

DESENVOLVIMENTO DE DRIVE PARA SERVO MOTOR CC

Lucas Vinícius Longhi¹
Vicente de Lima Gongora²

RESUMO

Industrialização, Automatização, Qualidade e Velocidade em Processos Industriais. Analisando esses termos de forma detalhada, é possível concluir que todos eles nos levam à um mesmo destino, esse destino é definido basicamente na capacidade de dominar o controle de Servos Acionamentos, sendo o principal deles o acionamento de Servos Motores que se dá através de um circuito eletrônico chamado de Servodrive. Diante disso, através de algumas topologias de eletrônica de potência e eletrônica analógica o artigo visa expor o desenvolvimento de um servo drive para motor CC. O desenvolvimento de uma fonte chaveada específica também se faz presente nesse artigo para alimentar a placa drive onde ocorrerá o controle de potência do Servomotor.

Palavras-chave: Acionamento. Servomotor. Servodrive. Drive.

DRIVE DEVELOPMENT FOR SERVO MOTOR CC

ABSTRACT

Industrialization, Automation, Quality and Speed in Industrial Processes. Analyzing these terms in detail, it is possible to conclude that all of them lead us to the same destination, this destiny is basically defined in the ability of dominate the control of Servos Drives, being the Servos Motors drive the main one, that occurs through an electronic circuit called the Servodrive. Thus, through some topologies of power electronics and analog electronics the article aims to expose the development of a servo drive for DC motor. The development of a specific switched source is also present in this article to feed the drive board where the power control of the Servomotor will occur.

Key-words: Drive. Servo-motor. Servodrive.

¹ Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial E-mail: lucavilon@gmail.com

² Titulação. Docente da Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. E-mail: Vicente.gongora1@gmail.com

6. INTRODUÇÃO

Atualmente é indispensável a utilização de Servomotor na indústria, isso acontece devido à grande capacidade de precisão e velocidade que esse equipamento pode proporcionar. Um Servomotor nada mais é do que um motor de alto torque, velocidade e alta precisão, esse nome é intuitivo, pois a definição “Servo” significa que ele é escravo do seu controle, ou seja, é um motor que obedece exatamente a posição comandada pela eletrônica envolvida. Afinal, o que há de tão especial nesse equipamento que o torna tão valioso na indústria? Esta tecnologia foi desenvolvida durante a segunda guerra mundial, pois o pós-guerra trouxe um aumento considerável na qualidade de vida, consequentemente a demanda produtiva aumentou, forçando as indústrias a buscarem por novas soluções, cada vez mais com o aumento de produtividade, robustez e dinâmica (OTTOBONI, 2002). O produto desenvolvido que atendeu todos esses fatores foi o Servomotor, e tem sido ainda mais utilizado nos dias de hoje, pois com o aumento da tecnologia eletrônica e digital esse equipamento vem tomando as indústrias e automatizando grande parte dos processos que antes eram manuais. A utilização mais comum que pode ser vista atualmente no mercado são os braços robóticos em linhas de montagens automotivas, cada articulação e cada movimento feito pelo robô certamente é um Servomotor executando trabalho. Além dessa aplicação existem muitas outras para esta tecnologia, pois tudo que precisa de velocidade, precisão e dinâmica, a melhor opção é o Servomotor.

Um Servomotor tem como características principais um torque constante em larga faixa de rotação (até 4500rpm), uma larga faixa de controle de rotação e variação (até 1:3000) e alta capacidade de sobrecarga. Essas características não são obtidas somente colocando o Servomotor na rede elétrica, não é tão simples assim, e por isso também não é uma tecnologia tão barata e acessível. Todo Servomotor precisa de um Servoconversor, que nada mais é que um circuito eletrônico capaz de converter a energia fornecida pela rede elétrica em sinais elétricos estrategicamente injetados conforme a necessidade do processo e o campo girante do Servomotor (OTTOBONI, 2002). O objetivo desse estudo é a criação de um Servoconversor para controlar um Servomotor de Corrente Contínua que teve seu conversor danificado sem possibilidades de manutenção, a fim de entender e dar os primeiros passos no desenvolvimento dessa tecnologia tão utilizada no mercado industrial mundial e tão restrita por seus fabricantes.

7. HISTÓRIA DO SERVO MOTOR

Essa tecnologia teve seu desenvolvimento durante a segunda guerra mundial.

O pós-guerra trouxe aumento da qualidade de vida, uma crescente preocupação com a saúde e ecologia, uma maior competição entre empresas, novos produtos e serviços.

Esta demanda cada vez maior de produtos e serviços, criou uma crescente necessidade de aumento de produção industrial, mantendo-se e, se possível, aumentando-se os níveis de qualidade, cada vez maiores, nos produtos.

Esta solicitação de incremento de produção em todos os seguimentos do mercado exigiram o desenvolvimento de um novo produto, mais dinâmico, robusto e preciso (OTTOBONI, 2002, p.7).

Agora vamos nos imaginar no lugar de um empresário industrial no pós-guerra, a demanda produtiva aumentando, a qualidade sendo exigida cada vez mais, e o déficit de mão de obra devido ao grande número de mortes na Segunda Guerra Mundial, esse cenário não era vivido apenas por um empresário, e sim por vários empresários, e de vários segmentos. Diante desse problema nasceu a grande necessidade de maquinários com maiores capacidades de produção automatizada, visando a qualidade e a velocidade no processo. A solução era renovar todo o maquinário antigo, ou optar pelos Retrofittings, que significa reprojeter os maquinários existentes com novas tecnologias. “Nesses Retrofittings, uma das tecnologias mais utilizadas é o Servoacionamento, composto por Servomotor mais Servoconversor” (OTTOBONI, 2002, p.8).

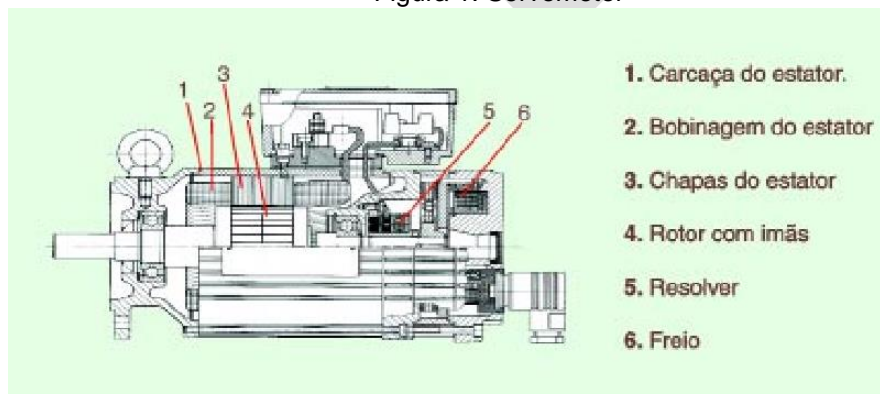
8. FUNCIONAMENTO DO SERVO MOTOR

Servomotor é uma máquina constituída por alguns componentes semelhantes a um motor de indução, que é o rotor e o estator.

O estator no Servomotor são bobinados igual a um motor de indução convencional, porém não pode ser ligado na rede elétrica, pois sua bobinagem é confeccionada para garantir maior precisão e velocidade para a máquina.

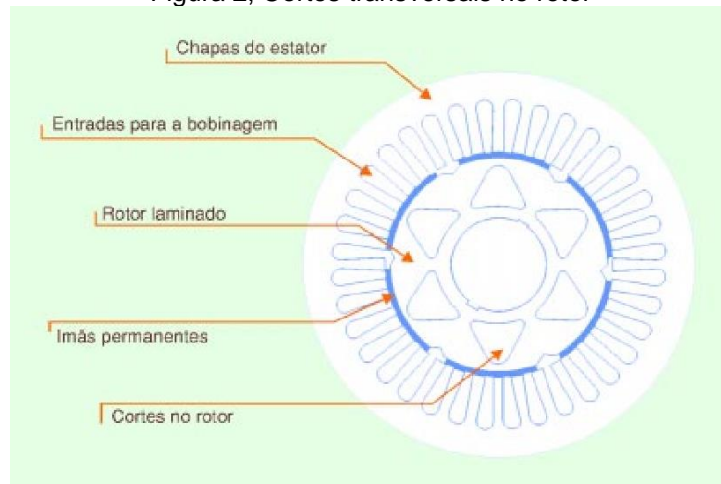
O rotor é confeccionado com ímãs permanentes distribuídos linearmente. Além do rotor e o estator, uma das coisas que mais diferencia visivelmente um Servomotor de um motor convencional, é o encoder ou o resolver que são dispositivos que acompanham o eixo para fazer leitura de posição e velocidade (OTTOBONI, 2002). Na Figura 1 e 2 é possível verificar a construção mecânica de um Servomotor.

Figura 1: Servomotor



Fonte: Ottoboni (2002)

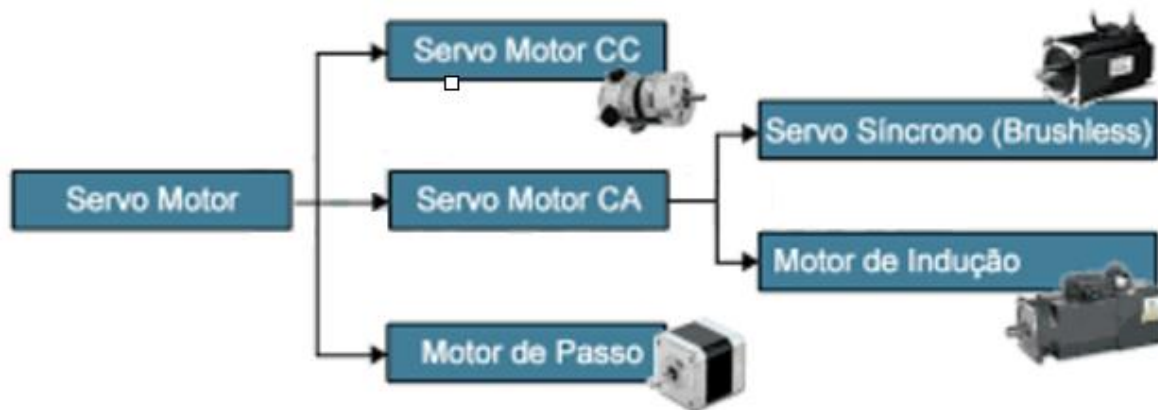
Figura 2, Cortes transversais no rotor



Fonte: Ottoboni (2002)

Existem algumas divisões na família de Servomotores, que está sendo ilustrada pela Figura 3 a seguir.

Figura 3, Tipos de Servomotores



Fonte: Citisystems¹

O Servomotor utilizado nesse projeto é o CC (Corrente Contínua), portanto toda pesquisa é voltada para esse tipo de Servomotor, pois cada Servoconversor é fabricado de acordo com as características intrínsecas do Servomotor.

