Circuito inversor da gaiola de Helmholtz

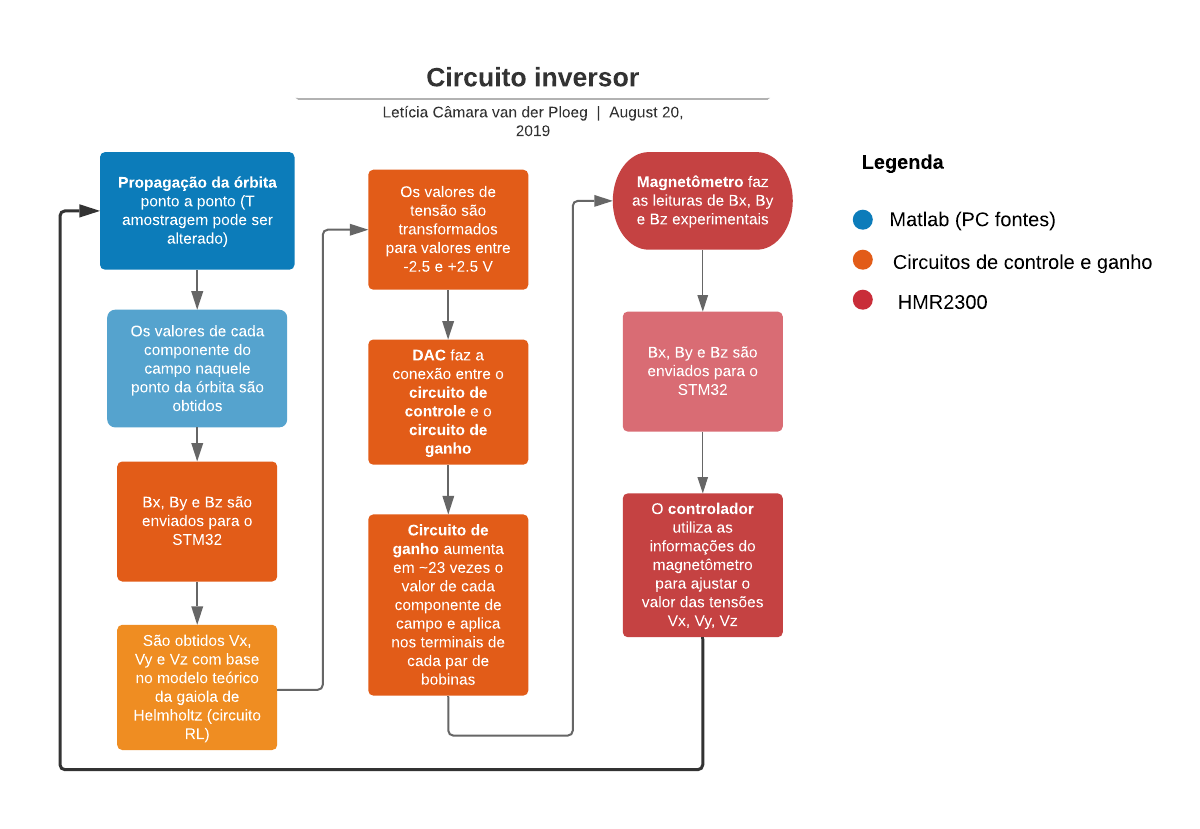
Uma breve documentação

Objetivos

* Permitir a geração de componentes de campo magnético negativas, uma vez que as fontes utilizadas (Agilent 6032A) geram apenas tensões positivas;
* Facilitar o desenvolvimento do controle do campo magnético na gaiola, uma vez que toda a parte da implementação será feita em um microcontrolador que se comunica com todos os componentes do sistema (Matlab no PC principal, magnetômetro HMR2300, circuito de atuação);
* Facilitar alterações físicas no laboratório com um sistema embarcado;
* Permitir implementação de imagens e gráficos em tempo real no Matlab sem sobrecarregar esse sistema.

