LOM3221 – LABORATÓRIO DE ELETRÔNICA
AULA 9

Prof. Dr. Emerson G. Melo

Sumário

- Projeto de Retificador de Onda Completa em Ponte;
- Projeto de Fonte Ajustável;
- Experimento;

Projeto de Retificador de Onda Completa em Ponte

- Objetivo: Projetar um circuito retificador de onda completa em ponte para atender aos seguintes requisitos:

$$V_1 = 127\ \text{V rms/60 Hz}$$
$$V_\text{m} = 40\ \text{V}$$
$$V_r(\text{pp}) = 5\ \text{V}$$
$$I_L = 2\ \text{A}$$
$$f_1 = 60\ \text{Hz}$$

Projeto de Retificador de Onda Completa em Ponte

1 – Determinar as características do transformador:

$V_1 = 127$ V rms/60 Hz

$V_m = 40$ V

$V_r(pp) = 5$ V

$I_L = 2$ A

$f_1 = 60$ Hz

$$V_m = \sqrt{2}V_2 - 2V_D$$

$V_D = 0{,}7$ V

Tensão do Secundário:

$$V_2 = \frac{V_m + 2V_D}{\sqrt{2}} = \frac{40 + 1{,}4}{\sqrt{2}} = 29{,}3 \approx 30 \text{ V rms}$$

Potência:

$$P_2 = V_2 I_L = 30 \times 2 = 60 \text{ W}$$

Transformador:

127/30 V rms/60 Hz

100 VA

Para simulação:

$$n = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}}$$

$$n = \frac{V_1}{V_2} = \frac{127}{30} = 4{,}23$$

$$L_1 = 1 \text{ H}$$

$$L_2 = \frac{L_1}{n^2} = \frac{1}{4{,}28^2} = 55{,}8 \text{ mH}$$

Projeto de Retificador de Onda Completa em Ponte

2 – Calcular o capacitor de filtro e escolher o diodo retificador:

$V_1 = 127$ V rms/60 Hz
$V_m = 40$ V
$V_r(\mathrm{pp}) = 5$ V
$I_L = 2$ A
$f_1 = 60$ Hz

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r(\mathrm{pp})}{2} = V_m - \frac{I_{dc}}{2fC}$$

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r(\mathrm{pp})}{2} = 40 - \frac{5}{2} = 37{,}5\ \mathrm{V}$$

$$C = \frac{I_{dc}}{2f(V_m - V_{dc})}$$

$$f = 2f_1 = 120\ \mathrm{Hz}$$

$$I_{dc} = I_L = 2\ \mathrm{A}$$

$$C = \frac{2}{2 \times 120(40 - 37{,}5)} = 3300\ \mu\mathrm{F}$$

Capacitor de Filtro: Eletrolítico

$C = 3300\ \mu$F $V \geq 60$ V

$$\theta_c = \sqrt{\frac{2V_r(\mathrm{pp})}{V_m}} = \sqrt{\frac{2 \times 5}{40}} = 0{,}5\ \mathrm{rad} = 28{,}65°$$

$$T_1 = \frac{\theta_c}{\omega} = \frac{\theta_c}{2\pi f} = \frac{0{,}5}{2\pi \times 120} = 663\ \mu\mathrm{s}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{120} = 8{,}3\ \mathrm{ms}$$

$$I_p = \frac{T}{T_1} I_{dc} = \frac{0{,}0083}{0{,}000663} 2 = 25{,}1\ \mathrm{A}$$

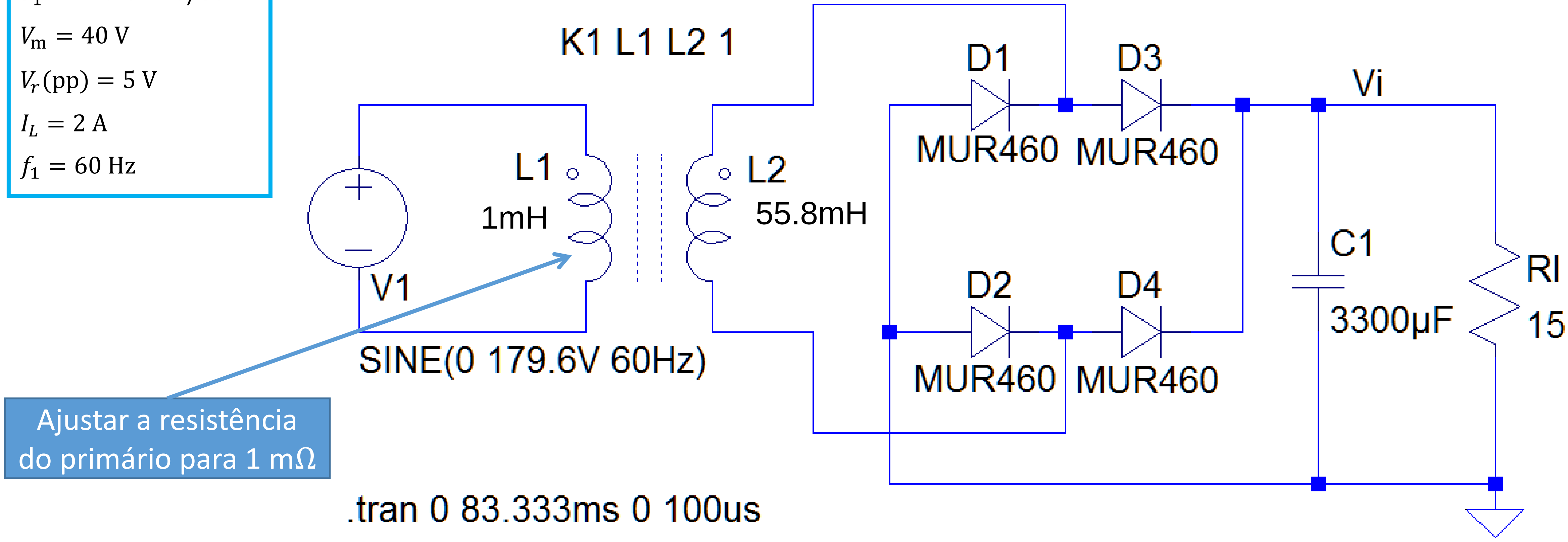
Diodo Retificador: MUR460

$V_R = 600$ V $I_{F(AV)} = 4$ A $I_{FSM} = 110$ A

Projeto de Retificador de Onda Completa em Ponte

❑3 – Construir o circuito no LTspice e verificar a tensão de saída.