3.1 Diferença entre servo motor com motores convencionais

¹ Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>. Acesso em 13/11/2018

Figura 4, Diferença entre Servoacionamento e Motor Convencional

TABELA 1 – Diferenças entre Servoacionamento e Acionamento Convencional

Servoacionamento	Acionamento Convencional
• Grande controlabilidade de velocidade (1:100000)	• Controlabilidade moderada (1:20 a 1:100)
• Realimentação de malha fechada (precisa)	• Realimentação simples ou malha aberta
• Controle sobre o torque	• Menor controle do torque
• Elevada dinâmica: rápida aceleração e frenagem	• Dinâmica moderada
• Elevada capacidade de sobrecarga	• Menor capacidade de sobrecarga
• Menor relação peso/potência	• Maior relação peso/potência
• Especificado pelo torque	• Especificado pela potência

Fonte: UTFPR - Ponta Grossa - Apostila de Servo Motor ¹

3.2 Funcionamento de Servo Motor CC

O Servomotor de Corrente Contínua assim como motores convencionais possui como característica construtiva duas estruturas, que são o Rotor e o Estator.

O estator de um motor CC pode ser constituído de um enrolamento de campo ou de ímãs permanentes. Em ambos os casos, o objetivo do estator é fornecer ao rotor o campo magnético que fará com que os rotores movam quando aplicada uma corrente elétrica. O circuito do rotor é denominado por circuito de armadura (ARRUDA RUSSOLO, 2011, p.5).

Abaixo na Figura 5 vemos um Servomotor CC desmontados, dessa forma é possível analisar cada componente que compõe sua construção.

Figura 5, Servo Motor CC, Vista Explodida

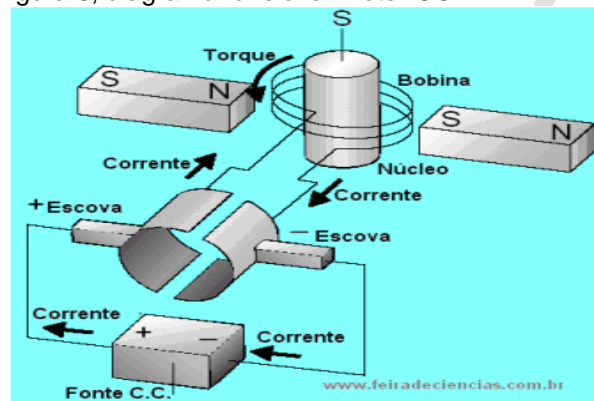


¹ Disponível em: http://paginapessoal.utfpr.edu.br/edisonasilva/conversao-de-energia-2/servomotor-cc/Apostila_ServoCC.docx/view. Acesso em 03/02/2017

Fonte: Citisystems¹

A diferença construtiva de um motor CC para um motor AC, é que os motores CC necessitam gerar uma alternância no sentido de polaridade, nos motores AC esse processo é mais simples, pois a tensão é alternada facilitando a alteração de polaridade no magnetismo. Conforme imagem acima, o item responsável por criar essa alternância de polaridade nos motores CC, é o Comutador conhecido induzido, é nele que as escovas fazem a transferência de corrente elétrica para o rotor. Os motores CC normalmente são mais utilizados quando se trata de precisão, pois seu controle de velocidade se dá pela variação de tensão, já nos motores convencionais alternados esse controle de velocidade só é possível através da alteração da frequência da rede, que conseqüentemente diminui a velocidade do campo girante no estator. A Figura 6 ilustra o comportamento de um motor CC.

Figura 6, diagrama funcional motor CC



Fonte: Ferraz Netto²

9. UTILIZAÇÃO DE SERVOMOTOR

Servomotores são utilizados nos processos industriais de diversos seguimentos desde que necessite de algumas características no mesmo processo, são elas: velocidade, torque e precisão. Esses equipamentos é o que a de melhor no mercado industrial atualmente para se desenvolver robótica e automação. Na Figura 7 e 8 é possível analisar algumas aplicações de Servomotores na indústria.

¹ Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>. Acesso em 13/11/2018

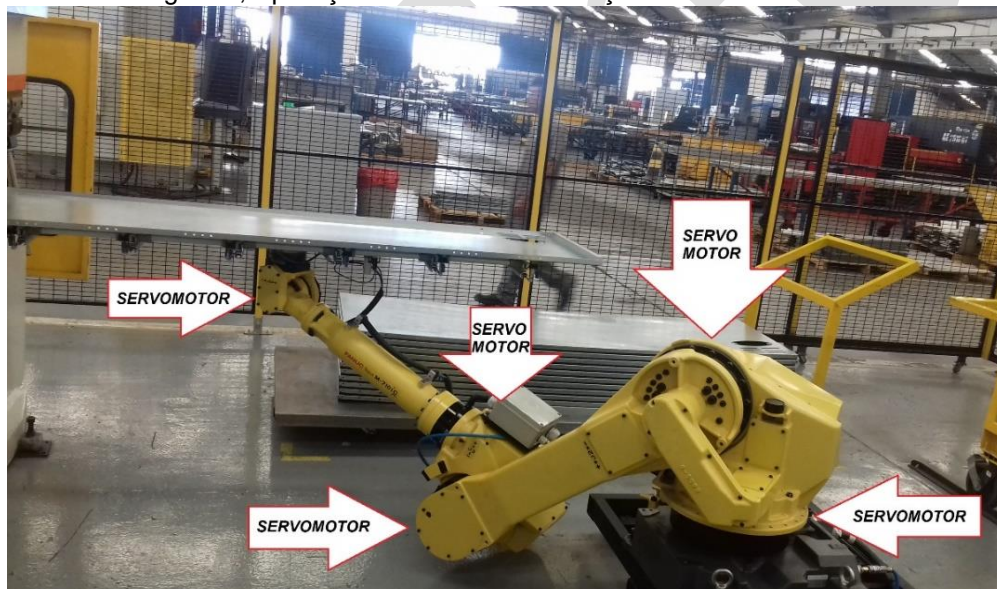
² Disponível em: http://www.feiradeciencias.com.br/sala22/motor_teor1.asp. Acesso em: 03/12/2017

Figura 7, Aplicação Servo-motor 1 - Puncionadeiras



Fonte: Autor (2017).

Figura 8, Aplicação Servomotor 2 - Braços Robóticos



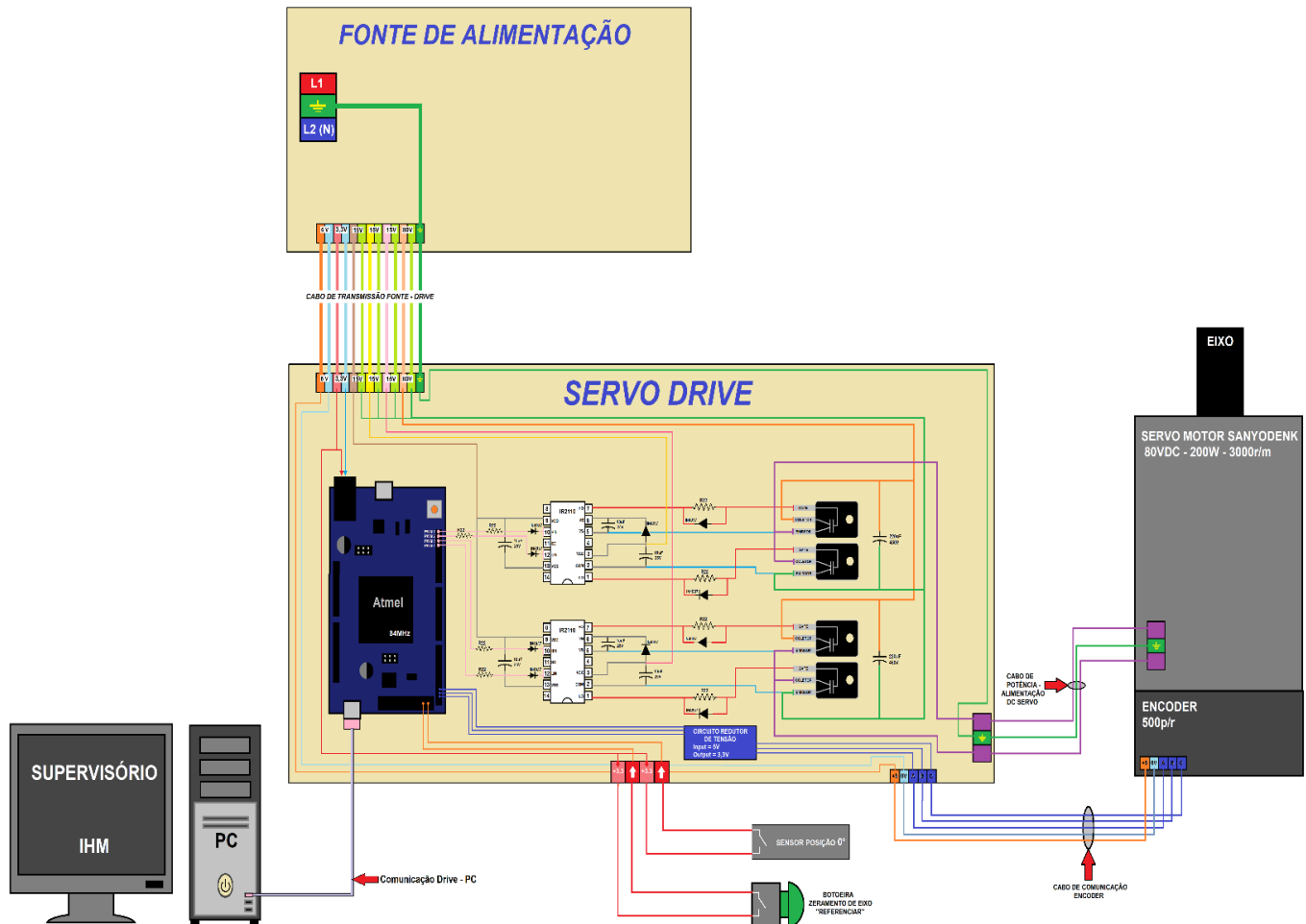
Fonte: Autor (2017)

10. DIAGRAMA FUNCIONAL DO PROJETO

Esse trabalho propõe o desenvolvimento eletrônico de um Servodrive ou em outras palavras Servoconversor para controlar um Servomotor de corrente contínua. Além da confecção do Servoconversor, o projeto visa desenvolver a fonte de alimentação com tensões especiais exclusivas para o uso do Servoconversor, o desenvolvimento de uma bancada didática onde será possível analisar a precisão e velocidade geradas pelo Servodrive juntamente com o Servo motor.

Abaixo na Figura 9 é possível analisar o projeto como um todo, a disposição dos componentes do projeto e as ligações elétricas e eletrônicas principais para o funcionamento pleno do Servomotor.

Figura 9 - Objetivo Principal



Fonte: Autor (2017)

11. DESENVOLVIMENTO PRÁTICO DO PROJETO

6.1 Servo Motor Utilizado

Saber qual o Servomotor que será utilizado é a primeira coisa a se fazer na confecção de um Servodrive. Pois cada Servomotor possui seu Servoconversor desenvolvido exclusivamente um para o outro.

O Servomotor utilizado nesse projeto é de Corrente Contínua (CC), seu fabricante é a SANYODENKI. As características principais analisadas nesse Servomotor para esse projeto são (SanyoDenki).

: Potência Elétrica = 200W;

- Tensão Max. de Trabalho = 80VDC;
- Corrente Max. de Trabalho = 3 Amperes;
- Leitura do Encoder = 500 pulsos/rotação.

Na Figura 10 observamos a imagem do Servomotor utilizado.