Desenvolvimento

Para melhor visualização, é apresentado a seguir o fluxograma do sistema desenvolvido utilizando o microcontrolador STM32L432 (placa Nucleo-32).



*Figura 1: Fluxograma do circuito inversor*

Hardware

O circuito inversor é, na verdade, formado por dois circuitos: o de controle e o de ganho. O circuito de controle é o principal, é nele que está o STM32 e o DAC (conversor digital-analógico). A eletrônica utilizada compreende amplificadores operacionais, resistores, capacitores, um regulador de tensão step-down e um conversor Serial RS232/TTL, sendo a alimentação simétrica de . Os valores de resistência foram determinados com base no circuito do DAC para saída bipolar (vide datasheet).

Já o circuito de ganho é responsável por amplificar os valores de baixa tensão recebidos do circuito de controle nos valores determinados inicialmente para a geração correta das componentes de campo magnético. Nesta implementação, portanto, são usadas apenas duas fontes de tensão Agilent 6032A para gerar uma alimentação simétrica para os amplificadores de potência de (paralelo).

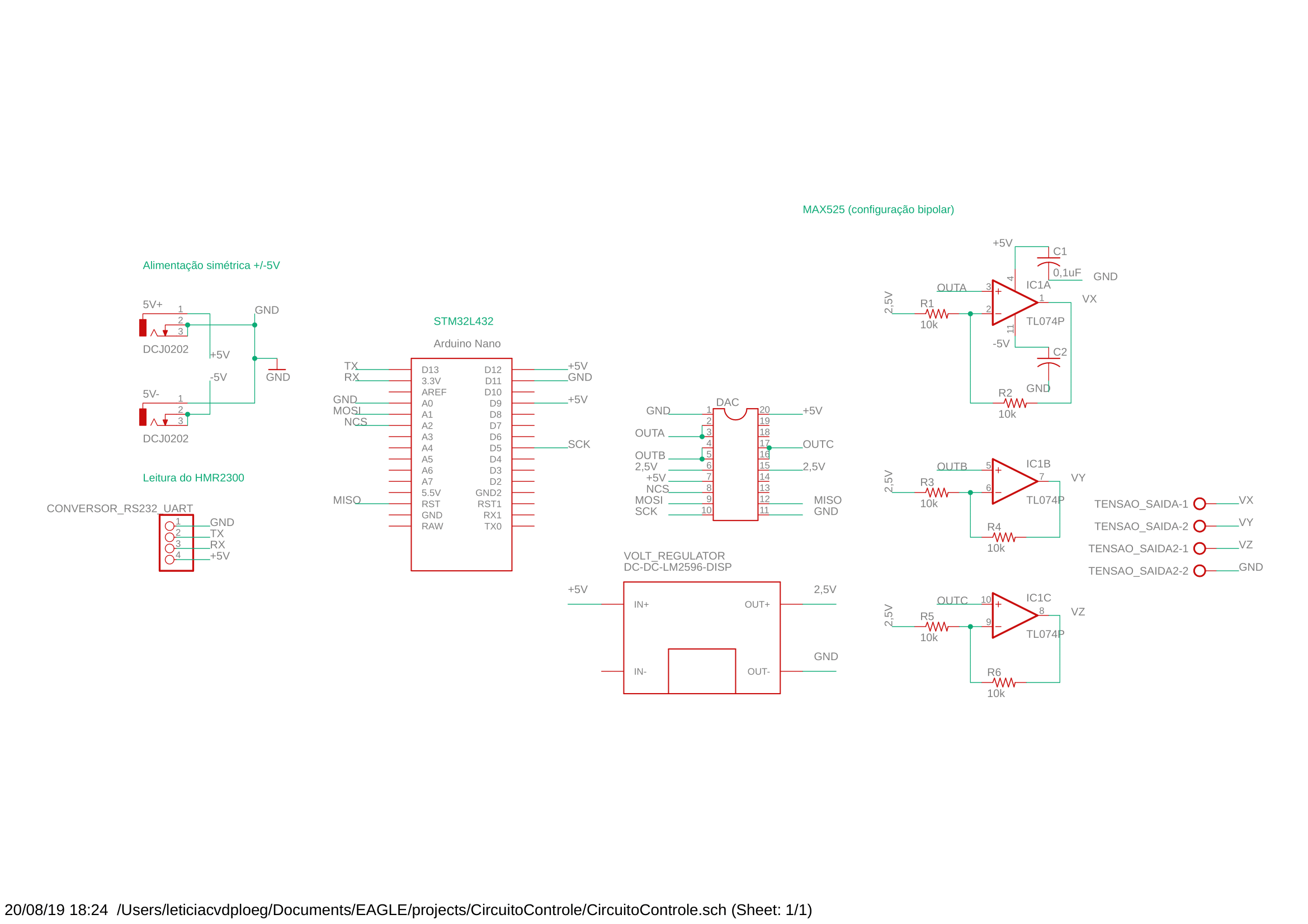
**Circuito de controle**

* *STM32L432 (STM32L432KCU6)*
  + Datasheet: <<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32l432kc.pdf>>
  + User manual: <<https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/e3/0e/88/05/e8/74/43/a0/DM00231744.pdf/files/DM00231744.pdf/jcr:content/translations/en.DM00231744.pdf>>
  + Reference manual: <<https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/reference_manual/group0/b0/ac/3e/8f/6d/21/47/af/DM00151940/files/DM00151940.pdf/jcr:content/translations/en.DM00151940.pdf>>
