

Link do circuito:
<http://tinyurl.com/ybjtke24>

Atividade: projeto de fonte linear

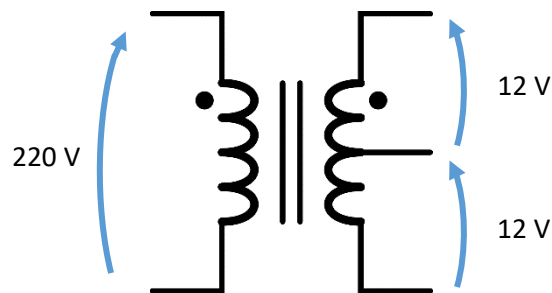
Fábio José Ayres

Introdução

Você tem em mãos um Arduino e quer prototipar uma aplicação. Você precisa de uma fonte de alimentação externa, pois a aplicação vai ficar rodando por vários dias, ligada na tomada. E agora?

- Fonte de bancada não dá: só tem algumas no laboratório, não dá para emprestar uma para você por vários dias!
- Alimentar o Arduino a partir do laptop não vale: você pode usar o computador para programar o Arduino, mas depois ele vai rodar sozinho.
- Pilha também não tem: você quer deixar a aplicação rodando por vários dias, e prefere usar a rede elétrica como fonte de alimentação.

Sendo você o herdeiro cultural do MacGyver, você olha ao seu redor e percebe que tem um transformador ali sobrando! É um transformador de 220V para 12+12V no secundário:



E também tem vários componentes eletrônicos disponíveis: resistores, capacitores, transistores, diodos de vários tipos, etc. É tudo o que você precisa!

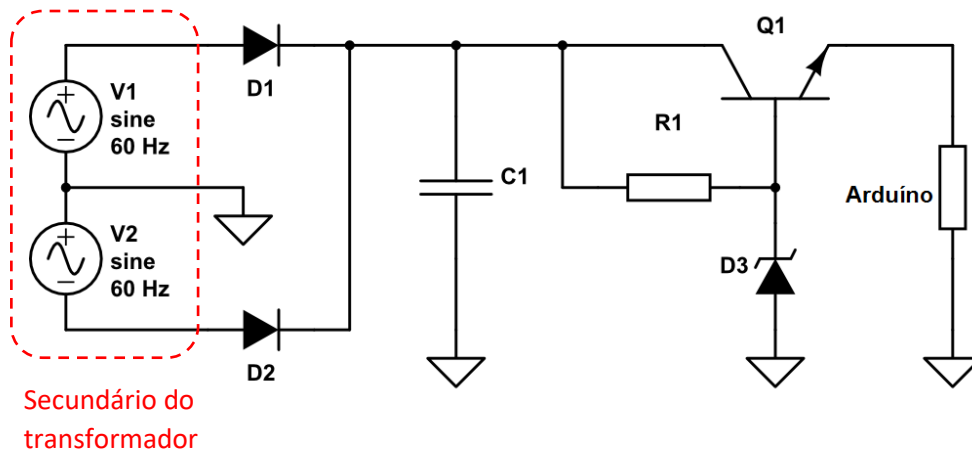
Requisitos do sistema

- Descubra na Internet qual é a faixa de tensões aceitáveis para alimentar o Arduino, e se tem algum limite de corrente.

Entre 7 V e 12 V e 500 mA

Layout do circuito

Você decide alimentar o Arduino com aproximadamente 10V e corrente máxima de 500mA. Procurando na Internet você encontra um design de circuitos que parece ser simples o suficiente:



(Você já viu esse circuito antes! Mas agora você tem novos conhecimentos: você vai projetar os detalhes dele!)

