



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
FEELT

**FONTE LINEAR REGULADA + CIRCUITO
AMPLIFICADOR**

Relatório da Disciplina de Eletrônica Analógica I
por

Ana Júlia Costa Santana - 11811ETE003
Lesly Viviane Montúfar Berrios - 11811ETE001

Prof. Daniel Pereira de Carvalho
Uberlândia, Dezembro / 2019

Sumário

1	Introdução	2
2	Fonte de Alimentação Linear Regulada	3
2.1	Componentes e orçamento	3
2.2	Memória de cálculo	4
2.2.1	Retificação	5
2.2.2	Filtragem	5
2.2.3	Regulação	5
2.2.4	Transistores em configuração Darlington	6
2.2.5	Resistor para descarga do capacitor	7
2.3	Finalização e considerações sobre a PCB	8
2.3.1	Espessura da linha	8
2.3.2	Projeto final no <i>PROTEUS</i>	8
2.4	Testes e ensaios	9
2.4.1	Regulação de linha	9
2.4.2	Regulação de carga	9
3	Circuito amplificador	10
3.1	Componentes e orçamento	10
3.2	Memória de Cálculo	11
3.2.1	Amplificador Push Pull (Classe AB)	11
3.2.2	Amplificador Seguidor de emissor	11
4	Finalização do projeto: Fonte + Circuito amplificador	12
5	Conclusões	13

1 Introdução

Na construção e planejamento da primeira placa de impresso (*PCB*) está a essência de qualquer curso da Faculdade de Engenharia Elétrica (FEELT), uma vez que, à despeito das dificuldades no entendimento da disciplina teórica, o planejamento e análise da forma de onda da grandezas de tensão e corrente demonstram e ilustram com lucidez cada processo intrínseco do circuito. Nesse sentido, o uso de simuladores, seja *PROTEUS*, *MULTSIM* ou qualquer outro, é ferramenta de imprescindível para a análise do qualquer circuito, e entendimento dos componentes necessários e melhor adaptáveis às exigências do projeto.

O projeto a ser destrinchado em cálculos e demonstrações é retirado do material *El Cheapo* [1] cujo título é *Um realmente simples amplificador de potência* (do inglês, *A Really Simple Power Amplifier*). Logo, é preciso planejar a elaboração de dois circuitos: a *fonte de alimentação linear regulada* e o *circuito amplificador*. Sabe-se que o projeto mencionado pode ser substituído em parte por um dispositivo menor (um amplificador operacional), contudo isso não é feito visto que o objetivo principal é o aprendizado dos componentes mais básicos da elétrica: resistores, capacitores, transistores e diodos.

À respeito da ***fonte de alimentação linear regulada***, tratada na Seção 2, pode obter-se melhor experiência, seja na busca por componentes, assim como melhor envolvimento com ferramentas de simulação e elaboração de placas de circuito impresso. Sabendo-se que trata-se de um dispositivo responsável por converter a tensão elétrica alternada em contínua, foi possível verificar experimentalmente as qualidades e resultados de um circuito retificador em ponte, além de filtros capacitivos e circuitos reguladores com diodos zener.

Já o ***circuito amplificador***, discutido na Seção 3, pode e deve ser realizado com maior empenho, devido à experiência adquirida durante a realização da fonte. Ademais, é interessante sua análise, uma vez que nesse circuito se vê a aplicação de conceitos aprendidos na disciplina teórica, por exemplo de circuitos amplificadores coletor-comum (ou seguidor de emissor) com/sem bootstrapping, amplificadores push-pull, e outros.

Na Seção 2, é descrita o procedimento completo para a construção na fonte, começando pela catalogação dos componentes necessários e seu orçamento, para assim poder estudá-lo em etapas de análise: retificação, filtragem e regulação. Em seguida, na Seção 3, são tratadas as peculiaridades do circuito amplificador, o qual abrange transistores amplificadores de distintas características. Para assim, na Seção 4 mostrar o resultado final obtido da fonte com o amplificador.