$V_1 = 127$ V rms/60 Hz
$V_m = 40$ V
$V_r(pp) = 5$ V
$I_L = 2$ A
$f_1 = 60$ Hz



❑3 – Construir o circuito no LTspice e verificar a tensão de saída.

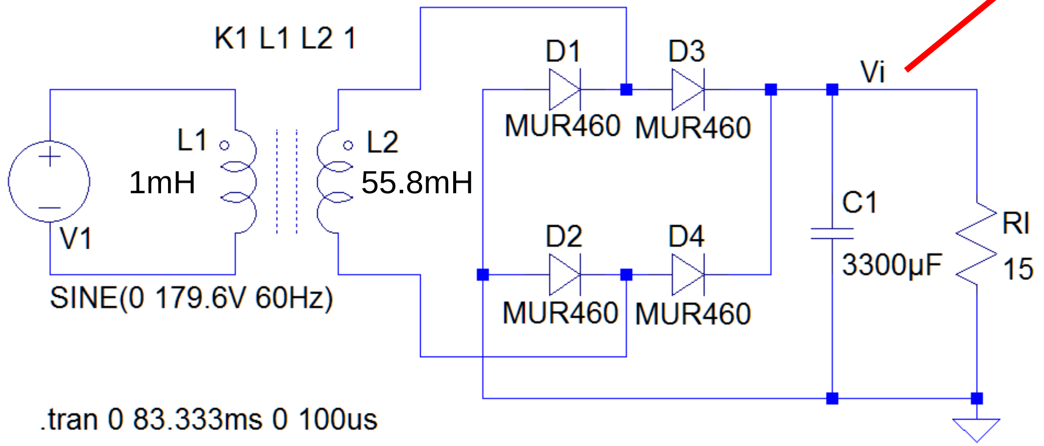
$V_1 = 127$ V rms/60 Hz

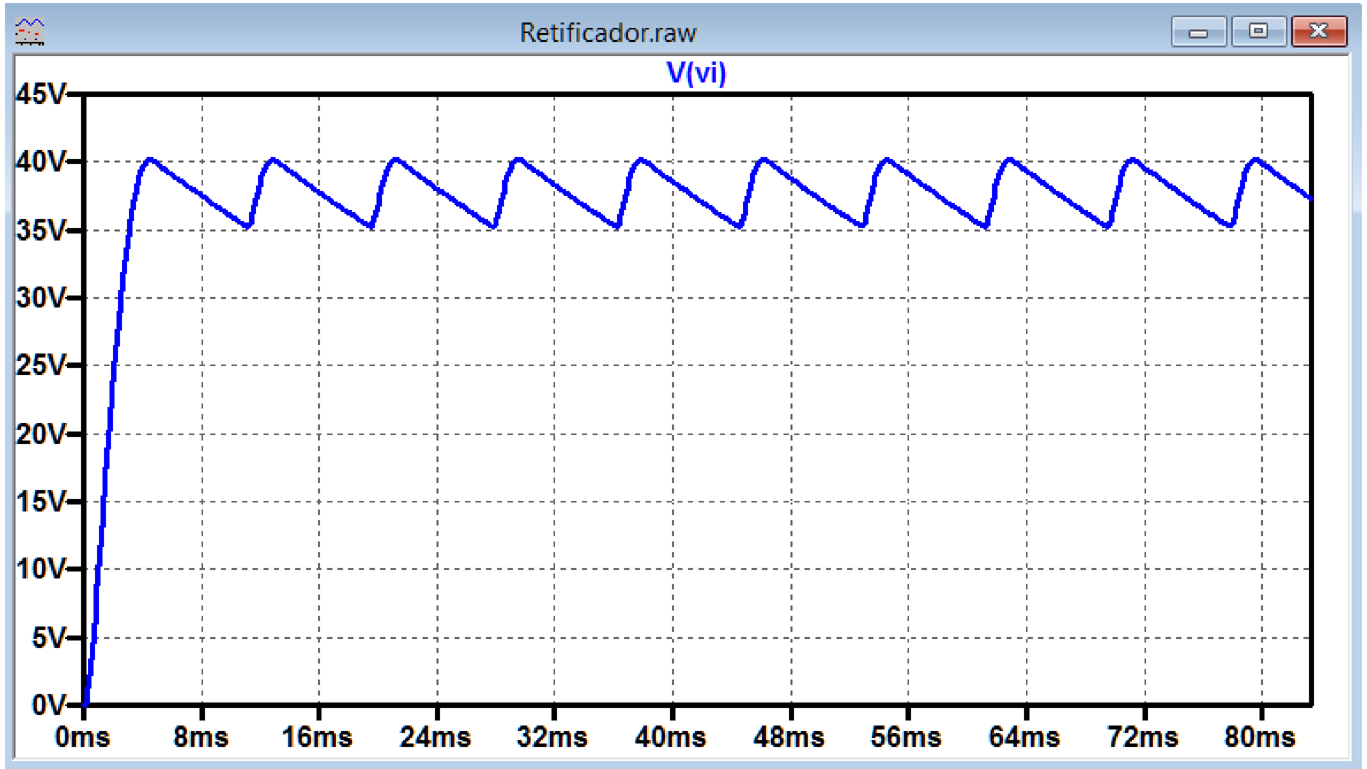
$V_m = 40$ V

$V_r(pp) = 5$ V

$I_L = 2$ A

$f_1 = 60$ Hz



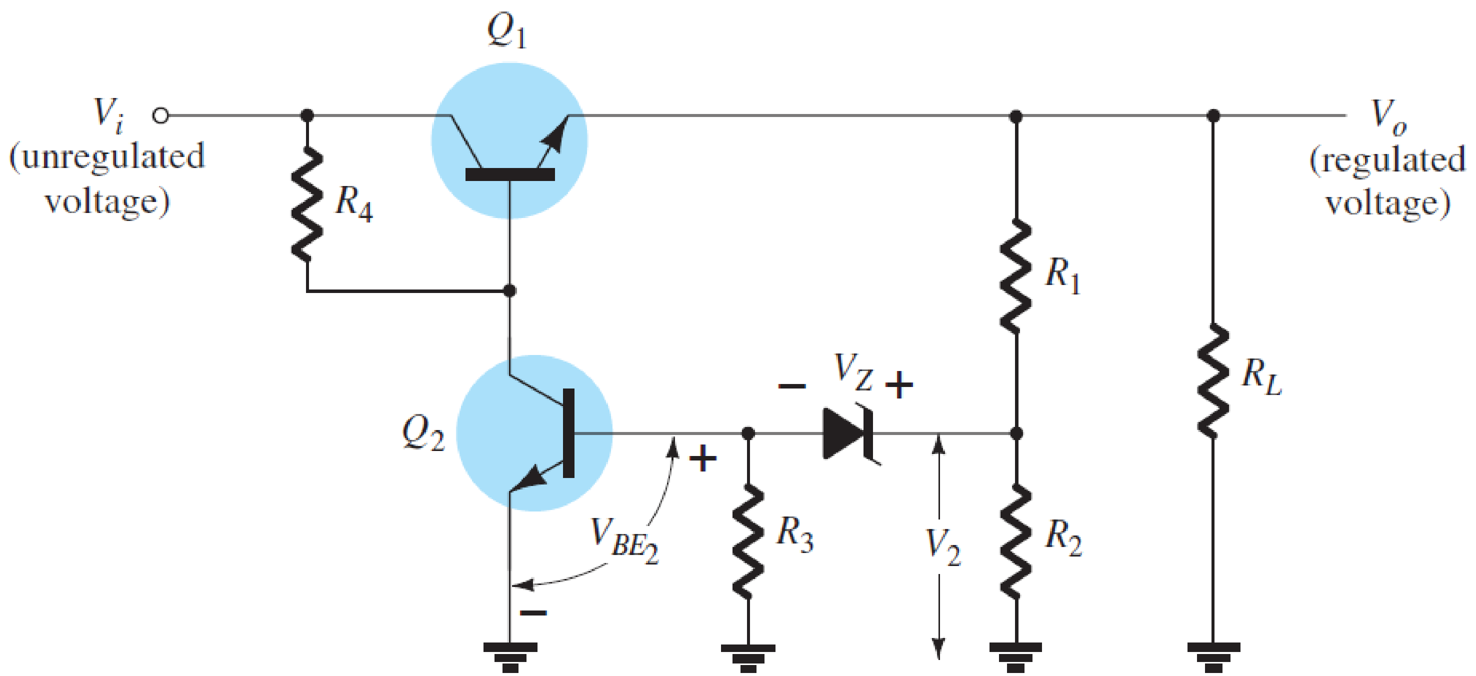


- Objetivo: Projetar uma fonte ajustável para atender aos seguintes requisitos:

$V_i = 35 - 40\ \text{V}$

$V_o = 20 - 30\ \text{V}$

$I_L = 2\ \text{A}$



1 – Selecionar o transistor Q_1:

$V_i = 35 - 40$ V

$V_o = 20 - 30$ V

$I_L = 2$ A

$$V_{CE} = V_i - V_o$$

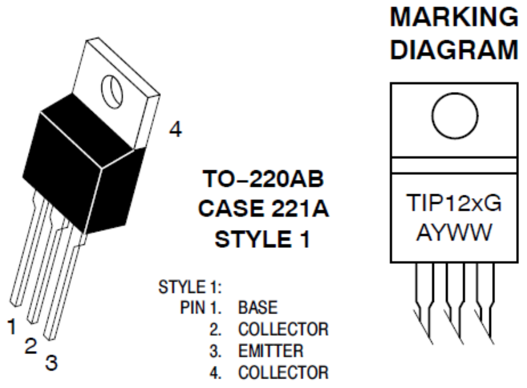
$$V_{CE\max} = 40 - 20 = 20 \text{ V}$$

$$P_{\max} = V_{CE\max} I_L = 20 \times 2 = 40 \text{ W}$$

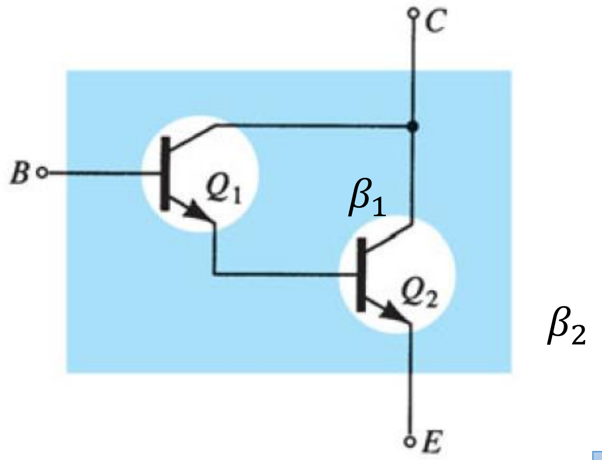
TIP120

DARLINGTON
5 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60–80–100 VOLTS, 65 WATTS