* *Conversor digital-analógico (MAX525 Quad, 12-Bit Voltage-Output DAC)*
  + Datasheet: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX525.pdf>>
* *Amplificador operacional (TL084CN)*
  + Datasheet: <<https://www.egr.msu.edu/eceshop/Parts_Inventory/datasheets/tl084cn.pdf>>
* *Módulo regulador de tensão step-down (LM2596 DC/DC)*

Utilizado para gerar uma tensão de referência para o DAC a partir da tensão de alimentação, onde e costuma oscilar entre 2,5V e 2,8V.

* + Intro: <<https://www.instructables.com/id/The-Introduction-of-LM2596-Step-Down-Power-Module-/>>
  + Tutorial: <<https://www.youtube.com/watch?v=i60y_T3N4CY>>
* *Conversor serial RS-232/TTL (MAX3232)*
  + Info: <<https://www.huinfinito.com.br/conversores/1469-modulo-conversor-serial-rs232-para-ttl-com-db9.html>>
  + Sobre o chip MAX3232: <<http://www.ti.com/product/MAX3232>>

A figura a seguir mostra o esquemático do circuito desenvolvido no software *Eagle*.



*Figura 2: Esquemático do circuito de controle (versões pdf e eagle - .sch - disponíveis na pasta)*

A placa do circuito de controle que foi prototipada encontra-se no laboratório, mas já não corresponde mais ao esquemático acima. Algumas conexões foram alteradas devido às comunicações implementadas em software e também foi inserido o módulo do regulador de tensão. O circuito correto está atualmente implementado em protoboard.

**Circuito de ganho**

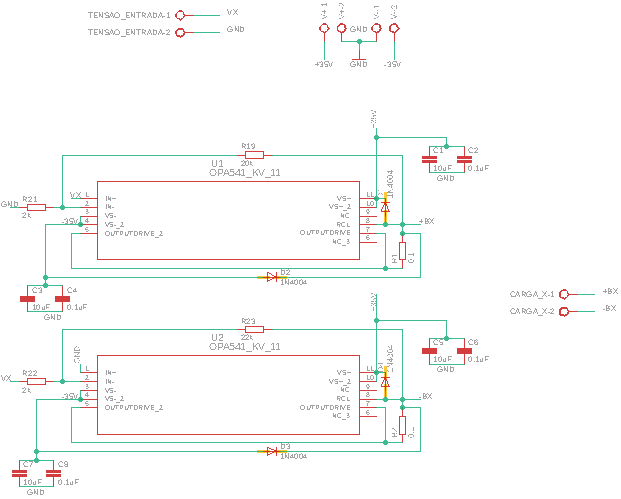
Originalmente o circuito conta com diodos de segurança, além dos componentes descritos a seguir. Porém, nos testes (não conseguiu-se identificar porque), os diodos implicam em mau funcionamento do circuito. Retirando-os o circuito passa a funcionar corretamente.