2 Fonte de Alimentação Linear Regulada

2.1 Componentes e orçamento

Com intuito de realizar primeiramente o circuito que alimentará o circuito amplificador, ou seja a fonte de alimentação, *El Cheapo* sugere o esquemático da Figura 1, o qual já foi adaptado em [1] para componentes mais modernos, por exemplo substituindo os transistores de germânio por outros de silício. Assim, extraí-se os componentes que estão dispostos na Tabela 1, na qual também verifica-se o orçamento total para esta etapa, nas lojas de eletrônicos de Uberlândia, sendo visitadas Mundo Eletrônico, Ponto Eletrônico, Rádio Peças Uberlândia e Ponto Eletrônico para a aquisição de todos os componentes necessários.

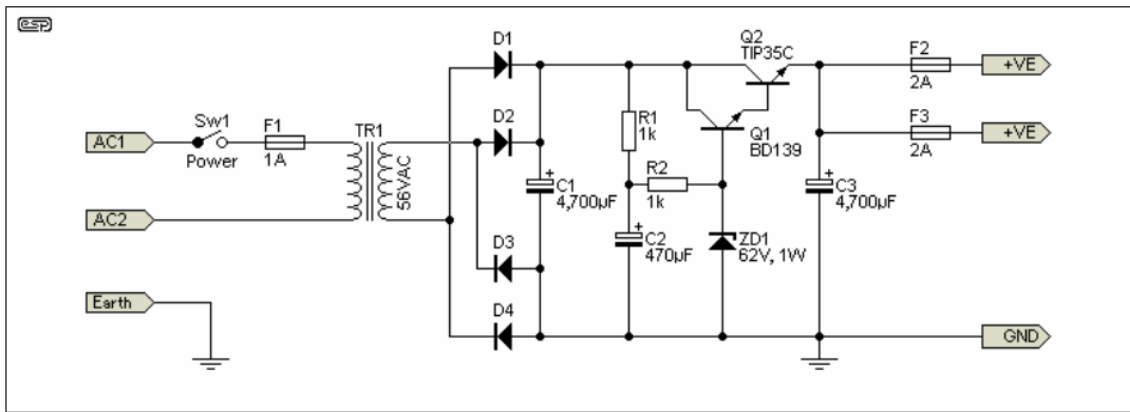


Figura 1: Esquemático *El Cheapo* do circuito alimentador [1].

A escolha dos componentes da Tabela 1 também exige análise do circuito mediante um simulador ou análise do circuito, seja por malhas ou nodal, visto que devem ser projetados para uma tensão suficientemente alta. Para todo componente, existe essa limitação intrínseca do material, por exemplo a ponte retificadora escolhida foi a GBJ606, dado que suporta uma corrente máxima de 6A e tensão máxima de 600V.

Tabela 1: Componentes e orçamento da fonte.

Componente	Especificação	Quantidade	Preço (R\$)	Descrição
Capacitores	$4700\mu F - 100V$	2	35	C1, C3
	$470\mu F - 100V$	1	9,50	C2
Resistores	$1k\Omega$	2	0,12	R1, R2
	$1k8\Omega - 5W$	2	4,84	Descarga do capacitor
Ponte Retificadora	6A	1	7,15	Havia a GBJ606
Transistores	BD139	1	0,85	Q1
	TIP35C	1	5,85	Q2
Fusível	4A	1	0,30	FUS
Borne Pannel	5A	4	5,25	Só havia de 20A
Placa de fenolite	$10 \times 15cm$	1	6,80	Tamanho adequado
Total:			R\$ 75,66	

2.2 Memória de cálculo

Cada componente possui uma função no circuito, que pode ser analisada a nível de tensão e corrente. Espera-se um sinal contínuo na saída, com o qual poderá conectar-se a carga que puxa no máximo 4A (limitação do fusível). Assim, é utilizada uma carga $R_{CARGA} = \frac{V_{OUT}}{I_{OUTmax}} = \frac{60}{4} = 15\Omega$, como observa-se na Figura 2 utilizada na simulação.