$\beta \geq 1000$



Configuração Darlington



$$I_{C_2} = \beta_2 I_{B_2}$$

$$I_{B_2} = \beta_1 I_{B_1}$$

$$I_{C_2} = \beta_1 \beta_2 I_{B_1}$$

$$\beta = \beta_1 \beta_2$$

$$V_{BE} = 2 \times 0{,}7\ V = 1{,}4\ V$$

A configuração Darlington permite alcançar ganhos de tensão extremamente elevados

Em fontes de alimentação isso é importante para diminuir a dissipação de potência do circuito de controle.

Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

Projeto de Fonte Ajustável

❑1 – Selecionar o transistor Q_1:

$V_i = 35 - 40\ \text{V}$

$V_o = 20 - 30\ \text{V}$

$I_L = 2\ \text{A}$

$V_{CE} = V_i - V_o$

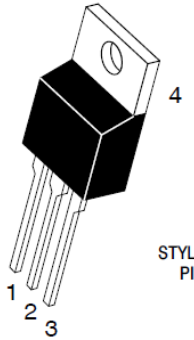
$V_{CE\max} = 40 - 20 = 20\ \text{V}$

$P_{\max} = V_{CE\max} I_L = 20 \times 2 = 40\ \text{W}$

TIP120

DARLINGTON
5 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60–80–100 VOLTS, 65 WATTS

