

Aplicação da Transformada de Fourier no projeto no Crossover Passivo para Home Theaters

João Mateus Dias do Carmo ¹

joaomateus102030@alu.ufc.com

¹Engenharia de Computação – Universidade Federal do Ceará (UFC)
Caixa Postal 63902.580 – Quixadá – CE – Brasil

Abstract. *This article have purpose to show a little introduction about musical theory and yours severals forms of representations. After show this informations, will to show a math tool, Fourier Transform, that provided all the process of construtions of plan to Passive Crossove, like that to contining of process, an frequency separation will be make possible and we can build filters like low-pass, high-pass and band-pass, and final will show tests with Passive Crossover for validation.*

Resumo. *Este artigo tem como objetivo apresentar uma breve introdução musical sobre a música e suas formas de reprodução. Logo após será apresentado a ferramenta matemática, Transformada de Fourier, que proporcionou o todo o processo de planejamento do Crossover passivo, assim seguindo dos circuitos utilizados para o processo de separação de frequências, como passa-baixa, passa-alta e passa-banda, por final testes do Crossover irão ser implementados para a validação.*

1. Introdução

A música está presente no cotidiano da humanidade desde os tempos pré-históricos, quando o homem tentava reproduzir sons da natureza como forma de expressão dos sentimentos e desejos pessoais. Naturalmente evoluímos de sons analógicos para sons digitais, reproduzidos por diversos dispositivos, como *Notebooks*, *Smartphones*, *Home Theater*, e outros diversos dispositivos capazes de tornar meros *Bits* em sons audíveis, com harmonia, melodia e ritmo, como uma música deve ter.

2. Home Theater

O *Home Theater* é um equipamento eletrônico muito apreciado por aqueles que querem um melhor desempenho e qualidade na reprodução de músicas, pois este é o seu propósito, uma melhor fidelidade na reprodução de sons, esse equipamento consegue realizar isso devido sua forma de fabricação e estratégia de construção de forma que consiga separar sons de diferentes faixas de frequência, ¹ assim conseguindo isolar faixas sonoras e direcioná-las para seus devidos reprodutores.

Um *home theater* normalmente possui um aparato de alto-falantes, mas esse número pode ser reduzido para basicamente quatro, *subwoofer*, *woofer*, *midrange* e *tweeter*.

Desta forma, a separação de frequências para a reprodução da música com uma melhor fidelidade e qualidade se torna totalmente indispensável para os *home theaters*.

¹Frequência é uma grandeza física que é responsável por relacionar números de ocorrências em um determinado período de tempo.

3. Transformada de Fourier

A Transformada de Fourier é um artifício matemático usado para fazer uma transição de uma função que está no domínio do tempo para a frequência. Definimos formalmente a Transformada de Fourier como:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

4. Divisão da Faixa de Frequência

Com a Transformada de Fourier, podemos dizer em que faixa de frequência uma certa onda sonora encontra-se em alguma classificação listada abaixo:

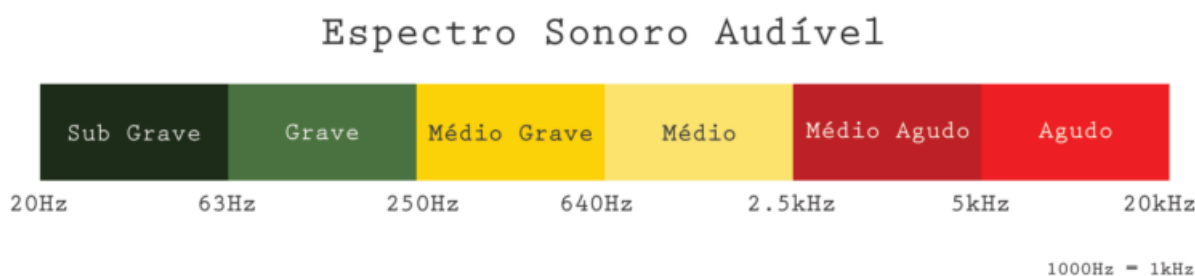


Figura 1. Espectro Audível Sonoro

5. Filtros

Existem diversos tipos de filtros na eletrônica, neste projeto usaremos três tipos principais, passa-baixas, passa-altas e passa-banda.

