
Dispositivo acionador de corda para cordofones dedilhados e friccionados

Autores: JOSÉ ROBERTO DO CARMO JÚNIOR

Curso Superior de Tecnologia em Luteria – UFPR, email: jrcarmojr@gmail.com

LEANDRO GAWLOWSKI

email: leandrogawlowski@gmail.com

RESUMO

Neste artigo descrevemos as etapas de projeto e construção de um dispositivo que coloca em vibração a corda de um instrumento musical por meio de indução eletromagnética, independentemente da intervenção humana. Concebido inicialmente para padronizar testes de transdutores para instrumentos musicais de corda, o dispositivo pode também ser utilizado pelo luthier para analisar o posicionamento de captadores, auxiliar na detecção de ruídos e gerar figuras de Chladni, entre outros usos. O dispositivo consiste em um circuito amplificador de sinal de áudio baseado no amplificador operacional LM386, e é composto por duas unidades: controladora e sensora. A unidade controladora contém a placa do circuito eletrônico, uma bateria, chave seletora de entrada e uma entrada auxiliar. A unidade sensora é formada por dois transdutores eletromagnéticos. O transdutor de entrada tem a função de converter a vibração da corda metálica em sinal elétrico, o transdutor de saída tem a função de converter o sinal elétrico - devidamente amplificado - em um campo magnético capaz de colocar a corda em vibração. Desse modo o DAC possibilita a excitação da corda dos instrumentos musicais por meio de indução eletromagnética, colocando-a em estado de ressonância. O circuito tem também uma entrada auxiliar que pode ser conectada a um gerador de sinais, de modo a permitir a aferição da resposta em frequência de transdutores e tampos de instrumentos de corda.

Palavras-chave: transdutores; resposta em frequência; arco virtual

ABSTRACT

In this article we describe the design and construction steps of a string trigger device for musical instruments, which puts the string into a state of vibration regardless of human intervention. Initially conceived to standardize transducer tests for stringed musical instruments, the device can also be used by the luthier to analyze the positioning of pickups, aid in noise detection and generate Chladni figures, among other uses. The device consists of an audio signal amplifier circuit based on the LM386 operational amplifier, and is composed of two units: controller and sensor. The controller unit contains the electronic circuit board, a battery, input selector switch and an auxiliary input. The sensing unit is formed by two electromagnetic transducers. The input transducer has the function of converting the vibration of the string into an electrical signal, the output transducer has the function of converting the electrical signal - properly amplified - into a magnetic field capable of causing the string to vibrate. In this way, the DAC enables the excitation of the string of musical instruments through electromagnetic induction, placing the string in a state of sound resonance, at its natural frequency. The circuit also has an auxiliary input that can be connected to a signal generator, in order to allow the measurement of the frequency response of transducers and tops of string instruments.

Keywords: Transducers; frequency response; virtual arc

1. O PROBLEMA

Com exceção da guitarra e do baixo elétricos, todos os cordofones modernos são instrumentos acústicos, ou seja, são instrumentos nos quais o nível de amplitude do sinal sonoro é inteiramente dependente da geometria dos elementos de uma caixa de ressonância (volume da caixa, espessura do tampo, dimensão do leque, da barra harmônica, das travessas, etc) e de suas propriedade dinâmicas e acústicas. A demanda por níveis de amplitude sonora cada vez maiores nesses instrumentos é uma constante ao longo da história.

Destinados à música de câmara praticada na corte e nas Igrejas ou a acompanhar o canto na música popular, os cordofones medievais (*rebec, lyra de braccio, vielle*) tinham projeção sonora limitada, porém adequada à audiência de então. A partir do século XVIII, com o surgimento das primeiras salas de concerto destinadas exclusivamente à música, e com capacidade de receber centenas de pessoas, os instrumentos progressivamente sofreram alterações decisivas em sua construção com o objetivo de aumentar a projeção, a tocabilidade, ampliar a tessitura e o controle dinâmico. Exemplos dessas alterações são o aumento do ângulo do braço do violino em relação à caixa de ressonância, a introdução de cordas de metal e a redefinição da geometria do arco. O desenvolvimento da engenharia eletroacústica e a invenção e o aperfeiçoamento de transdutores e sistemas de amplificação de áudio ao longo do século XX tornaram possíveis eventos destinados a grandes audiências, da ordem de dezenas de milhares de pessoas, algo impossível de ser obtido sem o concurso de um sistema de amplificação.

