

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Gabriel Bortolanza

GERADOR DE SINAL SENOIDAL PARA BOBINAS
ESPECIAIS CONTROLADO POR
MICROCONTROLADOR

Passo Fundo

2018

Gabriel Bortolanza

GERADOR DE SINAL SENOIDAL PARA BOBINAS
ESPECIAIS CONTROLADO POR
MICROCONTROLADOR

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Mikhail Polonskii.

Passo Fundo

2018

Gabriel Bortolanza

Gerador de sinal senoidal para bobinas especiais controlado por microcontrolador

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Mikhail Polonskii.

Aprovado em ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador Dr. Mikhail Polonskii - UPF

Prof. Dr. Paulo Sergio Corrêa Molina - UPF

Prof. Dr. Amauri Fagundes Balotin - UPF

RESUMO

Com a crescente evolução da agricultura, tem-se buscado novas formas de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do cultivo. Com isso, percebe-se a necessidade de que as sementes possam germinar com maior rapidez, diminuindo assim o tempo do plantio até a colheita. Vários pesquisadores têm buscado novas tecnologias para auxiliar nesse processo, entre eles se destaca o pesquisador russo Alexandre Mishin, o qual sugeriu uma bobina diferenciada que leva seu nome, e atua sobre as sementes acelerando o processo de crescimento. Existem pesquisas que mostram a eficácia da bobina de Mishin, porém nenhuma tem validade científica, entre outros fatores, por falta de equipamentos adequados. Esse trabalho consiste em um gerador de sinal senoidal que alimenta as bobinas na sua frequência de ressonância automaticamente, provido com duas opções de modulação do sinal e um display que exhibe as informações pertinentes do sistema, como as frequências de oscilação e de modulação e a corrente média na bobina. Esse gerador torna possível a realização de experimentos definitivos por profissionais da área agrícola.

Palavras-Chave: Gerador senoidal, bobina de Mishin, frequência de ressonância, modulação do sinal.

ABSTRACT

With the increasing evolution of agriculture, new ways of increasing productivity and improving the quality of cultivation have been sought. With this, it is noticed the need for the seeds to germinate more quickly, thus reducing the time from planting to harvesting. Several researchers have looked for new technologies to aid in this process, among them the Russian researcher Alexandre Mishin, who suggested a different coil that bears his name, and acts on the seeds accelerating the growth process. There are researches that show the effectiveness of the Mishin coil, but none have scientific validity, among other factors, for lack of adequate equipment. This work consists in a sinusoidal signal generator that do feed the coils at their resonant frequency automatically, provided with two signal modulation options and a display that displays the pertinent informations of the system, such as oscillation and modulation frequencies and average current in the coil. This generator make it possible to carry out definitive experiments by agricultural professionals.

Keywords: Sine generator, Mishin coil, resonance frequency, signal modulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - AMPLITUDE DA CORRENTE EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA PARA CIRCUITOS RESSONANTES.....	10
FIGURA 2 – EXEMPLO DE BOBINA BIFILAR DE NIKOLA TESLA COM 6 VOLTAS.....	11
FIGURA 3 - REPRESENTAÇÃO DA BOBINA BIFILAR DE TESLA.....	12
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO DA BOBINA DE MISHIN	12
FIGURA 5 - BOBINA DE MISHIN COM ENROLAMENTO TOROIDAL UTILIZADA PARA O PROJETO	12
FIGURA 6 - MÉTODO PARA MEDIR A INDUÇÃO NA BOBINA	13
FIGURA 7 - FREQUÊNCIA ONDE A AMPLITUDE DA INDUÇÃO É MÁXIMA, INDICANDO A FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA.....	13
FIGURA 8 - MODULAÇÃO ASK.....	14
FIGURA 9 - AMPLIFICADOR GENÉRICO.....	14
FIGURA 10 - SÍMBOLO CARACTERÍSTICO DE UM AMPLIFICADOR OPERACIONAL	15
FIGURA 11 - PROJETO DA INTERFACE PARA CONTROLE DE MODULAÇÃO.....	16
FIGURA 12 - INFORMAÇÕES MOSTRADAS AO USUÁRIO	16
FIGURA 13 - CIRCUITO EXEMPLO PARA AUTO-OSCILAÇÃO, PRIMEIRA ALTERNATIVA	17
FIGURA 14 - DIAGRAMA DE BLOCOS DA ALTERNATIVA 1.....	18
FIGURA 15 - DIAGRAMA DE BLOCOS DA SEGUNDA ALTERNATIVA.....	19
FIGURA 16 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROJETO.....	20
FIGURA 17 - PINOS DO PIC 16F887.....	22
FIGURA 18 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO TDA 7056A.....	24
FIGURA 19 - DISPLAY JHD204A.....	25
FIGURA 20 - CIRCUITO BÁSICO DO GERADOR DE FUNÇÃO XR-2206.....	26
FIGURA 21 - AMPLITUDE DE SAÍDA EM FUNÇÃO DO RESISTOR NO PINO 3 DO XR-2206.....	27
FIGURA 22 - CIRCUITO EXEMPLO PARA ONDA SENOIDAL.....	28
FIGURA 23 - PINO DE SAÍDA COM CONFIGURAÇÃO COLETOR ABERTO	29
FIGURA 24 - CIRCUITO DO GERADOR DA PORTADORA	30
FIGURA 25 - CIRCUITO GERADOR DA FREQUÊNCIA DE MODULAÇÃO ALTA	30
FIGURA 26 - CIRCUITO GERADOR DA FREQUÊNCIA DE MODULAÇÃO BAIXA.....	31
FIGURA 27 - CIRCUITO PARA LIGAÇÃO DO POTENCIÔMETRO DIGITAL	31
FIGURA 28 - CIRCUITO DO CI 74LS153 PARA LEITURA DAS MODULAÇÕES	32
FIGURA 29 - CIRCUITO DE LIGAÇÃO DO CI LM339	35
FIGURA 30 - SINAL DE SAÍDA DO COMPARADOR LM339	35
FIGURA 31 - CIRCUITO PARA ACONDICIONAMENTO DA CORRENTE.....	36
FIGURA 32 - CIRCUITO COMPLETO.....	38
FIGURA 33 - PROJETO DA PLACA	39
FIGURA 34 - PLACA DEPOIS DE IMPRESSA.....	39
FIGURA 35 - PLACA COM OS COMPONENTES.....	40
FIGURA 36 - SAÍDA DA PORTA NAND SEM NENHUMA ENTRADA E COM A ALIMENTAÇÃO CORRETA E ESTÁVEL	40
FIGURA 37 - SAÍDA DA PORTA NAND COM AS DUAS MODULAÇÕES.....	40

FIGURA 38 - COMO DEVERIA SER A SAÍDA DA PORTA NAND EM MESMAS CONDIÇÕES	41
FIGURA 39 - MINI PLACA IMPRESSA	41
FIGURA 40 - MINI PLACA, DETALHE DA PARTE INFERIOR.....	41
FIGURA 41 - TESTES COM A MINI PLACA.....	42
FIGURA 42 - MINI PLACA SOLDADA À PLACA PRINCIPAL	42
FIGURA 43 - CONFECÇÃO DA TAMPA DIANTEIRA DA CAIXA DE ACOPLAMENTO.....	43
FIGURA 44 - TAMPA FINALIZADA E COM OS COMPONENTES DA IHM	43
FIGURA 45 - DETALHE DA LIGAÇÃO DOS COMPONENTES DA IHM.....	44
FIGURA 46 - CAIXA DE ACOPLAMENTO FINALIZADA	44
FIGURA 47 - PROTÓTIPO FINALIZADO E FUNCIONANDO	45
FIGURA 48 - FREQUÊNCIA MÁXIMA DA MODULAÇÃO ALTA	45
FIGURA 49 - FREQUÊNCIA MÍNIMA DA MODULAÇÃO ALTA	46
FIGURA 50 - FREQUÊNCIA MÁXIMA DA MODULAÇÃO BAIXA	46
FIGURA 51 - FREQUÊNCIA MÍNIMA DA MODULAÇÃO BAIXA	46
FIGURA 52 - FREQUÊNCIA MÁXIMA DA PORTADORA	47
FIGURA 53 - FREQUÊNCIA MÍNIMA DA PORTADORA.....	47
FIGURA 54 – SINAL DA PORTADORA PURO	47
FIGURA 55 - AMPLITUDE DO SINAL DA PORTADORA PARA A BOBINA.....	48
FIGURA 56 – SINAL COM MODULAÇÃO ALTA ATIVA	48
FIGURA 57 – SINAL COM MODULAÇÃO BAIXA ATIVA	48
FIGURA 58 - VARIAÇÕES DO SINAL COM AS DUAS MODULAÇÕES	49
FIGURA 59 – VARIAÇÕES DO SINAL COM AS DUAS MODULAÇÕES.....	49
FIGURA 60 – VARIAÇÕES DO SINAL COM AS DUAS MODULAÇÕES.....	49
FIGURA 61 - BOBINA UTILIZADA NO PRIMEIRO EXPERIMENTO.....	60
FIGURA 62 – SEMENTES DE AVEIA E COENTRO NÃO PROCESSADAS	61
FIGURA 63 – SEMENTES DE AVEIA E COENTRO PROCESSADAS	61
FIGURA 64 - SEMENTES DE TRIGO COM EXPOSIÇÃO À BOBINA.....	62
FIGURA 65 - SEMENTES DE TRIGO SEM EXPOSIÇÃO À BOBINA	62
FIGURA 66 - RESULTADO DE EXPERIMENTO SEMENTES DE AVEIA	63

LISTA DE ABREVIATURAS

A – Ampère

Ap – Ampère pico

ASK – Amplitude-Shift Keying

DC – Direct Current

F_Mod_High – Frequência de modulação alta

F_Mod_Low – Frequência de modulação baixa

Hz – Hertz

I - Corrente

V – Volts

Vpp – Volts pico-a-pico

W – Watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	8
1.2 JUSTIFICATIVA	9
2 REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1 FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA	10
2.2 BOBINA BIFILAR DE TESLA.....	10
2.2.1 Bobina de Mishin.....	11
2.3 MODULAÇÃO ASK	14
2.4 AMPLIFICADOR	14
2.5 AMPLIFICADOR OPERACIONAL	15
3 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO	16
4 DESENVOLVIMENTO.....	17
4.1 ALTERNATIVAS.....	17
4.2 DIAGRAMA DE BLOCOS E FUNCIONAMENTO GERAL	20
4.3 ESCOLHA DOS COMPONENTES	21
4.3.1 Microcontrolador.....	21
4.3.2 CI Gerador	22
4.3.3 Amplificador	23
4.3.4 IHM.....	25
4.4 PROJETO DO HARDWARE	26
4.4.1 Projeto dos Geradores.....	26
<i>4.4.1.1 Projeto do CI gerador para a Portadora</i>	<i>27</i>
<i>4.4.1.2 Projeto do CI Gerador para a Frequência de Modulação Alta.....</i>	<i>28</i>
<i>4.4.1.3 Projeto do CI Gerador para a Frequência de Modulação Baixa</i>	<i>29</i>
4.4.2 Potenciômetro Digital.....	31
4.5 PROJETO DO FIRMWARE.....	32

4.5.1 Leitura das frequências.....	32
<i>4.5.1.1 Leitura da frequência de modulação alta</i>	<i>33</i>
<i>4.5.1.2 Leitura da frequência de modulação baixa.....</i>	<i>34</i>
<i>4.5.1.3 Leitura da frequência da portadora</i>	<i>35</i>
4.5.2 Controle do Potenciômetro Digital	36
4.5.3 Leitura da corrente.....	36
4.5.4 Sintonização automática	37
4.6 CIRCUITO COMPLETO.....	38
5 RESULTADOS	39
5.1 PLACA E CAIXA DE ACOPLAMENTO	39
5.2 SINAIS	45
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A – Programação	52
ANEXO A - Experimentos.....	60

1 INTRODUÇÃO

A humanidade busca, desde os primórdios da agricultura, formas de cultivo cada vez melhores e com mais qualidade no crescimento. Já há algumas décadas, diversos experimentos envolvendo os efeitos do som e da música (vibrações) sobre processos biológicos vêm sendo desenvolvidos, muitos dos quais com resultados bastante surpreendentes. Entre tais pesquisas, encontram-se as desenvolvidas por Sternheimer, para quem o padrão vibratório de uma determinada molécula biológica possui uma correspondência em uma nota musical ou frequência sonora específica. Segundo Sternheimer (2002), podem ser utilizadas ondas sonoras para estimular as partículas constituintes de sementes, por exemplo, fornecendo a energia necessária para ativação ou inibição de enzimas.

Já o pesquisador Alexandre Mishin fez várias pesquisas com o uso de campo elétrico variável. Inicialmente foram para aplicações medicinais, como cura de doenças humanas, diminuição de dores e maior rapidez na cicatrização de ferimentos, mas os campos elétricos podem também trazer benefícios para pequenas plantas, como alguns experimentos não oficiais têm mostrado (ANEXO A). Conforme alegado, quando esses campos são aplicados em sementes de plantas de pequeno porte, um crescimento mais intenso é observado, assim como uma germinação acelerada. Não cabe a nós engenheiros eletricitas a comprovação ou não dessas teorias, mas sim desenvolver ferramentas e/ou aparelhos que possibilitem a realização de experimentos com validade científica por profissionais da área agrícola.

1.1 OBJETIVOS

Surgiu, pelo professor Dr. Mikhail Polonskii, a proposta de desenvolver um protótipo de gerador de sinal senoidal com baixa potência para alimentar bobinas especiais de Mishin (uma variação da bobina chata de Tesla ou *'Pancake' Tesla Coil*), objetivando que este gerador sintonize automaticamente na frequência de ressonância da bobina, contenha opções de modulação do sinal para obter um alcance mais amplo de frequências, além de apresentar os parâmetros pertinentes ao sistema a partir de um display. O controle do protótipo será feito por um microcontrolador. Objetiva-se ainda que ele seja leve, compacto e de baixo custo.

1.2 JUSTIFICATIVA

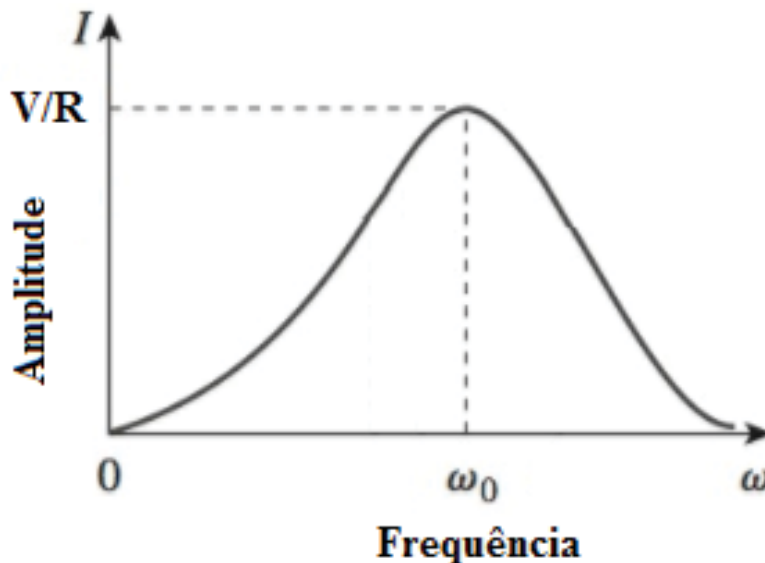
O protótipo será feito para viabilizar a investigação da eficácia da proposta em pesquisas futuras com campos elétricos em plantas para, por exemplo, provar possíveis benefícios no crescimento e/ou controle de pragas. Já existem alguns modelos de geradores específicos para as bobinas de Mishin, mas são encontrados somente na Rússia e, além disso, são dispositivos voltados para pesquisas na área médica, sem modulação do sinal e sem demonstração dos parâmetros por qualquer tipo de display. Com esse protótipo, dotado de funções de ajuste e de um display, será possível a realização de testes definitivos por profissionais da área agrícola com maior praticidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA

O conceito de ressonância se aplica em diversas áreas da ciência e da engenharia, e ocorre em qualquer circuito que tenha pelo menos um indutor e um capacitor, ou seja, um circuito RLC. Quando um circuito desse tipo é alimentado por um sinal periódico e é alterada sua frequência, subindo-a gradualmente, em algum momento as reatâncias capacitivas e indutivas serão iguais em módulo, resultando assim em uma impedância puramente resistiva. Essa frequência específica, onde ocorre o fenômeno descrito acima, é chamada de frequência de ressonância. Como pode ser visto na Figura 1, a característica mais marcante da resposta de frequência de um circuito é o pico agudo (ou pico de ressonância) que aparece em sua curva característica de amplitude (ALEXANDER e SADIKU, 2013).

Figura 1 - Amplitude da corrente em função da frequência para circuitos ressonantes.



Fonte: Adaptado de Alexander e Sadiku (2013, p. 562)

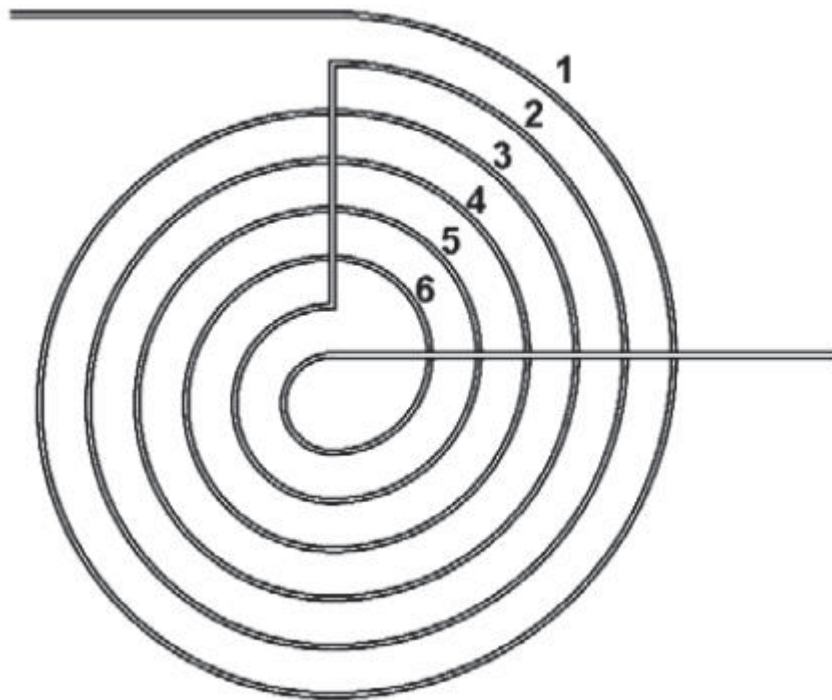
Nesse pico de ressonância, como são teoricamente nulas as reatâncias, ocorre a maior dissipação de potência, ou seja, quando $I=V/R$.