Figura 10, Servomotor CC, SanyoDenki



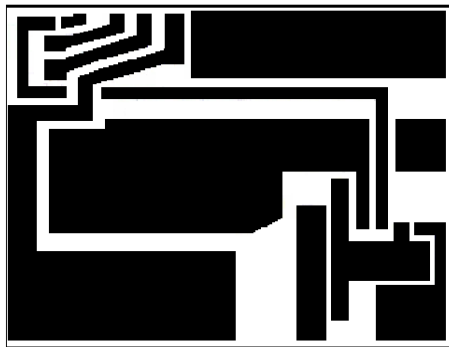
Fonte: Datasheet DC Servo Systems - SANYODENK

6.2 Fonte Chaveada para fornecer as Tensões DC para o Circuito de Controle

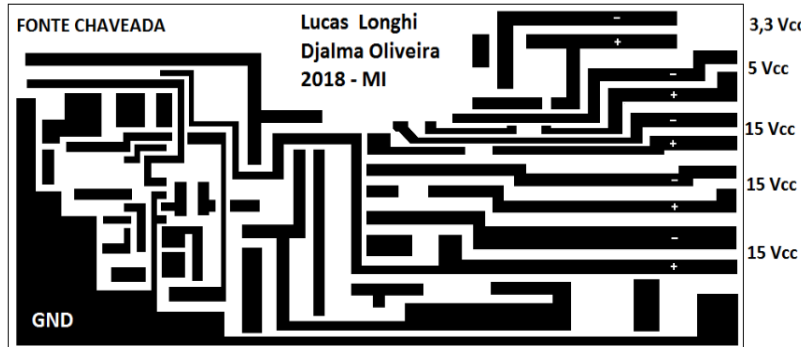
A fonte chaveada desenvolvida nesse projeto, apesar de não ser o foco do trabalho tomou boa parte do tempo em laboratório durante o desenvolvimento. A fonte foi dividida em duas placas, a primeira converte a tensão AC de 100 à 230 Volts para um único barramento CC (corrente contínua) e GND, também nesta mesma placa deriva um barramento de 15Vcc constantes independentes das tensões de entrada.

Na segunda placa é onde se encontra o circuito “Flyback”, nome utilizado para uma topologia de conversores na eletrônica de potência, nesta placa é onde se localiza o controle analógico da fonte e o transformador. As duas placas foram confeccionadas manualmente. A figura 11 ilustra as imagens dos PCB's que foram utilizados na confecção das mesmas.

Figura 11, Imagem PCB da Fonte Chaveada



1° Placa

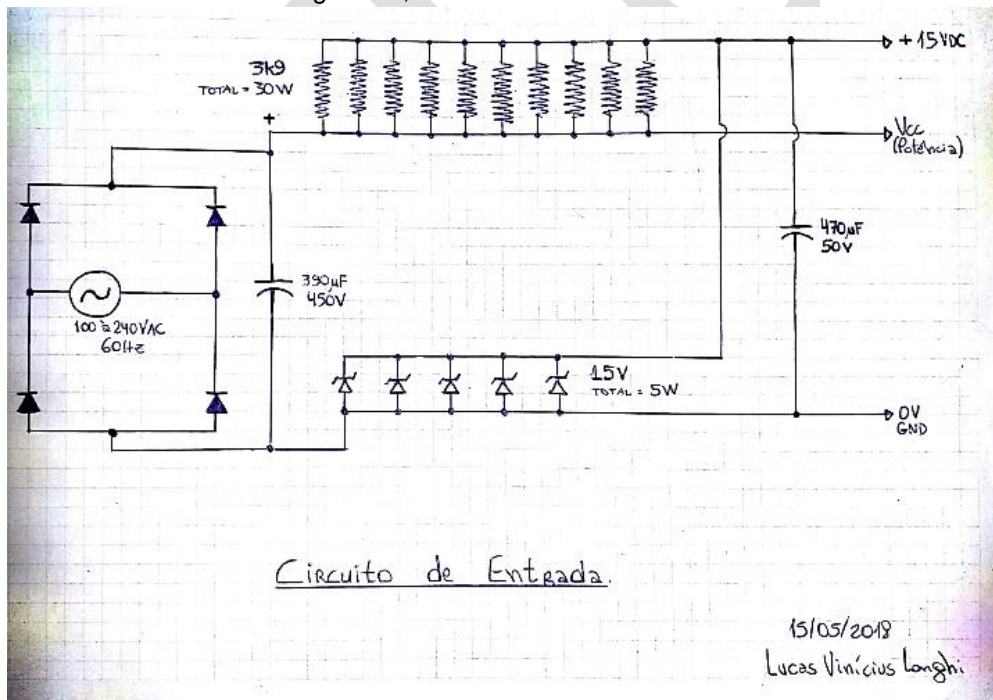


2° Placa

Fonte: Autor (2018)

Explorando melhor a primeira placa podemos analisar na figura 12 seu circuito eletrônico.

Figura 12, Circuito de Entrada Fonte



Fonte: Autor (2017)

O circuito da primeira placa da fonte inicialmente utiliza uma ponte retificadora para converter todos os semi-ciclos de uma rede alternada em positivo. Em seguida em paralelo com a rede temos um capacitor de 390uF 450Volts que impede que os semi-ciclos positivos retornem a zero entre cada período. O capacitor foi inserido no

circuito para garantir que o Vriple (tensão em relação ao tempo da carga e descarga do capacitor) seja nulo, garantindo um sinal liso e contínuo no barramento Vcc de potência, o valor do capacitor está superdimensionado, pois em um projeto futuro pretende-se utilizar essa mesma placa para alimentar um segundo Servomotor. Ao passar por essa etapa a tensão de entrada de 127Vrms passa a ser 180Vcc no barramento de potência, se a tensão de entrada for 220Vrms a tensão no barramento de potência será de 311Vcc. Com isso temos na saída o barramento Vcc de potência e o GND, portanto ainda falta o barramento de 15Vcc, este barramento chegou nesse valor após passar por um circuito de diodo zener paralelo com o barramento de potência, que regula a tensão de entrada de 180 a 311Vcc para 15Vcc, finalizando assim todos os barramentos previsto nessa primeira placa. Na próxima figura vemos a imagem da placa real após finalizada.

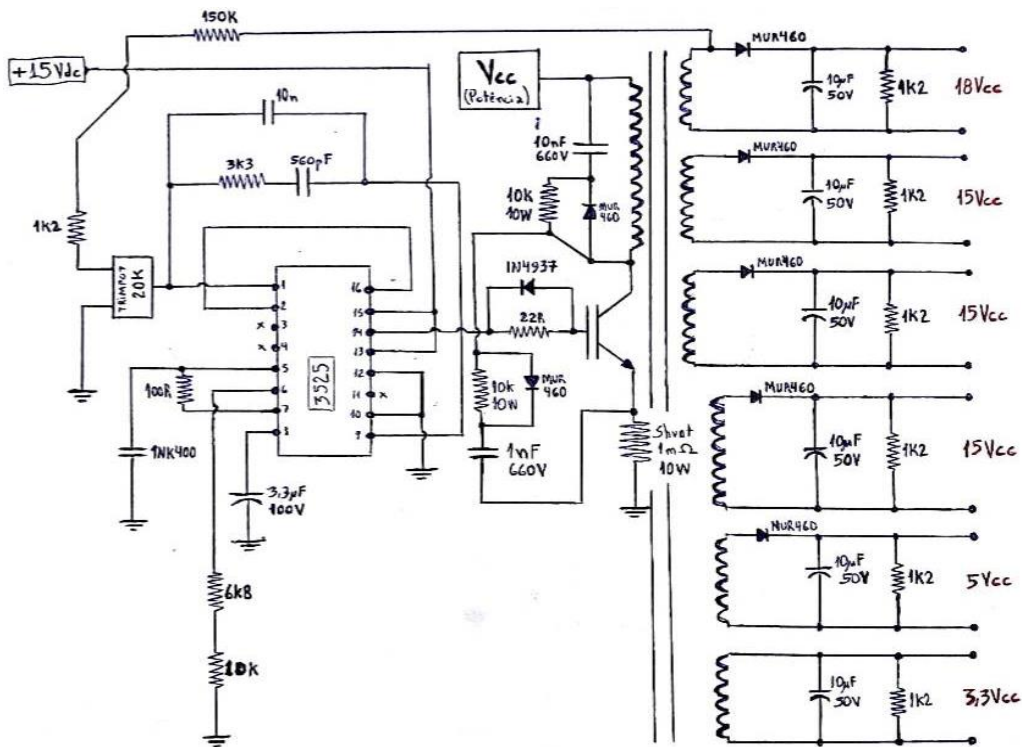
Figura 12, Fonte - Placa 1



Fonte: Autor (2017)

A segunda placa da fonte é a principal, pois é nela que se encontra o transformador e o CI 3525, que foi escolhido devido as suas características para o controle da chave (transistor). A figura 13 mostra o circuito eletrônico da segunda placa da fonte.

Figura 13, Placa 2



Fonte: Autor (2018)

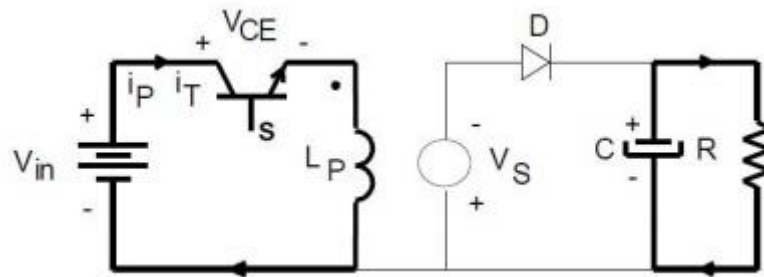
O circuito mostrado na figura 13 é um conversor Flyback com várias saídas no secundário do transformador.

Inicialmente um conversor CC-CC pode ser caracterizado como um sistema composto por semicondutores de potência trabalhando como interruptores, e também por componentes passivos como indutores e capacitores que ajustam o fluxo de potência elétrica da entrada da fonte para a saída. (BARBI; MARTINS, 2000).

O conversor utilizado é o Flyback, que pode ser utilizado como conversor AC-CC e conversor CC-CC. Sua arquitetura é semelhante a de um conversor Buck-Boost porém, sua vantagem é a isolação galvânica, por utilizar um transformador entre a entrada e a saída. (BONA; GARCIA; FULLGRAF, 2010).

O conversor Flyback possui o seguinte funcionamento: quando a chave (transistor) está fechada, o primário do transformador está diretamente ligado ao barramento Vcc de potência fornecido pela primeira placa da fonte, o resultado disso é o aumento do fluxo magnético do Trafo. Como consequência o diodo é polarizado inversamente, e quem passa a fornecer energia para a carga é o capacitor. A próxima rotina de funcionamento é quando a chave está aberta, o resultado de sua abertura é que a energia armazenada no transformador é transferida para a saída da fonte. Com isso o diodo é polarizado diretamente e o capacitor é carregado. Na figura 14 podemos analisar o circuito Flyback quando a chave está fechada.

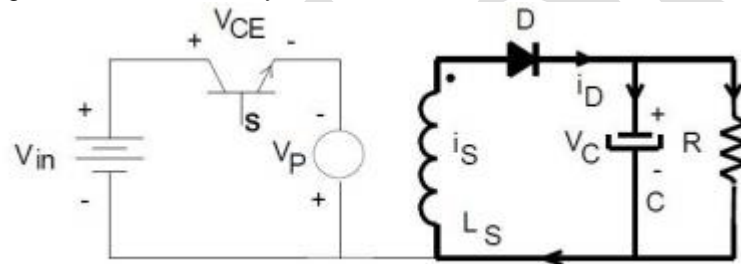
Figura 14, Conversor Flyback – Funcionamento com a chave fechada



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina¹

Na figura 15 podemos visualizar o circuito quando a chave está aberta.