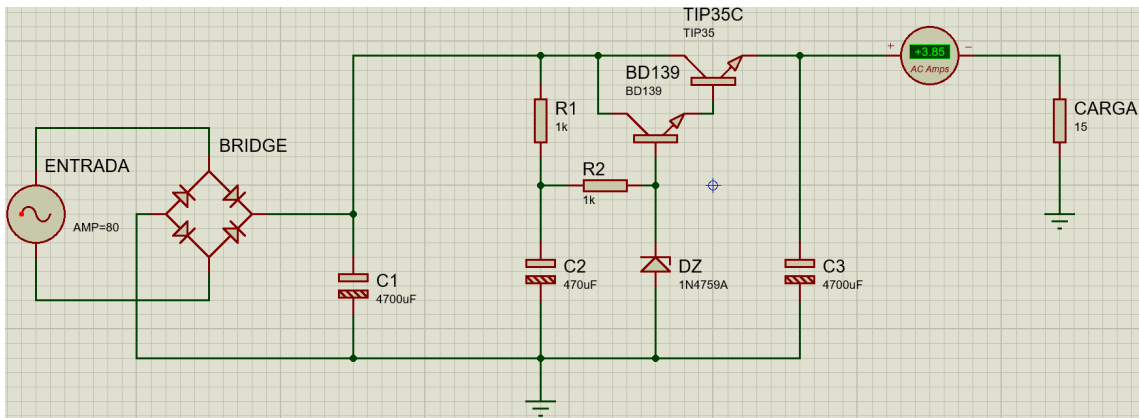


Figura 2: Circuito utilizado na simulação da fonte.

2.2.1 Retificação

Esta etapa transforma a tensão alternada em uma tensão contínua pulsante, e é realizada pela ponte retificadora, sendo escolhida a GBJ606 que suporta de 6A, 600 V e atende os parâmetros do circuito montado. Na Figura 3 observa-se o gráfico da forma de onda da tensão, após a retificação em onda completa pela ponte de diodos.

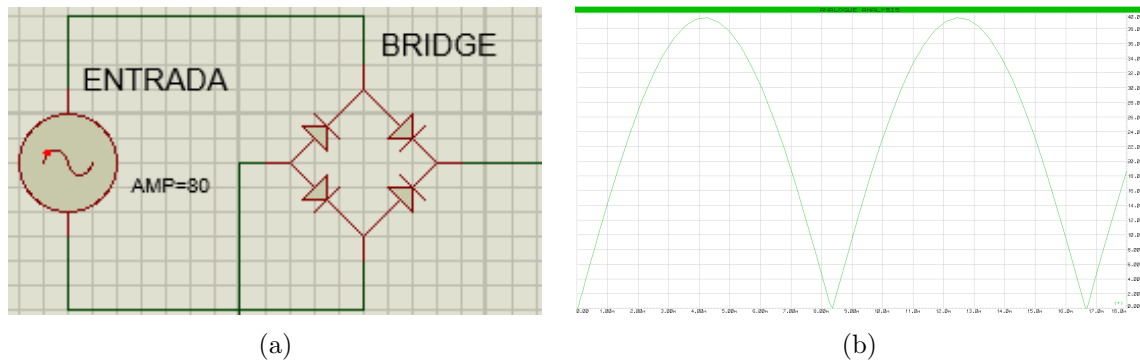


Figura 3: Estágio de retificação (a) circuito (b) resultado da retificação em onda completa.

2.2.2 Filtragem

Transforma a tensão contínua pulsante em uma tensão contínua quase perfeita. Mas essa tensão contínua apresenta, quando a fonte é ligada a uma carga, uma oscilação chamada Tensão de Ripple. Essa etapa é realizada pelos capacitores encontrados no circuito que devido a sua composição, ao sofrer o processo de carga e descarga diminuem a oscilação da tensão já que a tensão fornecida ao circuito agora nos momentos de pulso é suprida pela descarga do capacitor. Porém como abordado anteriormente, resta ainda o ripple e para eliminar esse fator incômodo existe ainda outra etapa...

2.2.3 Regulação

Após a retificação e a filtragem, ocorre a etapa de regulação, com o objetivo de eliminar definitivamente a tensão de oscilação, mesmo com uma carga variável. O diodo utilizado, conta com uma tensão Zener nominal de 62 V para uma corrente de teste de 4 mA.

