



TEREMIM ANALÓGICO MOOG

Maylon Pedro Levy Cavaleiro¹, Luis Carlos Martinhago Schlichting², Luiz Alberto de Azevedo³

Resumo: Este artigo tem por objetivo conceituar e descrever o desenvolvimento de um teremim analógico, um instrumento musical cujo funcionamento decorre integralmente da aplicação de eletrônica e que diferentemente de quaisquer outros é tocado sem a necessidade de contato físico. Durante o trabalho serão apresentados os circuitos que compõe o aparelho, recorrendo-se sobre os principais aspectos funcionais, as adequações ao projeto original desenvolvido e publicado por Robert Moog, os desafios observados durante a concepção e os resultados obtidos após a conclusão bem ou malsucedida de cada etapa. Será dado especial enfoque às condições cuja compreensão possibilitaram o funcionamento das estruturas, viabilizando a outros discentes ou entusiastas de música e eletrônica, replicar o projeto ora apresentado e confeccionar seu próprio instrumento. Diante desta abordagem e considerando a natureza da execução deste projeto, serão integrados conhecimentos das disciplinas de Circuitos Elétricos, Eletrônica Básica, Estruturas Amplificadoras, Amplificadores Operacionais, Osciladores e Multivibradores.

Palavras-chave: Teremim Analógico, instrumento musical, projeto integrador, Moog.

Abstract: *This paper has as objective to conceptualize and describe the development of an analogical theremin, a musical instrument whose operation is completely based on the application of electronics and unlike others is played without any physical contact. Throughout this work will be presented the circuits that set up the whole instrument, portraying about the main functional aspects, the adjustments to the original project developed and published by Robert Moog, the challenges during the conception and the results obtained after the successful or unsuccessful conclusion of each stage. We'll be focusing at the conditions that made possible to comprehend the operation of the structures, enabling another students or enthusiasts on music and electronics to replicate the presented project in order to make its own instrument. Considering the nature of the execution of this project, will be integrated the knowledge of the subjects of Electric Circuits, Basic Electronics, Amplifying Structures, Operational Amplifiers, Oscillators and Multivibrators.*

Keywords: *Analogical Theremin, musical instrument, integrator project, Moog.*

¹ Acadêmico do curso superior de tecnologia em Sistemas Eletrônicos do DAELN do IF-SC <pedrolevy06@gmail.com>.

² Professor do DAELN do IF-SC, <schlicht@ifsc.edu.br>.

³ Professor do DAELN do IF-SC, <lazevedo@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

O teremim analógico consiste em um instrumento musical totalmente eletrônico patenteado em 1928 pelo russo Lev Sergeevich Termen, conhecido como Leon Theremin, cujo trabalho tinha por objetivo o desenvolvimento de sensores de proximidade, tendo início em 1920. Sua história remonta a Guerra Civil Russa (GLINSKI, 2000). O novo instrumento foi apresentado por Leon Theremin a um público considerável durante suas viagens pela Europa.

Ao mudar-se para os Estados Unidos vendeu os direitos de seu aparelho para a empresa Radio Corporation of America (RCA) que lançou o produto “Thereminvox”, logo após a grande crise financeira de 1929. Apesar de não ter se consagrado um sucesso comercial na época, tornou-se um ícone da melodia etérea e um pioneiro da música eletrônica.

Nos anos seguintes, passou a compor peças orquestrais de renome e trilhas sonoras utilizadas em filmes de sucesso, a exemplo do antológico “O dia em que a Terra parou”, dirigido por Robert Wise em 1951. Na década de 60, o instrumento eletrônico

passou a ganhar destaque na cultura pop internacional e ganhou popularidade no Brasil através do músico e compositor Jorge Antunes em suas obras eletroacústicas.

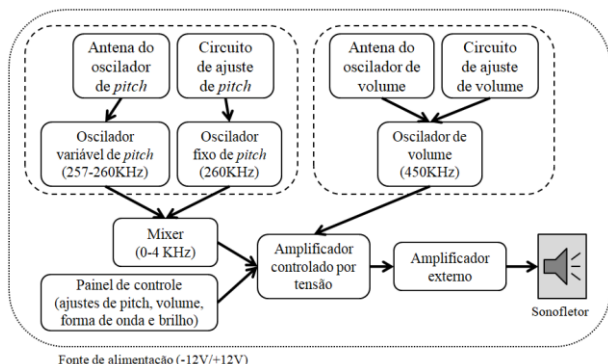
Infelizmente, a carreira deste renomado músico e cientista foi interrompida abruptamente em 1938, quando foi conduzido por agentes soviéticos à sua terra de origem, sob circunstâncias desconhecidas. Pouco se soube sobre seu paradeiro desde então e apesar de alguns informes acerca de sua morte em uma prisão durante a Segunda Guerra Mundial, esta ocorreu somente em 1993 (MOOG, 1996).

Diferentemente dos instrumentos convencionais cujo som decorre da dispersão de energia cinética, que gera perturbações capazes de serem interpretadas pelo ouvido humano, o teremim gera variações de frequência exclusivamente através do emprego da eletrônica.

Embora existam outras configurações para o instrumento, em geral este é composto por duas antenas, uma responsável pela definição da altura do som (*pitch*), ou seja, o quão grave ou agudo será a saída e a outra controla a amplitude ou volume. Não há contato físico, de modo que cada mão do músico atua como o terminal aterrado de um capacitor que varia conforme a aproximação da antena.