2.2 BOBINA BIFILAR DE TESLA

A bobina bifilar de Tesla foi patenteada em 1894 e teve como motivação a procura de um modo de cancelar a influência da autoindutância das bobinas nas suas aplicações. Dessa forma, ele imaginou um método de enrolar bobinas que possibilitava a obtenção de grandes

capacitâncias. Com essa alta autocapacitância, a bobina poderia funcionar como uma resistência pura na sua frequência de ressonância. O método consiste em primeiramente enrolar as espiras ímpares e depois retornar ao começo para enrolar as espiras pares como podemos visualizar na Figura 2, onde mostra um exemplo de bobina bifilar de Tesla enrolada em forma de panqueca com seis voltas. A sequência das espiras é: 1ª, 3ª e 5ª, o fio retorna à 2ª, 4ª e por fim 6ª (PICHORIM e DESTEFANI, 2010).

Figura 2 – Exemplo de bobina bifilar de Nikola Tesla com 6 voltas.



Fonte: (PICHORIM e DESTEFANI, 2010)

Com esse método, Tesla obteve um arranjo especial das capacitâncias e indutâncias distribuídas que condicionaram uma baixa frequência de ressonância da bobina. Conforme os experimentos práticos de Pichorim e Destefani (2010), uma redução de até 7.57 vezes da frequência de ressonância foi conseguida.

2.2.1 Bobina de Mishin

A bobina proposta pelo pesquisador russo Alexandre Mishin parte dos conceitos da bifilar de Tesla, porém sem ter conexão entre os dois fios. Com isso tem-se uma redução na

corrente circulante e, por consequência, é obtido um campo elétrico quase puro, que é o que supostamente leva o efeito à planta.

A bobina bifilar de Tesla pode ser representada como na Figura 3, e a bobina de Mishin como a Figura 4.

Figura 3 - Representação da bobina bifilar de Tesla



Fonte: O autor.

Figura 4 - Representação da bobina de Mishin



Fonte: O autor.

A bobina que será ligada ao protótipo é do tipo toroidal, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Bobina de Mishin com enrolamento Toroidal utilizada para o projeto



Fonte: O autor.

Essas bobinas já são confeccionadas com características definidas, tendo até modelos para impressão 3D de ferramenta para enrolamento da bobina toroidal, para que sua frequência de ressonância esteja na faixa de 270 a 330 kHz, pois essa faixa é a que os organismos vivos mais reagem. Além da frequência de oscilação, a geometria da bobina determina a qualidade e força do efeito. (Энергодар, 2018)

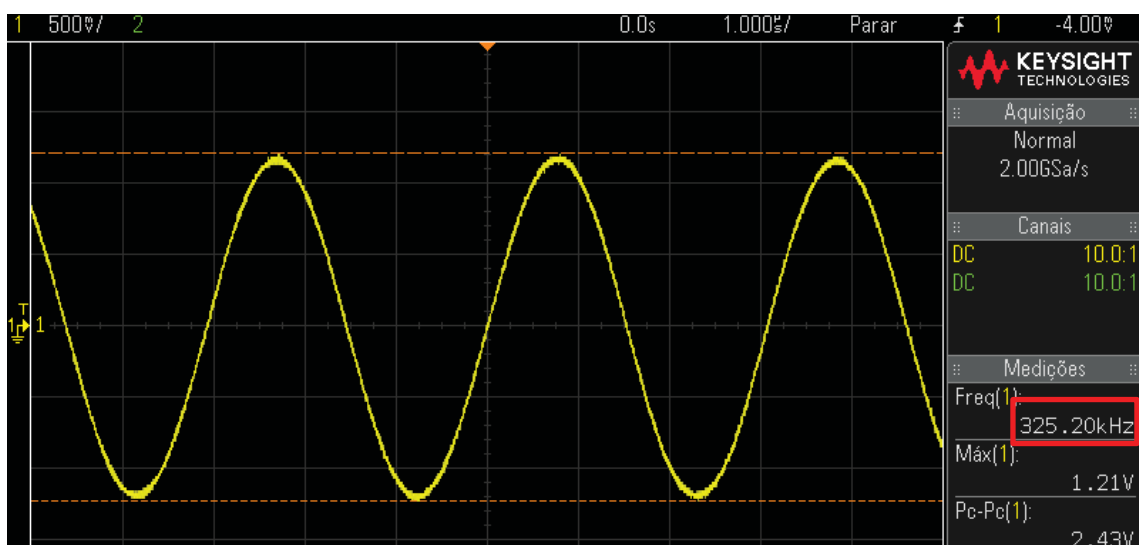
Foram efetuados testes com a bobina da Figura 5 para encontrar sua frequência de ressonância. Esse teste consistiu em ligar suas extremidades a um gerador de sinal enquanto o mesmo gerava uma onda senoidal de amplitude constante. Observando a indução na bobina através de um osciloscópio (Figura 6), foi alterada a frequência do gerador até ser encontrada a amplitude máxima na bobina, o que aconteceu na frequência de 325 kHz conforme mostrada na Figura 7.

Figura 6 - Método para medir a indução na bobina



Fonte: O autor.

Figura 7 - Frequência onde a amplitude da indução é máxima, indicando a frequência de ressonância



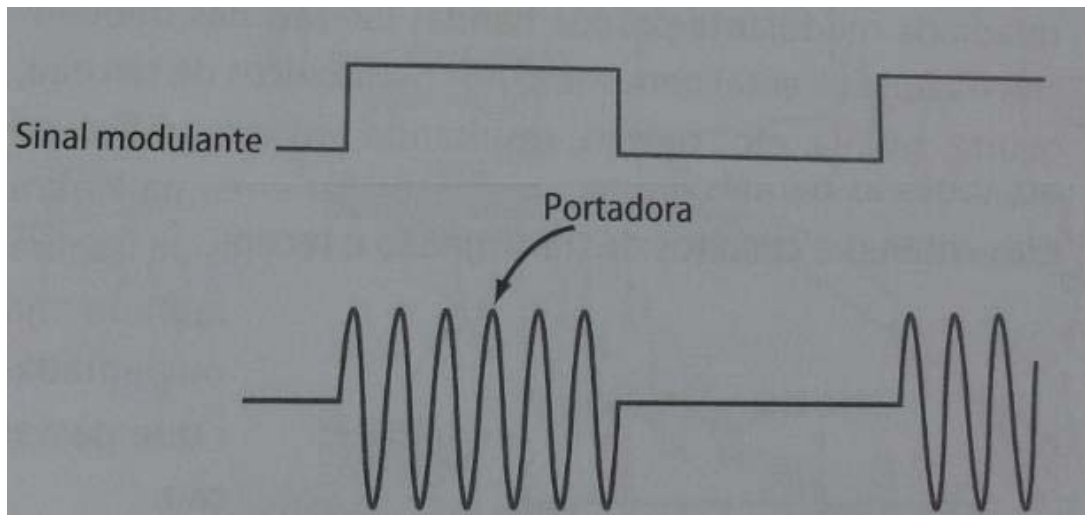
Fonte: O autor.

2.3 MODULAÇÃO ASK

No processo de modulação, os dados digitais em banda básica modificam outro sinal de alta frequência, denominada portadora, que geralmente é uma onda senoidal (FRENZEL e LOUIS, 2013). No projeto do gerador proposto, a portadora será a frequência de ressonância das bobinas.

A modulação em amplitude por ondas quadradas ou pulsos binários retangulares é denominada Chaveamento de Amplitude (do inglês Amplitude-Shift Keying - ASK). O ASK é usado em alguns tipos de comunicação de dados quando se deve transmitir uma informação binária (FRENZEL e LOUIS, 2013). A Figura 8 mostra a modulação em amplitude de uma portadora senoidal por um pulso ou onda retangular:

Figura 8 - Modulação ASK

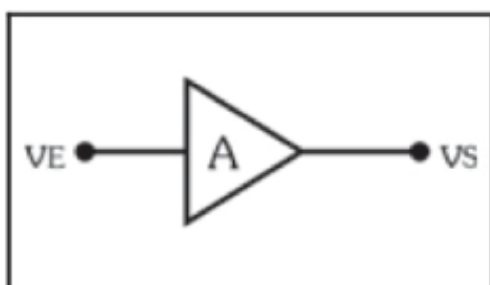


Fonte: Adaptado de Frenzel e Louis (2013, p. 94)

2.4 AMPLIFICADOR

Um amplificador genérico pode ser representado pela Figura 9.

Figura 9 - Amplificador Genérico



Fonte: (MARKUS, 2009, p. 184)

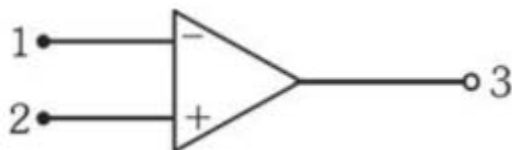
A letra A representa a amplificação ou ganho do circuito, podendo ser especificada para tensão (A_v) ou potência (A_p).

O amplificador é um sistema que, para operar, necessita de um gerador CA que produz o sinal, de uma carga que recebe o sinal CA amplificado, convertendo-o em uma outra forma de energia (som, onda eletromagnética etc.), e de uma fonte de alimentação CC que fornece toda a potência necessária para que a amplificação seja possível. (MARKUS, 2009)

2.5 AMPLIFICADOR OPERACIONAL

O nome amplificador operacional (AO) deve-se ao fato de o dispositivo ser empregado para realizar operações matemáticas, como adição, multiplicação, integração, diferenciação e também para uma infinidade de funções. O símbolo característico do elemento vem representado na Figura 10.

Figura 10 - Símbolo característico de um amplificador operacional



Fonte: (CIPELLI, MARKUS e SANDRINI, 2007, p. 185)

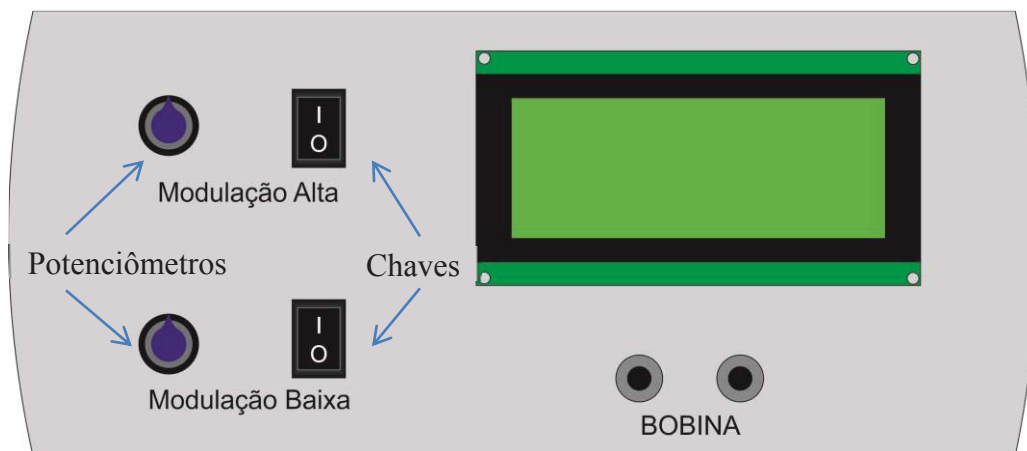
A entrada inversora se dá no pino 1, a entrada não inversora no pino 2, e no pino 3 a saída do amplificador operacional.

3 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

O protótipo a ser desenvolvido deve gerar um sinal senoidal para alimentar uma bobina na frequência de ressonância dela, frequência esta entre 250k e 350kHz que será chamada de portadora do sistema e terá uma tensão de até 10 Vpp, com uma corrente de até 0,9 Ap. O sinal da portadora deve ser modulado.

A modulação será ajustada pelo usuário por meio de duas chaves seletoras (ON/OFF), que ativarão a frequência de modulação alta (F_mod_high) e a frequência de modulação baixa (F_mod_low), juntamente com potenciômetros para ajustar a frequência de cada modulação, conforme mostra a Figura 11. F_mod_low será ajustável entre 1Hz e 30Hz, com resolução de 0,1Hz, enquanto F_mod_high será ajustável entre 100Hz e 600Hz, com resolução de 1Hz.

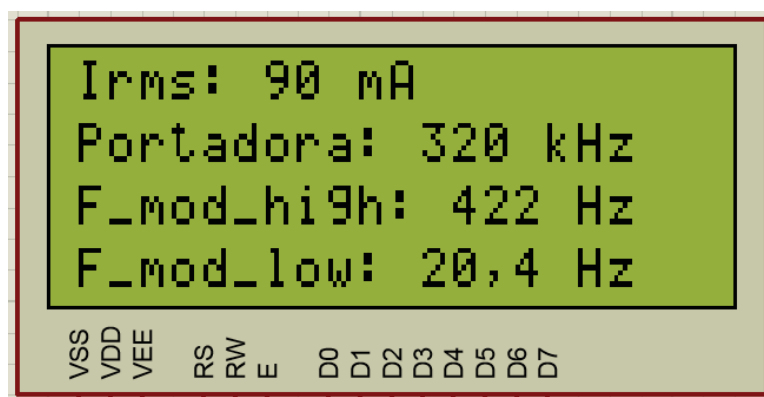
Figura 11 - Projeto da interface para controle de modulação



Fonte: O autor.

O dispositivo deve mostrar para o usuário através do display: F (frequência da portadora), F_mod_high, F_mod_low e I (corrente média na bobina). A Figura 12 demonstra como serão repassadas essas informações ao usuário, com valores fictícios.

Figura 12 - Informações mostradas ao usuário



Fonte: O autor.

A alimentação do dispositivo será feita a partir da rede elétrica 110/220V@60Hz. A fonte de alimentação deve gerar uma tensão CC de 12V/2A e ter isolamento galvânico da rede elétrica.

4 DESENVOLVIMENTO

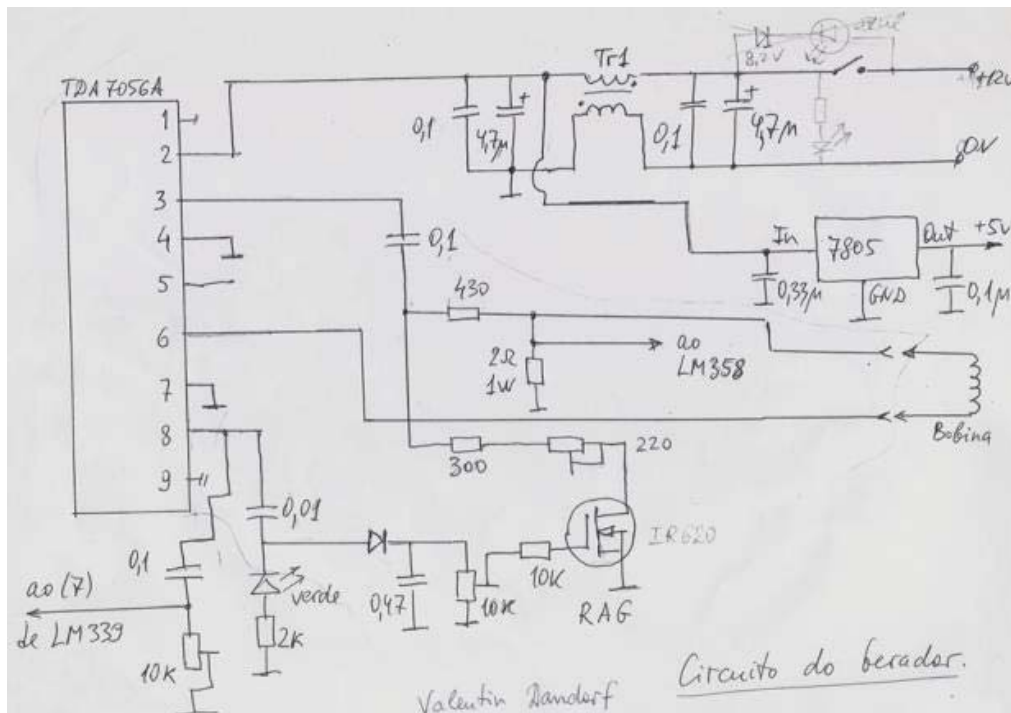
Neste capítulo serão apresentadas as alternativas avaliadas para realizar o projeto, além da escolha dos componentes. Após será então detalhado o projeto do Hardware e do Firmware do protótipo.

4.1 ALTERNATIVAS

Foram avaliadas três alternativas de implantação para o protótipo durante o semestre, sendo que apenas a terceira se mostrou praticável.

A primeira alternativa partiu com base em um circuito do pesquisador russo Valentin Dandorf, que realiza várias experiências com as bobinas de Mishin em seu canal do YouTube. Esse circuito possuía o amplificador TDA 7056A como seu ponto principal, que era ligado em uma configuração auto oscilante a partir de uma realimentação positiva de uma das saídas do CI, conforme mostra a Figura 13.

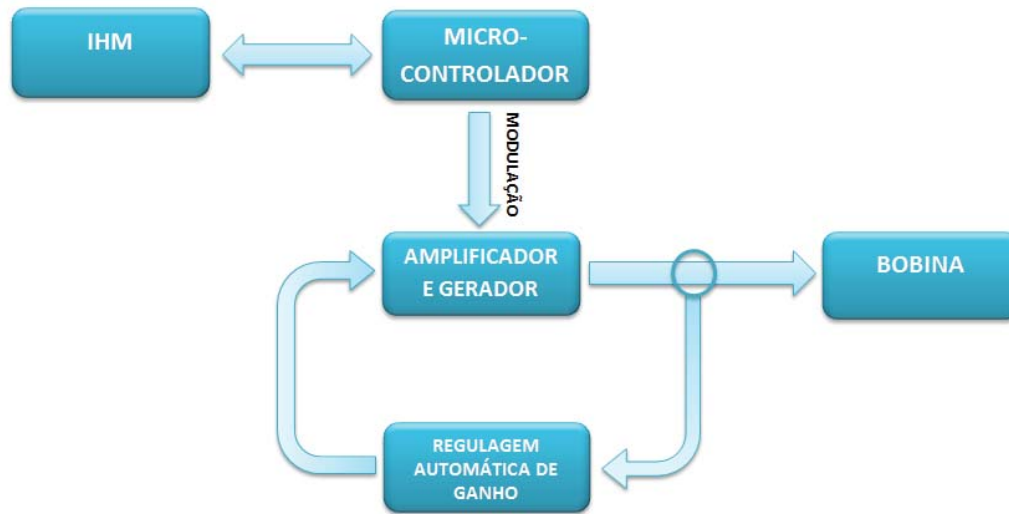
Figura 13 - Circuito exemplo para auto-oscilação, primeira alternativa



Fonte: O autor.

Além do amplificador, seria utilizado um microcontrolador para gerar as frequências de modulação conforme o usuário ajustasse na IHM, além do display para mostrar as informações do sistema. Segue diagrama de blocos da alternativa na Figura 14.