O comportamento do zener é observado para dois processos, a regulação de linha, que mostra a capacidade da fonte de manter a tensão de saída diante de variações na tensão de entrada.

Se a tensão de entrada aumenta muito, ao invés de ter todo esse acréscimo em cima da carga, o diodo Zener, regula esse valor de tensão, por meio da sua característica de operação em ruptura reversa. Isso é bem observado na corrente,

que sofre maiores alterações para que a tensão se mantenha constante. Para o processo inverso, com um decréscimo na tensão de entrada, um processo análogo. As variações na tensão de entrada, são direcionadas ao resistor limitador, mostrando serem válidas as equações abaixo.

$$I_S = I_Z + I_R \quad (1)$$

$$V_S = V_{in} - V_Z \quad (2)$$

Existe ainda a regulação de carga, que mostra a capacidade da fonte de manter uma tensão de saída constante diante de variações na corrente de carga. Que depende da potência requerida pela carga.

$$I_S = \frac{V_{in} - V_Z}{R_S} \quad (3)$$

Logo, para toda a variação na corrente de carga é compensada por uma variação oposta na corrente através do diodo Zener, mantendo a tensão constante.

2.2.4 Transistores em configuração Darlington

A configuração Darlington permite maior sensibilidade do transistor, permitindo um ganho β (h_{FE}) maior. Assim, na Figura 4, vê-se o par Darlington com os transistores TIP35C e BD139.