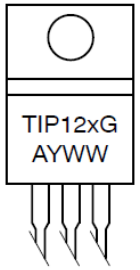
$\beta \geq 1000$

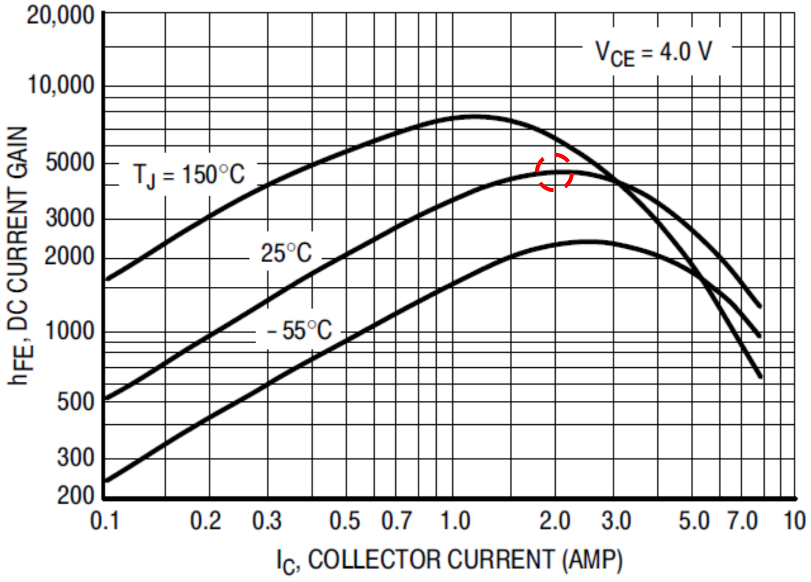


TO–220AB
CASE 221A
STYLE 1

STYLE 1:
PIN 1. BASE
2. COLLECTOR
3. EMITTER
4. COLLECTOR

MARKING DIAGRAM

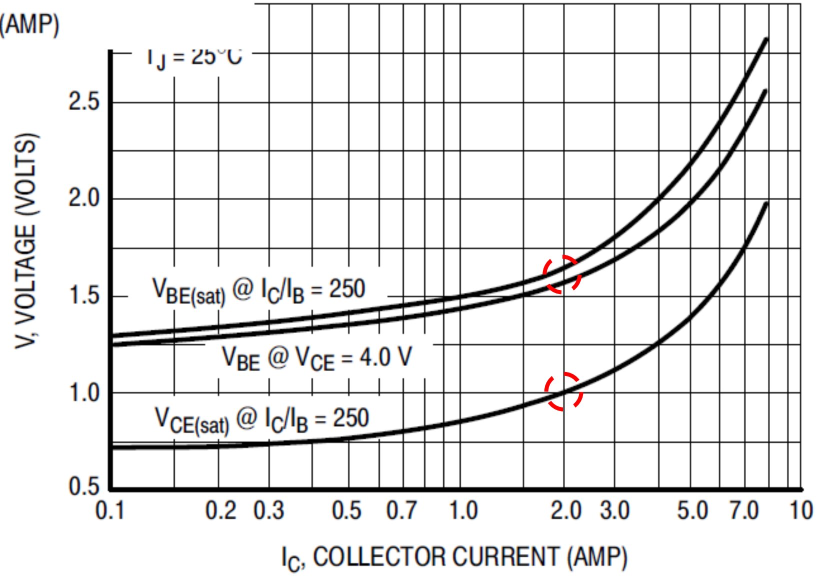




$\beta_{2A} \approx 5000$

$V_{BE} \approx 1{,}5\ V$

$V_{CEsat} \approx 1{,}0\ V$



Projeto de Fonte Ajustável

1 – Selecionar o transistor Q_1:

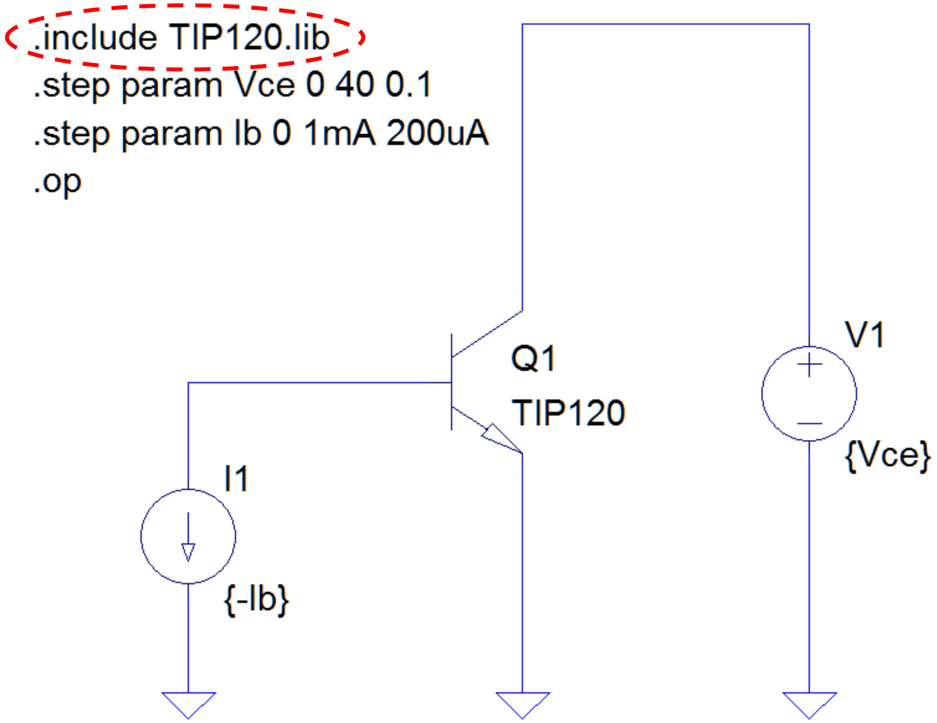
$V_i = 35 - 40$ V

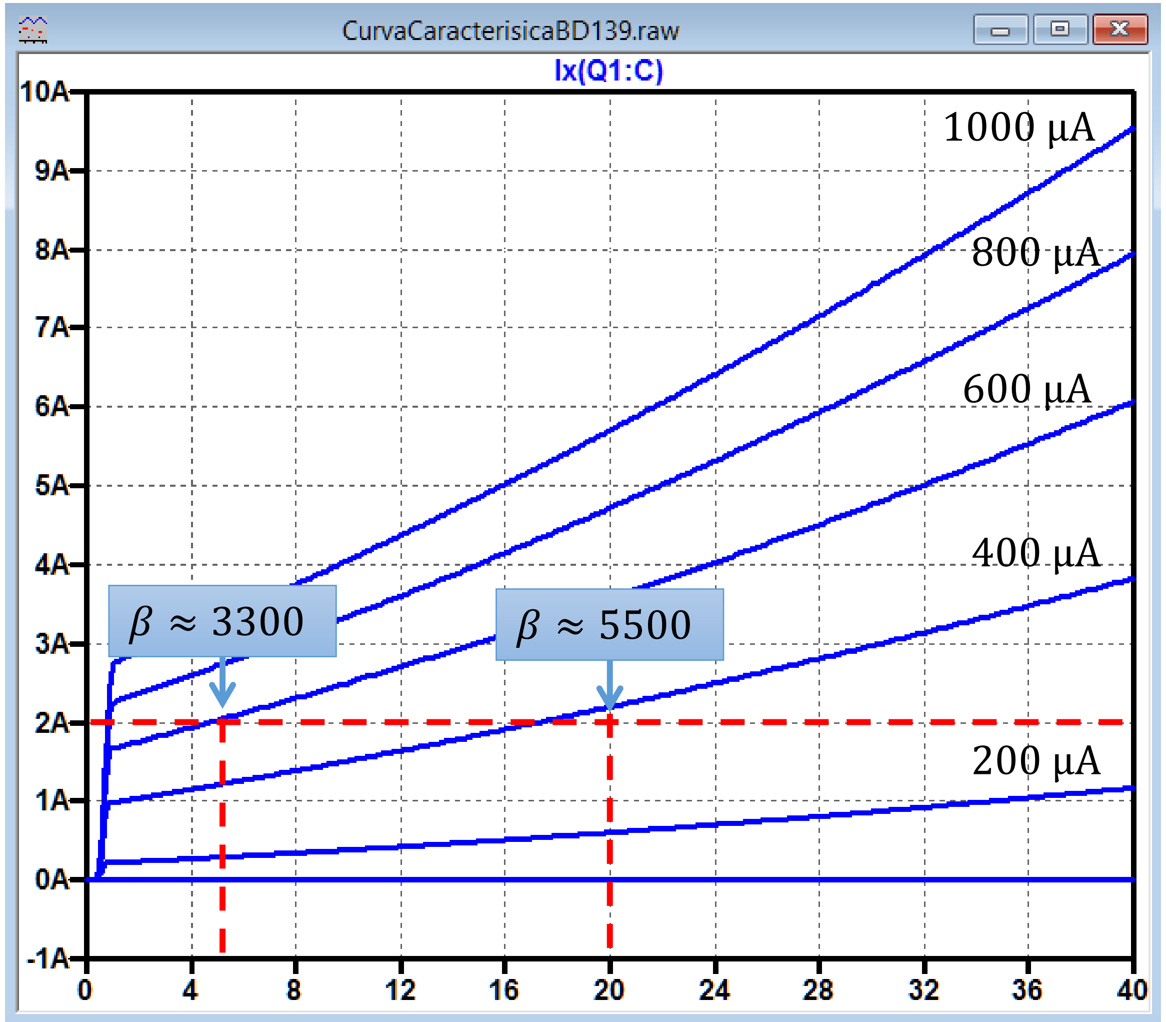
$V_o = 20 - 30$ V

$I_L = 2$ A

$V_{CE\max} = 40 - 20 = 20$ V

$V_{CE\min} = 35 - 30 = 5$ V





Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

Projeto de Fonte Ajustável

2 – Selecionar o transistor Q_2:

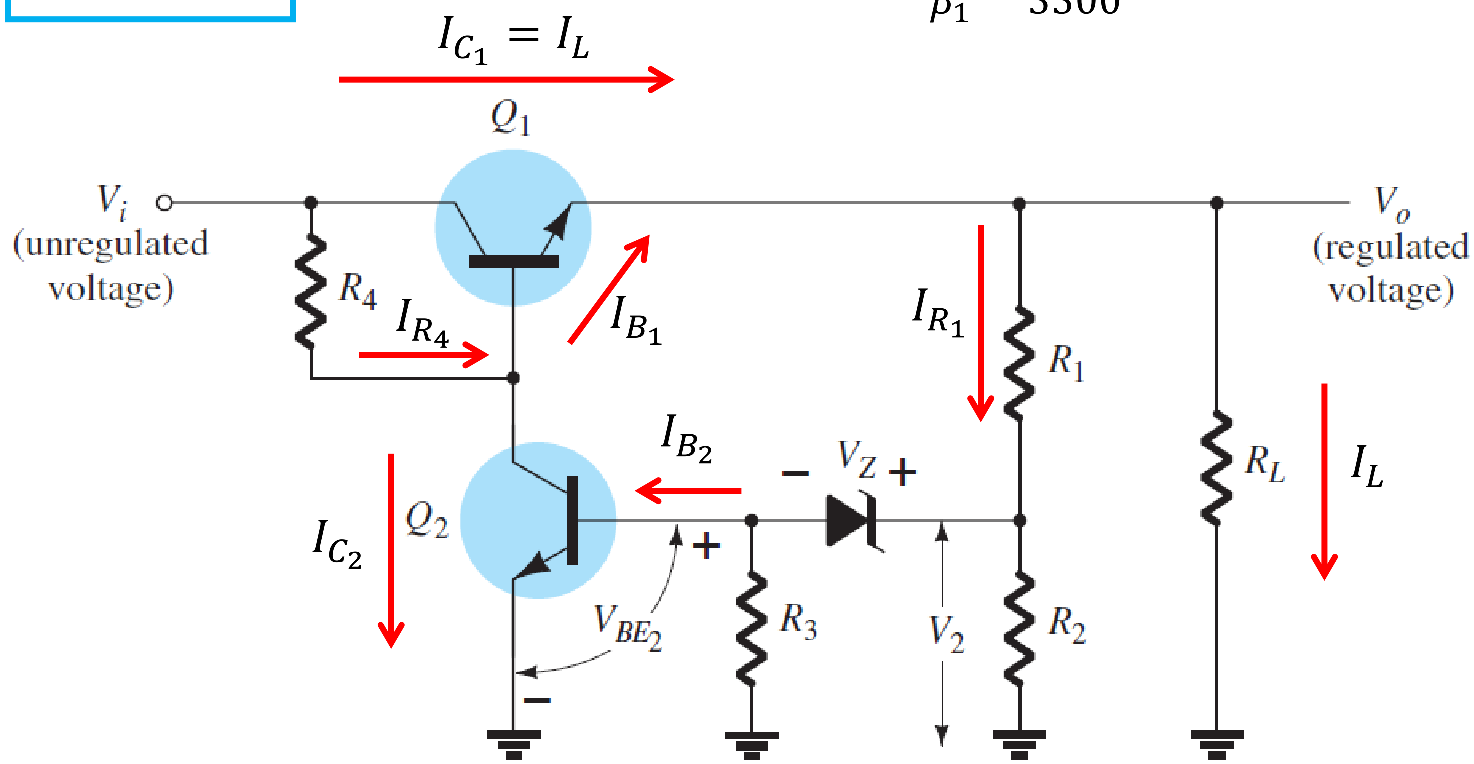
$V_i = 35 - 40$ V

$V_o = 20 - 30$ V

$I_L = 2$ A

$\beta_1 = 3300$

$$I_{B_1} = \frac{I_L}{\beta_1} = \frac{2}{3300} = 606\ \mu\text{A}$$



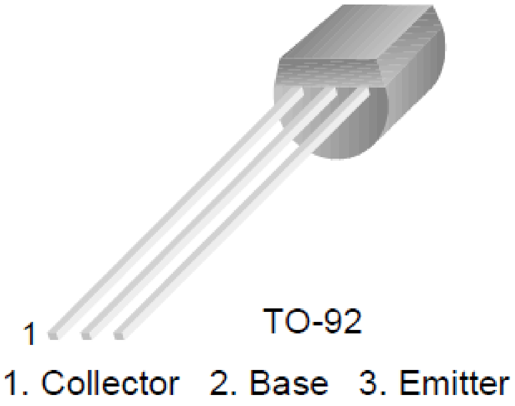
Adotando $I_{C_2} = 5I_{B_1}$

$$I_{C_2} = 5I_{B_1} = 5 \times 606\ \mu\text{A} = 3{,}03\ \text{mA}$$

$$V_{CE_{Q2\max}} = 40 - V_{BE_{Q1}} = 40 - 1{,}5 = 38{,}5\ \text{V}$$

$$P_{Q2_{\max}} = V_{CE_{Q2\max}} I_{C_2} = 38{,}5 \times 0{,}003 = 117\ \text{mW}$$

BC546B



$V_{CEO} = 65\ V$

$I_C = 100$ mA

$P_C = 500$ mA

$\beta \geq 110$

Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

EEL-USP
Escola de Engenharia de Lorena

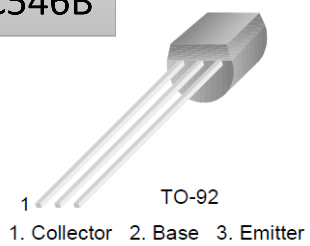
2 – Selecionar o transistor Q_2:

$V_i = 35 - 40$ V

$V_o = 20 - 30$ V

$I_L = 2$ A

BC546B



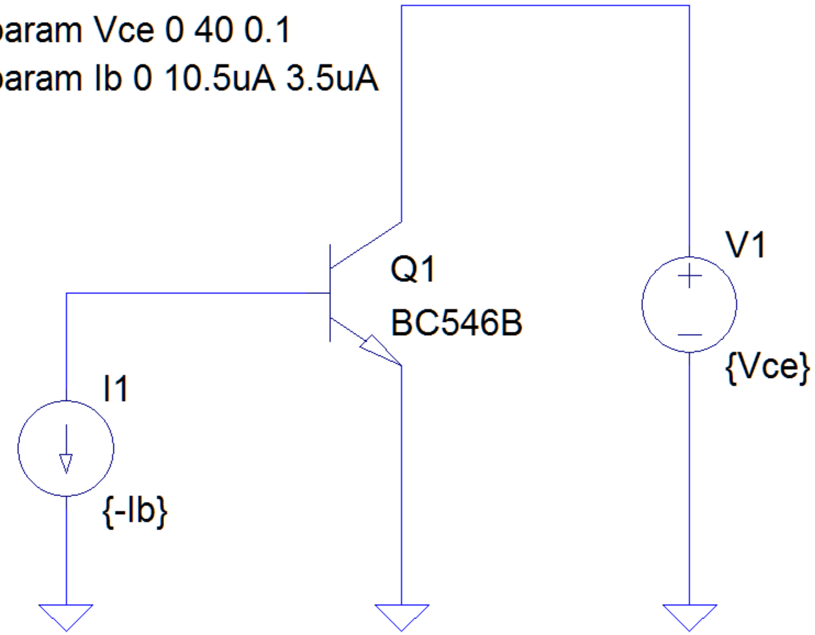
$V_{CEO} = 65\ V$

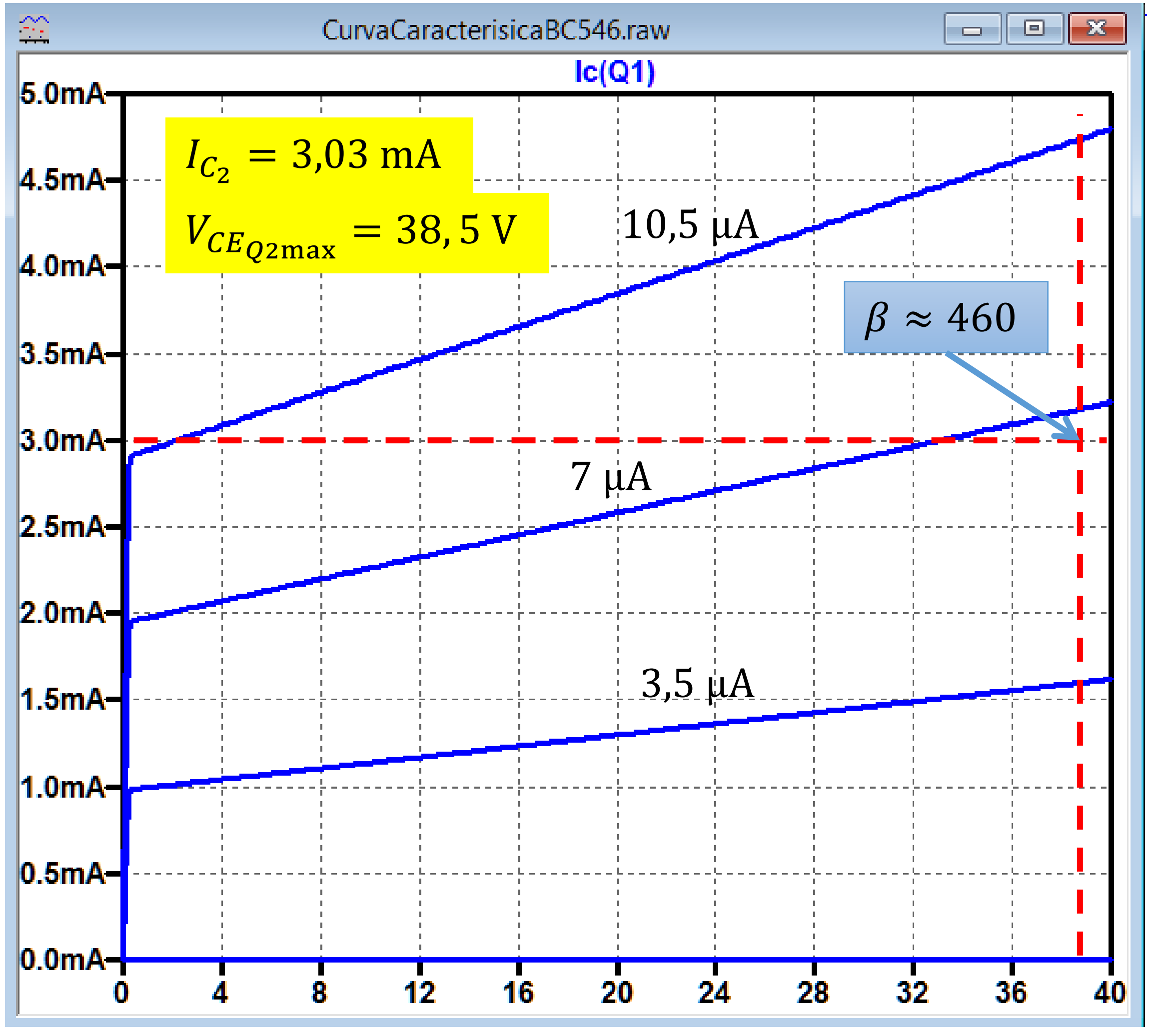
$I_C = 100$ mA

$P_C = 500$ mA

$\beta \geq 110$

```
.step param Vce 0 40 0.1
.step param Ib 0 10.5uA 3.5uA
.op
```





EEL-USP Escola de Engenharia de Lorena

❑3 – Calcular R_4:

$V_i = 35 - 40$ V
$V_o = 20 - 30$ V
$I_L = 2$ A

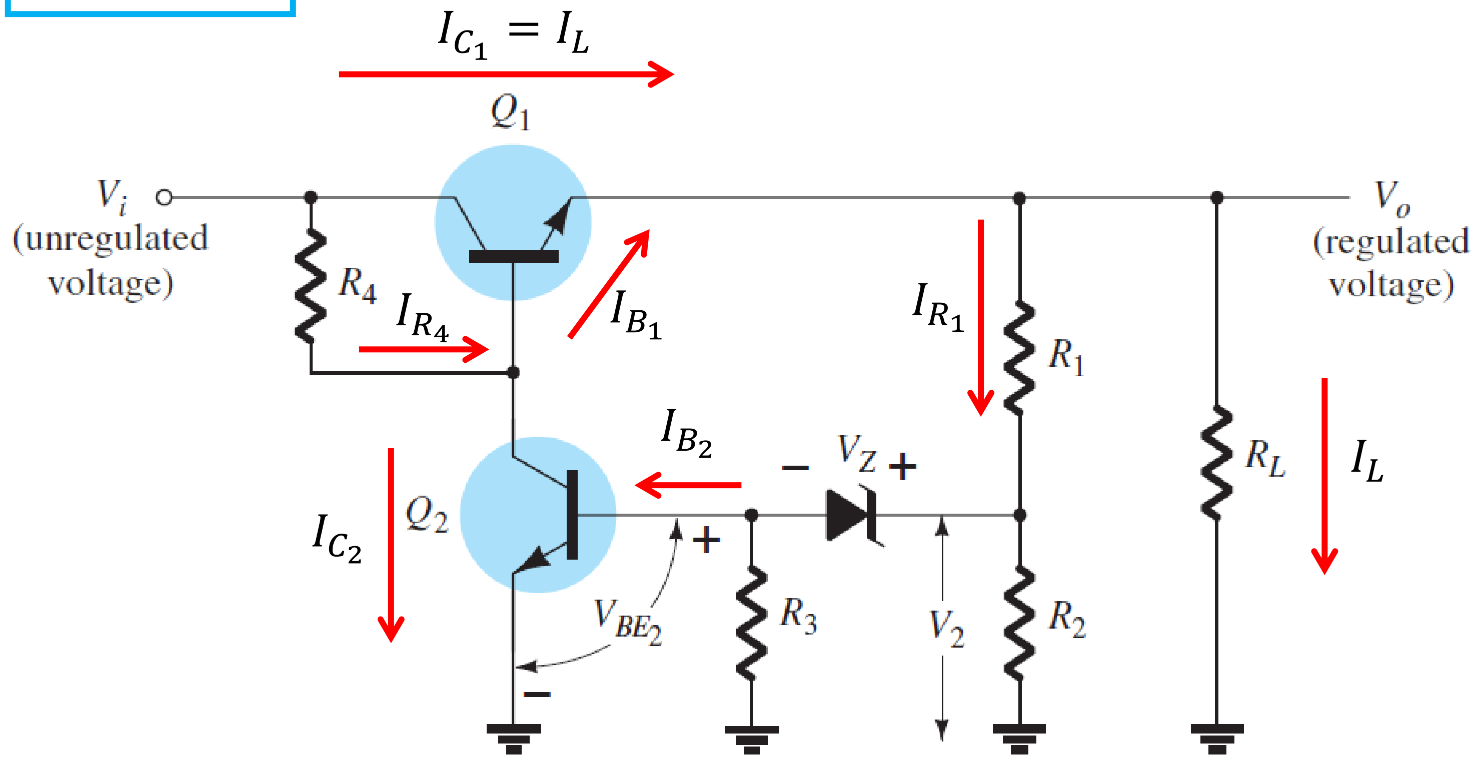
$\beta_1 = 3300$

$I_{B_1} = 606$ μA

$\beta_2 = 460$

$I_{C_2} = 3{,}03$ mA

$V_{CE_{Q2max}} = 38{,}5$ V



Calcular R_4 para garantir a corrente de base de Q_1 e a corrente de coletor de Q_2 mesmo quando V_{R_4} for mínima.