Figura 14 - Diagrama de blocos da Alternativa 1

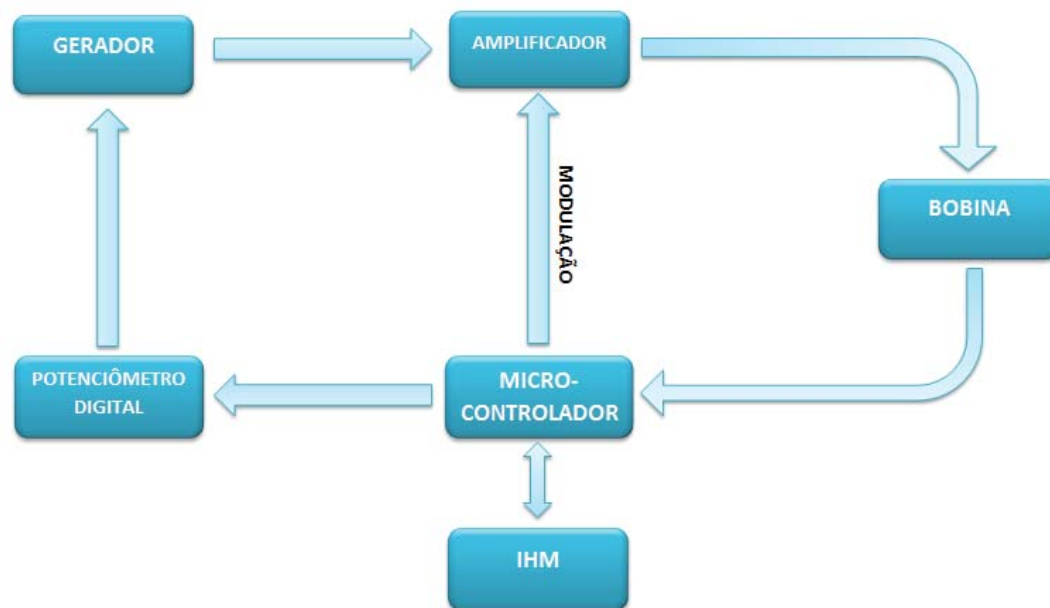


Fonte: O autor.

Devido à grande complexidade do circuito e, para não perder tempo com uma possibilidade de projeto, foi acordado com o Prof. Orientador a troca do circuito por outro que fosse inteiramente desenvolvido pelo aluno.

A segunda alternativa avaliada partiu de utilizar um CI gerador de função para criar a portadora do sistema, passar esse sinal por um amplificador e então alimentar a bobina. Com essa configuração, se fez necessário a utilização de um resistor shunt para ser possível ler a corrente da bobina e, com isso, encontrar o ponto onde a corrente é máxima, ou seja, a ressonância da bobina. Foi necessária também a utilização de um potenciômetro digital para a frequência poder ser alterada via firmware. Segue diagrama de blocos da segunda alternativa na Figura 15.

Figura 15 - Diagrama de blocos da segunda alternativa



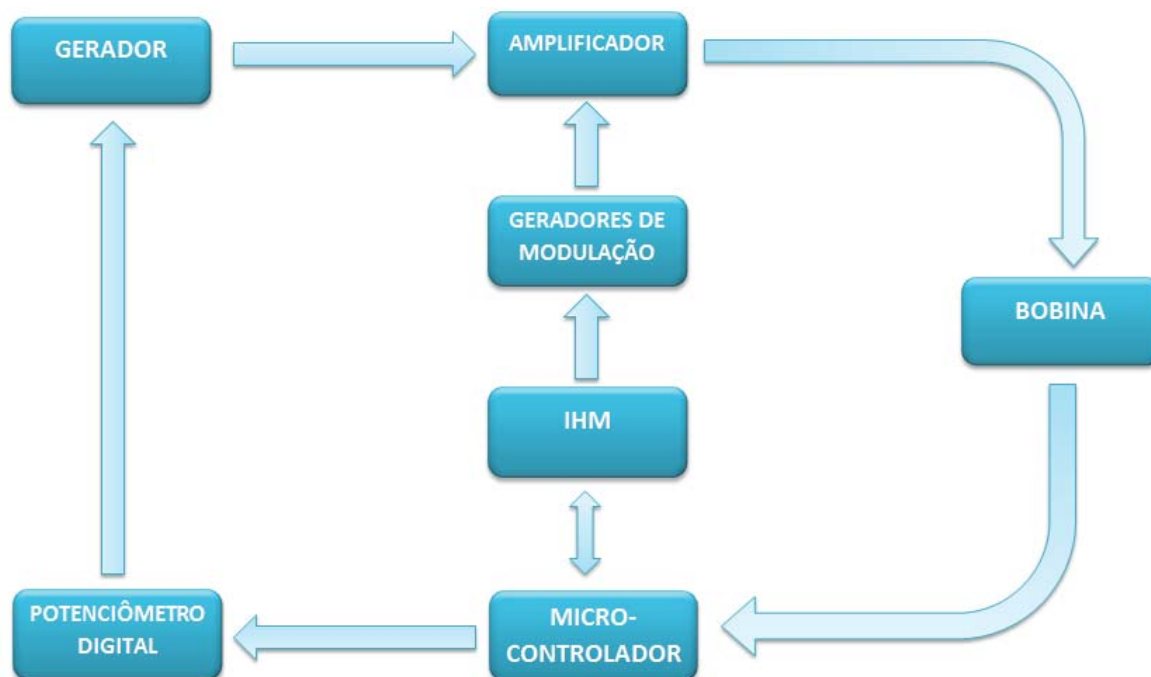
Fonte: O autor.

O problema encontrado com essa alternativa foi em criar as modulações com o microcontrolador, pois seria necessária a utilização de um timer para gerar cada modulação, sobrando somente um timer para ler a frequência da portadora, a qual demanda de dois timers por sua alta frequência (conforme explicado no capítulo: Projeto do Software), além de ocupar muito tempo de processamento do microcontrolador.

Foi então aderida uma terceira alternativa, que mantém as características da segunda alternativa, somente adicionando um CI gerador para cada modulação. A terceira alternativa será descrita no item seguinte.

4.2 DIAGRAMA DE BLOCOS E FUNCIONAMENTO GERAL

Figura 16 - Diagrama de blocos do projeto



Fonte: O autor.

O sinal da portadora é criado no bloco GERADOR e em seguida passa ao bloco AMPLIFICADOR, onde será amplificado e modulado, seguindo então até a BOBINA. O MICROCONTROLADOR é o responsável por ler a corrente da bobina através de um resistor shunt, e variar a frequência do GERADOR por meio de um POTENCIÔMETRO DIGITAL, visando encontrar o ponto ótimo de funcionamento do projeto, que é na frequência de ressonância da bobina. Na IHM o usuário poderá ligar e controlar o bloco GERADOR DA MODULAÇÃO, além de ter acesso às informações de funcionamento do gerador por meio de um display.

O funcionamento é mais detalhado no decorrer do relatório.

4.3 ESCOLHA DOS COMPONENTES

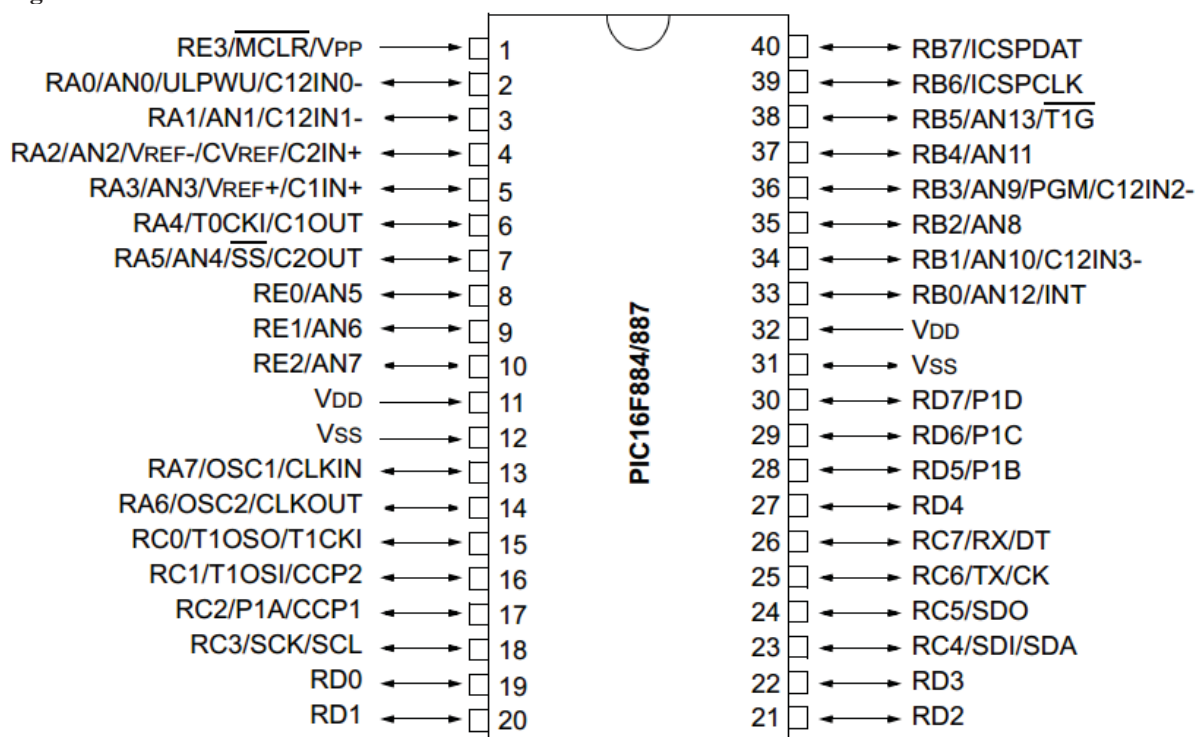
Para a escolha dos componentes, um dos fatores fundamentais foi a disponibilidade dos mesmos no almoxarifado, além de atender aos requisitos necessários para sua utilização no projeto.

4.3.1 Microcontrolador

Um microcontrolador será programado para desempenhar as funções pertinentes ao projeto, assim, os pinos de Entrada e Saída (Input/Output - I/O) do mesmo serão utilizados para comunicar com um display, ler as frequências de interesse, controlar os demais Circuitos Integrados (CI) e verificar o estado de dois botões para o controle das frequências de modulação. Este microcontrolador deverá possuir ao menos dois temporizadores e um contador que serão utilizados para ler a frequência de oscilação e as duas frequências de modulação. Deverá conter também no mínimo um canal de entrada analógica para a leitura da corrente média na bobina e 24 pinos de I/O.

O PIC 16F887 (Figura 17) é um microcontrolador da Microchip de arquitetura RISC, com frequência de operação até 20MHz, 35 pinos de I/O, 8k de memória ROM, 256 bytes de memória EEPROM, conversor A/D com 14 canais e 10bits de resolução, 3 temporizadores/contadores, saída PWM e comunicação serial SPI e I2C. Dentre as opções de microcontroladores disponíveis no almoxarifado, o PIC 16F887 mostrou-se compatível para a aplicação, já que dispõe dos recursos necessários para o projeto além de ser estudado durante o curso.

Figura 17 - Pinos do PIC 16F887



Fonte: O autor.

4.3.2 CI Gerador

Este CI será responsável pela geração do sinal da portadora, e também pela geração das modulações, sendo assim um total de três componentes necessários, um para cada frequência. As frequências irão variar entre 1 Hz e 30 Hz para a frequência de modulação baixa, de 100 a 600 Hz para a frequência de modulação alta e de 250 a 350 kHz para a portadora. Para esse projeto é preciso um CI estável, com possibilidade de gerar ondas senoidais para a portadora, quadradas para as modulações e que sua faixa de operação atenda as necessidades descritas acima.

O almoxarifado do curso possui três opções de CI para gerar o sinal: MAX038, ICL8038 e XR2206. Suas principais características são apresentadas a seguir:

MAX038C da MAXIM:

- Tensão de alimentação de $\pm 5V$;
- Frequência de operação de 0,1 Hz até 20 MHz;
- Seleção digital do tipo de onda (quadrada, triangular e senoidal);
- Saída do sinal de 2V_{pp} e 20mA;
- Distorção típica de 0,75%.

ICL8038 da Intersil:

- Tensão de alimentação de 10V a 30V;
- Frequência de operação de 0,001Hz até 300kHz;
- Pinos independentes para cada tipo de onda (quadrada, triangular e senoidal);
- Saída do sinal de 5Vpp até 28Vpp e 25mA;
- Distorção típica de 1%.

XR-2206 da Exar:

- Baixa distorção de onda senoidal, 0.5% valor típico;
- Ótima estabilidade térmica;
- Tensão de alimentação de 10 a 26V;
- Saída variável até 13 Vpp.
- Frequência de operação entre 0.01 Hz até 1 MHz;
- Um pino para onda triangular e senoidal, e um pino independente para onda quadrada;

O ICL8038 tem uma frequência de operação garantida até 300kHz, um pouco abaixo dos 350kHz do projeto, e o CI MAX038C tem uma saída fixa em 2Vpp, não havendo possibilidade de ajuste. Portanto o CI XR-2206 se mostrou superior para a aplicação tendo a saída ajustável até 13Vpp, além da possibilidade de gerar sinais de até 1 MHz.

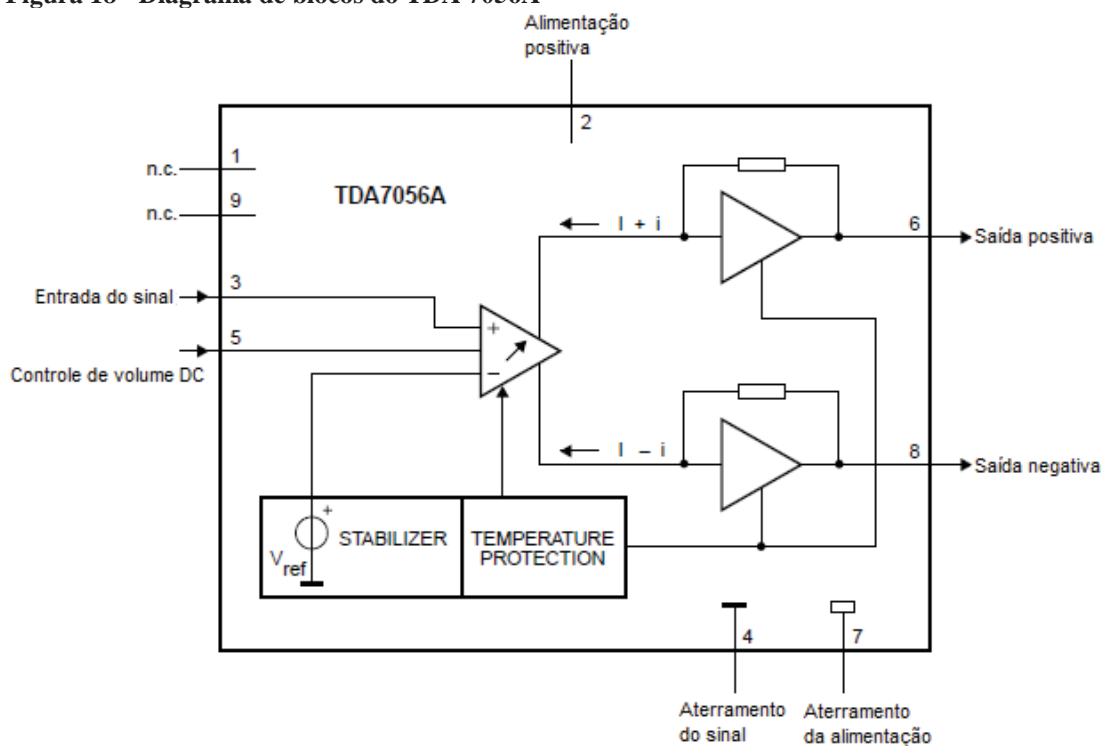
4.3.3 Amplificador

Essa parte do circuito será responsável por amplificar o sinal senoidal da portadora e receber a modulação do sinal, além de alimentar a bobina. Para tal, é necessário que opere a uma frequência de até 350 kHz com pouca ou nenhuma atenuação do sinal, além de ter alguma opção para realizar a modulação do sinal.

Este circuito poderia ser projetado para operar com um Amplificador Operacional para a amplificação do sinal e um circuito transistorizado com potência compatível para a alimentação da bobina, porém o controle da modulação neste método iria ser mais complexo. O amplificador TDA 7056A, além de amplificar o sinal, já possui uma saída com 3W de potência, e um pino de controle de volume DC, que pode ser usado para realizar a modulação ASK prevista no projeto.

O TDA 7056A (Figura 18) é um amplificador de áudio classe AB de 3W, tendo como principais características o controle de volume DC, proteção térmica, a prova de curto-circuito, com boa estabilidade geral e baixo consumo de energia, que já está a tempo no mercado e é conhecido pela sua confiabilidade. Sua faixa de operação é de 20 Hz à 300kHz com queda típica de 1dB.

Figura 18 - Diagrama de blocos do TDA 7056A



Fonte: Datasheet do TDA 7056A da NXP Semiconductor

O controle do volume DC se dá no pino 5 do amplificador (P_5) e pode ser alimentado até uma tensão máxima de 8 V. Seu ganho é máximo quando P_5 é igual ou superior a 1.4 V e seu ganho é mínimo quando P_5 é igual a 0.5 V. Se a tensão em P_5 for inferior a 0.3 V, o dispositivo comuta para o modo mudo e tem um ganho de aproximadamente -70 dB. Esse controle de volume DC pode ser utilizado para realizar a modulação do sinal, comutando entre o modo mudo e o ganho máximo do amplificador.

Por conter estas características, o TDA 7056A se mostrou compatível e vantajoso para o projeto.

4.3.4 IHM

A Interface Homem Máquina (IHM) desse projeto terá a função de mostrar as informações chave do sistema ao usuário, com isso um display deve ser utilizado e o mesmo deverá conter ao menos quatro linhas. No almoxarifado do curso temos o Display JHD204A (Figura 19), com 4 linhas e 20 caracteres, suficientes para o projeto.

Figura 19 - Display JHD204A



Fonte: O autor.

A IHM também inclui dois botões ON/OFF (Ligado/Desligado), que estarão disponíveis ao usuário para que possa ser possível o acionamento das modulações de baixa e alta frequência, podendo essas serem utilizadas de maneira independente.