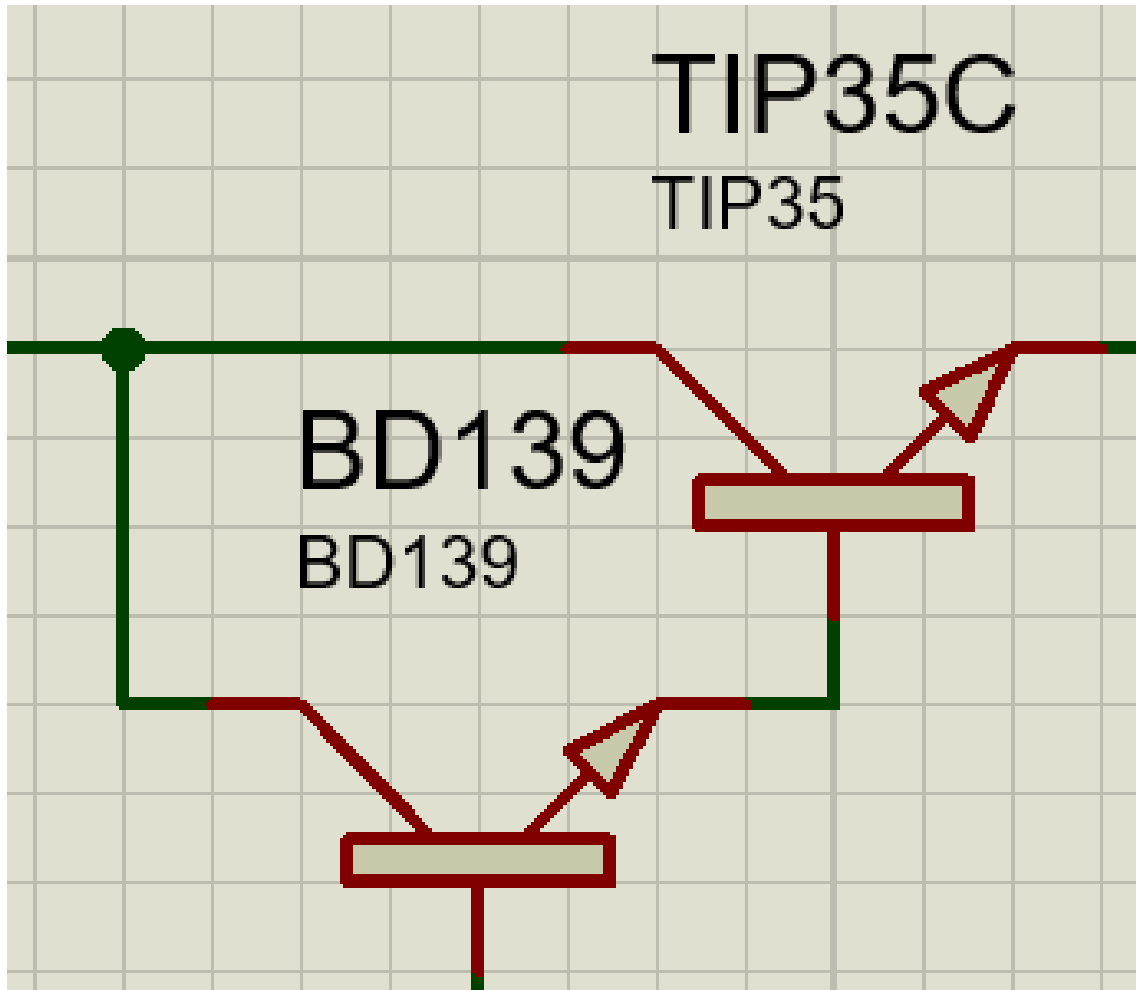


Figura 4: Configuração Darlington na fonte.

2.2.5 Resistor para descarga do capacitor

Para segurança do circuito, e daqueles que forem manejá-lo, resistores foram acrescentados em paralelo com os capacitores, para que, ao efetuar o desligamento da placa os capacitores pudessem ser descarregados em segurança. Para projetar a resistência necessária nos capacitores, as equações conhecidas para descarga num capacitor foram aplicadas.

$$t = RC \cdot \ln\left(1 - \frac{V_C}{V_{in}}\right) \quad (4)$$

Considerando os capacitores de 4700uF e um tempo de descarga de 10 s, para uma tensão média entre os dois capacitores, V_C de 64,85V (de acordo com simulação) e V_{in} de 80 V_{pp}, a resistência mínima necessária é de 1,3kΩ, para suprir esses requisitos mínimos, foi utilizado um resistor de 1,8kΩ de 5W.

2.3 Finalização e considerações sobre a PCB

2.3.1 Espessura da linha

Ao projetar a placa de circuito impresso. Um cuidado maior com relação as trilhas precisa ser tomado, para que não haja problemas quanto a passagem de corrente, e para otimizar a dissipação do calor na placa. Para escolher uma espessura de linha que cumprisse tais propósitos, utilizamos o equacionamento de acordo com a norma IPC-2221, que através de sua curva define as constantes k , b e c que são utilizadas no cálculo da espessura da trilha mais adequada. Iniciando pelo cálculo da área temos:

$$A[th^2] = \left(\frac{I}{k \cdot (Temp - Rise[deg.C])^b} \right)^{\frac{1}{c}} \quad (5)$$

E em sequência a largura é dada:

$$L[th] = \frac{A}{Espessura[oz] \cdot 1,378} \quad (6)$$

Considerando $k = 0,048$, $b = 0,44$, $c = 0,725$ e a placa de fenolite de 1 OZ , e uma variação de temperatura de aproximadamente $10^\circ C$, descobriu-se um valor para a espessura das linhas de aproximadamente $90th$, o qual foi utilizado na maioria das trilhas do projeto.

2.3.2 Projeto final no *PROTEUS*

Utilizando todos os conceitos já descritos foi possível organizar os componentes em uma placa de circuito impresso, utilizando o software *PROTEUS*.