Em linhas gerais, este circuito funciona assim (analisando do fim para o começo):

- Estamos representando o Arduino como uma resistência que demande 500mA quando alimentada com 10V
- Na saída vemos um diodo Zener e a junção base-emissor de um transistor NPN.
 - Sabemos que o Zener mantém uma diferença de potencial fixa V_Z entre os seus terminais, desde que tenha corrente elétrica suficiente para trabalhar.
 - Sabemos também que a junção base-emissor também manterá uma diferença de potencial V_{BE} quase fixa entre os terminais.
 - Portanto, a tensão de saída será bem estável!
- A resistência R_1 deve prover corrente para que o Zener trabalhe adequadamente. Parte dessa corrente é desviada pela base do transistor. Ainda bem que essa corrente de base será muito menor que a corrente de saída! Valeu transistor!
- A coisa toda é alimentada pela descarga do capacitor durante a parte do ciclo em que os diodos estão cortados. Esse capacitor vai ter que ter um valor grande para manter o circuito funcionando.
- Os diodos retificam a tensão alternada do transformador e carregam o capacitor sempre que a tensão do transformador supera a tensão do capacitor e a queda de tensão no diodo.

O desafio agora é escolher todos os componentes do circuito.

Representando a carga

- Escolhemos representar o Arduino como sendo, do ponto de vista da fonte, como um resistor. Qual deve ser o valor desse resistor?

20 ohms

Tensão no capacitor

- Qual a tensão de pico no capacitor? Lembre-se que
 - A tensão RMS do secundário é $12V_{RMS}$ e tensão de pico senoidal é tensão RMS vezes $\sqrt{2}$. Logo a tensão de pico no secundário é:

16,97 V

- O diodo provavelmente será um diodo retificador de silício, talvez um 1N4001. Qual a tensão V_D do 1N4001? Procure no datasheet.

Max. 1,1 V

<https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf>

- Finalmente, qual a tensão de pico no capacitor?

$16,97 - 0,73 = 16,24 \text{ V}$

- A tensão mínima no capacitor será a tensão de pico menos a amplitude do *ripple* de tensão. Vamos assumir um valor de *ripple* $\Delta V = 2V$ (meio grande, mas vai dar certo, já testei). Com isso, qual a tensão mínima no capacitor?

14,24 V

Escolha do capacitor

- Para garantir que o *ripple* não passa dos 2V, vamos finalmente escolher o capacitor. Para construir uma fórmula aproximada para nosso design, vamos considerar o seguinte:
 - O capacitor descarrega por metade do período da senoide (é menos que isso na realidade, mas essa fórmula é aproximada e conservadora de qualquer forma).

- A corrente de descarga será aproximadamente a corrente de saída (desprezando a corrente que desce para o Zener).
- Logo a carga que sairá do capacitor neste meio-período de senoide será

$$Q = I \cdot \frac{T}{2} = \frac{I}{2f}$$

- Finalmente, a capacitância é carga sobre tensão. Para uma descarga Q e uma variação de tensão ΔV (o *ripple*), temos

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{I}{2f\Delta V}$$

- Qual o valor do capacitor?

$$C = 0,5/2 \cdot 120 \cdot 2$$

$$C = 0,001 \text{ F}$$

Arredondar para 0,001 F

Escolha do transistor

- Escolher um transistor é uma tarefa complicada. Você pede ajuda para um colega que tem mais familiaridade com eletrônica:
 - Você: “Que transistor eu uso? ”
 - Colega: “Depende. Quanta corrente máxima de coletor você acha que precisa na sua aplicação? E qual é, aproximadamente, a tensão V_{CE} máxima nesse transistor? ”
 - Você:

Vce aproximadamente 16 V

Corrente máxima aproximadamente 500 mA

- Colega: “Bom, nesse caso eu acho que um TIP31 funciona, se é que eu lembro corretamente dele. Dá uma olhada no datasheet e veja se serve. Não se esqueça de checar a potência do transistor também, que é a tensão V_{CE} vezes a corrente de coletor I_C , ok? ”
- Você: “Valeu! ”

- Qual a potência de pico estimada neste transistor?

Aproximadamente 8 W

- Verifique que o TIP31 atende os requisitos do problema. Segundo o datasheet, qual a corrente máxima de coletor? Qual a tensão máxima coletor-emissor? Qual a máxima dissipação de potência permitida sem dissipador de calor? Vamos precisar de dissipador de calor ou não?

40 V e 3 A

<http://html.alldatasheet.com/html-pdf/2776/MOSPEC/TIP31/144/1/TIP31.html>

- Qual o V_{BE} deste transistor? Qual o β (também conhecido como h_{FE})?