4.4 PROJETO DO HARDWARE

4.4.1 Projeto dos Geradores

No CI gerador XR-2206 (circuito básico na Figura 20), a frequência de oscilação (f) é determinada pelo capacitor de temporização externo, C , conectado entre os pinos 5 e 6, e pelo resistor de temporização, R , conectado ou do pino 7 ou do pino 8 para o terra. A frequência é dada pela equação:

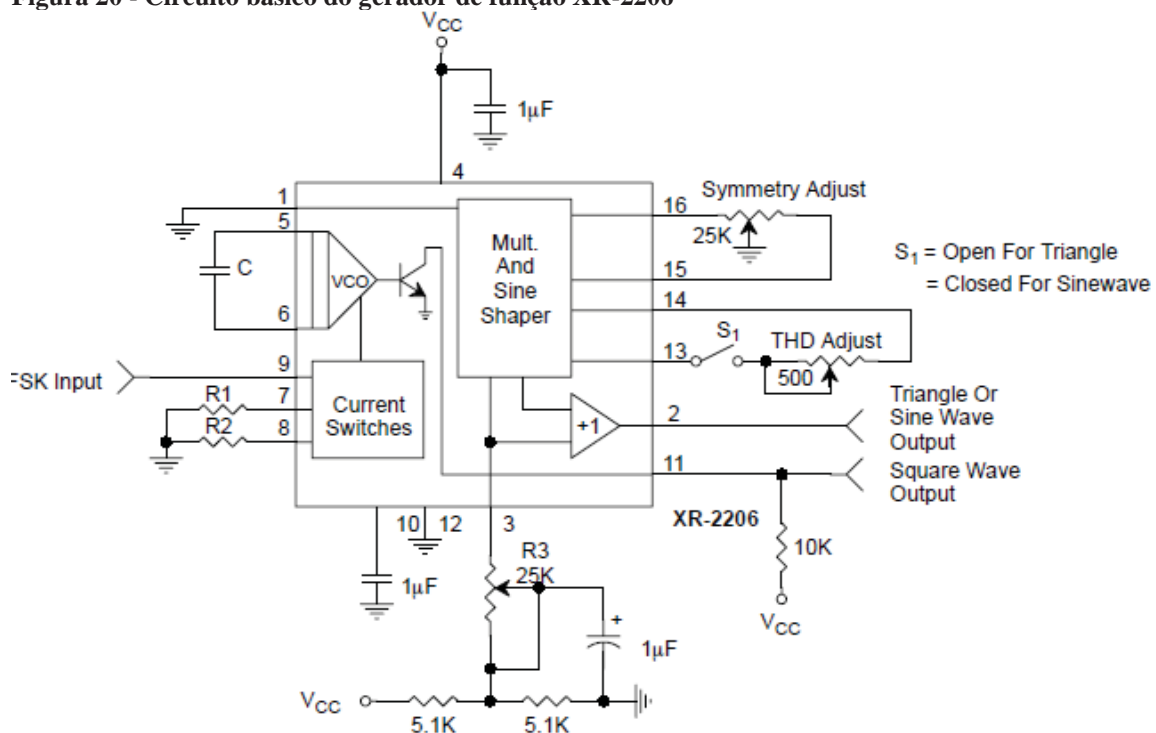
$$f = \frac{1}{R \cdot C} \text{ Hz}$$

Então, alterando o valor de R e/ou C , é possível controlar a frequência de oscilação. Os valores recomendados pelo fabricante para operar na frequência máxima e mínima são:

- Máximo = 1 MHz com $C=1000$ pF e $R=1K$
- Mínimo = 0.01 Hz com $C=50$ uF e $R=2M$

O nível DC no pino de saída (pino 2 da Figura 20) é aproximadamente o mesmo que o nível DC no pino 3. Por padrão, e como ligado nos circuitos de exemplo, é feito um divisor de tensão entre V_{CC} e o terra para ser possível ter uma maior amplitude de saída sem aproximar muito dos limites, tanto inferior como superior, de tensão.

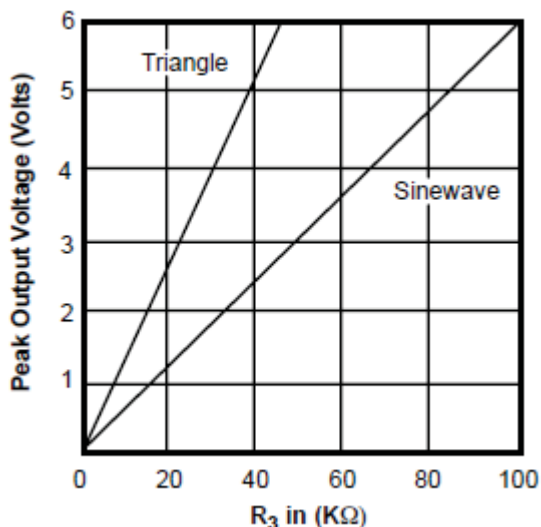
Figura 20 - Circuito básico do gerador de função XR-2206



Fonte: Datasheet XR-2206.

Já a máxima amplitude de saída é diretamente proporcional ao resistor externo conectado no pino 3 (ver Figura 21). Para a saída de onda senoidal, a amplitude é aproximadamente 60 mV pico por kΩ no resistor, segundo o datasheet.

Figura 21 - Amplitude de saída em função do resistor no pino 3 do XR-2206



Fonte: Datasheet XR-2206.

4.4.1.1 Projeto do CI gerador para a Portadora

Seguindo os parâmetros apresentados, serão calculados os componentes para cada um dos XR-2206 utilizados no protótipo. Começando pelo CI que gera a frequência da portadora que alimenta a bobina, é necessário que sua frequência varie entre 250 e 350 kHz e sua saída seja senoidal. Será adotado o capacitor para a frequência máxima do CI (1nF) e então controlado o resistor para variar entre a faixa desejada. Então:

$$f = \frac{1}{R \cdot C} \text{ Hz}$$

Isolando R obtém-se:

$$R = \frac{1}{f \cdot C} \Omega$$

Para uma frequência de 350 kHz o resistor necessário será:

$$R = \frac{1}{f \cdot C} = \frac{1}{350k \cdot 1n} = 2857 \Omega$$

Já para a frequência de 250 kHz o resistor necessário será:

$$R = \frac{1}{f \cdot C} = \frac{1}{250k \cdot 1n} = 4000 \Omega$$

O valor comercial mais próximo é o de 2.7k, que resulta em uma frequência de:

$$f = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{2.7k \cdot 1n} = 370.370,3 \text{ Hz}$$

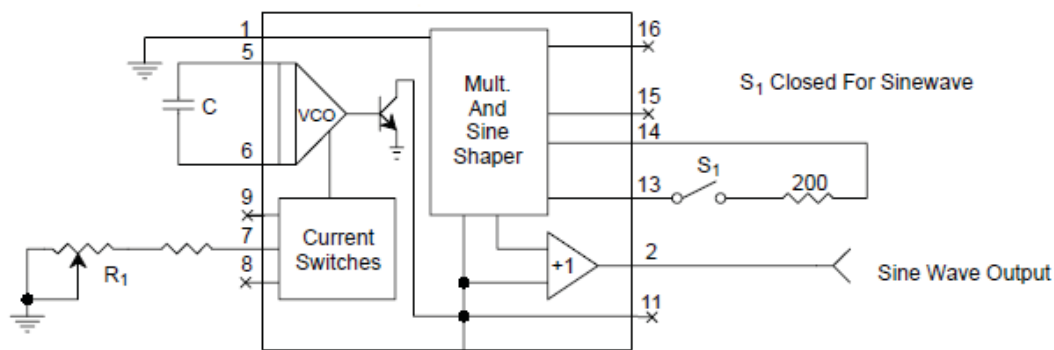
Esse resistor de $2.7k\Omega$ é então adotado como resistor base, e será ligado junto a um potenciômetro de $1k\Omega$ para ajuste da frequência. Somando os dois é obtida uma resistência máxima de $3.7k\Omega$ que resulta em uma frequência de:

$$f = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{3.7k \cdot 1n} = 270.270,2 \text{ Hz}$$

Como dito anteriormente, a frequência de ressonância da bobina se encontra próxima de 320 kHz , ficando exatamente no meio da faixa de variação do gerador projetado, por isso são satisfatórios os valores selecionados.

Para o XR-2206 gerar uma onda senoidal, é necessário que os pinos 13 e 14 estejam conectados por um resistor de modelagem de seno de aproximadamente 200Ω , como no circuito de exemplo da Figura 22.

Figura 22 - Circuito exemplo para onda senoidal



Fonte: O autor.

Caso fosse necessária uma menor distorção harmônica, poderiam ser utilizados potenciômetros entre os pinos 13 e 14 e entre os pinos 15 e 16 para um ajuste fino de simetria, mas não foram necessários.

4.4.1.2 Projeto do CI Gerador para a Frequência de Modulação Alta

O próximo a ser calculado é o gerador da frequência de modulação alta (F_{mod_high}), que deve gerar uma onda quadrada com frequência entre 100 e 600 Hz . Para esse gerador também será atribuído um valor de capacitor e variado a resistência para regular a frequência. Partindo de $C=470nF$, o resistor para 600 Hz será:

$$R = \frac{1}{f \cdot C} = \frac{1}{600 \cdot 470n} = 3546 \Omega$$

O resistor de valor comercial mais próximo no almoxarifado é o de $3.9k\Omega$, que resulta em uma frequência de:

$$f = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{3.9k \cdot 470n} = 545,5 \text{ Hz}$$

Já para o resistor para a frequência de 100 Hz será:

$$R = \frac{1}{f \cdot C} = \frac{1}{100 \cdot 470n} = 21276 \Omega$$

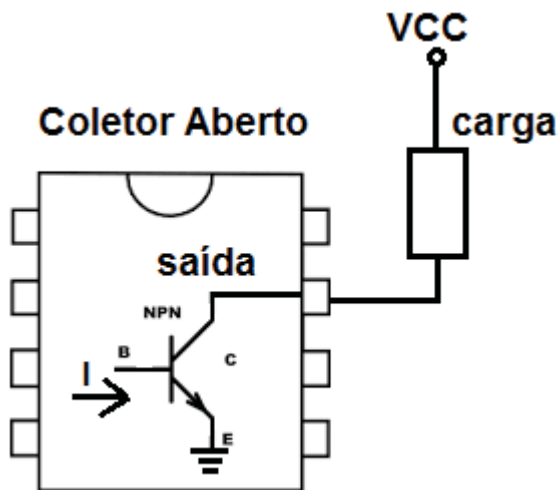
O potenciômetro mais próximo dessa diferença de 17.3kΩ é o de 20k, que dará um total de 23.9k e uma frequência de:

$$f = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{23.9k \cdot 470n} = 89,02 \text{ Hz}$$

As frequências com os componentes de valor comercial ficaram bem próximas dos requisitos do protótipo, por isso são satisfatórios os valores selecionados.

O CI tem um pino de saída próprio para onda quadrada (pino 11), porém é ligado na configuração coletor aberto (ver Figura 23) e precisa um resistor de *pull-up* para o VCC.

Figura 23 - Pino de saída com configuração coletor aberto



Fonte: O autor.

4.4.1.3 Projeto do CI Gerador para a Frequência de Modulação Baixa

O ultimo gerador a ser calculado é o da frequência de modulação baixa (F_{mod_low}), que deve gerar também uma onda quadrada com frequência entre 1 e 30 Hz. Para esse gerador também será atribuído um valor de capacitor e variado a resistência para regular a frequência. Partindo de $C=2,2\mu F$, o resistor para 30 Hz será:

$$R = \frac{1}{f \cdot C} = \frac{1}{30 \cdot 2,2\mu} = 15.151 \Omega$$

O resistor de valor comercial mais próximo é o de 15kΩ, que resulta em uma frequência de:

$$f = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{15k \cdot 2,2\mu} = 30,3 \text{ Hz}$$

Já para o resistor para a frequência de 1 Hz será:

$$R = \frac{1}{f \cdot C} = \frac{1}{1 \cdot 2,2\mu} = 454.545 \Omega$$

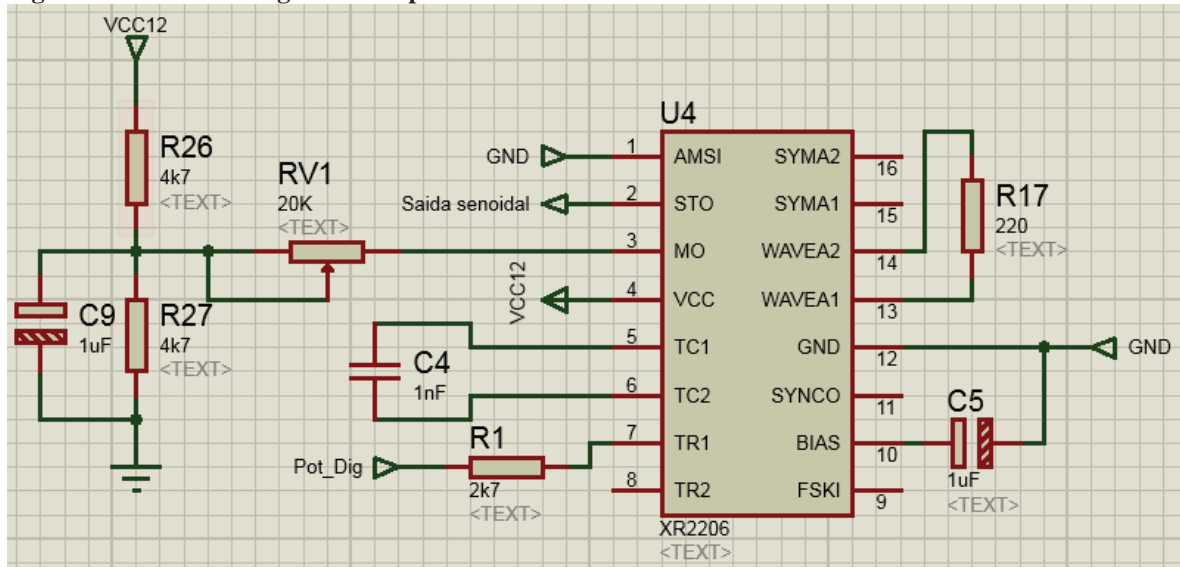
O potenciômetro mais próximo dessa diferença de 439,5kΩ é o de 500k, que dará um total de 515k e uma frequência de:

$$f = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{515k \cdot 2,2\mu} = 0,88 \text{ Hz}$$

As frequências com os componentes de valor comercial ficaram bem próximas dos requisitos do protótipo, por isso são satisfatórios os valores selecionados.

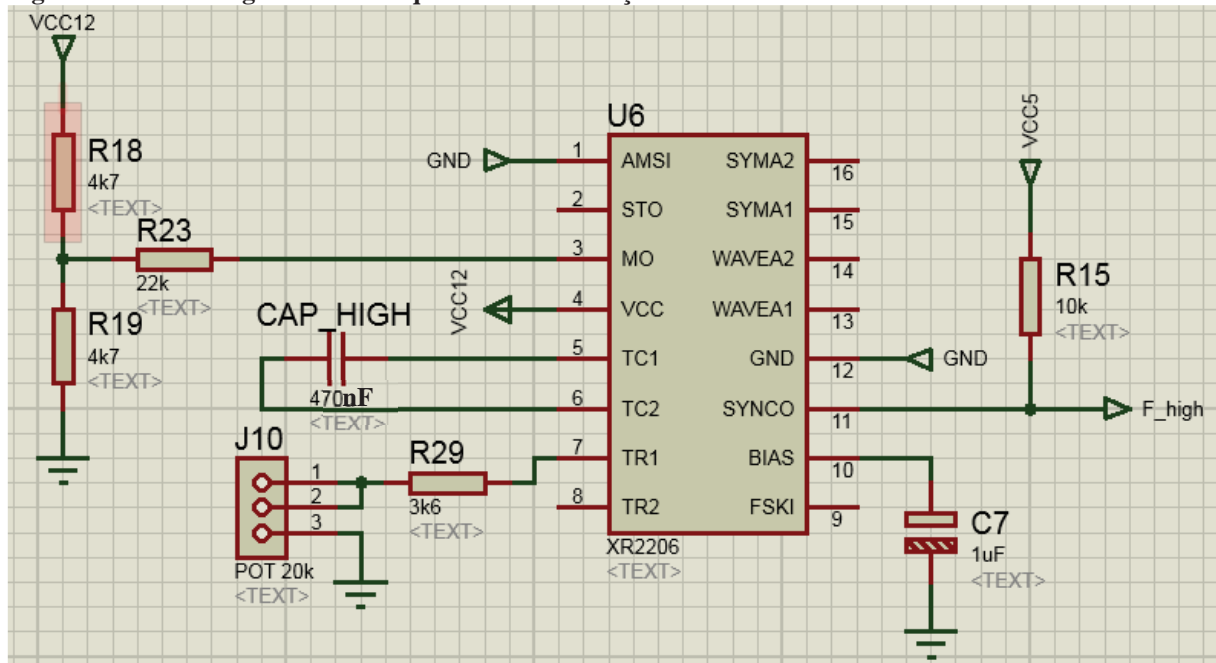
Finalizado o projeto dos geradores, na Figura 24, Figura 25 e Figura 26 são mostradas as ligações com os componentes calculados.

Figura 24 - Circuito do gerador da portadora



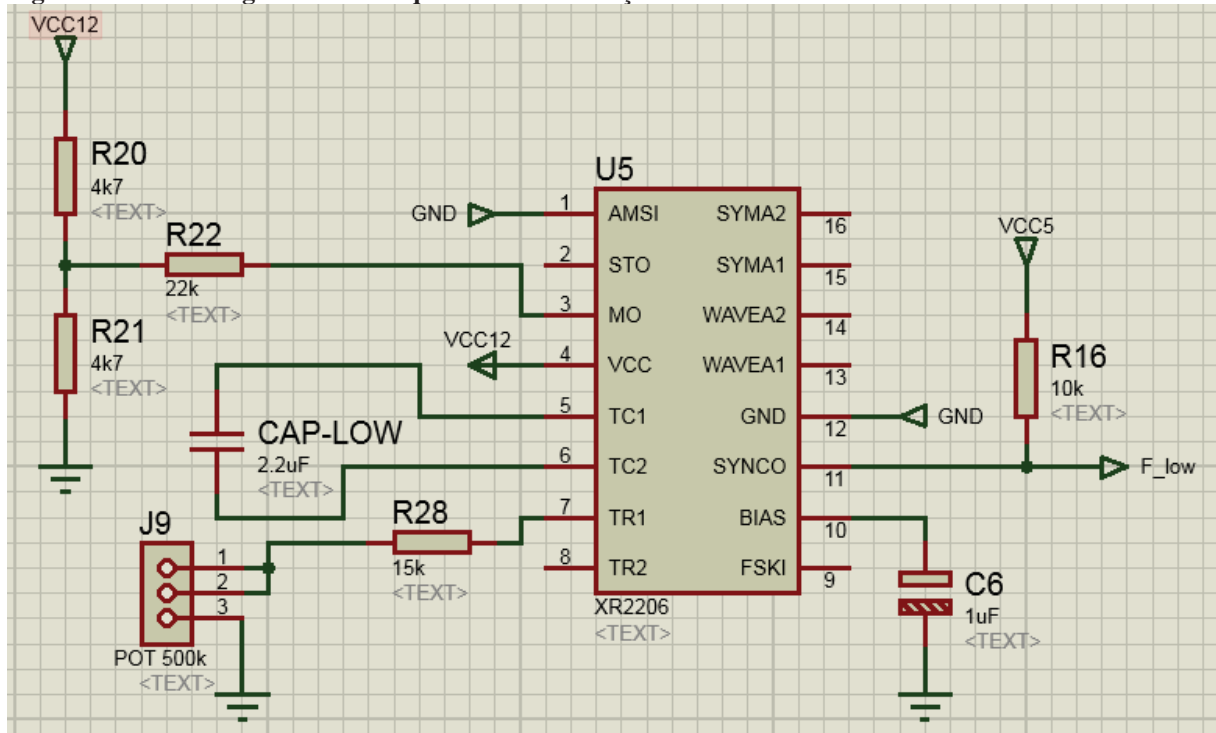
Fonte: O autor.

Figura 25 - Circuito gerador da frequência de modulação alta



Fonte: O autor.