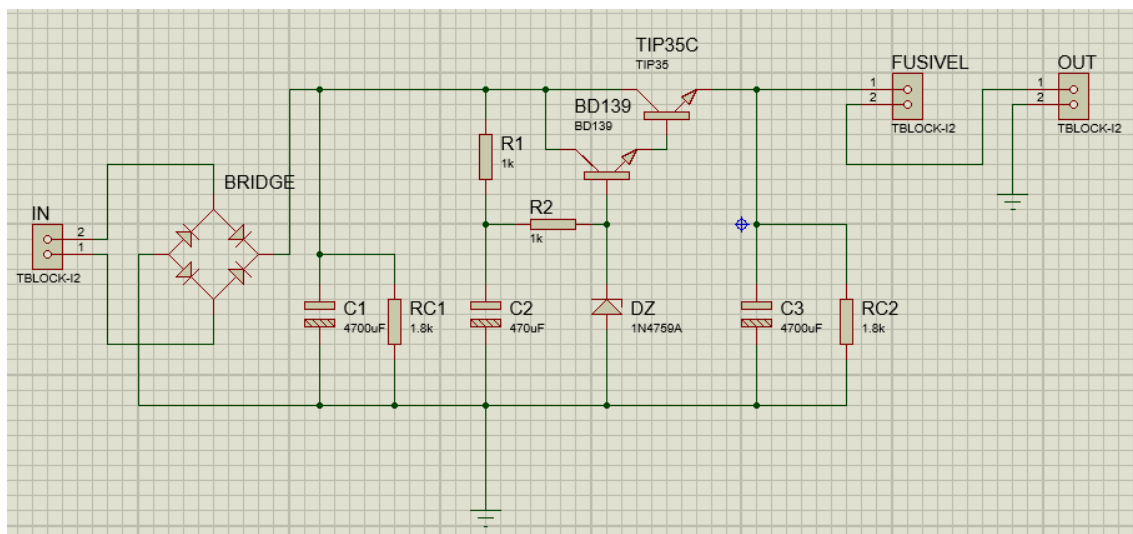


Figura 5: Projeto ISIS da fonte.

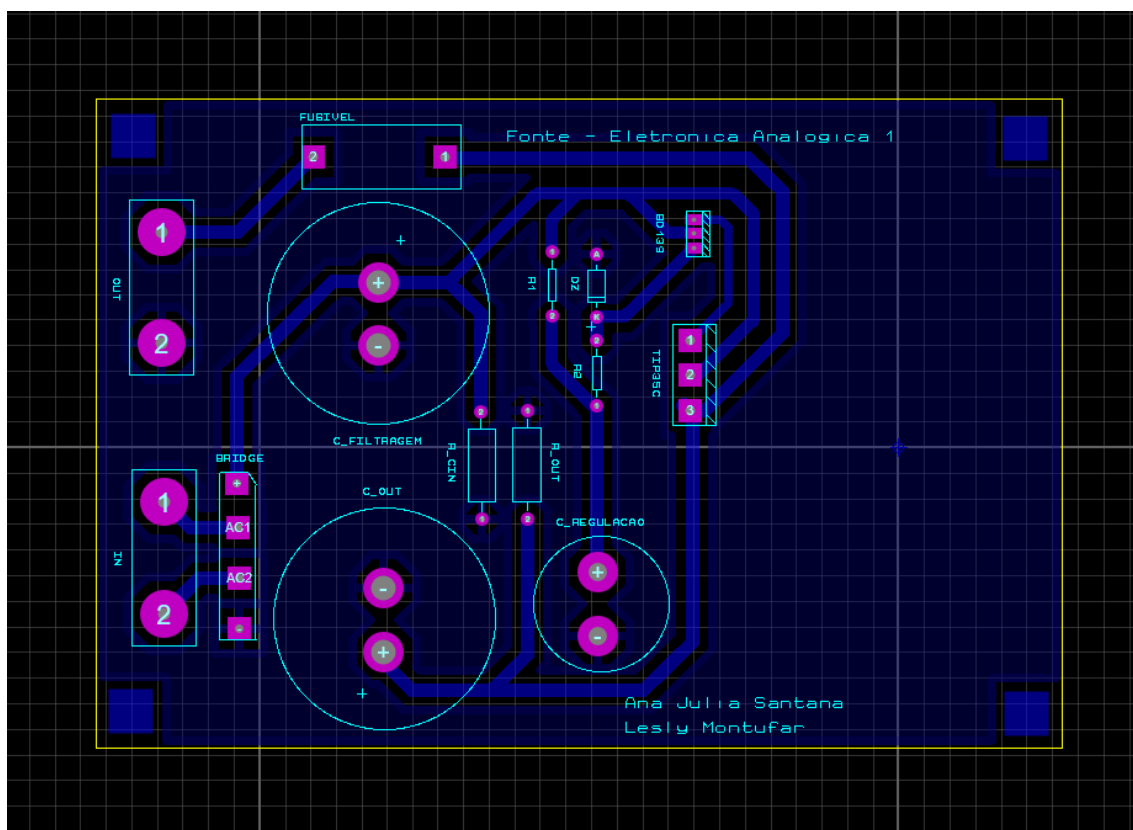


Figura 6: Projeto ARES da fonte.