Como o nome dos filtros já são bem intuitivos, primeiramente iremos abordar o filtro passa-baixas.

Este filtro é responsável por deixar passar frequências abaixo de uma frequência denominada **frequência de corte**, ou seja, frequências acima da frequência de corte serão ignoradas.

Analogamente, para o filtro passa-alta, frequências acima da frequência de corte serão permitidas, e frequências abaixo da frequência de corte serão bloqueadas.

Para a última abordagem o filtro passa-banda, que nada mais é que uma mistura de um passa-baixa com passa-alta.

Como o projeto do Crossover prevê que haja quatro canais de saída, é necessário encaixar todo o espectro audível em quatro faixas dentro do espectro mostrado acima:

Agudo: *Tweeters*, é responsável pela reprodução de frequências acima de 5K Hz.

Médio: *Midrange*, é responsável pela reprodução de frequências entre 1K Hz e 5K Hz.

Grave: *Woofers*, é responsável pela reprodução de frequências entre 200 Hz e 1K Hz.

Sub-Grave: *SubWoofers*, é responsável pela reprodução de frequências abaixo de 200 Hz.

6. Implementação do Crossover

Primeiramente, sabemos que para cada alto-falante precisamos de um tratamento específico.

Definindo V_{input} como tensão de entrada, e V_{output} como tensão de saída, temos a seguinte configuração:

- Subwoofer: Definimos como, Passa-baixas, tal que a frequência de corte seja 200 Hz.

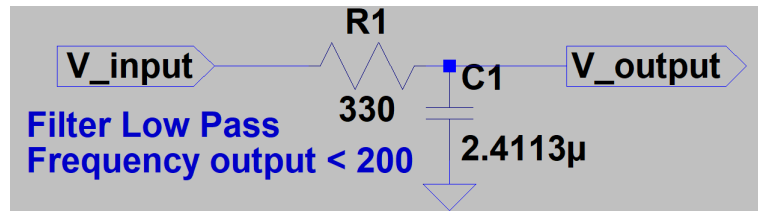


Figura 2. Low-Pass,200Hz

- Woofer: Definimos como, Passa-banda, tal que a frequência de corte da esquerda seja 200 Hz e a da direita seja 1k.

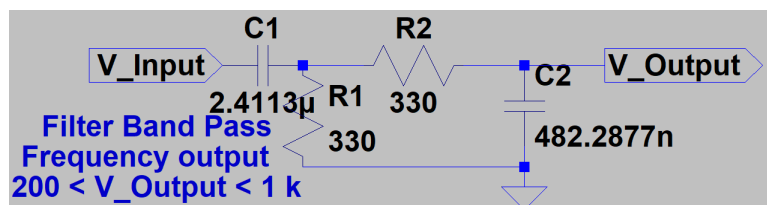


Figura 3. Band-Pass,200Hz,1kHz

- Midrange: Definimos como, Passa-banda, tal que a frequência de corte da esquerda seja 1k Hz e a da direita seja 5k.

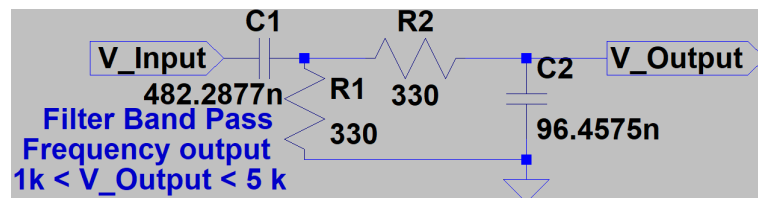


Figura 4. Band-Pass,1k,5k

- Tweeter: Definimos como, Passa-alta, tal que a frequência de corte seja 5k Hz.