Figura 26 - Circuito gerador da frequência de modulação baixa

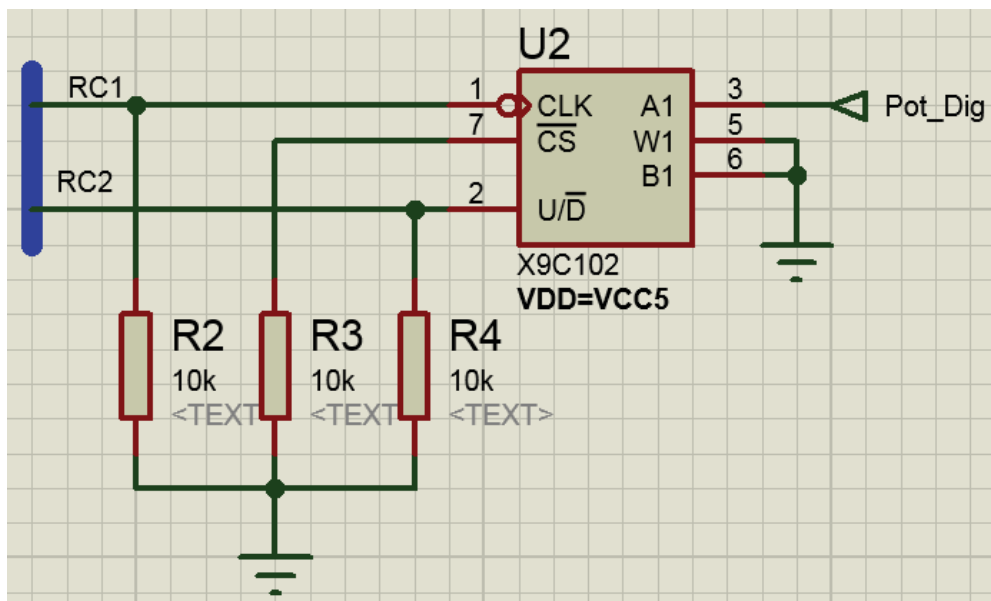


Fonte: O autor.

4.4.2 Potenciômetro Digital

Para a frequência do sinal gerado ser controlada automaticamente, se faz necessário o uso de um potenciômetro digital. O CI utilizado foi o X9C102, potenciômetro digital de 1k Ω conforme calculado para o primeiro XR-2206. Segue o circuito de ligação do mesmo na Figura 27.

Figura 27 - Circuito para ligação do Potenciômetro Digital



Fonte: O autor.

O microcontrolador deve controlar dois pinos do potenciômetro digital, o pino \overline{CLK} e o pino U/\overline{D} , ligados aos pinos RC1 e RC2 com resistores de *pull-down*. O pino \overline{CS} habilita ou desabilita a operação do potenciômetro, e deve ser mantido em nível lógico baixo para que o potenciômetro seja habilitado. No pino \overline{CLK} devem ser aplicados pulsos. A cada borda de descida imposta neste pino, uma posição do terminal variável do potenciômetro (W1) é alterado, para cima ou para baixo. Quem define para qual lado o terminal variável do potenciômetro se movimentará é o pino U/\overline{D} . Os pinos A1 e B1 são os terminais fixos do potenciômetro. Este potenciômetro possui 100 posições diferentes para o terminal variável.

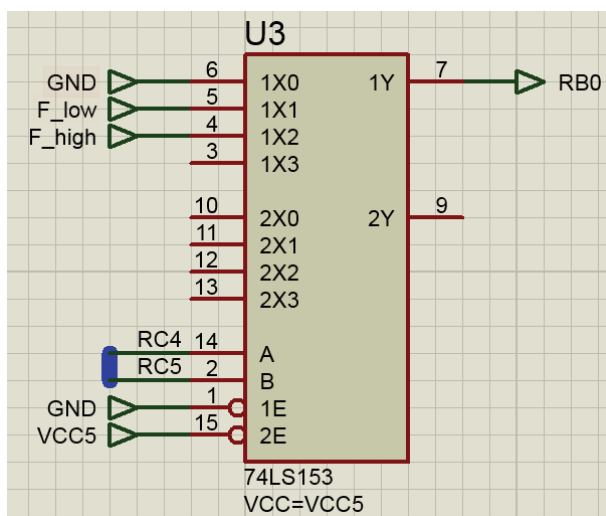
4.5 PROJETO DO FIRMWARE

Neste capítulo será feita uma descrição do firmware desenvolvido, detalhando a leitura das frequências, a leitura da corrente e o controle do potenciômetro digital para encontrar o ponto ótimo de funcionamento.

4.5.1 Leitura das frequências

As frequências de modulação são lidas utilizando o módulo Timer 1 do PIC 16F887, junto com o pino de interrupção externa RB0. Para tanto, foi utilizado um CI multiplexador 74LS153, para que as duas modulações fossem lidas pelo mesmo pino do micro. Na Figura 28 é mostrada a ligação do CI.

Figura 28 - Circuito do CI 74LS153 para leitura das modulações



Fonte: O autor.

O próprio microcontrolador, a cada intervalo de leitura, controla os pinos RC4 e RC5 para ler uma frequência específica. Com o pino RC4 em nível lógico alto e o pino RC5 em nível lógico baixo, é lida a corrente de modulação baixa (F_{mod_low}), e o contrário (RC4=0 e RC5=1) é utilizado para ler a corrente de modulação alta (F_{mod_high}). Quando os dois pinos ficam em nível lógico baixo, não é lida nenhuma frequência.

4.5.1.1 Leitura da frequência de modulação alta

Para ler a frequência de modulação alta, é configurado o módulo Timer 1 (contador/temporizador de 16 bits) no modo temporizador sem pré-scaler, fazendo com que a contagem do tempo seja feita a cada ciclo de máquina, além de ser alterado o multiplexador para levar a F_{mod_high} até o pino RB0, fazendo então que ocorram interrupções a cada borda de subida dessa modulação. Na primeira interrupção, o valor atual da contagem do Timer 1 é armazenado em uma variável A de 16 bits, e, na segunda interrupção, um novo valor do Timer 1 é armazenado em uma variável B, também de 16 bits. Após terem sido armazenados esses dois valores, é então desligado o módulo Timer 1, e o multiplexador volta à posição inicial para não haver nova interrupção. Essas duas variáveis são então subtraídas no formato $B - A$ para ser obtida uma nova variável C, que conterà o tempo entre as duas interrupções, ou seja, o tempo de um ciclo completo da frequência de modulação.

O tempo de cada ciclo de máquina é dado a partir da equação:

$$T_{ciclo} = \frac{1}{\left(\frac{F_{osc}}{4}\right)} = \frac{1}{\left(\frac{4MHz}{4}\right)} = \frac{1}{1MHz} = 1\mu \text{segundo}$$

Com isso, temos que, para uma frequência de 100 Hz, serão levados:

$$T = \frac{1}{100} = 0,01 \text{ s} = 10.000\mu \text{segundos}$$

Utilizando variáveis de 16 bits é possível contar tempos de até 65.536 μs , então, na leitura da frequência de modulação alta, não há possibilidade de estouro de variável.

Com o tempo de um ciclo completo da frequência armazenado na variável C, utilizando a fórmula abaixo é obtida a frequência de oscilação da modulação. No exemplo abaixo é utilizado os valores para 100 Hz, como calculados acima.

$$F_{mod} = \frac{1.000.000}{C} = \frac{1.000.000}{10.000} = 100 \text{ Hz}$$

4.5.1.2 Leitura da frequência de modulação baixa

Para a frequência de modulação baixa é utilizada a mesma estrutura do item anterior, com a diferença que, pelo tempo ser maior, é necessário o uso do pré-scaler de 1 para 8 (1:8) do Timer 1. Na equação abaixo é demonstrada essa diferença.

$$T_{ciclo} = \frac{1}{\left(\frac{F_{OSC}}{4}\right)} \times pré - scaler = \frac{1}{\left(\frac{4MHz}{4}\right)} \times 8 = \frac{8}{1MHz} = 8\mu segundos$$

Com isso, cada incremento do temporizador leva 8µs e, utilizando variáveis de 16 bits, é possível contar tempos de até 524,2 ms. Contudo, como a frequência de modulação baixa vai até 1Hz, isso equivale a um tempo de 1 segundo, quase o dobro. Utilizando a interrupção do Timer 1, é possível então saber se houve ou não o estouro de contagem além de quantos estouros aconteceram, e, com isso, é possível contar tempos até 3 vezes maiores, chegando a 1,57 segundos, que equivale a 0,63 Hz.

Utilizando da mesma lógica da leitura da modulação alta, teremos duas variáveis, A e B, com o tempo que ocorreu cada interrupção. Com a interrupção do Timer 1, é possível observar se aconteceu ou não o estouro de contagem. Para cada estouro de contagem, é adicionado 65.536 ao valor da variável C. Segue equação para obter a frequência de oscilação, utilizando como exemplo uma frequência de 1,25 Hz, que equivale a um tempo de 0,8 segundos por ciclo e, portanto, a uma contagem de 34.464 ciclos após um estouro de contagem.

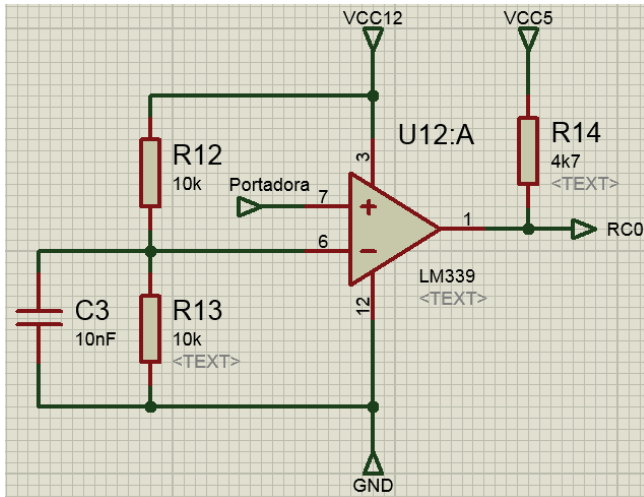
$$F_{mod} = \frac{1.250.000}{C + (65536 * n)} = \frac{1.250.000}{34.464 + (65536 * 1)} = \frac{1250000}{100.000} = 12,5$$

Pelo fato da frequência de modulação baixa ter uma resolução de 0,1 Hz, então o resultado da fórmula precisa retornar um valor 10 vezes maior para não perder esse valor decimal quando for convertido para um valor inteiro. Isso se faz necessário porque o microcontrolador não permite a divisão de um número decimal, e é necessária essa divisão para enviar ao display caractere por caractere. Portanto, no exemplo acima, seria mostrado no display o valor truncado de 01,2 Hz.

4.5.1.3 Leitura da frequência da portadora

Para ser possível ler a frequência da portadora, foi necessário convertê-la em uma onda quadrada, o que foi realizado com o uso do CI LM339, que consiste em quatro comparadores de tensão. Na Figura 29 é apresentado o circuito de ligação do CI.

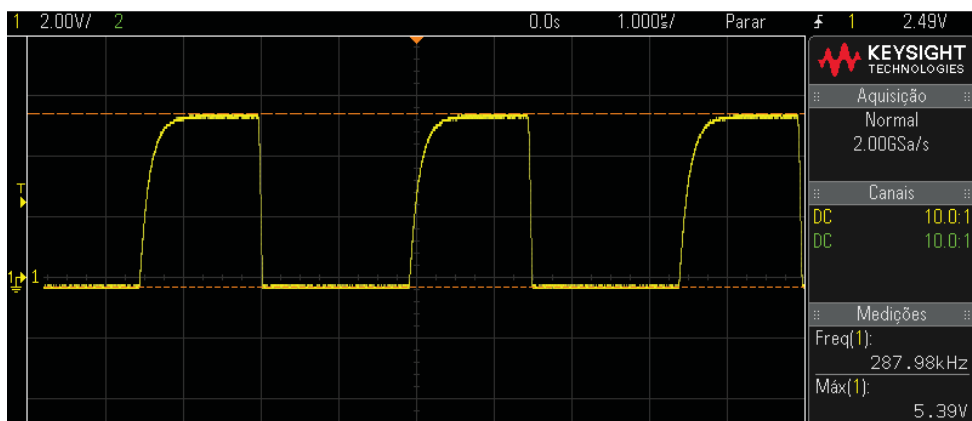
Figura 29 - Circuito de ligação do CI LM339



Fonte: O autor.

Como a portadora tem um deslocamento DC, foi também utilizado o mesmo deslocamento na entrada inversora do comparador, resultando em uma onda de saída como mostrada na Figura 30.

Figura 30 - Sinal de saída do comparador LM339



Fonte: O autor.

A frequência da portadora, por ser mais próxima à velocidade de operação do microcontrolador, teria uma precisão muito baixa se fosse usada a mesma lógica que foi utilizada para as modulações. Foi então desenvolvido um método diferenciado que consiste em utilizar dois Timers, um configurado como contador (Timer 1) e outro como temporizador (Timer 2). O Timer 2 foi ajustado para temporizar 1 ms, enquanto o Timer 1 conta cada borda de subida no pino RC0 (TICKI).

Dessa forma, a quantidade de pulsos que ocorrerem em 1 ms multiplicada por 1.000 será igual a quantidade de pulsos que ocorreriam em 1 segundo, ou seja, será igual a frequência. Por exemplo, para uma frequência de 290 kHz, ocorreriam 290 pulsos em 1 ms, multiplicando esses 290 pulsos por 1.000, teremos a frequência de 290.000 Hz.

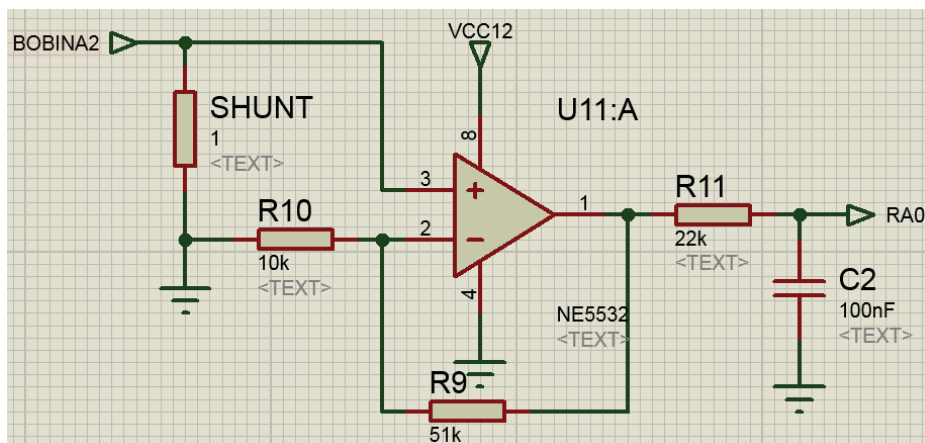
4.5.2 Controle do Potenciômetro Digital

O controle do potenciômetro digital é efetuado pelos pinos RC1 e RC2 do microcontrolador, conectados ao pino \overline{CLK} e ao pino U/\overline{D} do X9C102, como explicado anteriormente. Quando ligado à energia, esse CI inicia com seu terminal móvel W1 sempre no mínimo, ou seja, junto ao terminal B1. Por isso o terminal móvel foi conectado ao pino B1 no projeto para, quando ligar o circuito, a sua resistência começar em zero e, com isso, a frequência no CI gerador da portadora inicia no mínimo e, conforme é aumentado o tap do potenciômetro digital, é aumentada a sua frequência também.

4.5.3 Leitura da corrente

A corrente circulante na bobina passa por um resistor shunt antes de ir para o aterramento. Tendo conhecimento do valor do resistor e lendo a tensão em cima do mesmo, é possível calcular essa corrente. Para tanto é utilizado um resistor de 1Ω , e um amplificador operacional NE5532 ligado na configuração não inversora como mostra a Figura 31.

Figura 31 - Circuito para acondicionamento da corrente



Fonte: O autor.

Ganho G desse circuito é dado por:

$$G = 1 + \frac{R9}{R10} = 1 + \frac{51k}{10k} \cong 1 + 5 \cong 6$$

Após ser amplificado, o sinal passa por um filtro passa-baixa, que tem como função deixar passar somente o nível médio desse sinal, retirando as oscilações para ser possível sua leitura pelo A/D do microcontrolador. A frequência de corte do filtro é dada pela equação abaixo.

$$G = \frac{1}{2\pi \cdot R_{11} \cdot C_2} = \frac{1}{2\pi \cdot 22k \cdot 100n} \cong 72 \text{ Hz}$$

4.5.4 Sintonização automática

Para a sintonização automática, é utilizada a leitura da corrente em conjunto com o potenciômetro digital. Como o potenciômetro digital tem 100 posições, visando evitar 100 leituras de corrente, foi então utilizada uma lógica para ler a corrente a cada 5 variações do potenciômetro, realizando um ajuste grosso da frequência, totalizando 20 leituras que são armazenadas em um vetor chamado *corrente*.

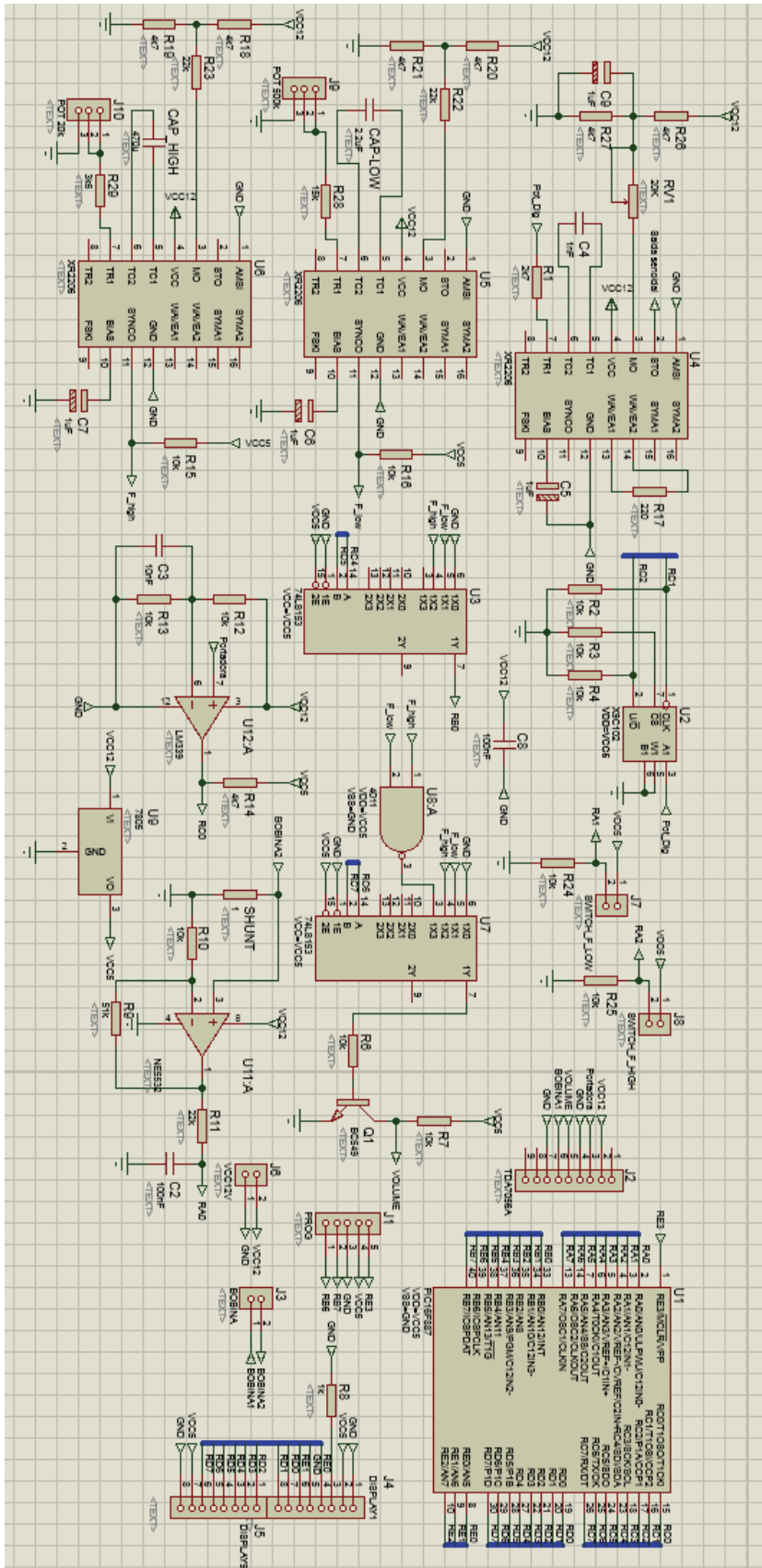
Finalizado o ajuste grosso, é então utilizada uma lógica para descobrir o tap onde se obteve a maior corrente e, a partir dele, é efetuado um ajuste fino da frequência visando os 10 taps ao seu redor. Será feito um exemplo para melhor explicar a sintonização automática:

Utilizando a corrente de 312 kHz como frequência de ressonância, ou seja, como ponto máximo de corrente, e sabendo que cada tap do potenciômetro digital varia aproximadamente 1 kHz da frequência, significa que a corrente máxima se dará no tap 42. O ajuste grosso irá ler os taps 0, 5, 10, 15, 20, etc. até o 100. Com a lógica para achar a maior corrente, será encontrado o tap 40. Então o ajuste fino irá variar o potenciômetro digital e ler a corrente dos taps 35, 36, 37, ..., 44 e 45. Utilizando novamente a lógica para encontrar a maior corrente e o tap correspondente, é encontrado o tap 42. É então sintonizado o potenciômetro no tap e mostrada a corrente média na bobina.