2.4 Testes e ensaios

2.4.1 Regulação de linha

2.4.2 Regulação de carga

3 Circuito amplificador

3.1 Componentes e orçamento

O esquemático *El Cheapo*, apresentado na Figura 7, possui alguns dispositivos que são obsoletos hoje, por exemplo os trasistores de germânio, os quais podem ser equivalentemente substituídos pelos componentes descritos na Tabela 2.

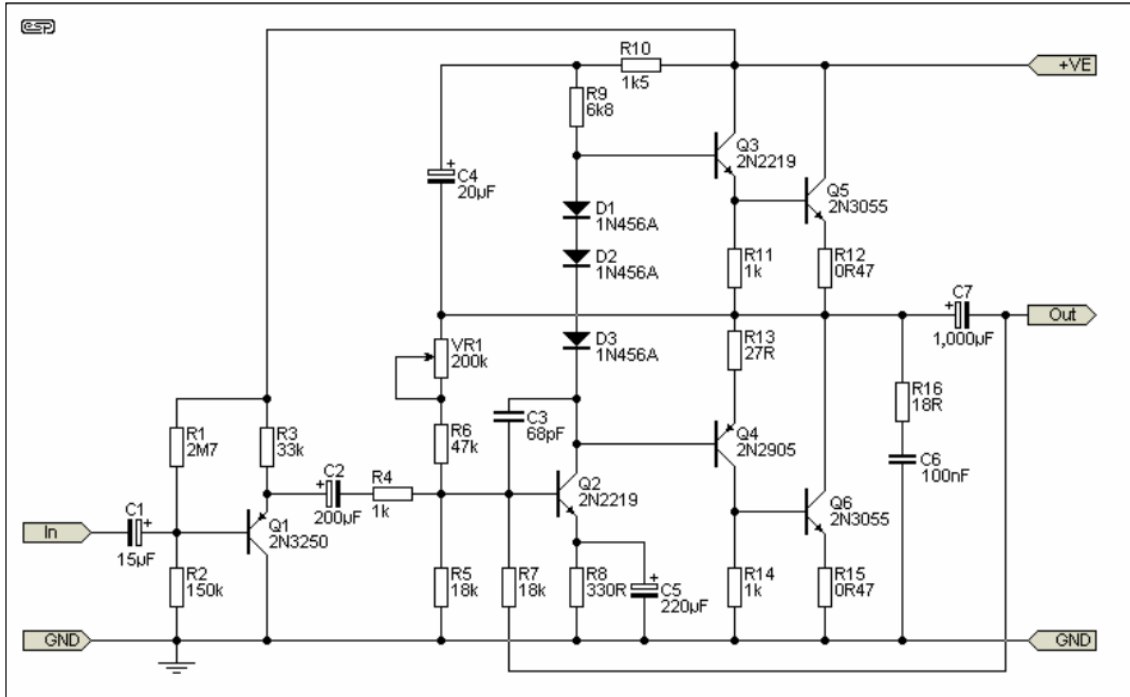


Figura 7: Esquemático *El Cheapo* do circuito amplificador [1].

Dos componentes da Tabela 2, extraídos do esquemático da Figura 7, ainda são possíveis mudanças para o aprimoramento dos mecanismo do circuito. O capacitor $C7^*$ por exemplo poderia ter aumento de capacitância para $4700\mu F$, com o intuito de suprir o amortecimento insuficiente do arranjo de capacitores. Ademais, é importante ressaltar que os diodos (D1, D2 e D3) devem estar em contato com o dissipador, uma vez que da simulação se terá uma tensão em torno de 4 vezes a tensão de pico da fonte.

