 que possui característica semelhante ao Tuner do CALLISTO. O sintonizador integrado de conversão direta MAX2121, de custo acessível, foi projetado para aplicativos de recepção de satélite, incluindo set-top boxes de satélite e sistemas de VSAT (Terminal de Rede Muito Pequena). Esse dispositivo converte os sinais diretamente recebidos do LNB (Bloco de Conversão de Baixo Ruído) para a faixa de frequência base, utilizando um conversor I/Q de banda larga. Sua faixa de operação abrange de 925MHz a 2175 MHz.

No coração deste dispositivo, encontramos um Amplificador de Baixo Ruído (LNA) e um amplificador de RF com ganho ajustável. Além disso, possui misturadores para conversão I e Q, filtros passa-baixa para sinal base e amplificadores de sinal base com ganho ajustável, controlados digitalmente. A

combinação dos amplificadores RF e sinal base proporciona uma impressionante faixa de mais de 80 dB de controle de ganho.

No coração deste dispositivo, encontramos um Amplificador de Baixo Ruído (LNA) e um amplificador de RF com ganho ajustável. Além disso, possui misturadores para conversão I e Q, filtros passa-baixa para sinal base e amplificadores de sinal base com ganho ajustável, controlados digitalmente. A combinação dos amplificadores RF e sinal base proporciona uma impressionante faixa de mais de 80 dB de controle de ganho. A programação do sintetizador e a configuração do dispositivo são realizadas por meio de uma interface serial de 2 fios. Uma característica notável é a função de seleção automática de VCO (VAS), que escolhe o VCO adequado automaticamente. Para cenários de aplicação com múltiplos sintonizadores, o dispositivo pode ser configurado com dois endereços de interface de 2 fios.

Um modo de baixo consumo de energia também está disponível, no qual o caminho do sinal é desativado, preservando ativos apenas o oscilador de referência, a interface digital e os circuitos de buffer. Isso oferece uma maneira eficaz de reduzir o consumo de energia em aplicações com um ou vários sintonizadores. Por esses motivos foi escolhido esse chip para a substituição. A figura abaixo mostra o circuito exemplificado acima.

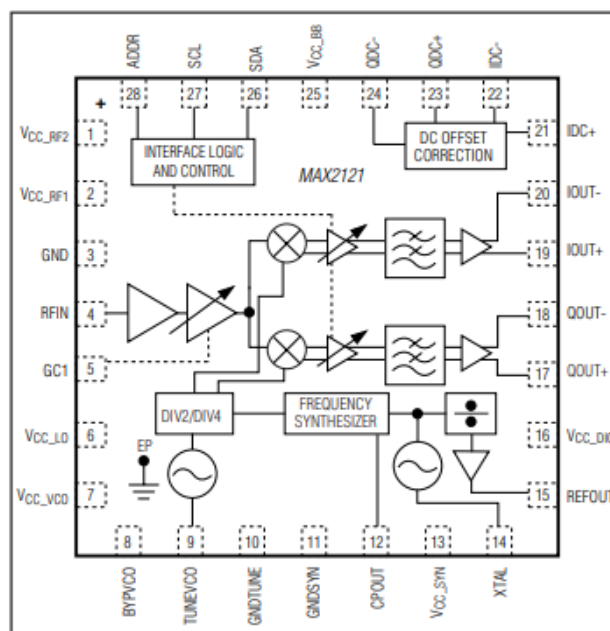


Figura 2 - MAX2121(Adaptado de ([MAX2121 DS \(analog.com\)](https://www.analog.com/en/products/max2121)))

Características do MAX2121:

- Corrente de entrada de RF: 6.4mA a 20mA
- Nível de entrada máximo de RF: -10dBm a +10dBm
- Filtro de entrada passa-baixa incorporado com uma frequência de corte de 1,4 GHz
- Ganho de amplificação de IF ajustável: de 0 dB a 66 dB
- Frequência intermediária (IF): 44MHz
- Fator de ruído do receptor: 8 dB típico
- Rejeição de imagem ajustável: de 40 dB a 60 dB
- Consumo típico de corrente em modo de espera (standby): 2 μ A
- Tensão de alimentação máxima: 3,6V
- Faixa de temperatura de operação: -40°C a +85°C
- Modo de desativação (shutdown) para economia de energia
- Possibilidade de interface com microcontroladores através de barramento SPI (Serial Peripheral Interface)

Passo-a-Passo do funcionamento do chip

1. Recepção do Sinal de Satélite:

- O MAX2121 recebe diretamente os sinais de satélite do LNB (Bloco de Conversão de Baixo Ruído). O LNB é a antena parabólica que capta os sinais de satélite e os converte para uma frequência intermediária.