Então, utilizando os ajustes desenvolvidos, o protótipo sintonizará automaticamente sua saída na frequência de ressonância da bobina. Vale lembrar que o microcontrolador ignora as modulações até finalizar o ajuste, e que esse ajuste é feito somente uma vez ao inicializar o circuito. Podem ocorrer pequenas variações na frequência de oscilação devido ao aquecimento de componentes na sua utilização, mas conforme testes de aproximadamente 2 horas, são menores ou iguais a 1 kHz, não influenciando no correto funcionamento do protótipo e, portanto, não saindo da faixa onde a corrente é máxima.

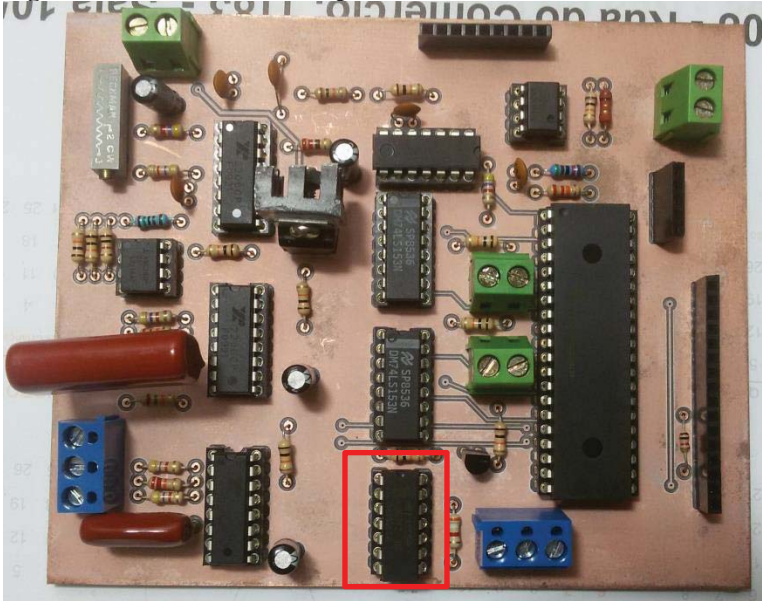
4.6 CIRCUITO COMPLETO

Figura 32 - Circuito Completo



Na Figura 35 é apresentada a placa já montada e com os componentes soldados.

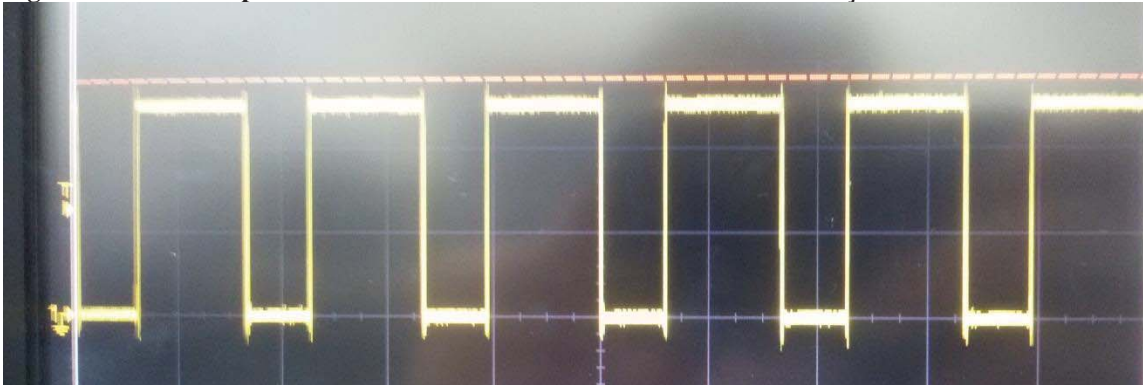
Figura 35 - Placa com os componentes



Fonte: O autor.

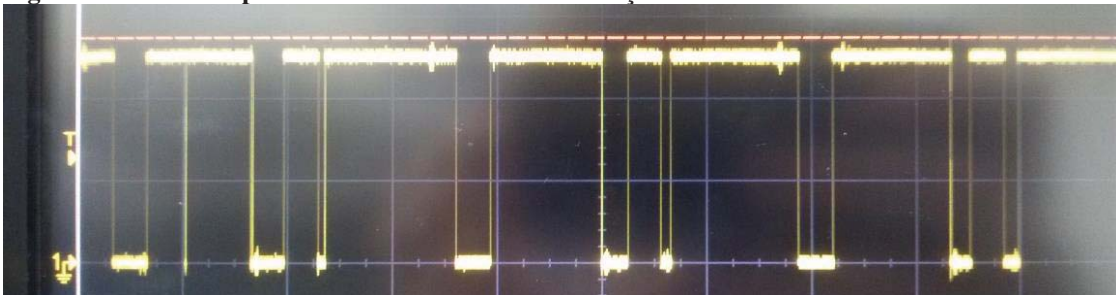
Tanto o projeto quanto a placa foram feitos pensando em utilizar uma porta lógica NAND (detalhe em vermelho na figura), porém esta não funcionou como deveria. Mesmo sendo testados mais de quatro CIs 4011, nenhum deles apresentou uma operação satisfatória. Segue abaixo fotos que demonstram o problema encontrado.

Figura 36 - Saída da porta NAND sem nenhuma entrada e com a alimentação correta e estável



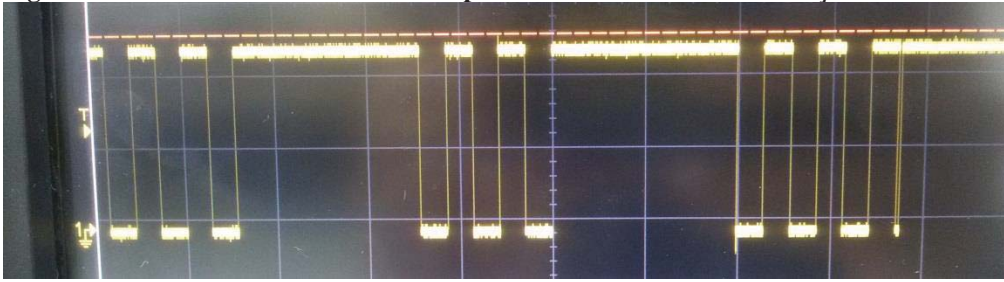
Fonte: O autor.

Figura 37 - Saída da porta NAND com as duas modulações



Fonte: O autor.

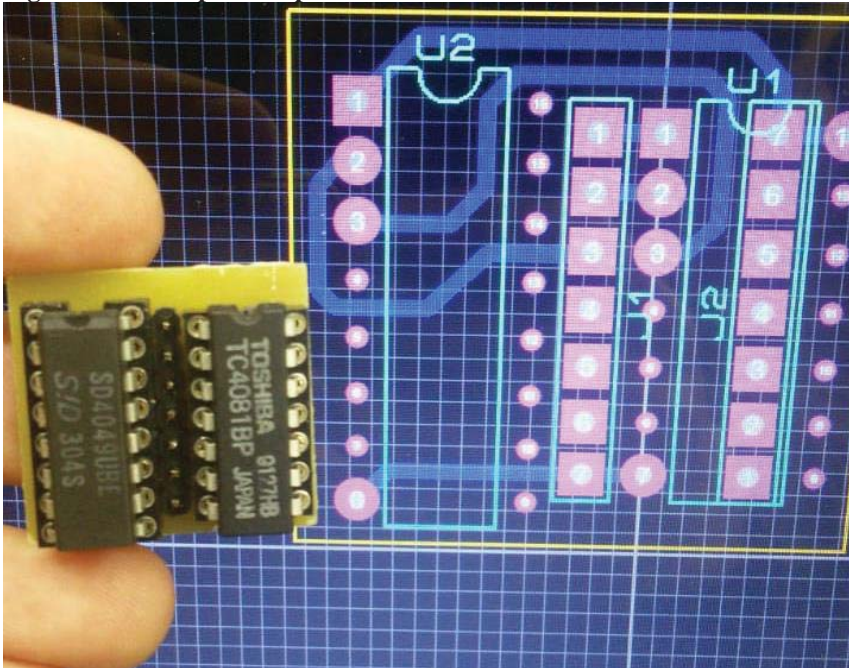
Figura 38 - Como deveria ser a saída da porta NAND em mesmas condições



Fonte: O autor.

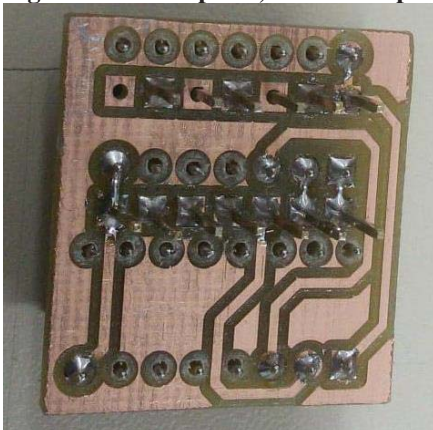
Para resolver esse problema, foi utilizado um CI 4081 (porta lógica AND) e um CI 4049 (porta lógica NOT), para igualar o funcionamento da porta NAND. Como a placa já estava montada, foi então confeccionada uma nova placa que coubesse no mesmo espaço utilizado pelo CI 4011. Seguem imagens do projeto e da placa impressa:

Figura 39 - Mini placa impressa



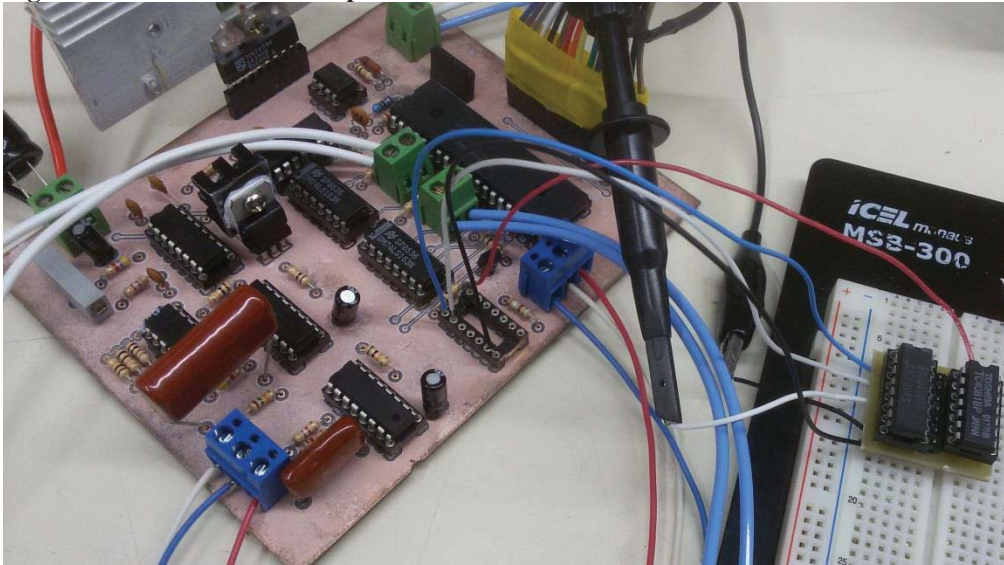
Fonte: O autor.

Figura 40 - Mini placa, detalhe da parte inferior



Fonte: O autor.

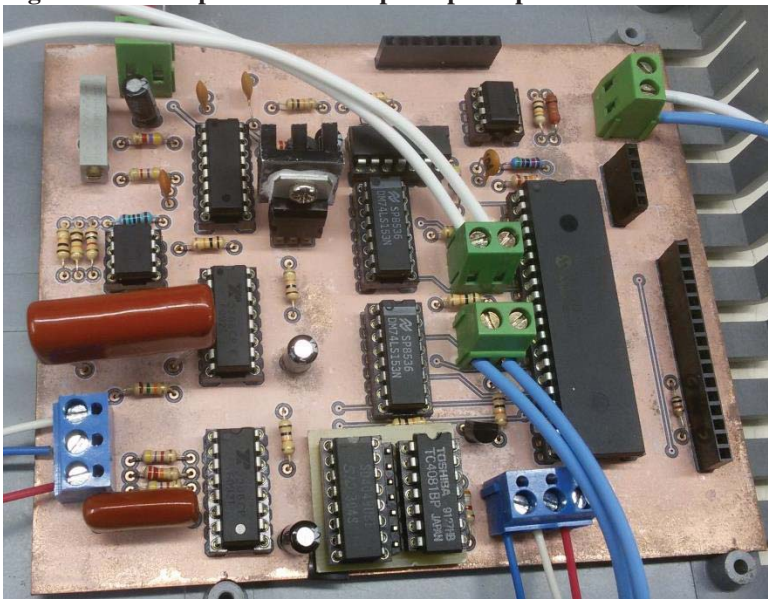
Figura 41 - Testes com a mini placa



Fonte: O autor.

Na Figura 42 é possível ver a placa finalizada, com a mini placa soldada, e já acoplada na caixa.

Figura 42 - Mini placa soldada à placa principal



Fonte: O autor.

Na Figura 43 é possível acompanhar a confecção da tampa dianteira. Logo após são apresentadas imagens da caixa de acoplamento finalizada.

Figura 43 - Confecção da tampa dianteira da caixa de acoplamento



Fonte: O autor.

Figura 44 - Tampa finalizada e com os componentes da IHM



Fonte: O autor.

Figura 45 - Detalhe da ligação dos componentes da IHM



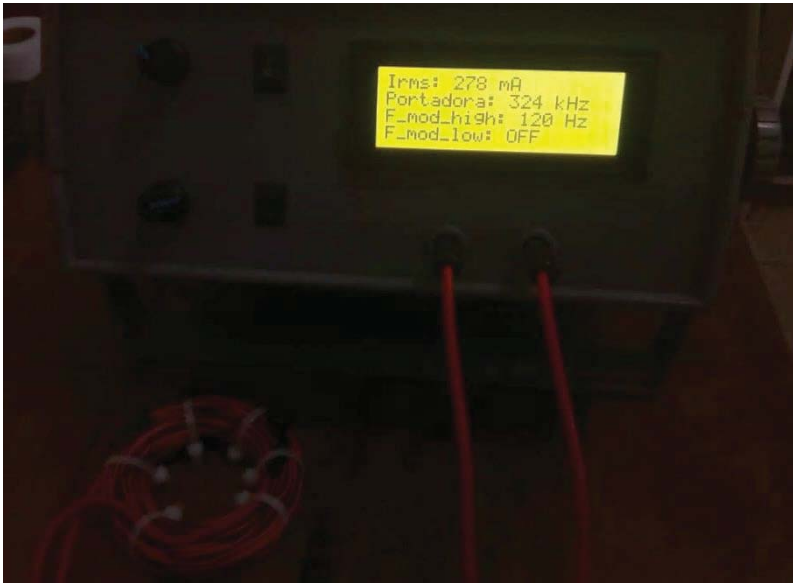
Fonte: O autor.

Figura 46 - Caixa de acoplamento finalizada



Fonte: O autor.

Figura 47 - Protótipo finalizado e funcionando



Fonte: O autor.

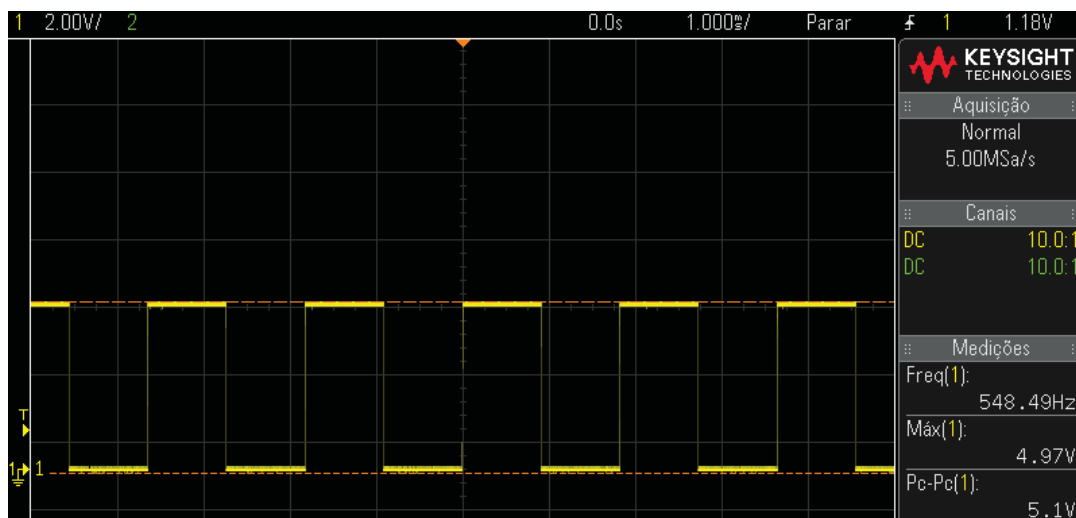
Detalhe: Imagem ficou escura para ser possível visualizar as informações do display.

5.2 SINAIS

Aqui são apresentados os resultados de testes com a placa e o protótipo finalizados, mostrando as frequências máximas e mínimas medidas.