Tabela 2: Componentes e orçamento do circuito amplificador.

Componente	Especificação	Quantidade	Preço	Descrição	Observações
Capacitores	$15\mu F$	1	0,40	C1	2 cap $10\mu F$ 50V(0,20)
	$200\mu F$	1	5,00	C2	
	$68pF$	1	0,50	C3	50V cerâmico
	$20\mu F$	1	0,76	C4	22UF 100V
	$220\mu F$	1	6,20	C5	220MF 100V (6,20) 220V (5,00)
	$100nF$	1	0,42	C6	100k 50V cerâmico
	$1000\mu F$	1	15,50	C7*	4700MF 63V(15,50)/1000MF 25V
Resistores	$2M7\Omega$	1	0,09	R1	
	$150k\Omega$	1	0,10	R2	1/8W
	$33k\Omega$	1	0,10	R3	1/8W
	$1k\Omega$	3	0,15	R4, R11, R14	
	$18k\Omega$	2	0,16	R5, R7	1/8W
	$47k\Omega$	1	0,10	R6	1/8W
	$330R\Omega$	1	0,10	R8	1/8W
	$6k8\Omega$	1	0,10	R9	1/8W
	$1k5\Omega$	1	0,10	R10	1/8W
	$0R47\Omega$	2	0,20	R12, R15	1/8W
	$27R\Omega$	1	0,10	R13	1/8W
	$18R\Omega$	1	0,05	R16	1/8W
Diodos	1N456A	3	0,30	D1, D2, D3.	
Transistores	BC559	1	0,93	Q1	
	BD139	2	5,40	Q2, Q3	
	BD140	1	1,68	Q4	
	2N3055 (TIP35C)	2	11,82	Q5, Q6	
Potenciômetro	200k	1	2,75	VR1	
Bornes	Painel	4	5,25		
	Jack J2M	1	1,70		PJ-301
		Total:	R\$ 59,96		

3.2 Memória de Cálculo

3.2.1 Amplificador Push Pull (Classe AB)

3.2.2 Amplificador Seguidor de emissor

4 Finalização do projeto: Fonte + Circuito amplificador

5 Conclusões

Referências

- [1] Rod Elliott, "El Cheapo - A Really Simple Power Amplifier", ESP, Elliott Sound Products, 2005. Disponível em: <https://sound-au.com/project12a.htm>. Acesso em: out. 2019.
- [2] Brooks Doug, Graves Dave, "Current Carrying Capacity of Vias" Disponível em: <https://www.ultracad.com/articles/viacurrents.pdf>. Acesso em: out. 2019.
- [3] Soares Camila, "Dedução das equações de carga e descarga dos capacitores utilizando equações diferenciais de primeira ordem". Disponível em: <https://camilasoares.wordpress.com/2009/04/07/dedacao-das-equacoes-de-carga-e-descarga-dos-capacitores-utilizando-equacoes-diferenciais-de-primeira-ordem/> Acesso em: out. 2019.
- [4] Petry Clovis Antonio, "D. PROJETO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO - BÁSICO "Disponível em: http://www.professorpetry.com.br/Bases_Dados/Apostilas_Tutoriais/Projeto_PCI_Charles.pdf. Acesso em: out. 2019.
- [5] Eletronics Tutorials, "Amplifier Classes"Disponível em: <https://www.electronics-tutorials.ws/amplifier/amplifier-classes.html>. Acesso em: dez. 2019.
- [6] "6.0A GLASS PASSIVATED BRIDGE RECTIFIER", DIODES INCORPORATED. Disponível em: <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/ds21216.pdf>. Acesso em: out. 2019.
- [7] "BD135/137/139", FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. Disponível em: http://www.redrok.com/NPN_BD135_45V_1.5A_12.5W_Hfe40_T0-126.pdf. Acesso em: out. 2019.
- [8] "Silicon NPN Power Transistors TIP35/35A/35B/35C ", SavantIC Semiconductor. Disponível em: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/269985/SAVANTIC/TIP35.html>. Acesso em: out. 2019.