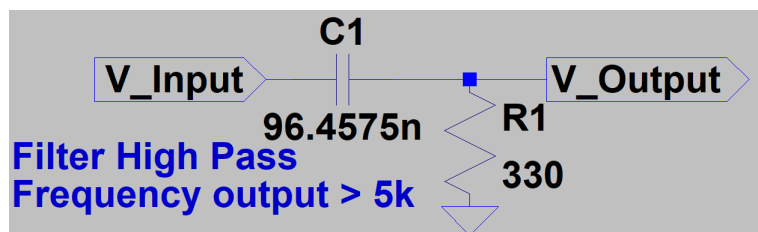


Figura 5. High-Pass,5k

Desta forma temos todos os circuitos necessários para o *crossover* está montado. Cada circuito foi encapsulado para um melhor entendimento e organização para serem colocados no Crossover, que tomou a seguinte forma:

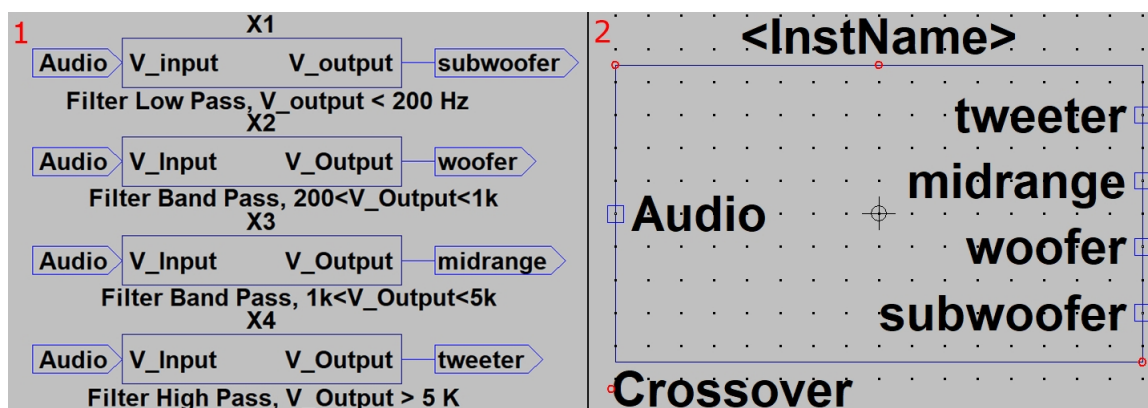


Figura 6. 1.Circuito interno, com os blocos definidos para cada alto-falante,2. Bloco encapsulado.

7. Resultados Encontrados

Foi criada uma fonte de sinal que seja capaz de gerar vários harmônicos somados de forma que simule uma música simples, para que possamos evoluir com os testes do Crossover implementado.

A fonte de sinal segue a seguinte regra matemática:

$$SINALSOURCE = 3 * (\sin(110t) + \sin(600t) + \sin(3000t) + \sin(10000t))$$

Temos 4 fontes conectadas em série, cada uma com amplitude de 3 volts, e cada uma com uma frequência diferente, de forma que essa configuração gere o seguinte formato de onda.

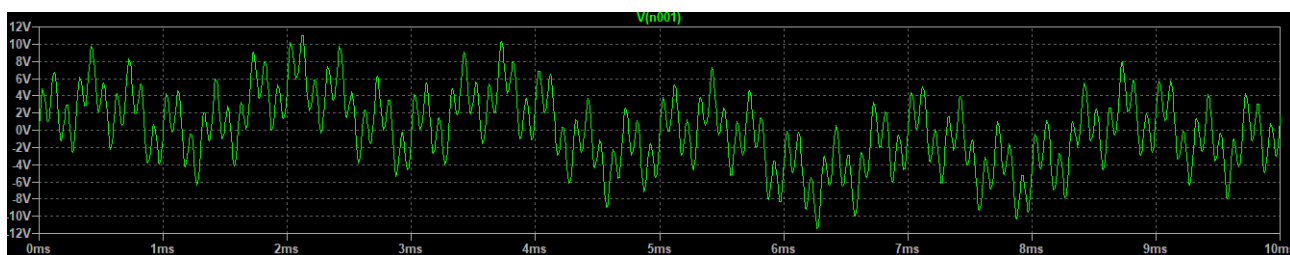


Figura 7. Resposta da fonte de sinal.