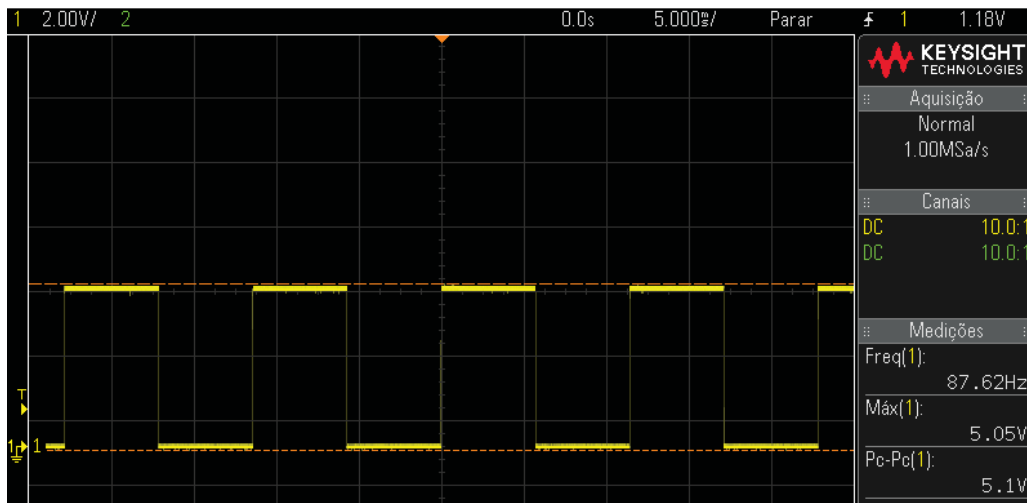
A F_{mod_high} teve uma frequência medida máxima de 548 Hz e uma frequência mínima de 87 Hz, enquanto os valores calculados eram de 545 Hz para o máximo e 89 Hz para o mínimo, diferença essa em função da tolerância dos componentes. Já a F_{mod_low} teve uma frequência medida máxima de 30 Hz e uma frequência mínima de 0,85 Hz, enquanto os valores calculados eram de 30 Hz para o máximo e 0,88 Hz para o mínimo.

Figura 48 - Frequência máxima da modulação alta



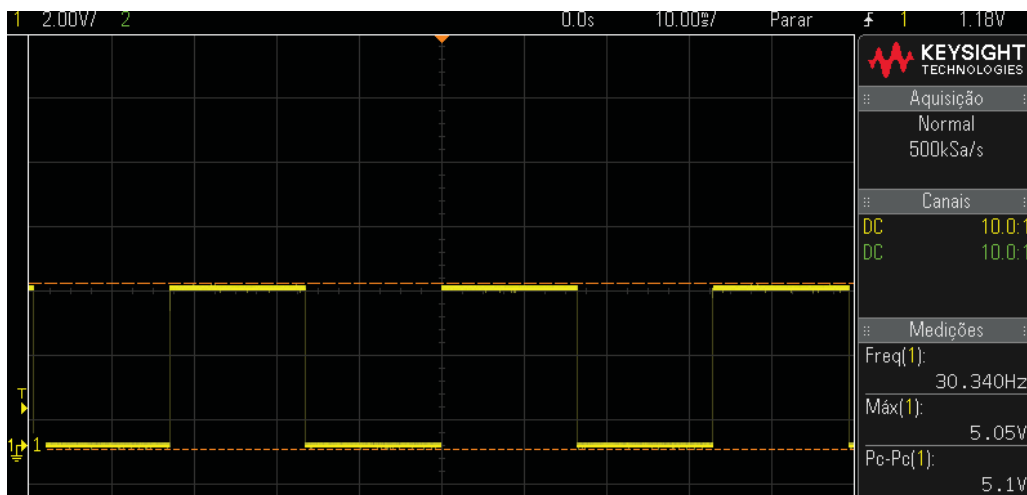
Fonte: O autor.

Figura 49 - Frequência mínima da modulação alta



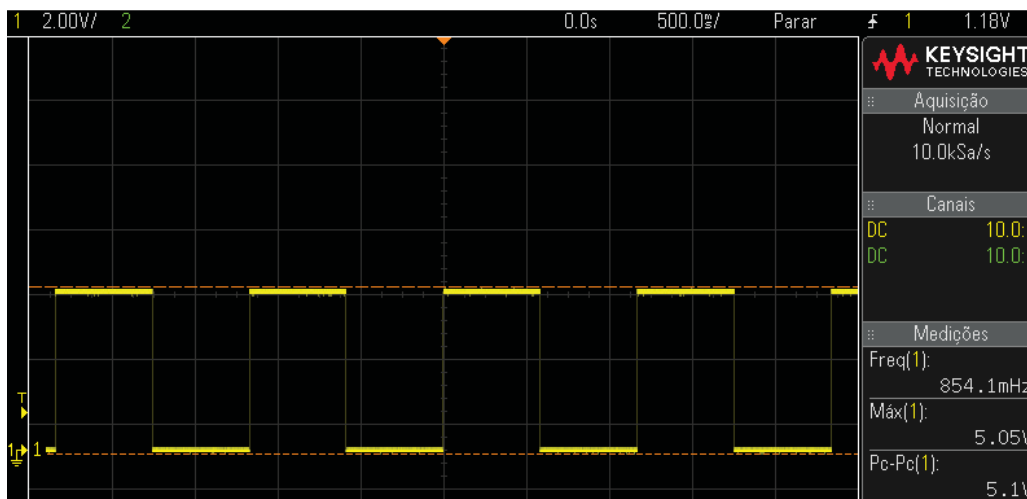
Fonte: O autor.

Figura 50 - Frequência máxima da modulação baixa



Fonte: O autor.

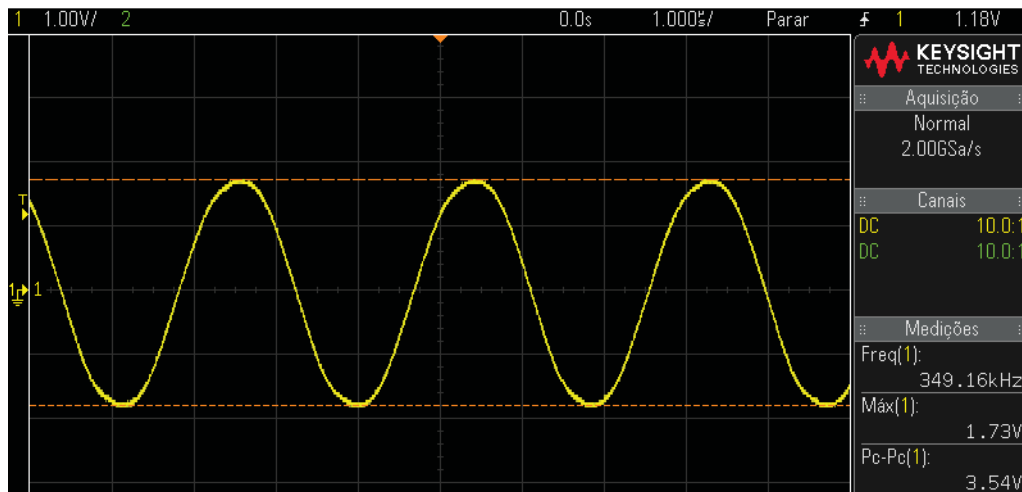
Figura 51 - Frequência mínima da modulação baixa



Fonte: O autor.

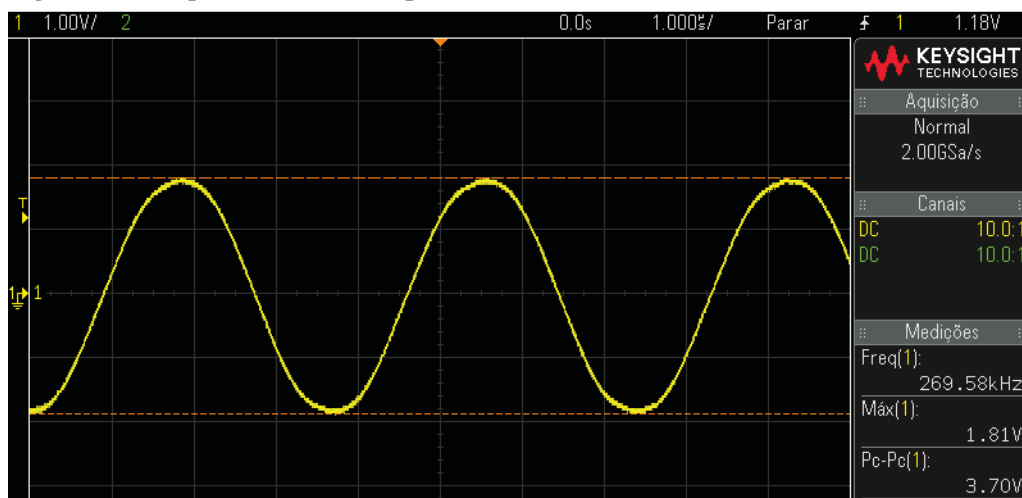
Já a portadora do sistema teve uma frequência medida máxima de 349 kHz e uma frequência mínima de 269 kHz, enquanto os valores calculados eram de 370 kHz para o máximo e 270 kHz para o mínimo, conforme Figura 52 e Figura 53.

Figura 52 - Frequência máxima da portadora



Fonte: O autor.

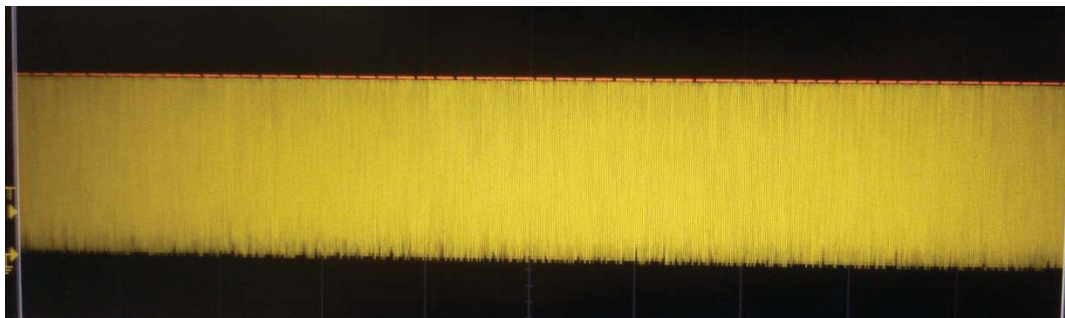
Figura 53 - Frequência mínima da portadora



Fonte: O autor.

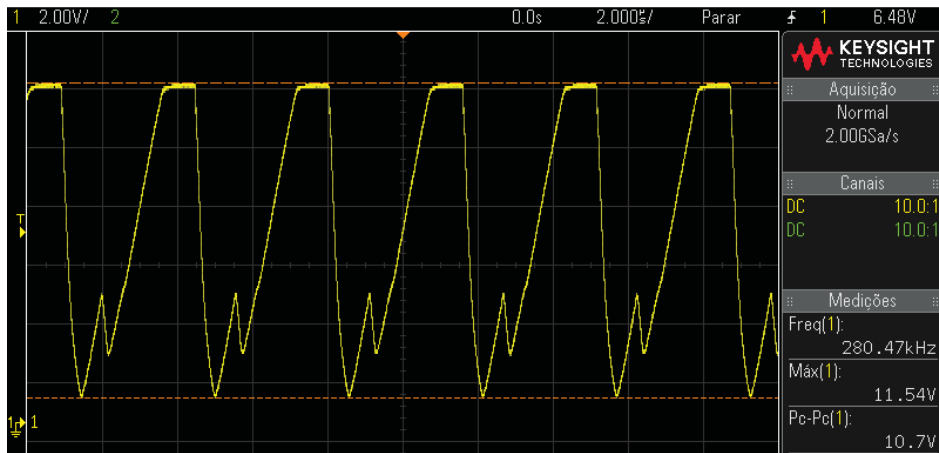
Detalhes da saída para a bobina, sinal após o amplificador:

Figura 54 – Sinal da Portadora puro



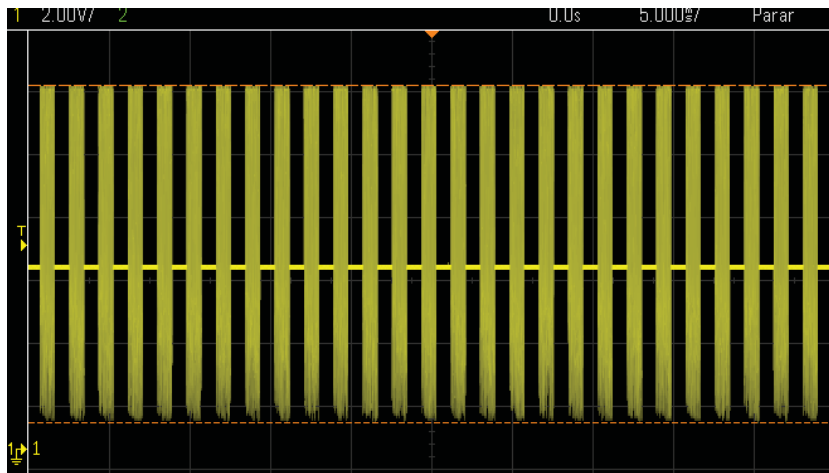
Fonte: O autor.

Figura 55 - Amplitude do Sinal da Portadora para a bobina



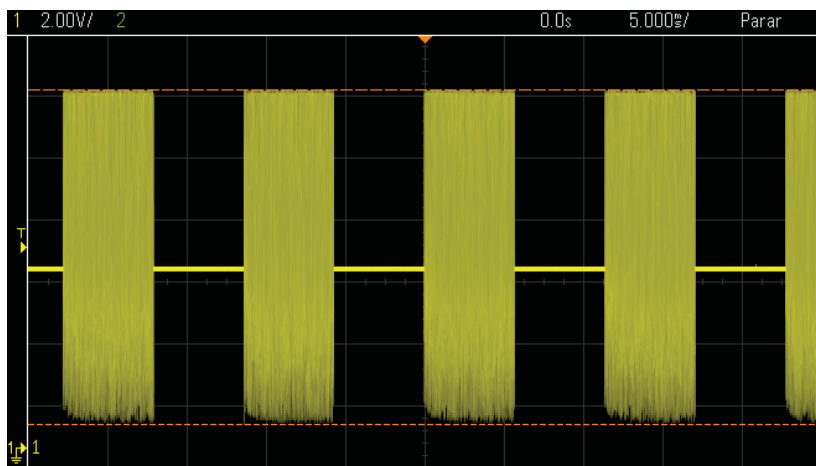
Fonte: O autor.

Figura 56 – Sinal com modulação alta ativa



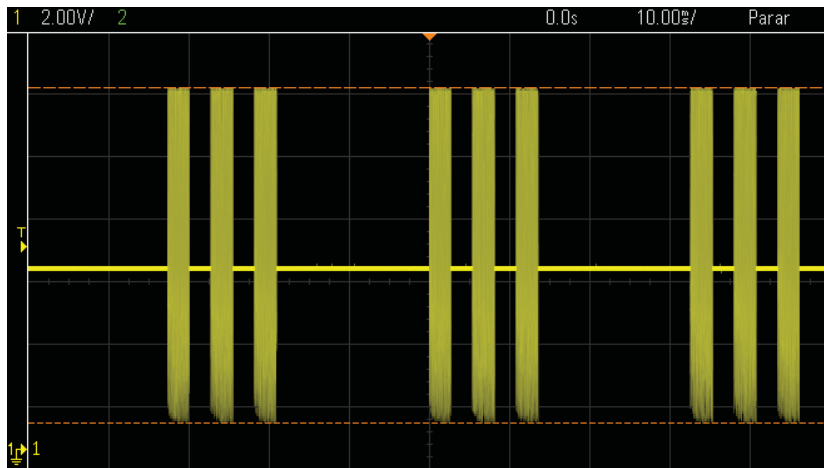
Fonte: O autor.

Figura 57 – Sinal com modulação baixa ativa



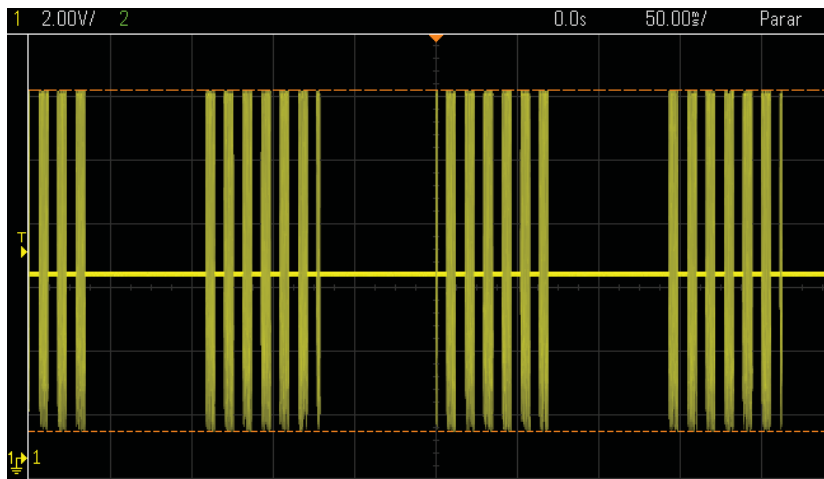
Fonte: O autor.

Figura 58 - Variações do sinal com as duas modulações



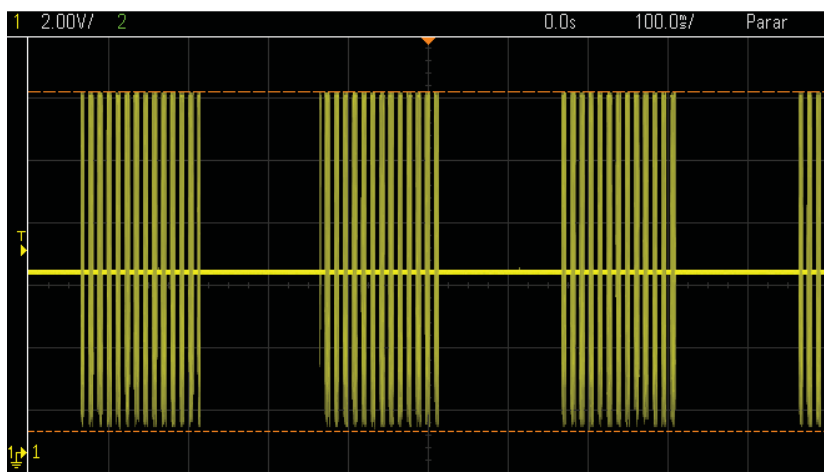
Fonte: O autor.

Figura 59 – Variações do sinal com as duas modulações



Fonte: O autor.

Figura 60 – Variações do sinal com as duas modulações



Fonte: O autor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo está funcionando de modo satisfatório em relação às especificações passadas ao aluno, tanto na sintonia automática da frequência de ressonância da bobina, como na modulação dos sinais. Para tanto, foram resolvidos vários problemas, desde as avaliações das alternativas para executar o projeto, como com CI's que não funcionaram como deveriam, além de um curto na placa de circuito impresso que custou uma semana inteira de desespero até ser encontrado. Tudo isso somado às disciplinas e ao estágio realizado nesse período.

Em questão das justificativas do projeto, o protótipo ficou acomodado em uma caixa para facilitar seu transporte, se mantendo leve e compacto, além de ser desenvolvido com componentes fáceis de serem encontrados, tornando-o um projeto de baixo custo.

Como sugestão futura, fica a utilização do microcontrolador para gerar as frequências de modulação, diminuindo assim o circuito do protótipo.