Figura 15, Conversor Flyback – Funcionamento com a chave aberta.



Fonte: Instituto Federal de Santa Catarina²

O controle desse ciclo de funcionamento da fonte Flyback nesse projeto está sendo realizado pelo CI3525. Seu controle é fundamental, pois com ele podemos determinar a frequência do sinal no Gate da chave (transistor) e podemos fazer um controle proporcional desse mesmo sinal. Este controle nada mais é do que o tempo em que o sinal fica alto ou baixo na chave. Quanto mais tempo o sinal ficar em alto, menos tempo o secundário do Trafo fornecerá corrente, e mais tempo o capacitor terá que fornecer corrente para a carga.

Na figura 16, é possível analisar o sinal do Gate na chave com aproximadamente $8\mu\text{s}$ em alto e $15\mu\text{s}$ em baixo. Na figura 17 é possível analisar o sinal do coletor da chave com a amostra tirada em 90Vrms na entrada da fonte. Nesta figura os $8\mu\text{s}$ que antes estavam em alto no Gate aparecem em baixo no coletor, que é o momento em que o Trafo está fornecendo corrente para a carga. Os $15\mu\text{s}$ que antes estavam em baixo no Gate

¹ Disponível em:

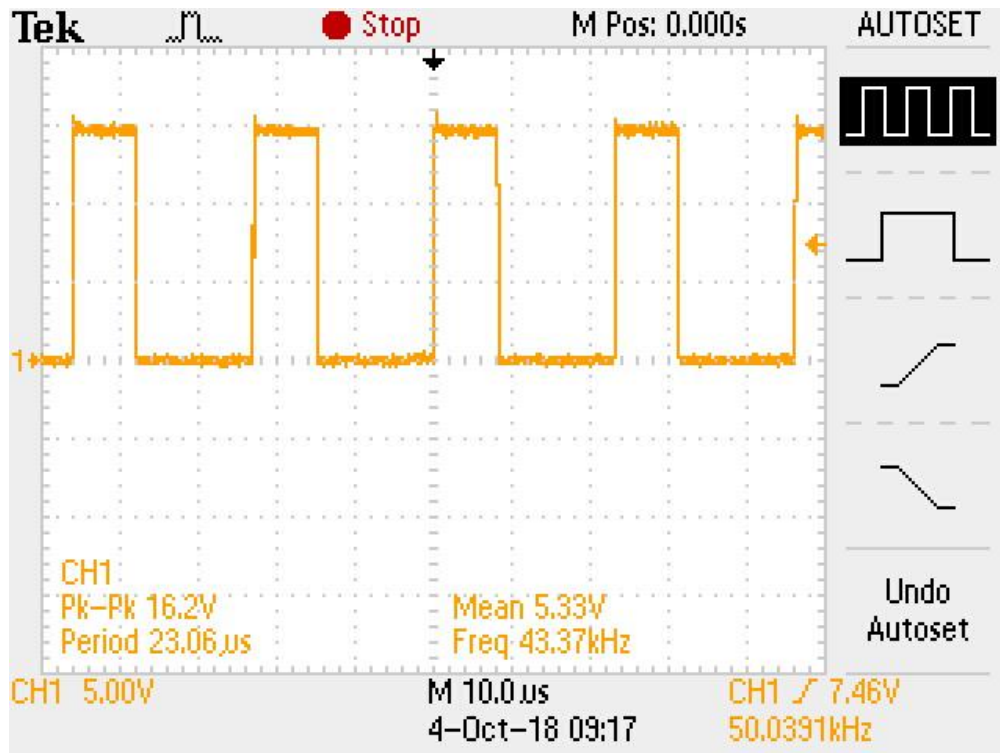
http://www.professorpetry.com.br/Bases_Dados/Relatorios_Alunos/Fonte%20Flyback_Relatorio_De_zan.pdf. Acesso em 02/10/2018.

² Disponível em:

http://www.professorpetry.com.br/Bases_Dados/Relatorios_Alunos/Fonte%20Flyback_Relatorio_De_zan.pdf. Acesso em 02/10/2018.

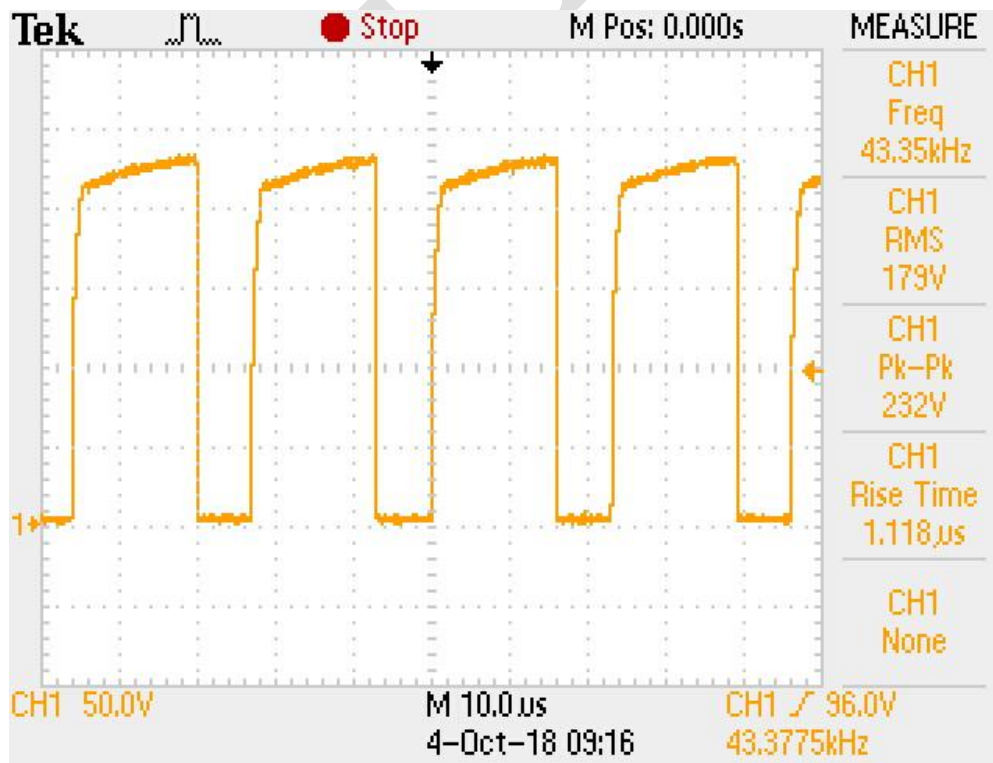
agora aparecem em alto no coletor, que é o momento em que o capacitor fornece corrente para a carga.

Figura 16, Sinal analisado no Gate com a fonte ligada à 90Vrms.



Fonte: Autor (2018)

Figura 17, Sinal analisado no coletor com a fonte ligada à 90Vrms.



Fonte: Autor (2018)

Quanto mais tempo o sinal ficar em baixo, mais tempo o secundário do Trafo fornecerá corrente, e menos tempo o capacitor terá que fornecer corrente para carga.

Na figura 18, é possível analisar o sinal do Gate na chave com aproximadamente $2\mu\text{s}$ em alto e $21\mu\text{s}$ em baixo. Na figura 19 é possível analisar o sinal do coletor na chave com a amostra tirada em 180Vrms na entrada da fonte. Nesta figura os $2\mu\text{s}$ que antes estavam em alto no Gate aparecem em baixo no coletor, que é o momento em que o Trafo está fornecendo corrente para a carga. Os $21\mu\text{s}$ que antes estavam em baixo no Gate agora aparecem em alto no coletor, que é o momento em que o capacitor fornece corrente para a carga.

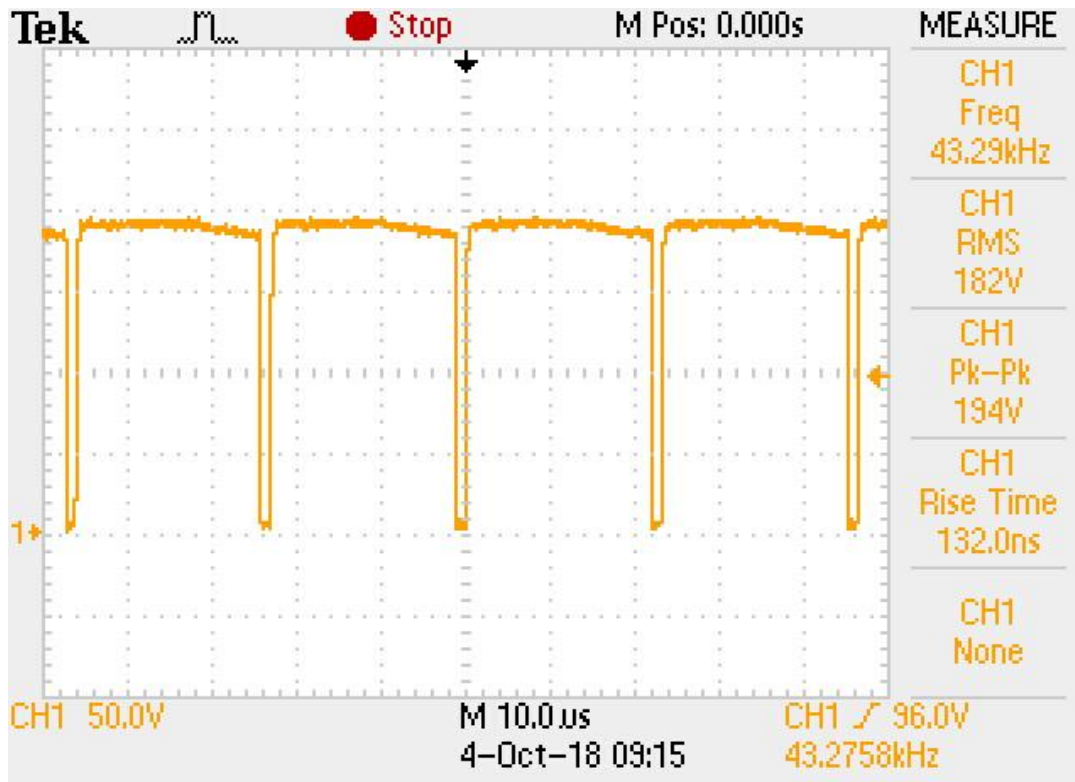
Perceba que o tempo em que o secundário do Trafo fornece corrente para a carga é bem menor, ou seja, o tempo em que o sinal do coletor está em baixo. Pois a tensão de alimentação da fonte nessa amostra está maior do que as amostras tiradas na figura 16 e 17.

Figura 18, Sinal analisado no Gate com a fonte ligada à 180Vrms .



Fonte: Autor (2018)

Figura 19, Sinal analisado no coletor com a fonte ligada à 90Vrms.