Embora esta interação produza uma variação ínfima de capacitância, é o suficiente para modificar a característica de funcionamento de determinados circuitos, traduzindo-se em faixas de frequência audíveis que são amplificadas para sensibilizar um alto-falante.

O diagrama de blocos da figura 01 apresenta a disposição interna dos módulos que compõe o teremim. Soma-se à estrutura abaixo e em um patamar superior, o circuito que constitui a fonte de alimentação. Cada bloco apresentado abaixo, corresponde a um determinado circuito, cujas características construtivas serão descritas adiante.



Fonte de alimentação (-12V/+12V)

FIGURA 1 – Diagrama de blocos dos módulos internos que compõe o teremim.

2. CIRCUITOS DE *PITCH*

Foi observado nas leituras de referência, que os circuitos que determinam a frequência de saída são denominados de osciladores de *pitch*. Pode ser traduzido literalmente como “batida”, definida no universo musical como a resultante de duas ondas sonoras de frequências suavemente diferentes.

Esta descrição se encaixa perfeitamente na qualificação deste conjunto de circuitos, cujo princípio de funcionamento se baseia na mesma premissa conceitual.

O circuito que determina o *pitch* é composto por dois osciladores, um fixo e outro variável, ambos projetados para a frequência de 260 KHz (figura 02). O oscilador variável é conectado a um conjunto de indutores em série, que por sua vez são conectados a uma das antenas do instrumento. A movimentação da mão do músico próxima à antena, gera uma variação no campo que é interpretado pelo circuito como uma variação de capacitância. Embora esta variação seja de alguns picofarads (não mais que 10 pF), é o suficiente para proporcionar mudanças na característica do sinal de saída, dentro de uma faixa de frequências perceptível pelo aparelho auditivo humano.

Os indutores que compõe o circuito de antena, são relevantes na medida em que permitem retardar os efeitos da variação de campo proporcionada pelo operador. As variações abruptas de campo ou ainda a ausência de variação, são incapazes de gerar alterações no timbre do áudio de saída. Em termos práticos, o efeito resultante seria a perda de responsividade da antena, similar ao que se observaria diante da situação em que o músico opera fora da área de sensibilidade, ou ainda, quando mantém sua mão imóvel sobre a área de influência.

O oscilador fixo, por outro lado, é calibrado para a frequência desejada e não sofre influência direta do circuito de antena. Atua como sinal de referência para o oscilador variável, de modo que juntos proporcionam o balanço tonal adequado dentro da faixa audível, caso contrário seria inviável a utilização na composição de arranjos musicais.

Embora sua frequência de oscilação se mantenha constante, é possível manipulá-la através de uma interface externa, ou seja, um potenciômetro acessível ao usuário. Conectada à estrutura de oscilação fixa, há um circuito de ajuste de *pitch*, que possibilita injetar uma impedância capaz de gerar um pequeno deslocamento na frequência de referência estabelecida. Este ajuste irá se traduzir em um som mais agudo ou mais grave, mantendo-se a funcionalidade da antena.

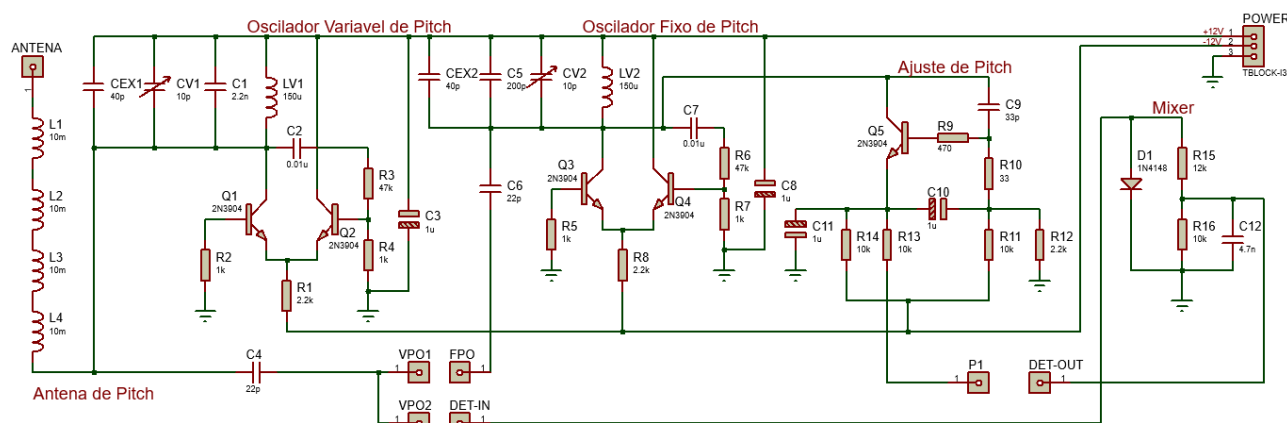


FIGURA 2 – Circuito de pitch completo. Segunda versão, com melhorias.

Os sinais dos dois circuitos osciladores, submetidos ou não à manipulação do operador do aparelho irão convergir para um mixer, que irá extrair um sinal resultante da subtração destes dois osciladores, em uma frequência que pode variar entre 500 Hz e 3,5 KHz.

Diante das características construtivas observadas no projeto original de Robert Moog, mostrou-se imprescindível levar em consideração alguns aspectos teóricos, a fim de minimizar problemas decorrentes de não idealidades dos elementos reais ou mesmo da indisponibilidade ou obsolescência de alguns itens.