Dado que a eletrificação de instrumentos acústicos é cada vez mais comum, seja nos cordofones dedilhados, seja nos friccionados (ainda que em menor escala), cabe ao luthier responder à seguinte questão: como elevar o nível de amplitude sonora dos instrumentos alterando minimamente suas características timbrísticas? Em termos práticos esse problema diz respeito ao tipo de transdutor empregado, sua geometria e ao modo como é acoplado ao instrumento. O dispositivo acionador de corda, objeto desse artigo, é um equipamento projetado para auxiliar o luthier a encontrar a melhor solução para esse problema. Acoplado à caixa de ressonância, ele coloca a corda em vibração em sua frequência natural, que assim permanece até que o dispositivo seja desligado. Esta é a condição ideal para o luthier determinar empiricamente o posicionamento mais adequado do transdutor.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Transdutor eletroacústico é um aparato que converte oscilações mecânicas em oscilações elétricas de mesma frequência, e *vice-versa* (FISCHER, 2018, p.89). Os transdutores utilizados em cordofones dividem-se fundamentalmente em três categorias,

conforme o efeito físico subjacente, a saber, reatância capacitiva (microfone de condensador¹), eletromagnetismo (captador magnético) e piezoelectricidade (captador de contato piezoelétrico). O microfone acoplado a ar necessita ser posicionado nas vizinhanças do tampo do instrumento ou então dos orifícios deste (efes, cês, boca). O fato do microfone ser acoplado ao ar resulta que não apenas o som do instrumento, mas qualquer outro som circundante é captado e convertido em sinal elétrico. Além disso, dada a alta sensibilidade de um microfone (sua baixa impedância mecânica), esse tipo de transdutor é muito suscetível à realimentação acústica.

O captador magnético pressupõe o uso de cordas de metal, o que representa uma limitação para muitos estilos musicais que empregam cordas de nylon ou tripa. O captador magnético é geralmente montado sob as cordas na extremidade inferior do espelho. Alguns transdutores são construídos com núcleos metálicos individuais ajustáveis projetados para detectar os movimentos laterais das cordas. Captadores eletromagnéticos apresentam uma curva de resposta em frequência característica, que tendem a dar uma cor particular ao timbre do instrumento. São pouco suscetíveis à realimentação acústica e também não reproduzem sons do entorno, como o fazem os microfones.

Por fim, os transdutores piezoelétricos de contato são sensíveis à vibração de uma parte qualquer do instrumento, e necessitam de um sistema de acoplamento transdutor/instrumento². Ao contrário dos microfones, os captadores piezoelétricos se caracterizam por serem relativamente pouco suscetíveis à realimentação acústica e por apresentarem uma curva de resposta em frequência não plana. Tal característica se deve, em primeira análise, à massa não nula do encapsulamento necessário para fazer o acoplamento transdutor/instrumento. Em dispositivos comerciais, o diafragma piezoelétrico é envolto total ou parcialmente por resinas cuja função é propiciar a estabilidade do conjunto do corpo do instrumento. Como resultado disso, as frequências baixas e altas são fortemente atenuadas (o encapsulamento tem o efeito de um filtro passa-faixa) e a fidelidade da transdução é fortemente comprometida.

O sistema de acoplamento transdutor/instrumento (baixa ou alta impedância acústica), a resposta em frequência (plana ou não-plana) e a suscetibilidade à realimentação acústica (baixa ou alta) são fatores decisivos na escolha do transdutor ideal para um instrumento acústico em determinadas condições dadas. Microfones de condensador são preferencialmente utilizados em ambientes onde a realimentação acústica é controlável como, por exemplo, em estúdios de gravação. Em ambientes nos quais a realimentação acústica não pode ser controlada, a utilização de captadores de contato é a opção preferencial do músico, mesmo considerando que a resposta em

¹O microfone dinâmico é impróprio para instrumentos acústicos por ter um diafragma relativamente rígido (o que o torna ideal para sinais de elevada amplitude como percussão e voz) e, consequentemente, ter uma resposta de frequência deficiente nas altas frequências.

²Por acoplamento, queremos dizer que o sensor piezoelétrico é conectado mecanicamente a uma parte qualquer do instrumento, e nesse aspecto ele difere do captador magnético e do microfone. Para estes transdutores o posicionamento é fator crucial, para um transdutor piezoelétrico, o *acoplamento* é fator crucial.

frequência desses transdutores é inferior àquela apresentada pelos microfones de condensador. Captadores eletromagnéticos apresentam as limitações de timbre e de encordoamento já apontadas. Por essa razão têm uso bastante limitado. Desse modo, as tecnologias disponíveis atualmente resumem-se aos microfones de condensador e aos captadores piezoeletrônicos de contato, os quais apresentam características opostas e estão muito distantes de um transdutor ideal, ou seja, aquele que apresenta uma resposta em frequência plana e é imune à realimentação acústica.