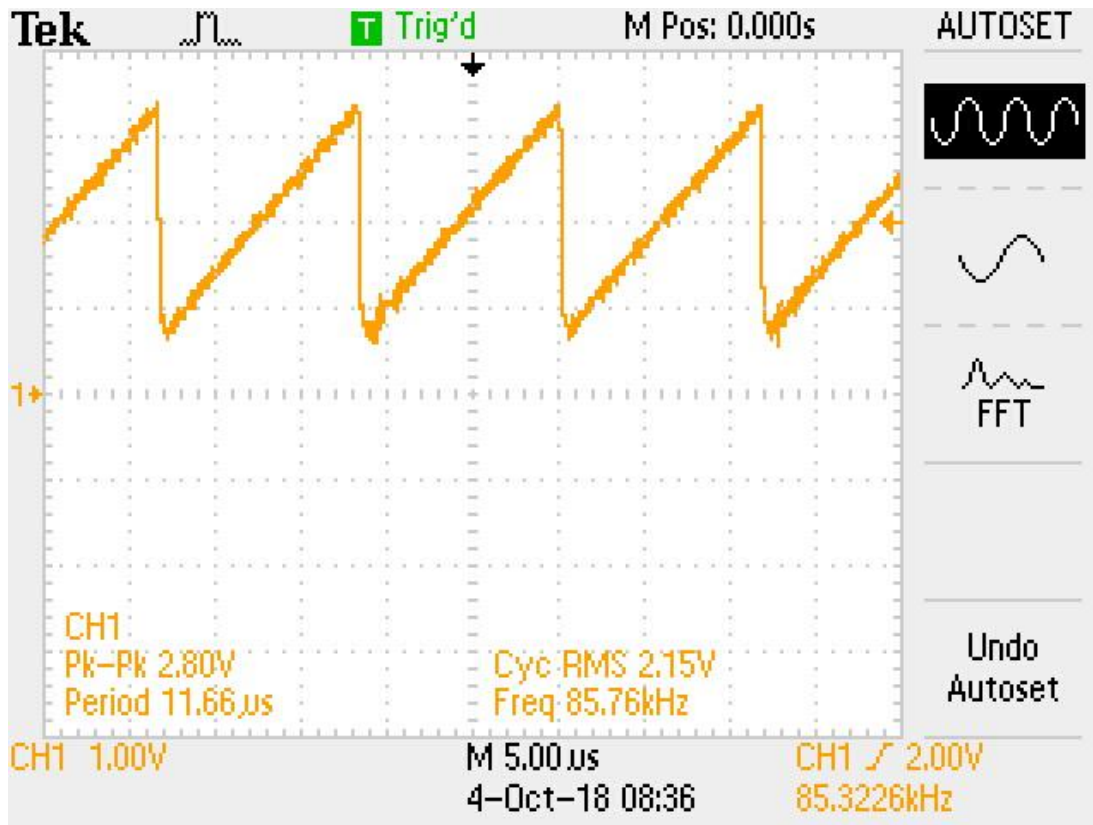


Fonte: Autor (2018)

Para fazer esse controle no sinal do Gate, o CI3525 compara as tensões entre o pino 1 e o pino 2, sendo o pino 1 uma realimentação vinda do secundário do Trafo e o pino 2 uma tensão de referência de 5,1Vcc vinda do pino 16 (Datasheet SG3525A). O pino 1 não recebe uma realimentação direta, antes o sinal passa por um divisor de tensão ajustado por um Trimpot de precisão com 25 voltas de resolução para ajustar a realimentação. Como consequência tem-se o ajuste de tensão na saída de todas as espiras secundárias do Trafo.

A frequência de chaveamento escolhida nesse projeto foi de 43kHz, pois o transformador foi enrolado baseado em cálculos para essa frequência que será explanado melhor a seguir. Essa frequência foi ajustada nos pinos 5, 6, 7 e 8. O pino 5 (CT), ajusta a frequência; o pino 6 (RT) ajusta o período da forma de onda; o pino 7 (Discharge) é a descarga da rampa, quando ela sai do pico positivo para o pico negativo; e por fim o pino 8 (Soft-Start) que é a rampa de subida. (Datasheet SG3525A).

Figura 20, Sinal do ajuste de frequência da chave.



Fonte: Autor (2018)

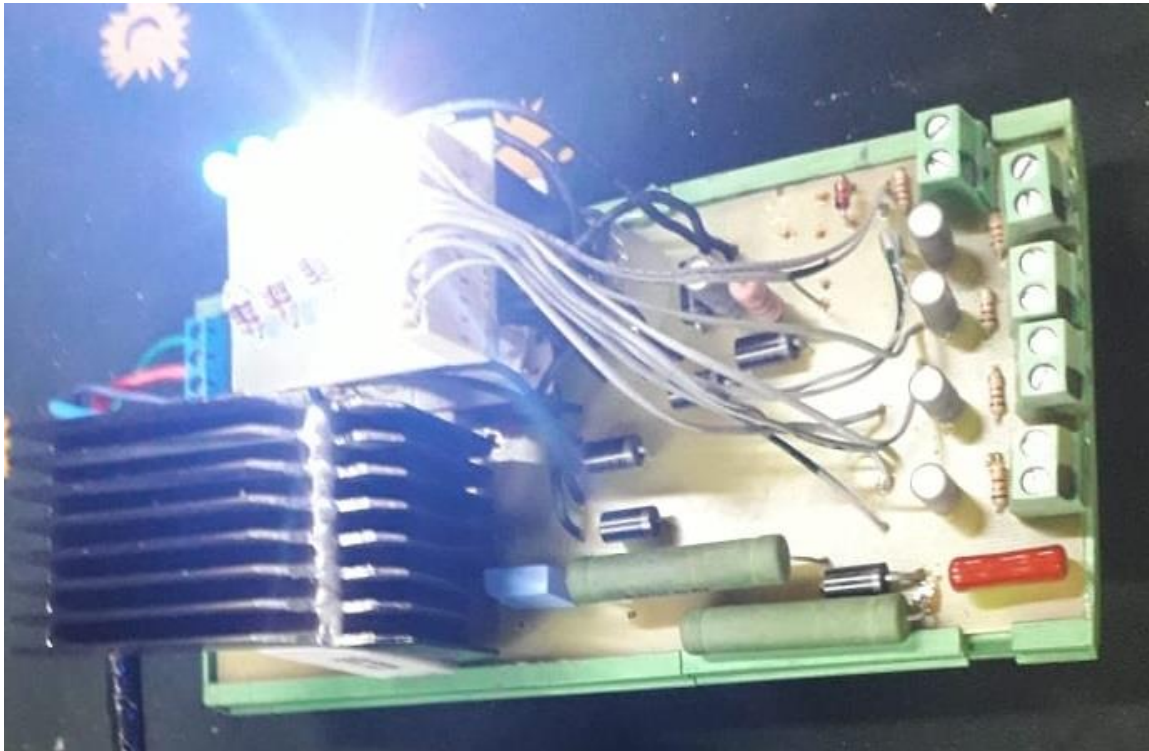
Perceba que a frequência mostrada na figura 20 é de 85,76kHz, e a frequência que utilizaremos em nossa chave é de 43kHz conforme falado anteriormente. Esta frequência mostrada na figura se dividida por 2 o resultado é de 42,88kHz, ou seja, um valor muito próximo de 43kHz que é nosso valor desejado. O que acontece é exatamente essa divisão, pois esse valor medido de 85,76kHz é dividido entre os pinos 11 e 17 (Output A e Output B). Nesse projeto estamos utilizando apenas o Output B (pino 14) para atuar o Gate da chave. (Datasheet SG3525A).

O método utilizado para encontrar o melhor valor de resistor e capacitor no ajuste da frequência foi por tentativa e erro. Inicialmente começamos com os valores sugeridos pelo datasheet do CI, e com o osciloscópio fomos ajustando até que chegássemos no valor desejado de aproximadamente 43kHz.

A alimentação de 15Vcc vinda da primeira placa alimenta os pinos 13 e 15 do CI3525, e os pinos 12 e 10 são ligados diretamente no GND. (Datasheet SG3525A).

Na figura 21 temos a imagem da segunda placa da fonte depois de finalizada e em funcionamento.

Figura 21, Fonte – Placa 2



Fonte: Autor (2018)

Com relação ao transformador, a relação de espiras $\frac{N}{V}$ foi de 0,54 e foi considerado 200V constantes no enrolamento primário para encontrar as espiras secundárias. Os enrolamentos secundários do Trafo foram: três enrolamentos para as tensões de saída de 15Vcc, um enrolamento para uma saída de 18Vcc, e dois enrolamentos para uma saída de 5Vcc. No projeto não será necessário duas fontes de 5Vcc, uma delas foi ajustada com zener para fornecer 3,3V. Foi necessário esse ajuste pois um enrolamento para 3,3V ficaria inviável de enrolar no corpo do transformador, devido à pouca quantidade de cabo para induzir essa tensão. O ajuste do zener ficou assim:

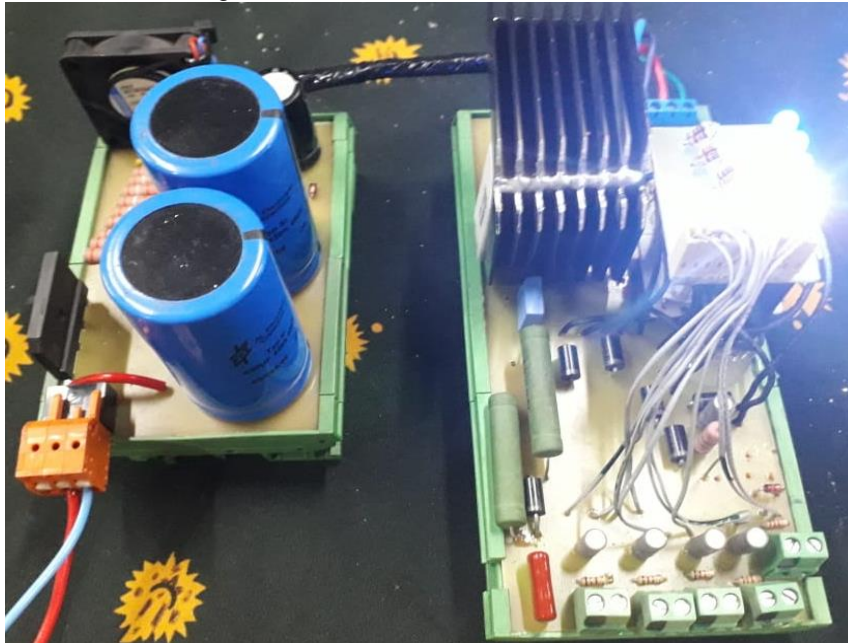
$$V_{in} = 5V_{cc} \quad I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{1\text{ W}}{3,3\text{ V}} = 0,3\text{ A}$$

$$V_{out} = 3,3V_{cc} \quad 5V - 3,3V = 1,7V \Rightarrow \frac{1,7\text{ V}}{0,3\text{ A}} = 5,6\Omega$$

$$V_{rs} = 5,6\Omega$$

Por fim, na figura 22 temos a foto das duas placas fonte interligadas e em pleno funcionamento.

Figura 21, Fonte Finalizada em funcionamento.