* *Amplificador operacional de potência (OPA541)*

Responsável principal por amplificar o valor de tensão recebido do circuito de controle em aproximadamente 22 vezes. Necessário adicionar dissipadores, pois esquentam muito.

Obs.: na prática os valores de ganho são dados por, aproximadamente, e .

* + Datasheet: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa541.pdf>>
  + Dimensionamento dos dissipadores: <<https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/matematica/52-artigos-tecnicos/artigos-diversos/7376-dissipadores-de-calor-informacoes-para-calculo-e-dimensionamento-art1085>>.



*Figura 3: Esquemático do circuito de ganho (versões pdf e eagle - .sch - disponíveis na pasta) - prototipar 3 vezes (1 para cada eixo)*

Foram prototipadas 3 placas (1 para cada eixo) que estão conectadas aos terminais de cada par de bobinas. É necessário ainda realizar a conexão com o circuito de controle.

Software

A implementação em software trata, basicamente, da programação do microcontrolador (STM32L432KC). São necessários dois softwares para tal: o **SW4STM32** (<https://www.st.com/en/development-tools/sw4stm32.html>), que é como uma versão do eclipse para este microcontrolador e permite a programação em c/c++, e o **STM32CubeMX** (<https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>), que possui uma interface para facilitar a configuração do microcontrolador, incluindo setagem da função de cada pino, configuração dos protocolos de comunicação, alterações de clock e acesso ao SO de operação em tempo real, além de gerar um código inicial para o SW4STM32. É possível partir direto do código no SW4STM32, mas é recomendável familiarizar-se primeiramente pelo facilitador STM32CubeMX e utilizar tanto o osciloscópio, quanto o analisador digital para verificar as comunicações e o conteúdo das mensagens. As comunicações necessárias são descritas a seguir.

1. ***Matlab* comunica-se com o STM32 via serial**, enviando os valores das três componentes de campo magnético do atual ponto da órbita. A comunicação é feita por meio do cabo micro-usb. No STM é possível controlar a leitura dos dados por meio do USART 2, que utiliza os pinos PA\_2 (TX) e PA\_15 (RX). Implementa-se então uma leitura serial assíncrona.
2. **STM32 comunica-se com o DAC via SPI**, enviando os 3 valores de tensão de cada eixo (na faixa -2.5V a +2.5V) que serão posteriormente passados para o circuito de ganho pelo próprio DAC. São utilizados os pinos PA\_12 (MOSI), PB\_0 (NCS ou NSS) e PA\_5 (CLK).
3. **HMR2300 comunica-se com o STM32 via serial**, enviando os valores de campo lidos. A documentação referente ao HMR2300 encontra-se no drive. Para realizar a leitura do HMR2300, é necessário o envio de strings de comando, ou seja, primeiro transmite, depois recebe. A comunicação é feita com o USART 1, utilizando os pinos PA\_2 (TX) e PA\_15 (RX). Os pinos RX e TX estão conectados a um conversor RS-232/TTL, pois a saída do magnetômetro é RS-232.

Todos os códigos encontram-se na pasta, mas ainda está em desenvolvimento o código final (que implementa o controlador PID no STM32) e junta todas as comunicações mencionadas. [[1]](#footnote-0)

1. Dúvidas, favor enviar email para: <leticiacvdploeg@gmail.com> [↑](#footnote-ref-0)