Um problema que inevitavelmente se apresenta ao luthier quando da instalação de transdutores em instrumentos acústicos diz respeito ao tipo de acoplamento transdutor/instrumento, independentemente da tecnologia de base empregada. Como e onde posicionar o transdutor no instrumento para obter o melhor resultado? O objetivo do presente trabalho é descrever um dispositivo de bancada que pode auxiliar o luthier a solucionar este problema.

3. DAC – DISPOSITIVO ACIONADOR DE CORDA

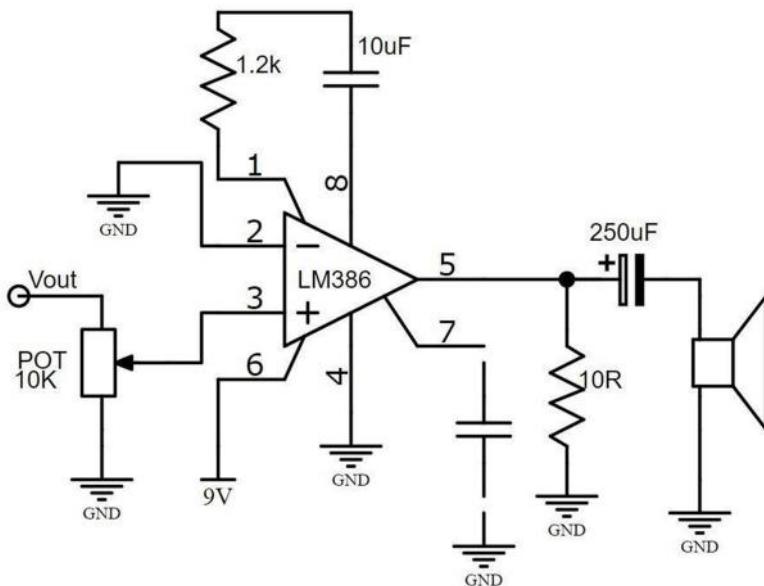
O dispositivo acionador de corda (DAC) é um mecanismo capaz de induzir o movimento na corda de um instrumento musical. O dispositivo é baseado em um amplificador operacional analógico (LM386), que converte o movimento vibratório da corda metálica³ em sinal elétrico por meio de um transdutor (receptor), amplifica este sinal e, por meio de um segundo transdutor (emissor), induz um campo eletromagnético oscilante de mesma frequência e fase, com amplitude suficiente para excitar essa corda. O DAC é composto por duas unidades: controladora e sensora. A unidade controladora contém a placa eletrônica, uma bateria, chave seletora de entrada e uma entrada auxiliar. A unidade sensora é formada por dois transdutores eletromagnéticos.

O transdutor de entrada tem a função de converter a vibração da corda em sinal elétrico, e o transdutor de saída tem a função de converter o sinal elétrico - devidamente amplificado - em um campo magnético capaz de colocar a corda em vibração. Desse modo o DAC possibilita a excitação da corda dos instrumentos musicais por meio de indução eletromagnética, colocando a corda em estado de ressonância sonora, em sua frequência natural. O dispositivo permite a realização de diversos experimentos sobre a interação corda vibrante/transdutor, possibilitando a aferição da resposta em frequência de diferentes transdutores em diferentes instrumentos musicais, a geração de figuras de Chladni, o diagnóstico e a detecção de ruídos, etc.

O dispositivo é baseado num amplificador operacional LM386 (Figura 1).

³ O DAC é um dispositivo eletromagnético, portanto pode ser utilizado apenas em instrumentos de cordas metálicas.