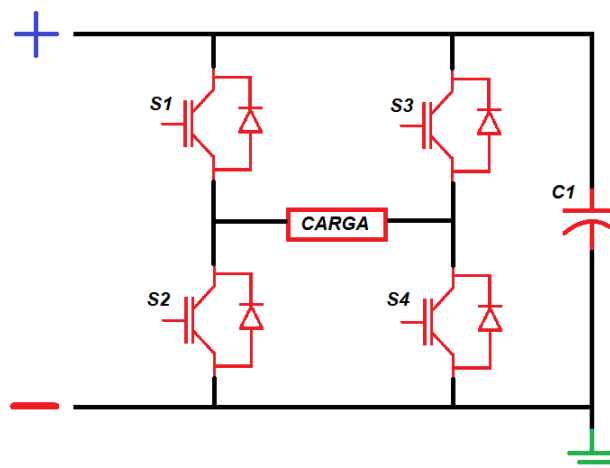


Fonte: Autor (2018)

6.3 Placa Drive - Circuito Ponte Completa para Controle de Servomotor CC

O circuito eletrônico escolhido para controlar o Servomotor CC de 200W da SanyoDenki foi o Ponte Completa, esse circuito se caracteriza pela utilização de quatro transistores e um capacitor. Na figura 23 é possível analisar a disposição dos componentes em um circuito de ponte completa:

Figura 23, Ponte Completa



Fonte: Autor (2017)

O layout dos componentes exibido na Figura 23 lembra o modelo eletrônico de um Inversor Monofásico, é exatamente esse layout de Circuito de Ponte Completa que será

utilizado para controlar o Servomotor CC utilizado nesse projeto. A diferença está na forma em que ocorrerá o acionamento dos transistores.

A forma de funcionamento de um Circuito Ponte Completa em um Inversor Monofásico se dá da seguinte forma:

1° - Chave S1 e S4 fecham, permitindo que o lado direito da CARGA possua carga negativa, e o lado esquerdo da CARGA possua carga positiva;

2° - Chave S1 e S4 abrem cortando a alimentação da CARGA, e dissipando a corrente residual pelos diodos;

3° - Chave S2 e S3 fecham, permitindo que o lado direito da CARGA possua carga positiva, e o lado esquerdo da CARGA possua carga negativa;

4° - Chave S2 e S3 abrem cortando a alimentação da CARGA, e dissipando a corrente residual pelos diodos.

Esse ciclo se repete continuamente enquanto houver necessidade de corrente na CARGA. O que determina a frequência na carga é a velocidade em que as chaves (transistores) abrem e fecham. Com essa técnica é possível controlar a velocidade de um motor. O capacitor C1 no circuito serve de filtro e permanece sempre carregado, garantindo estabilidade nas chaves caso ocorra qualquer oscilação no barramento positivo e negativo, se houver oscilações o capacitor descarrega mantendo o circuito em pleno funcionamento.

As chaves são passadas para os estados ligados e desligados por pares em diagonal. Assim, ou as chaves S1 e S4 ou as S2 e S3 vão para o estado ligado em um semi-ciclo (T/2). Portanto, a fonte CC fica ligada de maneira alternada à carga, em direções opostas. A frequência de saída é controlada pela taxa de velocidade, segundo a qual as chaves se abrem e se fecham (MENDES, GALLANTE, 2009, p.1).

Para se obter o controle do Servomotor CC utilizado nesse projeto o esquema de funcionamento das chaves no Circuito Ponte Completa é diferente de um inversor monofásico comum. Nesse caso as chaves atuarão da seguinte forma:

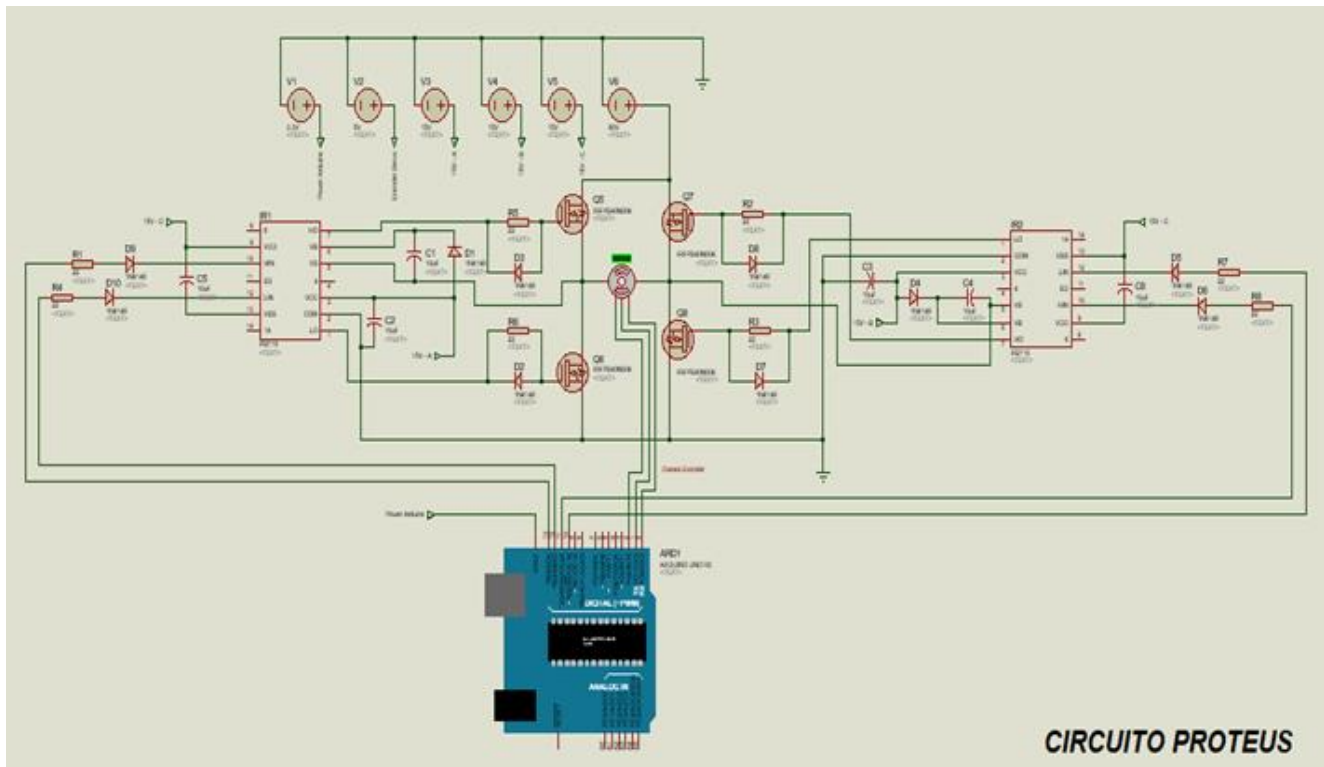
1° - Para definir que o sentido de rotação do motor seja horário, as chaves S1 e S4 fecham mandando potência máxima para o motor. Para se adquirir o controle de velocidade do motor em sentido horário, as chaves S1 e S4 trabalham abrindo e fechando juntas, no mesmo instante de tempo. O tempo em que as chaves S1 e S4 permanecem abertas ou fechadas em um período de onda, é o que irá determinar a velocidade do motor.

2° - Para definir que o sentido de rotação do motor seja anti-horário, as chaves S2 e S3 fecham mandando potência máxima para o motor. Para se adquirir o controle de velocidade do motor em sentido anti-horário, as chaves S2 e S3 trabalham abrindo e fechando juntas, no mesmo instante de tempo. O tempo em que as chaves S2 e S3 permanecem abertas ou fechadas em um período de onda, é o que irá determinar a velocidade do motor.

3° - Para garantir a parada do motor instantaneamente, ou seja, frear o motor, todas as chaves devem estar abertas, e em seguida as chaves S2 e S4 fecham, aterrando a Carga e forçando o motor devido ao seu campo girante.

Na figura 24 temos o circuito eletrônico da ponte completa desenvolvida no Proteus.

Figura 24, Circuito Proteus Drive



Fonte: Autor (2017)

- **Componentes Utilizados no Circuito Ponte Completa**

Foram utilizados na confecção do circuito ponte completa os seguintes materiais:

1° - Transistores – São eles os responsáveis por manipular a potência enviada para o motor a partir de um controle que excita sua entrada conhecida como pino GATE.

Os transistores utilizados foi o GP4063D, foi escolhido esse componente devido suas características intrínsecas atenderem a potência do Servomotor, são elas:

- Temperatura máxima de trabalho = 145°C;
- Tensão Máxima de trabalho = 600V;
- Tensão no pino Gate (Terminal de acionamento) = 15 à 20V;
- Máxima potência dissipada à 25°C = 330W;
- Máxima potência dissipada à 100°C = 170W.

Os dados foram analisados a partir do Datasheet do componente (Datasheet GP4063D).

2° - Diodos – No circuito conforme ilustrado na Figura 12, os diodos estão em paralelo com os resistores dos pinos Gates, sua função é ajudar na drenagem de correntes residuais vindas do transistor. Também é possível analisar outros diodos no circuito, um deles está localizado em serie com um capacitor no Drive (CI – Circuito Integrado) 2110 conforme solicitado pelo datasheet do mesmo, os outros estão na entrada do Drive 2110, sua função é garantir que não retorne tensão para as saídas do processador (Arduino Due – 84MHz).

O diodo utilizado foi o IN4937, devido suas características intrínsecas que atende as necessidades exigidas no circuito do Servoconversor em desenvolvimento, são elas:

- Sua capacidade de tensão reversa repetitiva de pico é de 600V;
- Corrente direta retificada média à 75°C é de 1A;
- Corrente de surto de pico/ não repetitivo é 30A;
- Intervalo de temperatura de atuação = -65°C à +150°C.

Devido essas características, principalmente pela sua resistência a tensão reversa, faz desse diodo ideal nesse projeto (Datasheet IN4937).

3° - Capacitor 10 μ F / 25V – Esses capacitores estão ligados no circuito conforme solicitação do Datasheet do Drive 2110, ou seja, faz parte do esquema de ligação eletrônica do Drive (Datasheet IR2110).

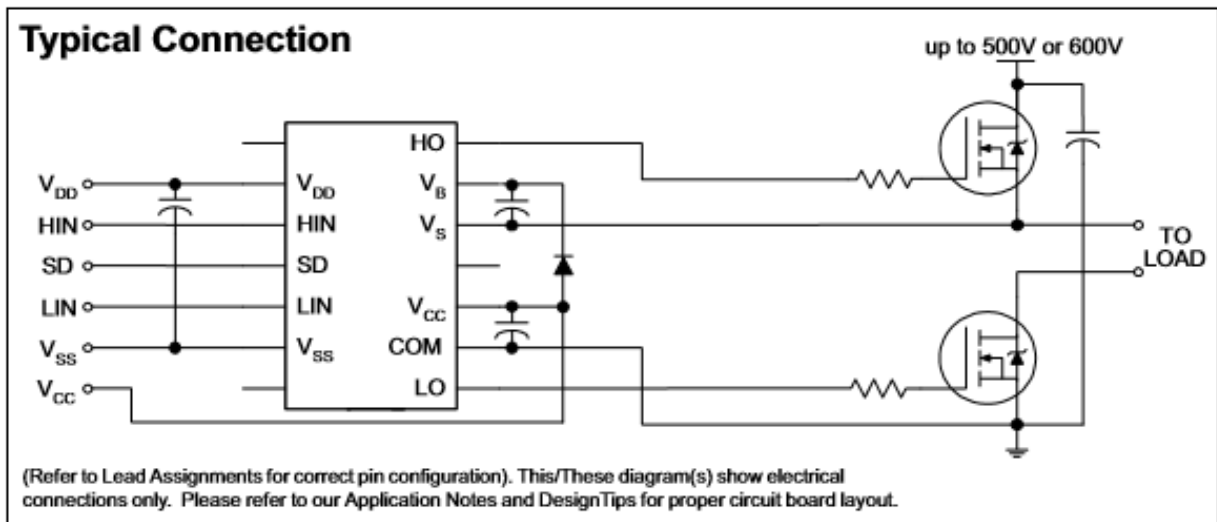
4° - Drive IR2110 – Sua função no circuito é de isolar a potência (transistores) do Processador (Arduino Due – 84MHz). Fazendo uma analogia em sistemas de Automação, é como se o Drive fosse o relé de interface do CLP (Controlador Lógico Programável). Além disso o Drive pode ser atuado com tensões bem menores do que as tensões necessárias para o chaveamento de um transistor, isso permite uma comunicação direta entre Drive e Processador. O Drive é um conversor de alta velocidade independentemente de alto ou baixo nível referenciados.