2. Conversão para Banda Base:

- O MAX2121 converte esses sinais de frequência intermediária para a faixa de banda base usando um conversor descendente I/Q de banda larga. Isso significa que os sinais são convertidos para uma forma mais manejável e processável, onde as informações originais do sinal estão presentes.

3. Amplificação e Processamento

- O chip inclui amplificadores de ganho variável de banda base controlados digitalmente. Isso permite ajustar o ganho do sinal de banda base conforme necessário para atingir a qualidade desejada do sinal.

- O sinal amplificado e processado é então preparado para processamento adicional, como demodulação e decodificação, em etapas posteriores do sistema de recepção.

4. Oscilador Cristal

- O MAX2121 também possui um oscilador de cristal embutido. Esse oscilador de cristal fornece uma fonte de referência estável e precisa para o chip. Ele pode ser usado para sincronizar outros componentes do sistema ou acionar sintonizadores e demoduladores adicionais

5. Controle e Configuração

- A programação do sintetizador de frequência e a configuração geral do MAX2121 são realizadas por meio de uma interface serial de 2 fios. Isso permite que o dispositivo seja configurado para funcionar nas frequências e modos desejados.

A escolha do MAX2121 para o projeto de recepção de satélite foi motivada por suas capacidades de conversão direta de sinais de satélite para banda base, sua ampla faixa de frequência que cobre a faixa típica de sinais de satélite, e sua integração de componentes como amplificadores de ganho variável e oscilador de cristal embutido. Essa escolha busca simplificar o sistema de recepção, assegurar a estabilidade da frequência em altas frequências e permitir a configuração via interface serial de 2 fios. Com uma base acadêmica e suporte da Maxim Integrated, o MAX2121 se destaca por sua eficiência na obtenção de um sinal de alta qualidade e menos interferência, essenciais para a recepção precisa e confiável de dados de satélites.

DESENVOLVIMENTO

No âmbito deste projeto, a primeira etapa crucial envolveu a criação do design inicial da placa de circuito impresso (PCI) para possibilitar o funcionamento do chip. Esta fase é de extrema importância, pois estabelece a base para o desenvolvimento subsequente do hardware e do sistema como um todo. Para atingir esse objetivo, utilizamos o software KiCad EDA para a elaboração das trilhas e demais componentes da placa de circuito impresso.

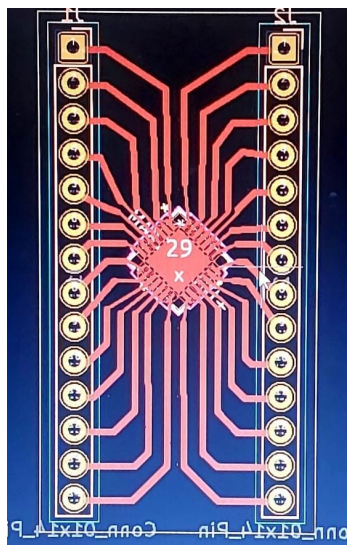


Figura 3: Design da placa PCB feita pelo KICAD

Continuando com o desenvolvimento do projeto, após a conclusão do design da placa de circuito impresso (PCI), avançamos para a etapa de fabricação da PCI. Essa fase envolveu a utilização dos recursos disponíveis no Laboratório Radiometria na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Neste relatório, descreveremos o processo de corte do adesivo para a PCI, bem como a escolha do substrato, que foi o FR4. Na placa foi usado como tamanho das trilhas 0,25mm e com 28 saídas. Essas dimensões acabaram prejudicando a precisão da máquina. A Figura 3 mostra o resultado.