Figura 1 - Diagrama LM 386

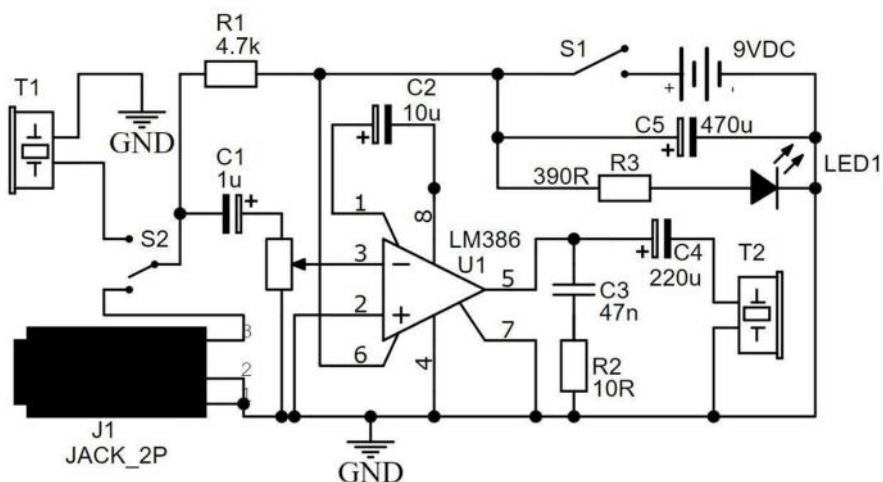


Fonte: Texas Instruments, LM386 Datasheet

Para que pudesse cumprir o propósito de induzir o movimento na corda, o circuito de base foi alterado de modo a incluir:

- uma chave seletora de entrada
 - um resistor de controle da realimentação
 - um transdutor de entrada
 - um LED
 - um terminal de entrada auxiliar (Figura 2)

Figura 2 – Diagrama elétrico do DAC



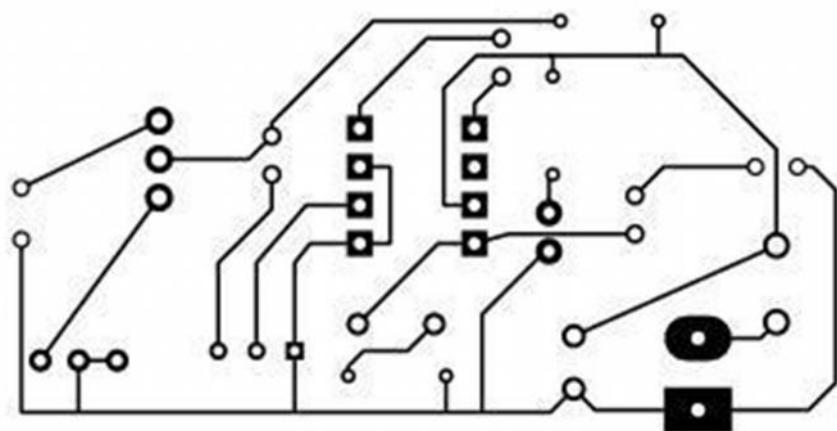
Fonte: Autor (2021)

A chave seletora foi adicionada para possibilitar a escolha entre duas entradas de sinal que definem o modo de funcionamento do dispositivo:

- (i) No primeiro modo o DAC opera como um amplificador de áudio convencional. Um gerador de sinais de áudio (20 - 20.000 Hz) é conectado à entrada do circuito. O sinal é amplificado e aciona o transdutor de saída, que gera um campo eletromagnético suficiente para colocar a corda de um instrumento musical em movimento. Esse modo de operação é útil na análise da curva de resposta em frequência da caixa de ressonância de instrumentos acústicos ou de transdutores a ela acoplados;
- (ii) No segundo modo o DAC opera como um circuito realimentado, captando a frequência da corda e induzindo-a à ressonância. Nesse modo de operação ele pode ser empregado na análise da resposta em frequência de transdutores em função da tensão da corda, da geometria do transdutor e do modo como este é acoplado ao instrumento. Este é o objetivo principal que motivou o presente projeto de pesquisa. Acessoriamente, o DAC pode ainda ser empregado na geração de figuras de Chladni e na inspeção de ruídos produzidos em caixas de ressonância de instrumentos acústicos.

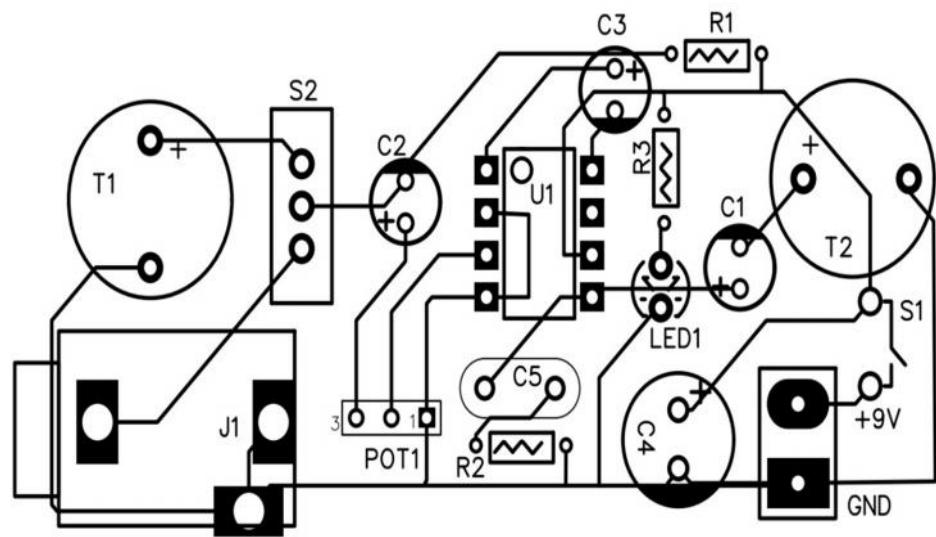
A Figura 3 abaixo apresenta o diagrama do circuito impresso projetado para a construção do DAC (Figura 3) e a Figura 4 o mesmo circuito com a representação dos seus componentes (Figura 4).