Dentre estes aspectos, foi dada imediata atenção aos amplificadores diferenciais que compõe não somente as estruturas osciladoras descritas acima, mas também o oscilador de volume que será visto a frente. A fim de minimizar os impactos com uma possível distorção *crossover*, foi procedida a medição individual de vários transistores do mesmo lote de aquisição. Por fim, os pares foram formados por componentes cujo ganho (hFE) se mostrou idêntico ou muito próximo.

A oscilação da estrutura é dada por um oscilador LC, cuja alternância entre os ciclos de carga e descarga determinam a frequência. O projeto original contava com elementos indutivos variáveis para ajustes finos, contudo, diante da dificuldade em localizar componentes desta natureza, a estrutura osciladora foi recalculada e o projeto foi adaptado de modo que fosse possível a utilização de capacitores variáveis.

A primeira versão do circuito da figura 02 foi procedida com a utilização de capacitores variáveis de 60 pF. Durante o curso do projeto, infelizmente o circuito de *pitch* foi comprometido e inviabilizado, contudo, esta situação ensejou a possibilidade de refazê-lo, corrigindo-se algumas imperfeições resultantes do processo de confecção da primeira versão.

Durante os testes, ficou evidente que quanto maior o valor do capacitor variável, mais imprecisa

seria a oscilação de saída. Diante desta compreensão, mesmo os ajustes finos passaram a ser efetuados com elementos de valor absoluto, deixando-se os elementos variáveis para a etapa final, quando a atenção foi totalmente direcionada à busca de precisão.

Este trabalho excedente deu origem a um novo circuito, com mais sensibilidade e melhor definição das oscilações de saída. Desta vez, o circuito foi implementado com capacitores variáveis de 10pF, de modo que a frequência de saída também se mostrou bastante estável, demandando um único ajuste e não se fazendo necessária nenhuma outra intervenção após a junção de todos os demais blocos. As senóides de saída de ambos os osciladores seguem na figura 3.

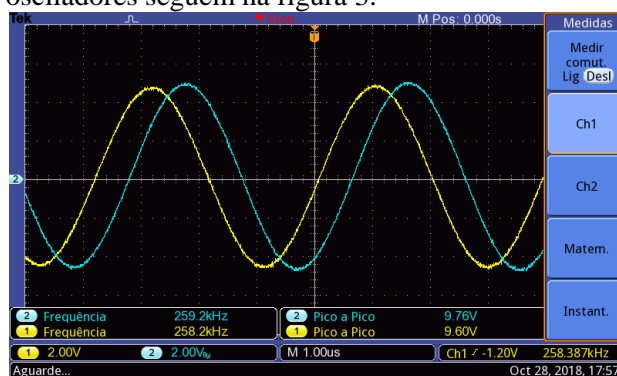


FIGURA 3 – Em amarelo: saída do oscilador fixo; em azul: saída do oscilador variável.

Além dos elementos LC, merecem destaque os capacitores conectados ao indutor que compõe cada estrutura osciladora (C2 e C3, e C7 e C8). Inicialmente, conjecturou-se que estes elementos compunham a estrutura osciladora, a qual apresentava características que a remetiam ao modelo Colpitts. Posteriormente, evidenciou-se que estes capacitores foram aplicados como elementos de desacoplamento AC e DC respectivamente (em cada estrutura).

As senóides da figura 3 convergem para um ponto em comum, onde a trilha da placa de circuito impresso foi intencionalmente interrompida para

possibilitar testes individuais (VPO1 e FPO, VPO2 e DET-IN). Para que passem a operar em conjunto basta utilizar um conector de pinos (*jumper*), similar àqueles utilizados em computadores.

Conforme descreve Skeldon *et al* (1998), a junção das senóides dos osciladores de *pitch* irá resultar em duas componentes, uma que decorre da soma e outra que decorre da subtração entre os sinais, podendo-se aplicar um filtro passa baixas para rejeitar as frequências indesejadas, mantendo-se apenas a componente audível. Esta é a função exercida pelo Mixer, que irá apresentar na saída um sinal enviesado e dentro de uma faixa audível de frequências (figura 4).

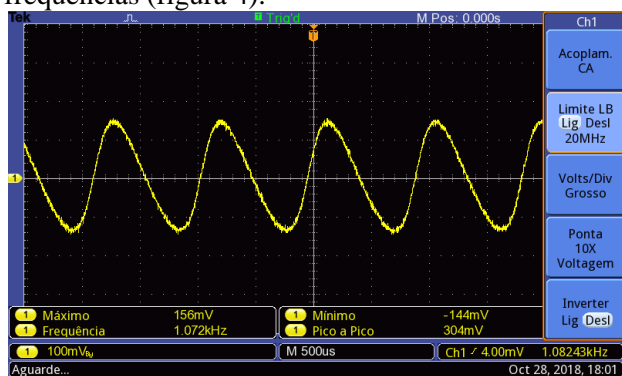


FIGURA 4 – Onda senoidal de saída do mixer.

Nesta etapa do desenvolvimento do projeto, já é possível avaliar se a estrutura de fato produz um resultado capaz de sensibilizar o ouvido humano de forma apazível, bastando conectar ao terminal de saída, um fone de ouvidos convencional. Para esta verificação não será necessária a utilização do amplificador, visto que o fone de ouvidos opera com potências baixas se comparadas com um sonofletor para ambientes abertos.

3. CIRCUITO DE VOLUME

Consiste em um oscilador único, com características estruturais e de polarização semelhantes àquelas implementadas no circuito de *pitch*, contudo a estrutura osciladora é projetada para para a frequência de 450 KHz (figura 5). Anexo à estrutura principal, há um circuito de ajuste conectado a interface externa.