Olhando de um ponto de vista técnico, podemos facilmente ver o que esta fonte tem a ver com uma música, mas como o *Crossover* vai funcionar, e na realidade o que está acontecendo até agora, pode ser uma questão cabeça de alguém que seja leigo. Deve-se ter noção que, até agora temos um *Home Theater* que está recebendo uma música com aquela configuração mostrada pelas fontes de sinal, e este sinal deve ser associado a um sinal de áudio que está sendo enviado para o *Crossover*. Agora iremos analisar o que está saindo nos terminais que serão conectados os alto-falantes, da seguinte forma:

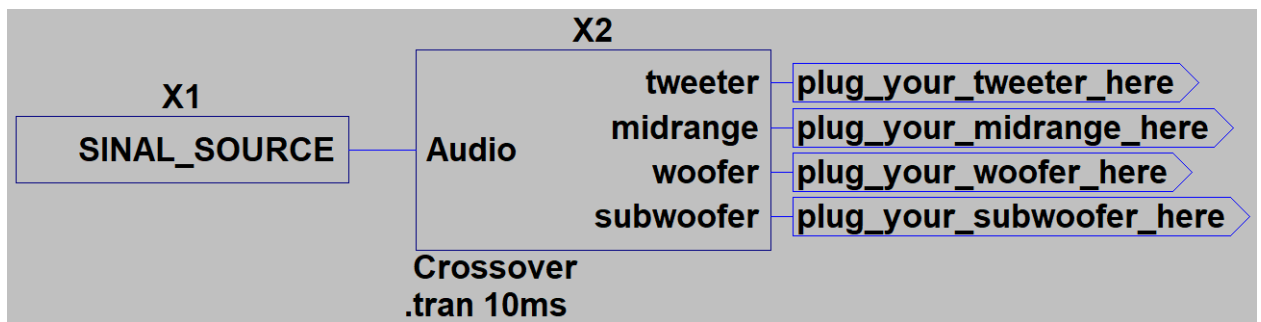


Figura 8. Esquemático final

O que será feito agora será basicamente dois testes, primeiro a verificação de cada saída, logo após fazer um este pequeno teste, será feito a verificação se quando somamos todas as saídas teremos a música novamente, pois as saídas não devem distorcer o áudio de entrada, elas devem ser totalmente fieis ao sinal de entrada quando somadas.

- Saída do Subwoolfer:

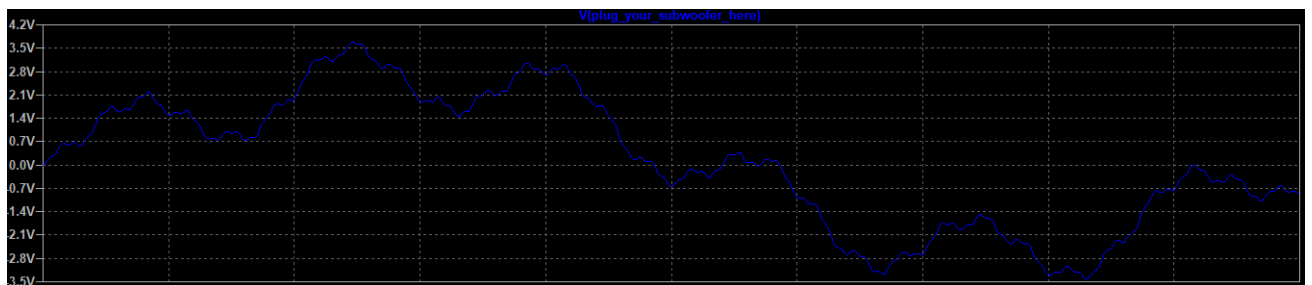


Figura 9. Saída do Subwoofer

- Saída do Woolfer:

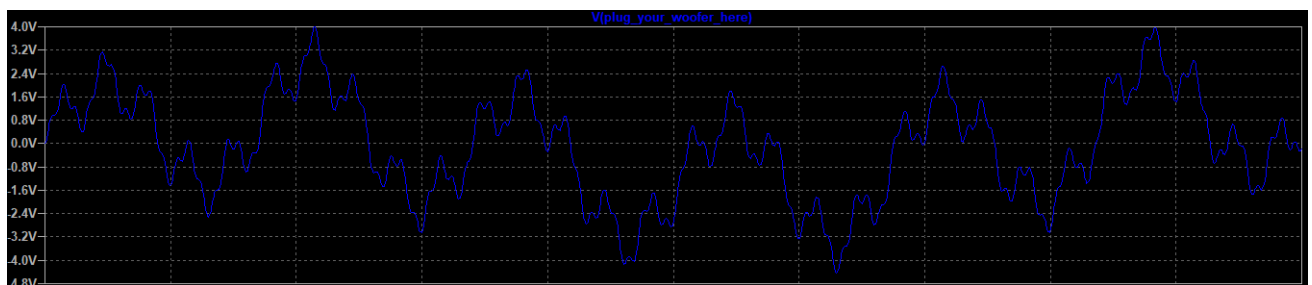


Figura 10. Saída do Woofer

- Saída do Midrange:

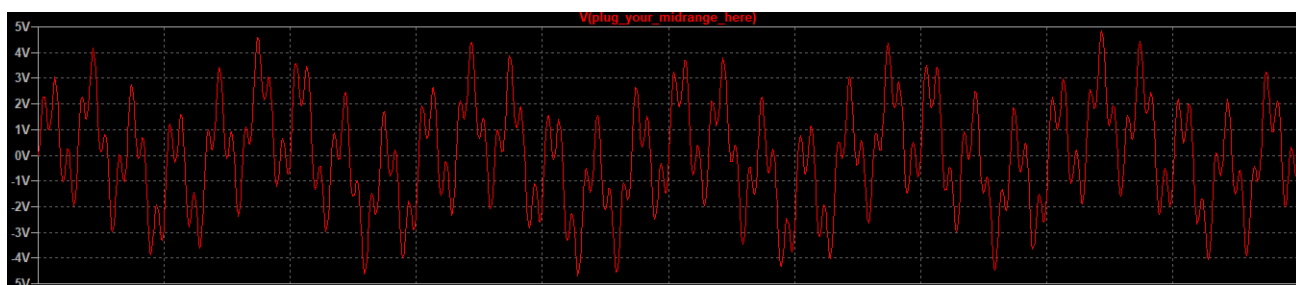


Figura 11. Saída do Midrange

- Saída da Tweeter:

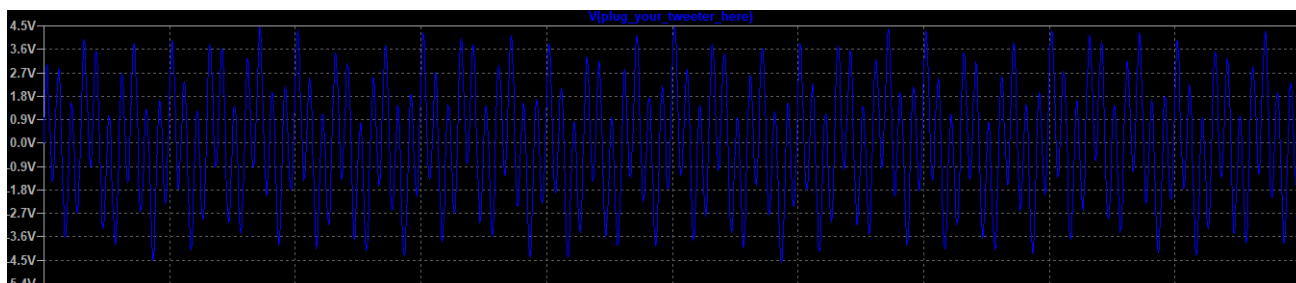


Figura 12. Saída da Tweeter

Nota-se que as saídas condizem com o esperado, podemos ver que o *subwoofer* tem uma frequência baixa, ou seja, ele será responsável por dá aquelas conhecidas "batidas" de um grave bem robusto e bem pesado, que são sons bem conhecidos dos instrumentos como contrabaixos, baterias e em alguns tipos de percussão por exemplo, já olhando para o outro extremo, a *tweeter* tem a maior frequência, ou seja, ela será responsável por reproduzir aqueles sons agudos que são característicos de vários instrumentos, como guitarra e violino.