Características analisadas no Drive para inclusão do mesmo nesse projeto:

- Tensão de entrada na chave alta e baixa é de 3,3V à 20V;
- Pode-se utilizar na operação de Mosfets e IGBT;
- Atraso na correspondência de 10ns;
- Corrente máxima dissipada continuamente = 2A;
- Tensão de saída de 10V à 20V.

No circuito são utilizados dois Drivers IR2110, cada um deles são responsáveis por dois transistores, um Drive é responsável pela chave S1 e S2 ilustradas na Figura 11, e o outro Drive pelos transistores S3 e S4, sendo S1 e S3 os transistores Alto, e S2 e S4 os transistores Baixo. Cada Drive IR2110 possui uma saída HO e LO, funcionando da seguinte forma no circuito, a saída HO do primeiro Drive IR2110 aciona o transistor S1, e a saída LO aciona o transistor S2, o segundo Drive IR2110 aciona o transistor S3 por meio de sua saída HO e o transistor S4 por sua saída LO. Conforme Datasheet do fabricante (Datasheet IR2110). A Figura 25 está a ilustração do esquema de funcionamento do Drive conforme datasheet.

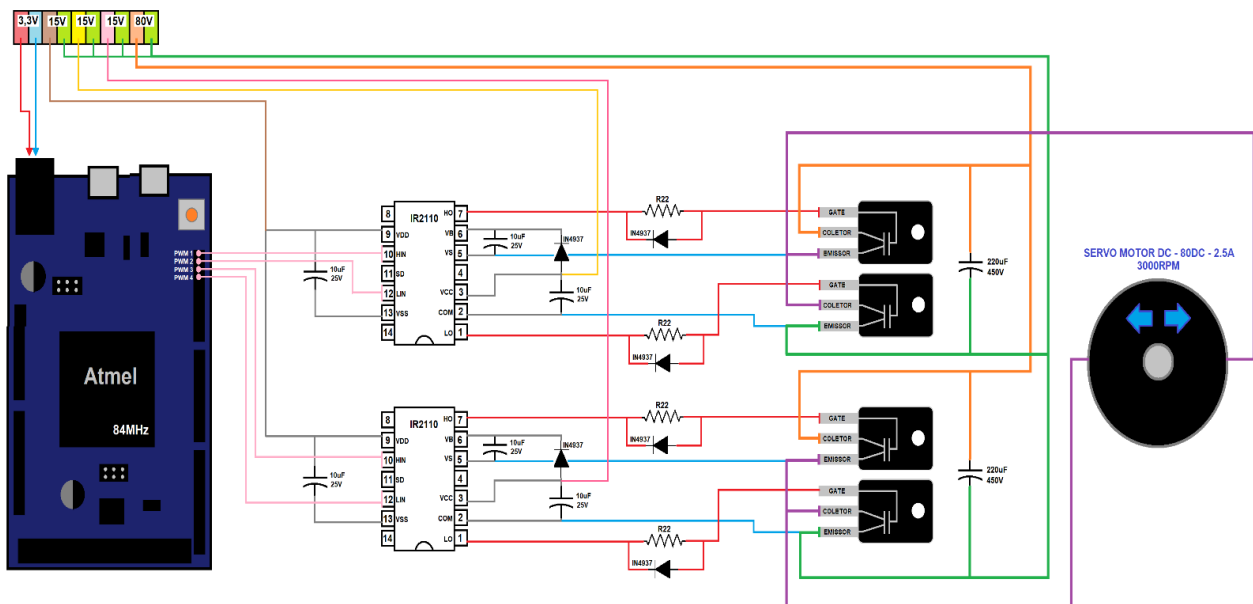
Figura 25, Typical Connection



Fonte: Datasheet IR2110

Após analisarmos o circuito sugerido pelo datasheet IR2110, desenvolvemos o circuito de controle do motor levando em consideração o processador utilizado, Arduino Due de 84MHz. A figura 26 mostra o esquema funcional do projeto de controle do servo.

Figura 26, Circuito Ponte completa do projeto.



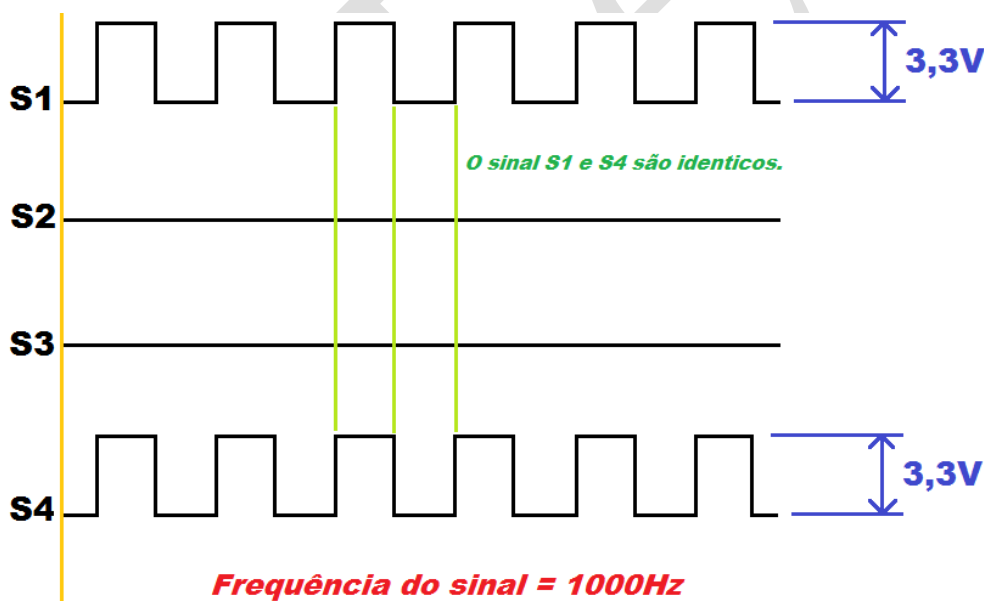
Fonte: Autor (2018)

Explorando melhor o funcionamento da placa Drive, os sinais PWM vindos do Arduino vem numa amplitude de 3,3V e em uma frequência de 1000Hz. A interface entre o pino Gate das chaves e o Arduino são os CI's IR2110. Sempre que a saída 1 do Arduino está enviando o sinal PWM, a saída 4 também envia um sinal idêntico, quem recebe o sinal da saída 1 é o pino 10 do CI (HIN), e quem recebe o sinal da saída 4 do Arduino é o pino 12

(LIN) do outro CI, enquanto isso acontece, é de extrema importância que o Arduino envie GND no pino 12 (LIN) do primeiro CI e no pino 10 (HIN) do segundo CI. Pois se não estiverem ligados no GND, uma flutuação pode causar o fechamento de uma das chaves em algum momento errado, ocasionando um curto circuito de 80Vcc, tensão nominal do motor. Esta forma de funcionamento garante que o motor gire para um sentido, no caso da inversão do sentido de rotação, o procedimento é o mesmo, porém ao invés do pino 10 do primeiro CI e o pino 12 do segundo CI receberem o sinal PWM, quem recebe é o pino 12 do primeiro CI e o pino 10 do segundo CI, e o restante vai para GND.

A inversão de rotação não deve ser instantânea, deve haver um tempo na escala de micro segundo para garantir que as chaves não fecharão curto. Na figura 27 podemos analisar o sinal PWM medido no pino 10 (HIN) do primeiro CI responsável pelo fechamento da chave 1, e o sinal do pino 12 (LIN) medido no segundo CI, responsável pela chave 4.

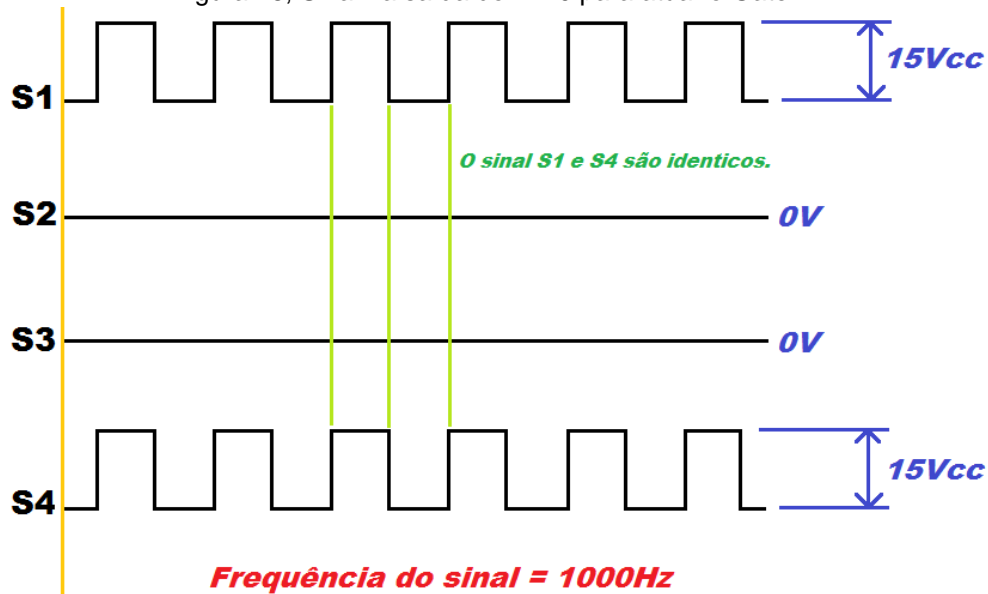
Figura 27, Sinal enviado do Arduino na entrada do 2110.



Fonte: Autor (2018)

Ao receber esta amplitude de sinal, o CI instantaneamente atua sua saída com o mesmo PWM idêntico de entrada, porém com uma amplitude maior o suficiente para atuar o Gate do Transistor. Na figura 28 mostra o sinal medido no pino de saída 7 (HO) que é escravo de tudo que acontece no pino de entrada 10 (HIN), e o sinal medido no pino de saída 1 (LO) que é escravo de tudo que acontece no pino de entrada 12 (LIN).