O sinal produzido pela estrutura principal é direcionado para um circuito à parte, que compõe a antena e portanto, apresenta comportamentos distintos conforme a interferência do usuário (figura 6). Esta etapa do projeto se mostrou bastante desafiadora, pois o circuito de antena utilizado como referência, em nenhum momento respondeu às interações.

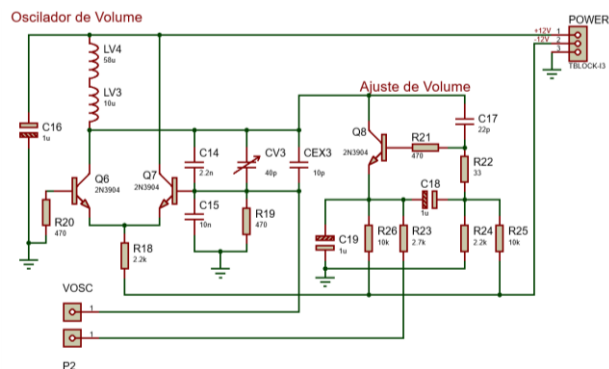




FIGURA 8 – Resultados simulados para o circuito de antena de volume. Aplicado 2pF ao terminal da antena. Em verde: ganho; em vermelho: fase.

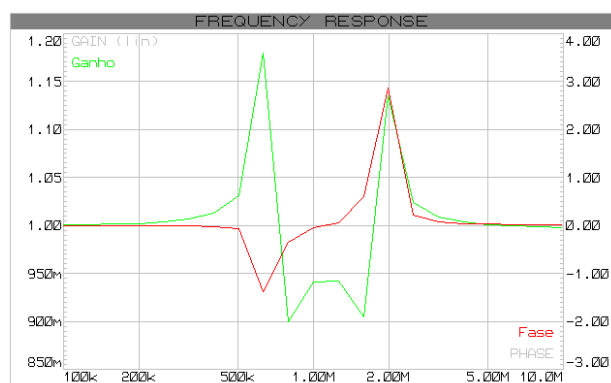


FIGURA 9 – Resultados simulados para o circuito de antena de volume. Aplicado 5pF ao terminal da antena. Em verde: ganho; em vermelho: fase.

Observou-se que diante do aumento gradual da capacitância mais significativo seria o deslocamento do ponto em que o ganho da estrutura é máximo. Desta forma, pôde-se concluir que quando o usuário aproxima sua mão da antena de volume, está na verdade trazendo o ponto de funcionamento para próximo da frequência de oscilação, permitindo o fluxo de corrente sobre o resistor R17, que por sua vez irá determinar o funcionamento do Processador do Amplificador Controlado por Tensão (figura 11).

Diferentemente dos osciladores de *pitch*, em que a precisão da resposta de saída dos osciladores se mostrava determinante para o funcionamento do circuito como um todo, para o circuito de volume não houve esta preocupação, já que a antena foi projetada em consideração à oscilação produzida na prática (figura 10).

A implementação em circuito impresso seguiu padrões semelhantes àqueles descritos para o circuito de *pitch*, integrando-se todo o bloco em uma única placa, de modo que os terminais também foram aproximados para fácil conexão através de um *jumper*. No entanto, os testes de bancada demonstraram que esta decisão foi equivocada, verificando-se que a estrutura osciladora influen-

ciava fortemente as estruturas adjacentes, mesmo sem estar conectada fisicamente.

A fim de solucionar esta problemática, todo o bloco de antena foi extraído e implementado à parte, na mesma placa destinada aos potenciômetros do painel frontal.

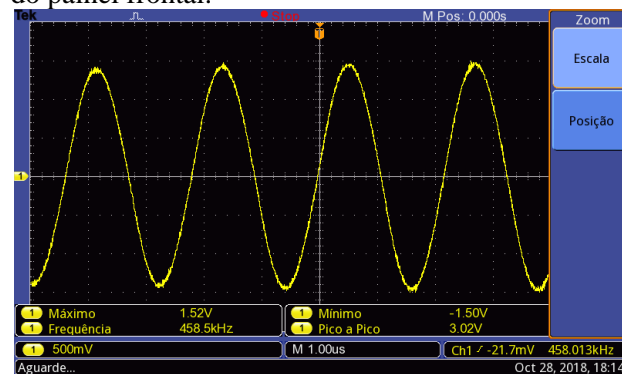


FIGURA 10 – Onda senoidal de saída do oscilador de volume.

Durante a etapa de integração, novos fenômenos foram observados. A disposição dos circuitos, por si só, pode ensejar o deslocamento do ponto de funcionamento da estrutura. Esta situação ficou bastante evidente durante o processo de embarcação das placas de circuito impresso dentro do gabinete.

Antes desta etapa, ao aproximar a mão da antena, percebia-se a redução do volume, contudo após a conclusão da montagem, passou a ocorrer justamente o oposto, observando-se o aumento do volume. Esta situação ilustra a facilidade com que a um circuito pode ser influenciado pelos demais.

4. AMPLIFICADOR CONTROLADO POR TENSÃO

Consiste em uma estrutura que irá receber e processar os sinais provenientes dos circuitos de *pitch* e volume, apresentando em sua saída um sinal resultante da interação em ambas as oscilações e da manipulação sobre as antenas. Deste circuito também é derivado uma interface externa composta por dois potenciômetros, um responsável pela forma de onda e outro responsável pelo brilho ou definição do som.