Os intermediários também estão em harmonia com a relação proposta inicial, o *woofer* tem a segunda menor frequência e o *midrange* tem a segunda maior frequência, ou seja, o *crossover* está aprovado em um dos testes.

O segundo teste diz que, o som de saída não deve ser distorcido, ou seja, o som de entrada deve ser fielmente retratado na saída, então, como temos um som de entrada que é separado por frequências, quando for feito a soma de todos os sons de saída, é desejável que tenhamos o som de entrada.

Em termos matemáticos podemos definir a seguinte relação que é desejada:

$$SINALSOURCE = Subwoofer + woofer + midrange + tweeter$$

Realizando a operação acima, podemos verificar se a comparação entre a soma dos sinais de saída e o sinal de entrada valida a segunda condição, que diz que o som de entrada deve ser fielmente reproduzido na saída.

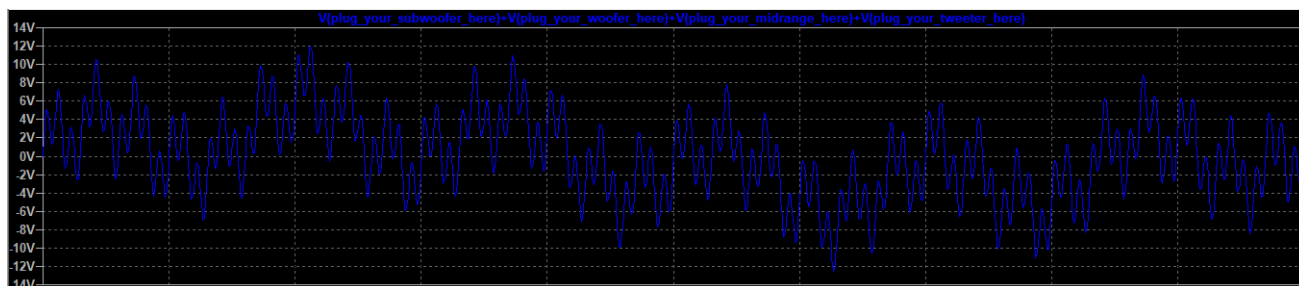


Figura 13. Sinal de saída somado

Podemos colocar o sinal de entrada em conjunto com o sinal de saída que foi obtido para uma melhor análise visual.