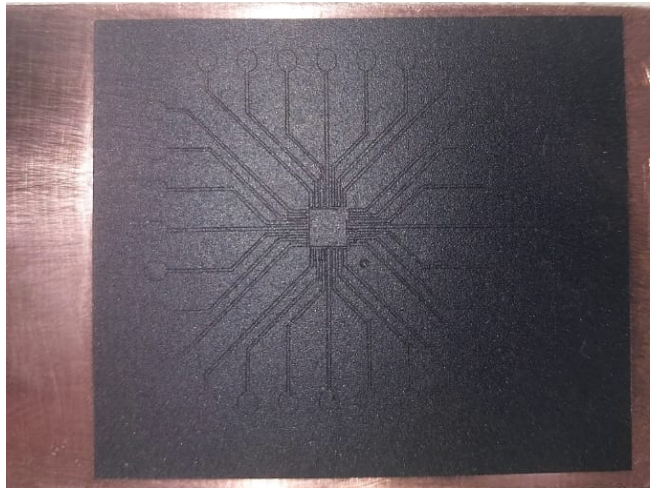


Figura 4: Corte feito pela Cameo 4

Durante o processo de corte do adesivo para a placa de circuito impresso (PCI) utilizando a máquina Cameo 4, enfrentamos desafios de cortes incompletos, o que exigiu intervenção manual minuciosa com estiletes e pinças delicadas. Apesar dos esforços, pequenas falhas persistiram, destacando a importância da precisão na fabricação e a necessidade contínua de ajustes no projeto. Com a placa devidamente cortada e alinhada, procedemos à próxima etapa da fabricação, que envolveu o processo de corrosão no percloreto de ferro. A Figura 4 mostra o resultado do processo.

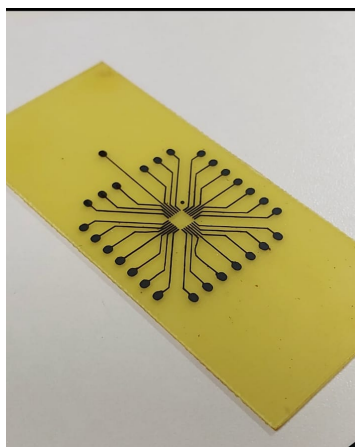


Figura 5: Placa após a corrosão

Com a placa pronta, seguiu-se para a parte da soldagem do chip. A soldagem de chips SMD, como o MAX2121, é um processo fundamental na montagem de placas de circuito impresso (PCBs). Nesse processo, um fluxo de solda é aplicado na área de montagem do chip na PCB, que é então posicionado com precisão nos pontos de montagem. A PCB é aquecida usando um forno de refusão ou uma estação de retrabalho, derretendo o fluxo de solda e criando uma conexão elétrica sólida entre os terminais do chip e os pads na PCB. Após a soldagem, é realizada uma inspeção visual para garantir a qualidade das soldas, seguida por testes funcionais para verificar o desempenho do componente. A lavagem da PCB pode ser necessária para remover resíduos de fluxo de solda. A precisão e as ferramentas adequadas são essenciais para garantir que os componentes sejam montados com sucesso, evitando problemas de qualidade. É importante seguir as especificações do fabricante e as boas práticas de soldagem SMD para obter resultados confiáveis.

Para o posicionamento do chip na placa utilizou um microscópio de portátil, mostrado na Figura 5

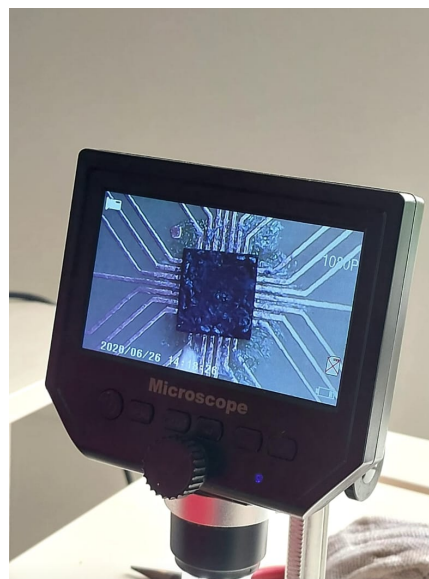


Figura 6: Microscópio utilizado

Após a soldagem, foi necessário verificar a existência ou não de curtos circuitos e com ajuda do multímetro foram realizados os testes e constatou-se que não houve nenhum. Assim, a placa estava pronta para a montagem determinada pelo datasheet do chip MAX 2121, como mostra a Figura 6.