Pode-se sugerir ainda como continuação do projeto a utilização de campos elétricos puros, possíveis, por exemplo, com a troca da bobina de Mishin por uma bobina de Tesla, e que essa seja ligada ao gerador por um único fio, eliminando os efeitos eletromagnéticos na bobina causados pela corrente circulante. Outra sugestão é a utilização de um gerador de meia ponte auto oscilante, como o IR 2153, junto a um filtro LC para geração do sinal com uma amplitude maior.

Com o protótipo finalizado, se torna possível sua utilização por biólogos ou profissionais da área agrícola que tiverem interesse em pesquisar possíveis benefícios dessa nova tecnologia ainda tão pouco conhecida no Brasil.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de Cicruitos Elétricos**. 5^a. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- CIPELLI, A.; MARKUS, O.; SANDRINI, W. **Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos**. 23^a. ed. São Paulo: Érica, 2007.
- CRUZ, E. C. A.; CHOUERI, S. J. **Eletrônica Aplicada**. 2^a. ed. São Paulo: Érica, 2013.
- FRENZEL, J.; LOUIS, E. **Fundamentos de comunicação eletrônica**. 3^a. ed. Porto Alegre: AMGH, v. v.1, 2013.
- MARKUS, O. **Sistemas analógicos circuitos com diodos e transistores**. 8^a. ed. São Paulo: Érica, 2009.
- PICHORIM, S. F.; DESTEFANI, F. A. Estudo de Bobina Bifilar de Tesla como sensor para Engenharia Biomédica. **CBEB**, Paraná, n. XXII, Janeiro 2010.
- SEMICONDUCTOR, N. **NXP Semiconductor**. Disponível em: <<https://www.nxp.com/products/media-and-audio-processing/audio-amplifiers/class-ab/3-w-btl-mono-audio-output-amplifier-with-dc-volume-control:TDA7056A>>. Acesso em: 27 out. 2017.
- STERNHEIMER, J. **Method for the regulation of protein biosynthesis**. US20020177186A1, 2002.
- Энергодар. Самостоятельное изготовление катушек Мишина. **Энергодар**. Disponível em: <<http://energodar.net/zdorov.php?str=pribory/disk>>. Acesso em: junho 2018.

APÊNDICE A – Programação

Programação desenvolvida no software PCWHD Compiler.

```
#include <16f887.h>
#include <regs_887.h>
#include <delay (clock=4MHz)>
#include <display_PD.h> //biblioteca criada nas aulas de Micro I
#include <fuses INTRC_IO>

#define CLK RC1 //Clock do potenciometro digital
#define UPdown RC2 //pino de seleção up/down do potenciometro
#define mux_a RC4 //pino A de controle do mux da leitura das freq.
#define mux_b RC5 //pino B de controle do mux da leitura das freq.
#define mux2_a RC6 //pino A de controle do mux das modulações
#define mux2_b RC7 //pino B de controle do mux das modulações
#define F_low RA1 //Botão liga/desliga da F_mod_low
#define F_high RA2 //Botão liga/desliga da F_mod_high

float contf; //variável float para valores não inteiros
int16 temp, cont, p1, p2, corrente[21], atual; //variáveis de 16 bits diversas, explicadas
durante o programa
int a0, a1, a2, control, i, ii, freq, maior; //variáveis de 8 bits diversas
char texto[17]; //vetor de 17 posições para escrever no display

void converte(void); //função para converter a variável cont em dígitos separados para
poder escrever no display
void converte_high(void); //mesmo que acima, com função específica da F_mod_high
void converte_low(void); //mesmo que acima, com função específica da F_mod_low

void mostra (void); //função para escrever as variáveis em dígitos separados no display
void mostra_high (void); //mesmo que acima, específico para F_mod_high
void mostra_low (void); //mesmo que acima, específico para F_mod_low
void mostra_corrente (void); //mesmo que acima, específico para corrente

//Potenciometro
void wiper_tap_up(unsigned int up); //funções criadas para controlar o potenciometro
digital,->
void wiper_tap_down(unsigned int down); //->subindo ou descendo quantas posições forem
informadas na variável up ou down

void main(void){
    TRISA=0x07; //Pinos RA0, RA1 e RA2 como entrada
    TRISB=0x01; //Pino RB0-INT como entrada
    PORTB=0; //nível lógico baixo nas saídas da porta B
    TRISC=0x01; //Pino RC0-T1CKI como entrada
    PORTC=0; //nível lógico baixo nas saídas da porta C
    TRISD=0; //pinos da porta D como saída
    TRISE=0; //pinos da porta E como saída
```

```

inicializa(); //função de inicialização do display (biblioteca Display_PD.h)
control=0; //variável de controle para o 'menu principal'

//ESCREVE A TELA INICIAL NO DISPLAY
strcpy(texto,"Irms:"); //copia o conteúdo entre aspas para o vetor texto
escreve(0x80,texto); //escreve o vetor texto na posição 0x80
strcpy(texto,"Portadora:");
escreve(0xC0,texto);
strcpy(texto,"F_mod_high:");
escreve(0x94,texto);
strcpy(texto,"F_mod_low:");
escreve(0xD4,texto);

//CONFIGURAÇÃO DO AD
ANSEL=0x01; //pino RA0
ADCS1=1; ADCS0=1;
CHS3=0; CHS2=0; CHS1=0; CHS0=0; //seleção do canal correspondente
ADFM=1; //justificado a direita 10 bits
VCFG1=0;
VCFG0=0;
ADON=1; //liga o conversor A/D

//CONFIGURAÇÃO TIMER0
T0CS=0; //clock interno Fosc/4
PSA=0;
PS2=0; PS1=0; PS0=1; //prescaler 1:4

//CONFIGURAÇÃO DAS INTERRUPÇÕES
INTE=1; //interrupção externa
PEIE=1; //interrupções dos periféricos
GIE=1; //interrupções globais

while(true){ //laço principal
    switch(control) //controle em função da variável control
    {
        case 0: //quando a variável control está em 0

            //AJUSTE GROSSO DA FREQUENCIA

            mux2_a=0; //ignora as modulações para ajustar a frequência
            mux2_b=0;

            GO_DONE=1; //inicia a conversão da corrente na frequência mínima
            while(GO_DONE); //aguarda o fim da conversão
            corrente[0]=((ADRESH*256)+ADRESL); //grava a conversão no vetor corrente,
            deslocando ADRESH 8 bits

            //Laço para gravar no vetor todas as posições
            for(i=1;i<20;i++){
                wiper_tap_up(5); //sobe 5 taps do pot. dig.
            }
        }
    }

```



```

GO_DONE=1;
while(GO_DONE);
corrente[i]=((ADRESH*256)+ADRESL);
}

//Laço para procurar o maior valor lido no laço anterior
atual=0; //zera a variável utilizada para guardar o maior valor
for(i=0;i<20;i++){
  if(corrente[i]>atual){
    atual=corrente[i]; //valor da maior corrente
    freq=i; //posição da maior corrente
  }
}
cont=(freq+1)*5; //Frequencia onde está a maior corrente
control=1;
break;

case 1:
//AJUSTE FINO DA FREQUENCIA
//posição atual do pot. dig. é 100
maior=(100-cont)+5; //quantas posições voltar
wiper_tap_down(maior); //desce o tap do pot. dig. conforme variável anterior

GO_DONE=1; //inicia a conversão
while(GO_DONE); //aguarda o fim da conversão
corrente[0]=((ADRESH*256)+ADRESL);

//Laço para gravar cada leitura no vetor corrente
for(i=1;i<=10;i++){
  wiper_tap_up(1); //sobe 1 tap do pot. dig.
  GO_DONE=1; //inicia a conversão
  while(GO_DONE); //aguarda o fim da conversão
  corrente[i]=((ADRESH*256)+ADRESL);
}
atual=0; //zera a variável
for(i=0;i<=10;i++){ //encontra posição onde está a maior corrente
  if(corrente[i]>atual){
    atual=corrente[i];
    freq=i;
  }
}
maior=10-freq; //quantas posições voltar
wiper_tap_down(maior); //desce o tap do pot. dig. conforme variável anterior para
operar no ponto de maior corrente
//variável 'atual' tem o maior valor da corrente medido
if(atual<=654){cont=0;} //conforme leituras do A/D realizadas, a tensão não
ficou totalmente linear->
if(atual>654){cont=atual-571;} //-> com a corrente medida, dessa forma foi
desenvolvido um metodo para->

```

```

    if(atual>669){cont=((atual-668)*7)+208;} //-> estimar o valor da corrente de acordo
    com a leitura, deixando-a mais precisa
    converte();          //separa a variável 'cont', caracter por caracter para ser escrito no
display
    mostra_corrente();  //escreve os caracteres separados no display na posição especifica
    control=2;
    break;

```

```

case 2:
//CONTROLE DAS MODULAÇÕES, CONFORME VARIÁVEIS
CORRESPONDENTES AOS BOTÕES LIGA/DESLIGA

```

```

    if(F_high==1&&F_low==1){
        mux2_a=1;
        mux2_b=1;
    }
    if(F_low==0&&F_high==0){
        mux2_a=0;
        mux2_b=0;
    }
    if(F_low==1&&F_high==0){
        mux2_a=1;
        mux2_b=0;
    }
    if(F_low==0&&F_high==1){
        mux2_a=0;
        mux2_b=1;
    }
    control=3;
    break;

```

```

case 3:

```

```

//LEITURA DA FREQ. PORTADORA
//TIMER1 como contador
TMR1CS=1;    //módulo como contador
T1CKPS1=0;
T1CKPS0=0;   // prescaler 1:1
TMR1H=0x00;
TMR1L=0x00;  //palavra inicial da contagem em 0

TMR0IE=1;    //Habilita interrupção do Timer0
//TMR0=5;    //seta o valor do Timer0 250*4=1000*1us=1 ms, então 255-250=5
TMR0=13;     //valor ajustado pelo atraso da interrupção
control=4;
TMR1ON=1;    //liga o timer1 como contador
break;

```

```

//CONTROL 4 SERVE PARA O CIRCUITO FICAR EM STAND-BY ATÉ OCORRER
A INTERRUPÇÃO DO TIMER0

```

```

case 5:
    //SEQUENCIA LEITURA PORTADORA
    TMR0IE=0;           //Desabilita interrupção do timer0
    cont=((TMR1H*256)+TMR1L); //guarda a quantidade de pulsos registrados na
variável cont
    converte();        //separa em caracteres
    mostra();          //escreve no display
    control=6;
break;

case 6: //LEITURA F_MOD_HIGH
if(F_high==1){        //SÊ LIGADA A MODULAÇÃO ALTA, FAZ A LEITURA
    i=0;              //zera a variável antes de utilizá-la

    //TIMER1
    TMR1CS=0;         //módulo como temporizador
    TMR1H=0x00;
    TMR1L=0x00;       //palavra inicial em 0
    TMR1ON=1;         //Timer1 inicia a temporização
    mux_b=1;          //leva a F_high até o pino RB0

    while(i!=1);      //aguarda ocorrer a primeira interrupção externa
    p1=((TMR1H*256)+TMR1L); //grava o tempo atual
    while(i!=2);      //aguarda ocorrer a segunda interrupção externa
    p2=((TMR1H*256)+TMR1L); //grava o tempo atual
    temp=p2-p1;       //subtração para obter o tempo entre as interrupções
    mux_b=0;          //deixa RB0 ligado ao terra
    TMR1ON=0;         //desliga Timer1
    converte_high();  //separa em caracteres
    mostra_high();    //escreve no display
}
if(F_high==0){        //SE DESLIGADA A MODULAÇÃO ALTA, ESCREVE 'OFF'
    strcpy(texto,"OFF ");
    escreve(0xA0,texto);
}
control=7;
break;

case 7: //LEITURA F_MOD_LOW
if(F_low==1){        //SE LIGADA A MODULAÇÃO BAIXA, FAZ A LEITURA
    i=0;
    //TIMER1
    TMR1IF=0;         //zera o flag da interrupção do Timer1
    TMR1CS=0;         //módulo como temporizador
    TMR1H=0x00;
    TMR1L=0x00;       //palavra inicial em 0
    TICKPS1=1;

```

```

T1CKPS0=1;           // prescaler 1:8
TMR1ON=1;           //liga o timer1
mux_a=1;            //leva a F_low até o pino RB0

while(i!=1);        //aguarda ocorrer a primeira interrupção externa
p1=((TMR1H*256)+TMR1L); //grava o tempo atual
while(i!=2);        //aguarda ocorrer a segunda interrupção externa
p2=((TMR1H*256)+TMR1L); //grava o tempo atual
if(p2>p1){temp=p2-p1;} //como os tempos são grandes, se faz necessária a
utilização dessa lógica->
else{temp=65536-p1+p2;} //->para garantir um valor positivo de 'temp'
mux_a=0;            //deixa RB0 ligado ao terra
TMR1ON=0;           //desliga Timer1
converte_low();
mostra_low();
}
if(F_low==0){       //SE DESLIGADA A MODULAÇÃO BAIXA, ESCRIVE
'OFF'
    strcpy(texto,"OFF ");
    escreve(0xDF,texto);
}
control=2;          //NÃO É NECESSÁRIO UM NOVO AJUSTE DA
FREQUÊNCIA UMA VEZ QUE ESTÁ AJUSTADO
}
}
}

#INT_TIMER0         //FUNÇÃO DE TRATAMENTO DA INTERRUPÇÃO DO
TIMER0
void interrupt(void){
    TMR1ON=0;        //desliga o timer1
    TMR0IF=0;        //zera a flag
    control=5;
}

#INT_EXT            //FUNÇÃO DE TRATAMENTO DA INTERRUPÇÃO EXTERNA
void intext(void){
    i++;             //acrescenta +1 à variável i
    INTF=0;         //zera a flag
}

void converte (void) //separa a variável cont em caracteres
{
    a2=cont/100;    //321/100 = 3
    a1=(cont%100)/10; //321%100=21/10=2
    a0=cont%10;    //321%10=1
}

void converte_high (void)
{

```

```

    contf=1000000/temp; //equação da f_high
    cont=contf; //converte de float para int, necessária para fazer a divisão abaixo
    a2=(cont%1000)/100; // 21%1000=021/100 = 0
    a1=(cont%100)/10; // 21%100=21/10=2
    a0=cont%10; // 21%10=1
}

void converte_low (void)
{
    if(TMR1IF==1){contf=1250000/(temp+65536);} //equação da f_low se ocorreu
    interrupção
    else {contf=1250000/temp;} //equação da f_low sem interrupção
    cont=contf; //converte de float para int
    a2=(cont%1000)/100; // 21%1000=021/100 = 0
    a1=(cont%100)/10; // 21%100=21/10=2
    a0=cont%10; // 21%10=1
}

void mostra(void)
{
    RS=0;
    DADO=0xCB; tempo(); //posição onde é colocado o cursor
    RS=1;
    DADO=a2+0x30; tempo(); //escreve o caractere a2 adicionando 0x30
    DADO=a1+0x30; tempo();
    DADO=a0+0x30; tempo();
    strcpy(texto,"kHz"); //prefixo kHz ao fim
    escreve(0xCF,texto);
}

void mostra_high(void)
{
    RS=0;
    DADO=0xA0; tempo(); //posição onde é colocado o cursor
    RS=1;
    DADO=a2+0x30; tempo();
    DADO=a1+0x30; tempo();
    DADO=a0+0x30; tempo();
    strcpy(texto,"Hz"); //prefixo Hz ao fim
    escreve(0xA4,texto);
}

void mostra_low(void)
{
    RS=0;
    DADO=0xDF; tempo(); //posição onde é colocado o cursor
    RS=1;
    DADO=a2+0x30; tempo();
    DADO=a1+0x30; tempo();
    DADO='.'; tempo(); //adiciona a vírgula, não necessita 0x30 por estar entre aspas
}

```

```

DADO=a0+0x30; tempo();
strcpy(texto,"Hz"); //prefixo Hz ao fim
escreve(0xE4,texto);
}

void mostra_corrente(void)
{
RS=0;
DADO=0x86; tempo(); //posição onde é colocado o cursor
RS=1;
DADO=a2+0x30; tempo();
DADO=a1+0x30; tempo();
DADO=a0+0x30; tempo();
strcpy(texto,"mA"); //prefixo mA ao fim
escreve(0x8A,texto);
}

//FUNÇÃO DESENVOLVIDA PARA ALTERAR O TAP DO POT. DIG.
void wiper_tap_up(unsigned int up){ //função void não retorna nada, recebe uma variável
up
UPdown=1; //pino do X9C102 para subir o tap
delay_ms(2); //delay para garantir o correto funcionamento
for(ii=0;ii<up;ii++){ //laço para alterar a quantidade informada de posições
CLK=1;
delay_ms(2);
CLK=0; //incremento ocorre na borda de descida
delay_ms(2);
}
}

void wiper_tap_down(unsigned int down){
UPdown=0; //pino do X9C102 para descer o tap
delay_ms(2);
for(ii=0;ii<down;ii++){
CLK=1;
delay_ms(2);
CLK=0; //incremento na borda de descida
delay_ms(2);
}
}

```

ANEXO A - Experimentos

Aqui será mostrado alguns experimentos de germinação de sementes com as bobinas de Mishin encontrados no YouTube.

Um primeiro experimento, realizado pelo pesquisador russo Valentin Dandorf, foi com sementes de aveia e coentro que estavam guardadas há cinco anos em um depósito. As sementes foram separadas em duas pequenas quantidades e colocadas em recipientes separados. Um dos recipientes foi deixado em cima da bobina (Figura 61) por 30 minutos quando estava sendo aplicada a mesma um sinal senoidal com uma frequência de 268 kHz e uma corrente de 320 mA (pico a pico). A bobina estava na posição horizontal e com o enrolamento voltado para cima.

Figura 61 - Bobina utilizada no primeiro experimento



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=83D9pMUFAqM&feature=youtu.be>

Após ser aplicado o campo elétrico estacionário sobre um dos recipientes, ambos ficaram em condições idênticas para germinarem. Os resultados mostraram que as sementes processadas com a bobina (Figura 63) tiveram uma germinação mais rápida do que as não processadas (Figura 62).

Figura 62 – Sementes de aveia e coentro não processadas



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=NM41yaxD-ok&feature=youtu.be>

Figura 63 – Sementes de aveia e coentro processadas



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=NM41yaxD-ok&feature=youtu.be>

Já um segundo experimento com sementes de trigo, também realizado por Valentin Dandorf e de forma parecida, mostrou visíveis diferenças na germinação, como podemos ver na Figura 64 e na Figura 65. Os parâmetros informados foram de uma exposição de 30 minutos com uma frequência de 292 kHz e uma corrente de 250 mA (rms).

Figura 64 - Sementes de trigo com exposição à bobina



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=inhRxZC046E>

Figura 65 - Sementes de trigo sem exposição à bobina



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=inhRxZC046E>

Em um terceiro experimento, realizado pelo canal ‘madebyme’ com sementes de aveia, foram separadas quatro porções iguais em recipientes separados. Em um recipiente foi aplicado sinal seno e em outro foi aplicado um sinal retangular, mas os parâmetros dos sinais não foram divulgados. Os dois recipientes restantes não foram expostos a nenhum tipo de sinal. Como pode ser visto na Figura 66, o sinal seno melhorou visivelmente a germinação em comparação aos dois recipientes sem exposição. Já o sinal retangular prejudicou a germinação.

Figura 66 - Resultado de experimento sementes de aveia



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=AO71HhqaN4c>