$V_{BE} = 5 \text{ V}$

$h_{FE} = 25$ para $I_C = 1 \text{ A}$ e $V_{CE} = 4 \text{ V}$

$h_{FE} = 10$ para $I_C = 3 \text{ A}$ e $V_{CE} = 4 \text{ V}$

$h_{FE \text{ max}} = 50$

Escolha do Zener

- Considerando o V_{BE} do TIP31 e a tensão desejada de saída, escolha um Zener adequado. Qual a tensão V_Z e a corrente de trabalho deste Zener?

$V_Z = 10 \text{ V}$

$i = (16 - 10,8) / \text{resistência}$

$i = 5,2 / 1000$

$i = 5,2 \text{ mA}$

Escolha do resistor do Zener

- A corrente que passa no resistor é a corrente de trabalho do Zener (que acabamos de determinar) mais a corrente de base do transistor. Qual a corrente de base do transistor? Qual a corrente no resistor?

Corrente de base = aprox. 500 micro
Corrente no resistor = aprox 5,3 mA (medido) 5,2 mA (teórico)

- Essa corrente que passa no resistor tem que ser garantida! Senão o Zener sai da região de trabalho! Para garantir que a corrente será sempre acima do valor mínimo determinado acima, vamos considerar que essa corrente deverá passar pelo resistor quando a tensão no resistor for mínima.
 - Qual a tensão mínima no resistor? Lembre-se que a tensão no Zener está fixa, e a tensão no capacitor tem um valor mínimo que você já calculou anteriormente.

$$13 - 10,8 = 2,2 \text{ V}$$

- Finalmente, qual o valor da resistência?

Corrente máxima do zener = Potência / Tensão
 $i = 1 / 10,8$
 $i = 0,09 \text{ A}$

Resistência mínima = $10,8 / 0,09$
 $R = 120 \text{ ohms}$

<https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds18007.pdf>

Escolha do diodo retificador

- Bom, já meio que escolhemos o diodo 1N4001 aqui. Inclusive você já determinou o V_D dele. Confirme que a tensão reversa máxima do diodo está de acordo com nosso circuito: qual é o valor no datasheet?

50 V

<https://www.vishay.com/docs/88503/1n4001.pdf>

Valores comerciais

Agora temos todos os componentes dimensionados! Exceto que são valores inexistentes comercialmente. Quais os valores comerciais de R e C que você vai usar?

1k ohm
1 mF

Testando o design no simulador

Implemente o circuito no simulador. Use o resistor de saída que você calculou como sendo o representante do Arduino.

- Vamos simular o circuito por 6 períodos, com 2000 pontos de simulação nesta duração completa. Qual a duração e o tamanho de passo de simulação?

- Qual a tensão e corrente de saída? Funcionou?

10,1 V
501 mA

- Meça a corrente no diodo retificador. Ele vai aguentar? Confirme no datasheet.

Aproximadamente 6 A, o limite do diodo é de 50 A

- Verifique o valor de potência no transistor. Esse valor será a tensão V_{CE} vezes a corrente I_C no coletor. Para conseguir medir isso no simulador, escreva a expressão a seguir: $(V(Q1, nC) - V(Q1, nE)) * I(Q1, nC)$. Qual o valor máximo da potência?

$$6 * 0,5 = 3 \text{ W}$$

- Parece que é melhor colocar um dissipador de calor! E por pouco! Ou seja, qualquer pequeno dissipador de calor resolve. Mas se você quiser ter certeza, o seguinte artigo discute dissipação de calor:

<http://www.learnabout-electronics.org/Amplifiers/amplifiers51.php>

Veja se você consegue projetar o dissipador de calor adequado!

Conclusão e próximos passos

Conseguimos projetar o circuito completo, com todos seus detalhes, usando apenas os conhecimentos adquiridos nestas poucas aulas de eletrônica que tivemos! Trata-se de um circuito simples, claro, mas os princípios de operação estão todos lá.

Como desafios, proponho o seguinte:

- Vá no FabLab e monte o circuito para valer! Se não tiver transformador, use um gerador de sinais de bancada para testar o circuito.
- Transforme esta fonte fixa em uma fonte regulável. Para tanto, veja este exemplo:

<http://www.radio-electronics.com/info/power-management/linear-power-supply-psu/series-voltage-regulator-theory-circuit.php>