Figura 3 – Circuito Impresso (PCB)



Fonte: Autor (2021)

Figura 4 – Circuito Impresso (PCB) com componentes



Fonte: Autor (2021)

Os componentes utilizados na confecção do DAC são os seguintes:

- 1x CI amplificador LM386;
- 1x soquete 8 pinos;
- 1x capacitor cerâmico 1nF;
- 1x capacitor cerâmico 47 nF;
- 2x capacitores eletrolíticos 10uF/ 16V;
- 1x capacitor eletrolítico 220uF/ 16V;
- 1x capacitor eletrolítico 470uF/ 50v
- 1x resistor 10Ω;
- 1x resistor 390Ω;
- 1x LED;
- 1x clip para bateria 9V;
- 1x bateria 9V;
- 1x potenciômetro 10KΩ;
- 1x chave seletora ON-ON;
- 1x chave on-off;
- 1x jack P2;
- 1x transdutor passivo 16 Ω;
- 1x transdutor passivo 40 Ω.

4. EMPREGO DO DAC E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O dispositivo é acoplado ao instrumento por meio de um suporte articulado, de modo a poder ser empregado em instrumentos de diferentes dimensões. Fixado o instrumento sobre a bancada, os sensores do DAC são aproximados de uma única corda tomado-se o cuidado de alinhá-los perfeitamente sobre sua extensão, caso contrário o dispositivo não funcionará. Uma vez ligado o dispositivo, a corda do instrumento entra lentamente em vibração na sua frequência de ressonância e sai desse estado apenas quando o DAC é desligado. Uma vez com a corda em estado permanente de vibração, o luthier pode analisar o posicionamento de um captador de contato, por exemplo, assim como a pressão sobre ele exercida. Se o sinal de saída desse captador alimentar um software analisador de espectro de frequências, a aferição de sua performance pode também ser realizada visualmente. Em outras palavras, o DAC habilita o luthier a realizar testes experimentais sobre a performance de captadores de maneira muito mais ágil e prática, sem que o instrumento precise ser tocado, o que aumenta a objetividade desses testes com diferentes instrumentos e captadores, mas reproduzindo cenários semelhantes de execução.

Com esse propósito foram realizados testes em três diferentes instrumentos, um cavaquinho, um violoncelo e uma guitarra elétrica (Figura 5), e o DAC apresentou resultados satisfatórios nos três instrumentos.

Figura 5 – Dispositivo Acionador de Cordas em funcionamento



Fonte: o autor (2021)

Quando alimentado com um gerador de sinais, o DAC habilita o luthier a aferir a resposta em frequência de captadores, bastando para tal comparar o sinal de saída do gerador com o sinal produzido pelo captador. Embora não faça parte dos objetivos da

pesquisa que está na origem do projeto desse dispositivo, ele pode ser igualmente empregado para a detecção de ruídos em instrumentos e geração de figuras de Chladni.

REFERÊNCIAS

- BAGGS, L.R. (2003). Undersaddle pickup for stringed musical instrument. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US20040255763A1/en>
- BENSON, D. (2006). **Music: A Mathematical Offering**. Cambridge: Cambridge University Press.
- EARGLE, J. (2005). **The Microphone Book**: From Mono to Stereo to Surround – a Guide to Microphone design and application. Oxford: Elsevier.
- FISCHER, F. A. (2018). **Fundamentos de eletroacústica**. São Carlos: Scienza
- FISHMAN, L. (2005). Musical instrument transducer. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US20050011342A1/en>
- JOHNSON, C.; COURTNALL, R. (2011). **The art of violin making**. London: Robert Hale.
- MURATA Piezoelectric Sound Components
- TEXAS INSTRUMENTS LM386 Datasheet.
- UNDERWOOD, D. A (1975). Sound pick-up attachment for stringed instruments. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US4147084A/en>