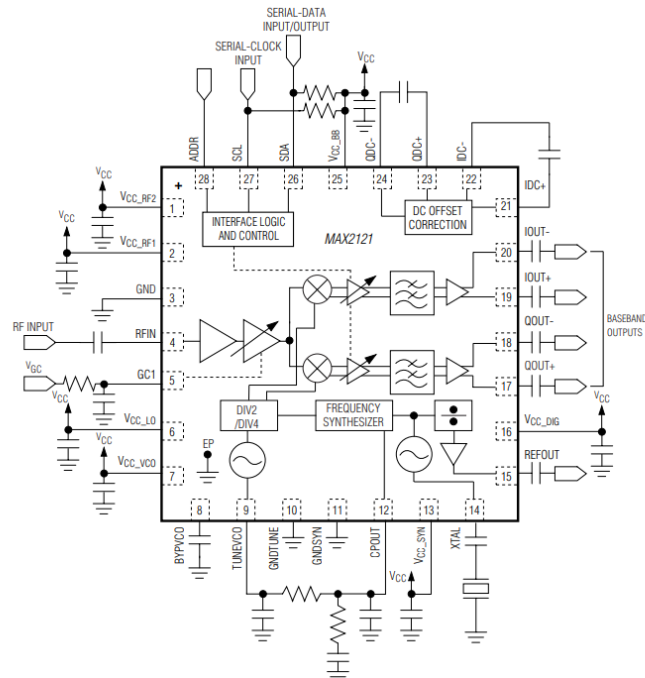


Figura 7: Circuito Teste

No processo de teste do chip, optamos por utilizar componentes disponíveis no laboratório, embora suas especificações não coincidissem exatamente com as indicadas na datasheet do chip. Apesar dessas pequenas variações, consideramos esses componentes suficientemente próximos para realizar testes preliminares. Após a conclusão da montagem, foi necessário estabelecer um barramento I2C para o chip. A solução escolhida pela equipe foi a utilização do Arduino Mega, que possui a capacidade de atuar como mestre no barramento I2C. Além disso, aproveitamos a biblioteca "Wire" do Arduino, que simplificou significativamente a comunicação com os registradores do chip. Essa biblioteca padrão do Arduino desempenhou um papel essencial ao possibilitar o envio e recebimento de dados de forma eficiente, agilizando os processos de configuração e leitura do chip MAX2121. Com a fabricação completa iniciou os testes.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao realizar a montagem, utilizou-se um código no Arduino que procurava algum dispositivo I2C conectado a ele para ajudar a determinar os endereços para acesso do chip e foi conectado a todos os pontos de alimentação do circuito 3,3V. Ao compilar o código percebeu-se que nenhum dispositivo foi descoberto. Assim, seguiu-se para o circuito montado e foi testando cada ligação para saber se ao soldar os equipamentos ou se a protoboard usada estavam comprometidas, ao realizar os testes notou-se que estavam recebendo tensão e que não possuíam nenhum curto circuito.

Após verificar, como foi dito acima, conectou-se o cabo coaxial de 50 ohm na entrada do circuito com o circuito ligado e ao realizar esse procedimento que o sinal na entrada não foi captado pelo chip e conseqüentemente nada foi averiguado nas saídas do circuito. Então, foi analisado o oscilador cristal se ele estava funcionando no circuito e percebeu-se que não estava sendo alimentado assim o circuito não estava funcionando completamente. Conseqüentemente, foi discutido e chegaram à conclusão que o chip foi queimado durante o processo de soldagem no forno elétrico. Mesmo ele suportando a temperatura porém foi colocado a temperaturas altas muitas vezes.