A estrutura foi implementada com um amplificador operacional de transcondutância modelo LM13600, cujo circuito integrado é constituído de dois amplificadores, sendo que o primeiro irá desempenhar as funções de amplificador controlado por tensão, enquanto o segundo irá recepcionar a corrente gerada no circuito de volume, cuja magnitude irá determinar a amplitude da saída do bloco (figura 11). Em resumo, o ganho de toda a estrutura é definido por uma corrente de referência.

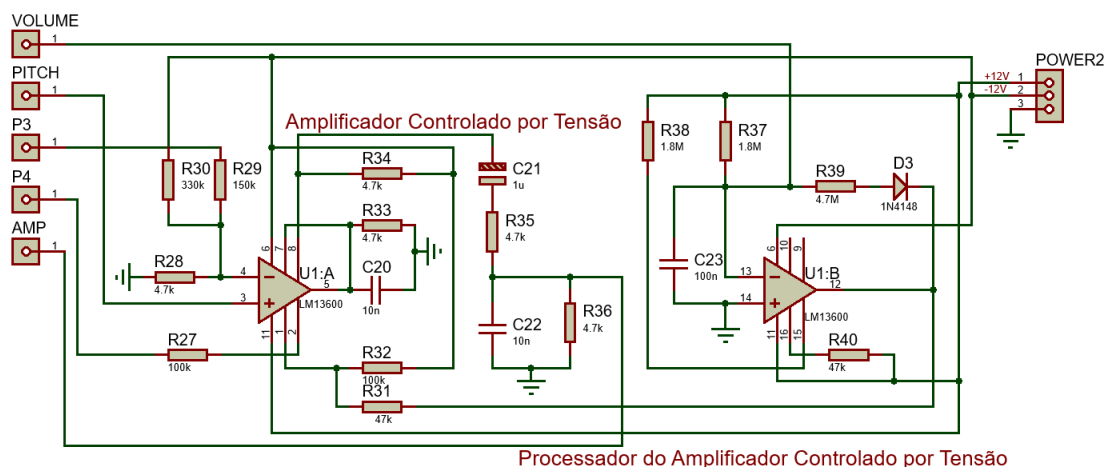


FIGURA 11 – Circuito integrador das duas etapas do amplificador controlado por tensão.

No primeiro estágio, a senóide produzida pelos osciladores sofrerá as alterações proporcionadas pelos potenciômetros forma de onda e brilho. Os ajustes procedidos nesta etapa afetam significativamente a qualidade do áudio do instrumento e portanto, são fundamentais ao operador que deseja uma boa performance.

O ganho da estrutura é determinado pelo segundo estágio, ou seja, somente haverá um sinal de saída com amplitude suficiente para sensibilizar o sonofletor se houver a manipulação da antena de volume.

A conclusão desta etapa marca a conclusão das estruturas que determinam o funcionamento básico do teremim. Importante registrar que este é o circuito que integra as funcionalidades de todos os demais blocos.

5. AMPLIFICADOR EXTERNO

O sinal resultante do processamento da estrutura anteriormente descrita, é encaminhado para um circuito de amplificação, cujo ganho de corrente em seu estágio de saída é adequado para uma carga de mesma magnitude que um sonofletor, neste caso, 8 Ω (figura 12).

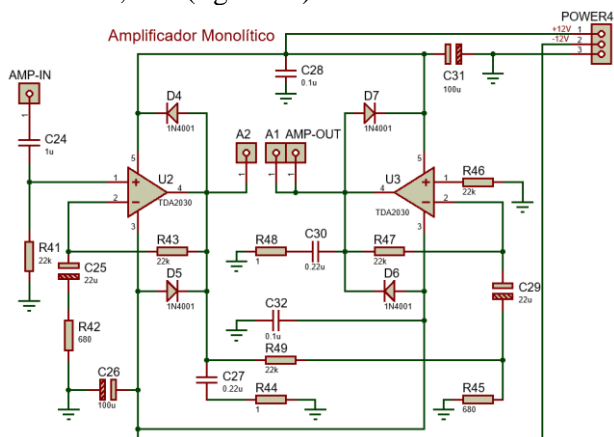


FIGURA 12 – Amplificador monolítico.

Trata-se de um amplificador monolítico de classe AB, elaborado a partir da combinação de dois amplificadores de áudio modelo TDA2030. A implementação prática foi procedida conforme as orientações da própria folha de dados do componente e apresentou excelente desempenho.

Foi escolhida a disposição em ponte com suprimento de energia dividido, que opera com tensões de entrada de aproximadamente ± 14 V e pode fornecer até 28 W de potência. Apesar da alimentação simétrica da estrutura ter sido fixada em ± 12 V, não se observaram inconsistências em seu funcionamento.

Deste ponto em diante, já pode-se integrar todos os blocos e conectar o amplificador a uma caixa de som a fim de avaliar se o áudio de saída é satisfatório e possibilita o emprego em arranjos musicais de forma minimamente agradável.

A figura 13 ilustra a onda de saída amplificada, com o mínimo de influência sobre a antena de *pitch* e apenas uma leve aproximação da antena de volume para possibilitar a visualização da saída e coleta de imagem do osciloscópio e sem qualquer manipulação dos potenciômetros da interface externa.