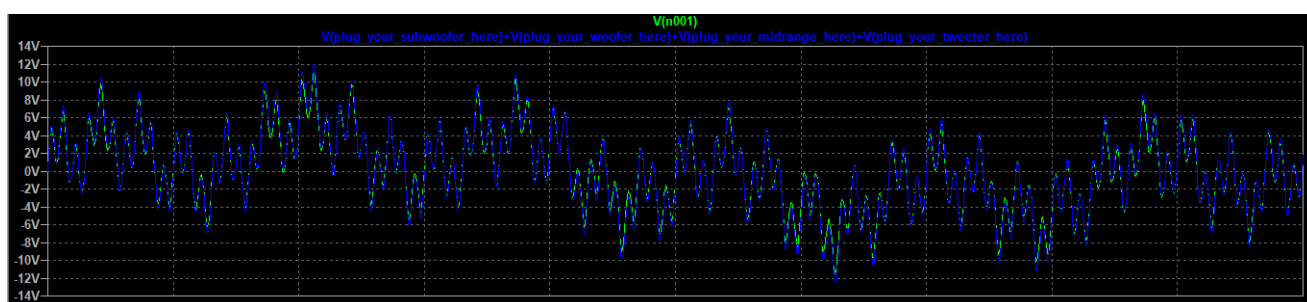


Figura 14. Saída para o segundo teste

O sinal de entrada (em verde) pode ser visto quase que completamente preenchido pelo sinal de saída (em azul), ou seja, o sinal de saída está tão próximo do sinal de entrada que podemos aproximá-lo para uma igualdade com a justificativa que tal diferença é tão pequena que o ouvido humano não será capaz de detectar, tal incapacidade de exatidão é inevitável pois, fisicamente componentes eletrônicos tem limites não seria nada rentável para indústrias produzirem um tipo de componente para cada projeto específico, o que desejamos principalmente é amenizar os erros e buscar a melhor configuração para que seja o mais fiel possível.

Computacionalmente podemos fazer uma análise mais detalhada e ver de perto espectros, assim notar diferenças mínimas que ao ouvido humano passaria despercebido certamente, neste teste fizemos uma execução durante um intervalo de tempo muito pequeno, de dez mili-segundos, caso queiramos ver na realidade, como uma música se comporta para a audição humana, podemos colocar uma execução de um segundo, e teremos a seguinte resposta:

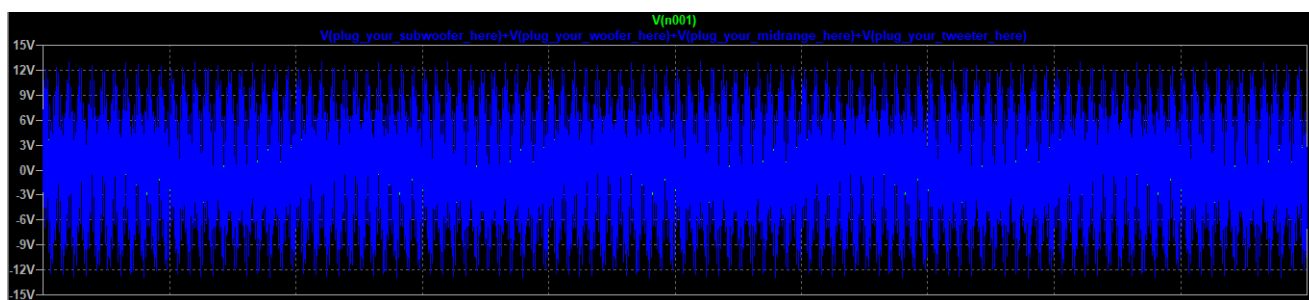


Figura 15. Saída para o segundo teste em escala real, 1 seg

Esta será a forma de onda que o ouvido humano irá captar em um segundo da música feita pelo sinal de entrada, e como foi previsto, todo o sinal de entrada foi sobreposto pelo sinal de saída, confirmando assim o que foi proposto pelo segundo teste.

8. Conclusão

O foco primordial do artigo foi o desenvolvimento do Crossover para ser usado em *home theaters*, mas nada disso seria possível sem o principal artifício matemático que propulsionou o estudo de funções em um outro ponto de vista, pois um artifício tão poderoso nas mãos certas é capaz de gerar grandes descobertas e invenções, como foi listada neste artigo, descoberta da Transformada De Fourier, invenção de Filtros usando a relação com a Transformada de Fourier.

9. Link do projeto

Este projeto poderá ser encontrado integralmente no link abaixo:
<https://github.com/JoaoMateus1010/Electronic-Devices>

Referências

- An Interactive Guide To The Fourier Transform [fourier transform. https://betterexplained.com/articles/an-interactive-guide-to-the-fourier-transform/](https://betterexplained.com/articles/an-interactive-guide-to-the-fourier-transform/). Accessed: 2018-11-18.
- Passive Band Pass Filter electronics tutorials. https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_4.html. Accessed: 2018-11-18.
- Passive High Pass Filter electronics tutorials. https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_3.html. Accessed: 2018-11-18.
- Passive Low Pass Filter electronics tutorials. https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_2.html. Accessed: 2018-11-18.

[BE] [LP] [HP] [BP]