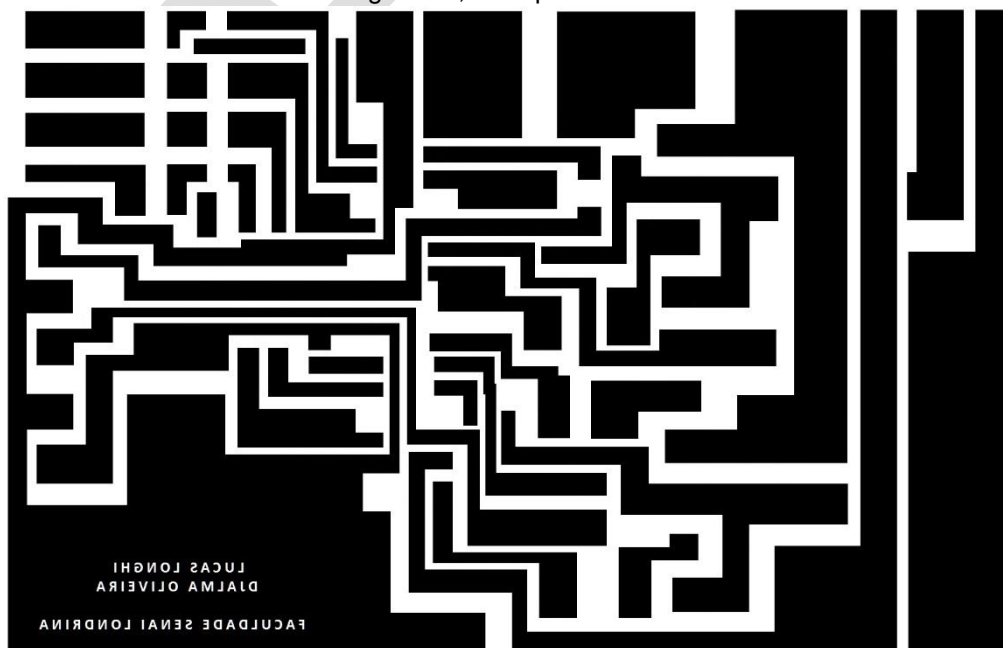
Figura 28, Sinal na saída do 2110 para atuar o Gate.



Fonte: Autor (2018)

A placa Drive onde se encontra o circuito ponte completa, foi necessária ser desenvolvida assim como a fonte, a próxima imagem que é a figura 29 mostra o arquivo PCB para a impressão das trilhas na placa de fenolite.

Figura 29, PCB placa Drive.

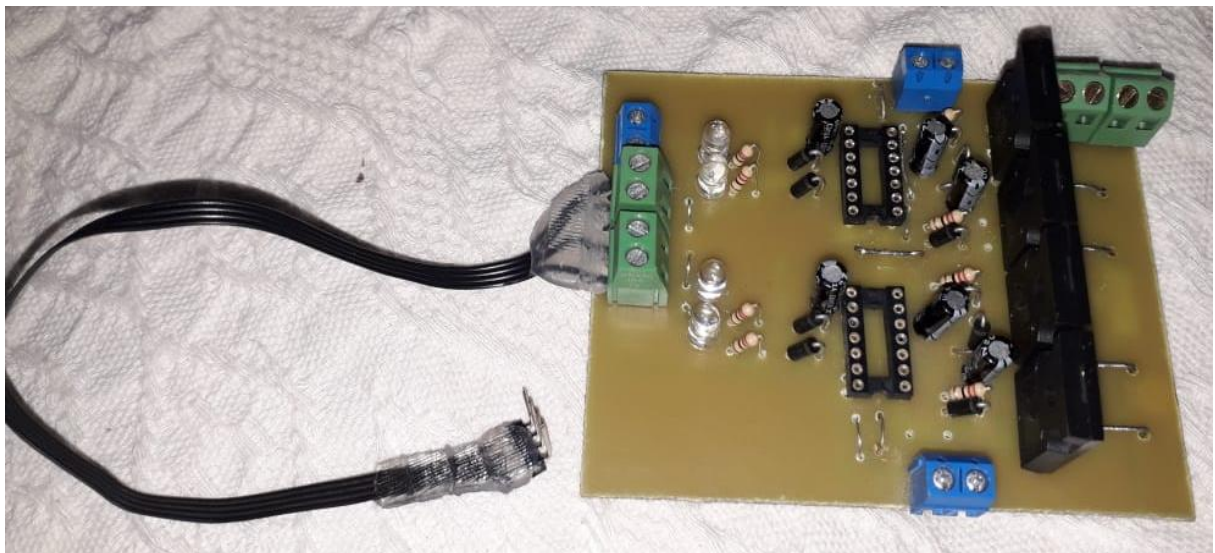


Fonte: Autor (2018)

Por fim a figura 30 mostra a imagem da placa Drive depois de pronta, faltando apenas encaixar os CI's.

Figura 30, Placa Drive.

F



Fonte: Autor (2018)

6.4 Encoder do Servomotor

O que garante a precisão em um Servomotor é o encoder acoplado no eixo da máquina. No Servomotor utilizado no projeto esse encoder possui 5 pinos, são eles: pino **Vermelho**, **Preto**, **Azul**, **Verde** e **Amarelo**, na figura 31 podemos analisar o que é cada pino.

Figura 31, Fechamento do Encoder.

External leads

Lead color	Open collector	Line driver
Red ■	+DC5V	+DC5V
Black ■	GND(0V)	GND(0V)
Shield	Case earth	Case earth
Blue ■	A channel output	A channel output
Brown ■	—	\bar{A} channel output
Green ■	B channel output	B channel output
Purple ■	—	\bar{B} channel output
White ■	—	C channel output
Yellow ■	C channel output	\bar{C} channel output


Fonte: Datasheet DC Servo Systems – SANYODENK

Os sinais enviados do encoder são semelhantes a um sinal PWM, porem quanto maior a rotação do motor, maior é a frequência dos pulsos enviados por cada canal. O canal A e B são defasados 90° um do outro, isso possibilita o controle enxergar em qual sentido o motor está indo, e tomar uma decisão. O canal C gera um pulso alto para cada volta realizada pelo eixo do motor. Todos os pulsos tem amplitude de 5 Vcc, pois sua alimentação no pino Vermelho é de 5Vcc em relação ao pino Preto que é 0V – GND.

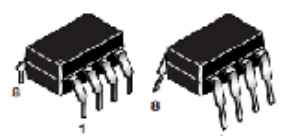
Com todos esses sinais enviados com amplitude 5Vcc, gerou-se um problema, o Arduino que controlará toda a planta do projeto pode receber pulsos de no máximo 3,3V.

Para solucionar o problema foi utilizado o Opto-acoplador 6N137. Na figura 32, grifado em vermelho está o motivo pelo qual este componente foi escolhido.

Figura 32, Datasheet 6N137.



**HIGH SPEED-10 MBit/s
LOGIC GATE OPTOCOUPLEDERS**

<p>SINGLE-CHANNEL 6N137 HCPL-2601 HCPL-2611</p>		<p>DUAL-CHANNEL HCPL-2630 HCPL-2631</p>
---	---	--

<p>DESCRIPTION</p> <p>The 6N137, HCPL-2601/2611 single-channel and HCPL-2630/2631 dual-channel optocouplers consist of a 850 nm AlGaAs LED, optically coupled to a very high speed integrated photodetector logic gate with a strobable output. This output features an open collector, thereby permitting wired OR outputs. The coupled parameters are guaranteed over the temperature range of -40°C to +85°C. A maximum input signal of 5 mA will provide a minimum output sink current of 13 mA (fan out of 8).</p> <p>An internal noise shield provides superior common mode rejection of typically 10 kV/μs. The HCPL- 2601 and HCPL- 2631 has a minimum CMR of 5 kV/μs. The HCPL-2611 has a minimum CMR of 10 kV/μs.</p>	<p>FEATURES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Very high speed-10 MBit/s • Superior CMR-10 kV/μs • Double working voltage-480V • Fan-out of 8 over -40°C to +85°C • Logic gate output • Storable output • Wired OR-open collector • U.L. recognized (File # E90700)
--	--

Fonte: Adaptado de Fairchild (2018).

A escolha do opto-acoplador se deu devido sua capacidade de resposta suportando sinais de até 10 MBit/s.

O opto-acoplador funcionará da seguinte forma no circuito do encoder: para cada canal do encoder será utilizado um opto-acoplador, o encoder excitará a entrada com o seu sinal PWM de amplitude 5Vcc, na saída do opto-acoplador será ligado uma tensão constante de 3,3V. A cada pulso alto de 5Vcc recebido em sua entrada, será conduzido 3,3V na saída, gerando assim um sinal PWM de 3,3V e solucionando o problema de

amplitude de sinal na entrada do Arduino. Após esse condicionamento é só interligar as saídas dos canais para as respectivas entradas do Arduino.

12. CONCLUSÃO

O domínio sobre a tecnologia de acionamentos de Servomotores não é uma tarefa fácil, pois cada Servomotor possui sua característica própria, conseqüentemente necessita de um Servoconversor próprio, porém após análise feita por esse projeto, é notável que esta tecnologia deixa de ser algo oculto e passa ser algo acessível para darmos continuidade em novas pesquisas, a fim de aprimorarmos ainda mais esse conceito tão valioso no mercado atual.

Conclui-se que é possível controlar um Servomotor utilizando os conhecimentos de eletrônica analógica e eletrônica de potência, desenvolvendo circuitos estrategicamente preparados para as características intrínsecas do Servomotor em questão.

REFERÊNCIAS

OTTOBONI, Augusto. Servo - acionamentos. **Mecatrônica Atual**, São Paulo, v. 1, n. 6, p. 7- 14, outubro 2002.

Datasheet SanyoDenki - Servo Motor - Modelo: V720-012E17 - 200W / DC 80V / 3.3A. Disponível em: <https://www.semicon.com.pl/files/?id_plik=408> Acesso em 04/12/2017.

BONA, GARCIA, FULLGRAF. **Projeto de Fonte Chaveada com Conversor Flyback**, Instituto Federal de Santa Catarina, Pós Graduação em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos. Disponível em: <http://www.professorpetry.com.br/Bases_Dados/Relatorios_Alunos/Fonte%20Flyback_Relatorio_Dezan.pdf> Acesso em 17/07/2018.

BARBI, Ivo; MARTINS, Denizar Cruz. **Eletrônica de potência: conversores CC-CC básicos não isolados**. Florianópolis: Ed. dos Autores, 2000. vii, 377 p. ISBN 859010463X.

Datasheet SG3525A – Pulse Width Modulator Control Circuit. Disponível em: < <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/SG3525A-D.PDF> > Acesso em 04/12/2017.

MENDES, GALLANTE. **Conversores CC – CA**, Faculdade da Fundação Instituto Tecnológico de Osasco. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAACRkAl/conversores-cc-ca>> Acesso em 03/12/2017.

Datasheet GP4063D – International IOR Rectifier – Transistor Bipolar. Disponível em: <[https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/International%20Rectifier%20PDFs/IRGP4063D\(-E\)PbF.pdf](https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/International%20Rectifier%20PDFs/IRGP4063D(-E)PbF.pdf)> Acesso em 04/12/2017.

Datasheet IN4937 – Motorola – Diodo Rápido. Disponível em:

<<http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/2817/MOTOROLA/IN4937.html>>

Acesso em 04/12/2017.

Datasheet IR2110 – International IOR Rectifier – Drive de Alta Velocidade. Disponível em:

<<https://www.infineon.com/dgdl/ir2110.pdf?fileId=5546d462533600a4015355c80333167e>>

Acesso em 04/12/2017.

Datasheet 6N137 – High Speed 10MBit/s – Logic Gate Optocouplers. Disponível em:

<<http://i2c2p.twibright.com/datasheet/6N137.pdf>>

Acesso em 17/10/2018.

E-TEC