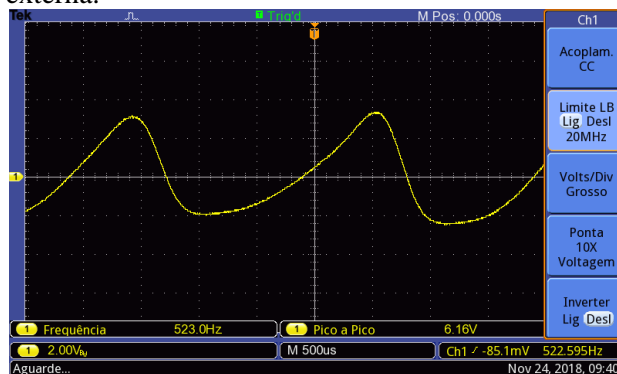


FIGURA 13 – Sinal de saída do instrumento,

Nesta configuração inicial, a saída é muito semelhante àquela visualizada durante a descrição do circuito de *pitch*. Conforme será ilustrado a

seguir, o sinal tende a adquirir outras características conforme o instrumento é manuseado pelo operador.

A variação do ajuste de volume aumenta a sensibilidade de sua antena e consequentemente, a amplitude do sinal de saída. Para as análises seguintes, deve-se considerar o volume com ajuste intermediário, ou seja, aproximadamente 50% do curso total do potenciômetro, em todas as combinações.

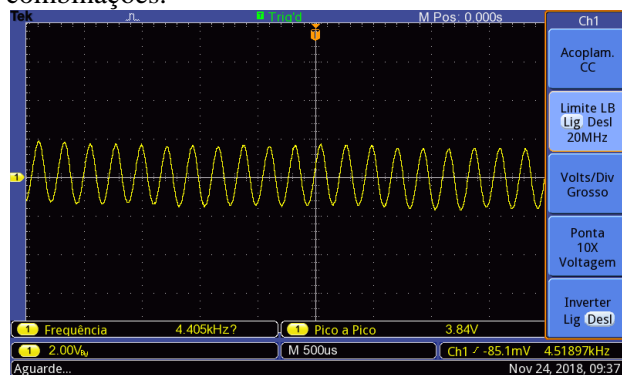


FIGURA 14 – Sinal de saída do instrumento com ajuste intermediário para o *pitch* e mínimos de forma de onda e brilho.

A figura 14 ilustra que para determinados ajustes de *pitch*, o sinal de saída é simétrico e a inclinação vista anteriormente torna-se quase imperceptível. Os ajustes durante esta etapa servirão para aumentar ou diminuir a frequência, resultando em uma saída mais aguda ou grave.

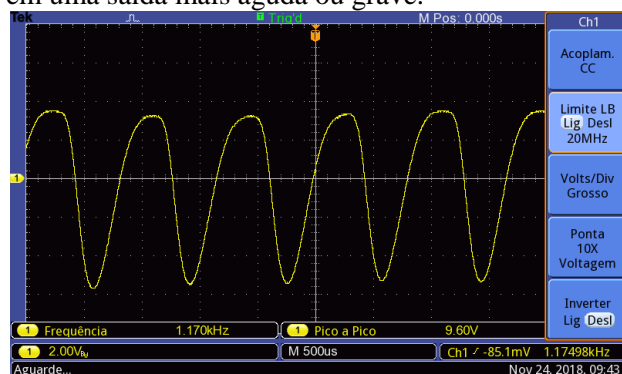


FIGURA 15 – Sinal de saída do instrumento com ajuste máximo de forma de onda e mínimo de brilho.

O ajuste de forma de onda, por sua vez, atribui ao sinal de saída uma suavização no semiciclo superior da senóide (figura 15). Em um ajuste intermediário, a resposta sonora torna-se mais agradável e menos estridente. Recomenda-se portanto, que este seja o primeiro ajuste a ser realizado pelo operador.

Por outro lado, o ajuste de brilho proporciona uma saturação controlada no semiciclo positivo (figura 16). Este ajuste também permite obter sensíveis melhorias na qualidade do áudio de saída, entretanto, caso a excursão do capacitor seja

superior à faixa intermediária, corre-se o risco de o sinal ser totalmente distorcido e atenuado, comprometendo a resposta de saída.

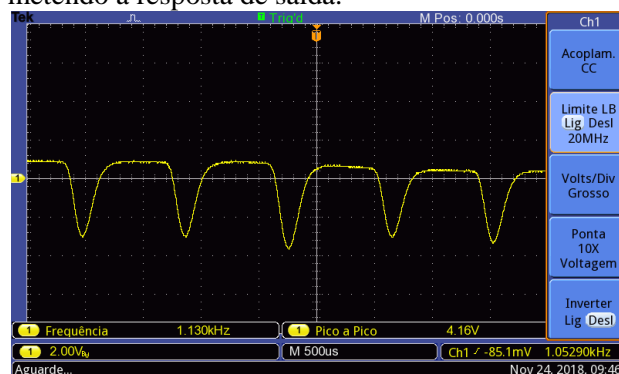


FIGURA 16 – Sinal de saída do instrumento com ajuste mínimo de forma de onda e intermediário de brilho.

O sinal de áudio que resulta da integração de blocos será encaminhado a um terminal saída, disponível no painel frontal do instrumento, onde deverá ser conectada uma caixa de som apropriada.

6. ALIMENTAÇÃO, INTEGRAÇÃO E EMBARCAÇÃO DOS CIRCUITOS

Em inúmeros momentos deste projeto foi feita menção à interface externa responsável por possibilitar ao usuário a manipulação do áudio de saída conforme o arranjo musical desejado. Apesar desta estrutura ter sido alocada em um circuito específico na etapa final, durante os testes, estes se fizeram presentes em seus respectivos circuitos, mediante implementação em matriz de contatos (figura 16).