Assim, foi discutido e concordou-se em recomeçar e fabricar o circuito mais profissional com componentes e o circuito completamente iguais ao recomendado pelo datasheet. O circuito já foi feito pelo KICAD e foi gerado para os arquivos Gerber e já está em processo de fabricação com equipamentos mais precisos e coerentes para maior eficácia.

CONCLUSÃO

No início deste projeto, tínhamos o objetivo de construir um radiômetro e, para isso, era necessário utilizar um sintonizador analógico. Inicialmente, optamos pelo CD(M)1300L-3 como nossa escolha, no entanto, devido à obsolescência desse componente, nos vimos confrontados com o desafio de encontrar uma alternativa viável. Nesse processo de pesquisa e seleção de componentes, fizemos uma transição significativa para o uso do MAX2121 como nosso sintonizador.

Esta transição não foi apenas uma resposta à necessidade de substituição de componentes obsoletos, mas também um marco no desenvolvimento deste projeto. A necessidade de explorar e compreender profundamente o datasheet do MAX2121, mesmo diante da escassez de informações, impulsionou nossa equipe a aprofundar nossos conhecimentos em eletrônica, fabricação de PCBs, sintonizadores e sinais de radiofrequência, entre outros aspectos.

Além disso, durante o processo de fabricação da PCB, também enfrentamos o desafio de projetar trilhas que fossem coerentes com as entradas RF, de modo a evitar interferências indesejadas. As trilhas para sinais RF devem ser cuidadosamente projetadas, mantendo uma série de considerações em mente. Elas devem ser de largura apropriada para a frequência do sinal, minimizando perdas por resistência. Além disso, a impedância característica das trilhas deve ser controlada para corresponder à impedância do sistema, evitando reflexões de sinal. O roteamento das trilhas também deve ser feito com atenção para evitar cruzamentos e interferências entre trilhas adjacentes. A compreensão desses princípios foi crucial para garantir a integridade dos sinais RF em nossa PCB.

Assim, o desafio de escolher e compreender o MAX2121 não apenas permitiu que continuássemos avançando no projeto do radiômetro, mas também enriqueceu nosso entendimento em áreas críticas da eletrônica e da engenharia de sistemas. O processo de adaptação e aprendizado ao longo deste projeto fortaleceu nossa capacidade de lidar com desafios técnicos e nos preparou para enfrentar futuros obstáculos de forma mais eficaz. Portanto, consideramos essa experiência valiosa e fundamental para nosso crescimento como engenheiros e desenvolvedores.

Os objetivos iniciais deste projeto eram claros: desenvolver um medidor RFI (Interferência Eletromagnética de Radiofrequência) portátil, empregando materiais de custo relativamente baixo. Diante da necessidade de adaptação de componentes e da seleção do chip MAX2121, este projeto desafiador nos permitiu expandir nosso conhecimento em diversas áreas da eletrônica, fabricação de PCBs, sintonizadores e sinais de radiofrequência.

À medida que avançamos nessa jornada, também surgiu uma visão para projetos futuros. Pretendemos criar um circuito ainda mais sofisticado, incorporando componentes SMD (Surface Mount Device) e otimizado para garantir um desempenho impecável, eliminando perdas indesejadas. Esta ambição é um testemunho do crescimento da equipe e da nossa dedicação à busca contínua de aprimoramento técnico e inovação.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil. Os autores gostariam de agradecer à UFCG e ao CNPq pelo apoio que tornou possível a realização deste trabalho realizado pelo programa MAI/DAI-CNPq.

REFERÊNCIAS

E-Callisto. [Online] Disponível em: <https://www.e-callisto.org>.

Pozar, David M. Microwave Engineering. Wiley, 2011.

Razavi, Behzad. RF Microelectronics. Prentice Hall, 2011.

Besser, Les; Gilmore, Rowan. Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems. Artech House, 2003.

Behagi, Ali A. RF and Microwave Circuit Design: A Design Approach Using (ADS). John Wiley & Sons, 2000.

Stutzman, Warren L.; Thiele, Gary A. Antenna Theory and Design. Wiley, 2012.

Bowick, Chris. RF Circuit Design. Newnes, 2008.

American Radio Relay League. The ARRL Handbook for Radio Communications. ARRL, 2022.