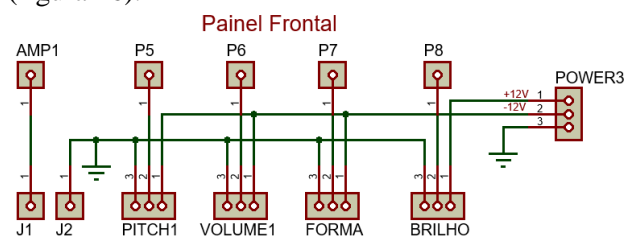


FIGURA 16 – Painel frontal.

Seria inviável manter os potenciômetros em suas placas de circuito nativas, visto que estes ficariam distribuídos de forma irregular no gabinete, o que atribuiria ao conjunto um aspecto estético desagradável e uma operacionalidade anti intuitiva.

Ao centralizar os potenciômetros em uma placa específica, também foi possível resolver outro imbróglio: a indução do sinal do oscilador de volume em seu respectivo circuito de antena (já ilustrado na figura 6). Desta forma, tanto o painel frontal, quanto o circuito de antena de volume foram implementados na mesma placa de circuito impresso, porém fisicamente afastados entre si.

A fonte de alimentação, por sua vez, é baseada em um modelo de retificação de meia onda que possui em sua composição um trafo rebaixador de tensão de rede de 220 V para 12 V ou 24 V, diodos retificadores e circuitos integrados reguladores de tensão para 12 V e -12 V, tensões estas que serão disponibilizadas nos terminais de saída, juntamente com a referência. Ao projeto original proposto por Moog, foi acrescentado um LED vermelho, para sinalizar quando a fonte se encontra ligada.

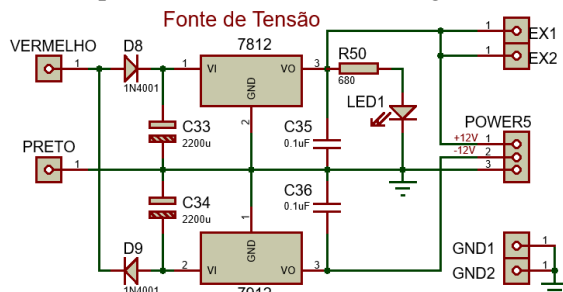


FIGURA 16 – Fonte de tensão simétrica.

Considerando a dificuldade de alocação de um trafo pesado e volumoso no interior do gabinete, optou-se pela utilização de uma fonte AC externa de 220 VAC para 12 VAC, cujo resultado prático se mostrou idêntico àquele previsto no projeto original.

Para facilitar a transmissão das tensões a todos os circuitos, foram confeccionados vários cabos, constituídos de pares de fios blindados e conectores de três pinos nas extremidades. O núcleo de cada fio foi conectado aos terminais destinados às tensões 12 V e -12 V, enquanto as blindagens foram unidas e utilizadas como terminal de referência. Por fim, os terminais opostos dos cabos foram soldados a uma placa de circuito impressa conectada à fonte de tensão.

Um interruptor convencional foi implementado entre a entrada do transformador rebaixador de tensão e a fonte retificadora. Concluída a montagem, a fonte apresentou condições de funcionamento bastante próximas daquelas para as quais fora dimensionada (-11,8 e 12,2 V).

A fonte de alimentação foi dimensionada para fornecer corrente até 1A, o que é mais do que o suficiente para esta finalidade. Durante os testes com o uso de fonte regulável de bancada, mesmo diante da utilização do instrumento com alto volume, não se verificou dreno de corrente superior a 500 mA.

Concluídos todos os blocos do projeto e atestado o funcionamento em bancada, passou-se para a etapa de embarcação. A primeira proposta baseava-se na sobreposição de placas, possibilitando organizar a estrutura e apresentá-la de forma conceitual e diferenciada. Esta implementação preconizava uma organização vertical dos blocos e

tinha por premissa tornar o instrumento portátil (figura 17).



FIGURA 17 – Implementação em gabinete vertical. À esquerda: superfície frontal; à direita: superfície traseira.

Infelizmente, após a implementação da fonte de tensão no interior deste primeiro gabinete não mais foi possível observar quaisquer respostas do instrumento. A análise individual dos sinais de cada circuito mantinha-se consistente com aquela obtida experimentalmente, contudo a caixa de som não emitia nenhum ruído.

Atribui-se a ausência de resposta à interferência exercida por cada circuito sobre o circuito em suas proximidades, dada a distribuição escolhida para as placas, somado às distorções eletromagnéticas dos cabos de alimentação. Durante os testes no gabinete vertical o circuito de *pitch* sofreu dano ao assentar sobre o dissipador de calor da fonte de tensão. Todos estes aspectos tornaram imperiosa a reformulação do projeto de embarcação.

O conjunto foi desmembrado e testado com as placas dispostas lado a lado sobre a bancada, de modo que todos os blocos apresentaram funcionamento individual e integrado coerente com os testes anteriores.

Foi elaborado um novo gabinete, desta vez com disposição horizontal das placas. O gabinete foi novamente produzido com placas de fibra de madeira de média densidade (MDF, devido à facilidade com que este material pode ser trabalhado e pelas suas características dielétricas. Na superfície superior há uma tampa de vidro que permite contato visual com o interior do instrumento, atribuindo-lhe um aspecto estético que remete a um quadro.

A antena de *pitch* inicialmente escolhida foi substituída por outra de dimensões menores. Esta se

mostrou muito mais responsiva e adequada à nova implementação. A antena de volume apresenta estrutura articulada e portanto, possibilita melhores condições de acondicionamento para o instrumento. O produto final segue nas imagens 18 e 19.



FIGURA 18 – Implementação em gabinete horizontal com destaque ao arranjo interno dos blocos.



FIGURA 19 – Implementação em gabinete horizontal com destaque ao painel frontal.

Após a conclusão da montagem no novo gabinete, novos problemas surgiram. Dentre estes destaca-se a mudança do comportamento do circuito da antena de volume, descrito anteriormente.

Cogitou-se a possibilidade de efetuar alguns cortes na superfície traseira para possibilitar maior dissipação de calor para a fonte de tensão e para a estrutura de amplificação, porém esta situação foi logo descartada pois poderia fragilizar o gabinete.

Mais a frente, durante um período de uso contínuo do instrumento superior a 10 minutos, verificou-se que o calor das estruturas mencionadas pouco havia irradiado a ponto de aquecer a estrutura de MDF ou mesmo o vidro.

7. OPERAÇÃO

A operação do instrumento é bastante fácil e intuitiva. Após conectar o transformador externo à tomada e à entrada do aparelho, basta ligá-lo através do interruptor, o que será sinalizado pelo LED em cor vermelha dentro do gabinete. Uma caixa de som deve ser ligada através do terminal de áudio disponível no painel frontal.

Da esquerda para direita, os potenciômetros de ajuste apresentam as seguintes funções: controle de *pitch*, volume, forma de onda e brilho. A conexão

com o alto falante se dá através de um terminal fêmea, tipo P2.

A antena de *pitch* é retrátil e deve ser elevada, de forma semelhante a um rádio convencional, enquanto a antena de volume é articulada, podendo se movida livremente a partir de seu eixo de fixação. Recomenda-se que esta última seja mantida na horizontal, a fim de evitar ao máximo a influência da outra antena. Após estes ajustes, basta fazer movimentos nas proximidades das antenas e observar a resposta sonora do instrumento.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto descrito no presente artigo, desde seu momento inicial, foi desenvolvido diante da perspectiva de que seria inserido no mercado como um produto. Diante desta premissa, buscou-se inicialmente um projeto de referência, compatível com o conhecimento acumulado até o presente momento da graduação e que apresentasse as funcionalidades exigidas.

Durante o desenvolvimento, inúmeras alterações ao projeto original foram implementadas. Gradativamente, a metodologia de experimentação e análise com base em tentativa e erro foi cedendo espaço a uma compreensão minuciosa das estruturas e suas funcionalidades.

Conforme a etapa técnica foi sendo desmistificada, as atenções voltaram-se para a apresentação do instrumento. A todo momento, considerou-se aspectos que possibilitariam a este a distinção necessária dentre outros produtos análogos.

O resultado destes esforços se traduzem no que foi descrito até o presente momento. Em que pese as inúmeras tentativas infrutíferas, o retrabalho constante e as dúvidas e inseguranças originadas durante a execução, é gratificante observar o resultado que decorre de todo este esforço.

Agradecimentos

O autor agradece aos professores orientadores da disciplina Luis Carlos Martinhago Schlichting e Luiz Alberto de Azevedo e demais docentes do Departamento Acadêmico de Eletrônica do IFSC, pela atenção e desprendimento durante o desenvolvimento desta atividade e das demais disciplinas ministradas, cujos conhecimentos foram fundamentais para a compreensão do projeto proposto.

REFERÊNCIAS

BRITO, P.; GOMEZ, D.; MCCABE, P. Theremin. Massachusetts Institute of Technology. 2016. Disponível em: <http://web.mit.edu/6.101/www/s2016/projects/djgomez_Project_Final_Report_s.pdf> Acesso em: 11 ago. 2018.

MOOG, Robert. **Build the EM Theremin** – This classic electronic instrument gives good vibrations and excitations. Electronic Musician. 1996. Disponível em: <<https://www.cs.nmsu.edu/~rth/EMTheremin.pdf>> Acesso em: 10 ago. 2018.

GLINSKY, Albert. **Theremin: Ether Music and Espionage**. Urbana, Illinois: University of Illinois Press. 2000.

HOLLOWAY, Barry. Theremin. Strange Apparatus. Disponível em: <<http://www.strangeapparatus.com/Theremin.html>> 11 ago. 2018.

Mais sobre o Theremin. Instituto NCB. Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/eletronica/52-artigos-diversos/12524-mais-sobre-o-theremin-art2988>> Acesso em: 10 ago. 2018.

National Semiconductor. Datasheet: LM13600 – Dual Operational Transconductance Amplifiers with Linearizing Diodes and Buffers. Disponível em <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8638/NSC/LM13600.html>> Acesso em: 24 nov. 2018.

SKELDON, K. D. et al. **Physics of the theremin**. Department of Physics and Astronomy. University of Glasgow, Scotland, 1998. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/159b/8f7ab33083fc1b8de584ec338b0ee2f6fd7b.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2018.

ST Microelectronics. Datasheet: TDA2030 – 14 W hi-fi audio amplifier. Disponível em <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00000128.pdf>> Acesso em: 24 nov. 2018.

WILSON, Ray. **MFOS Alien Screamer Noise Box**. Disponível em: <http://musicfromouterspace.com/analogsynth_new/ALIENSCREAMER/ALIENSCREAMER.php> Acesso em: 10 ago. 2018.