$$V_{R_{4\min}} = V_{i_{\min}} - V_{o_{\max}} - V_{BE_{Q1}}$$

$$V_{R_{4\min}} = 35 - 30 - 1{,}5 = 3{,}5 \text{ V}$$

$$V_{R_{4\max}} = V_{i_{\max}} - V_{o_{\min}} - V_{BE_{Q1}}$$

$$V_{R_{4\max}} = 40 - 20 - 1{,}5 = 18{,}5 \text{ V}$$

$$I_{R_4} = I_{B_1} + I_{C_2} = 0{,}606 \text{ mA} + 3{,}03 \text{ mA} = 3{,}636 \text{ mA}$$

$$R_4 = \frac{V_{R_{4\min}}}{I_{R_4}} = \frac{3{,}5 \text{ V}}{3{,}636 \text{ mA}} = 962\ \Omega$$

$$I_{R_{4\max}} = \frac{V_{R_{4\max}}}{R_4} = \frac{18{,}5 \text{ V}}{962\ \Omega} = 19{,}23 \text{ mA}$$

$$P_{R_4} \geq V_{R_{4\max}} I_{R_{4\max}} \geq 18{,}5 \text{ V} \times 19{,}23 \text{ mA} \geq 356 \text{ mA}$$

❑4 – Definir o diodo Zener:

$V_i = 35 - 40$ V

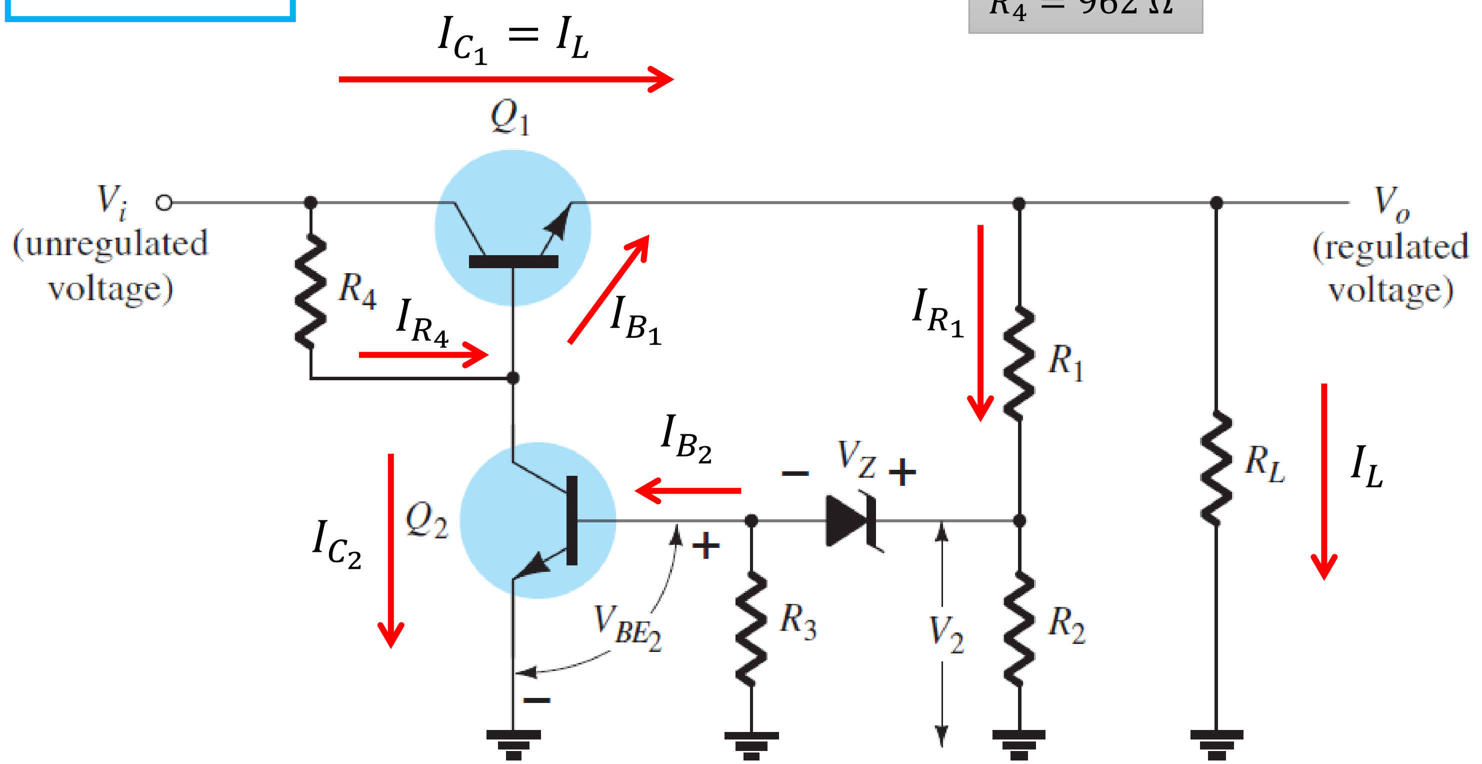
$V_o = 20 - 30$ V

$I_L = 2$ A

$\beta_1 = 3300$ | $\beta_2 = 460$

$I_{B_1} = 606$ μA | $I_{C_2} = 3{,}03$ mA

$R_4 = 962\ \Omega$



Escolher o diodo Zener para que:

$$V_Z + V_{BE_2} < V_{o_{\min}}/2.$$

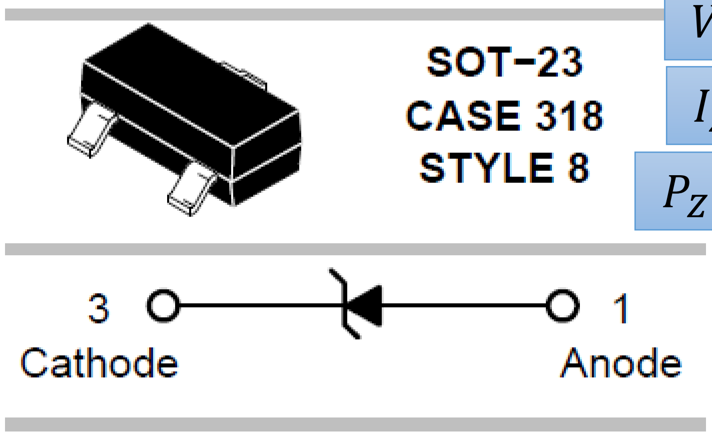
$$V_Z < \frac{V_{o_{\min}}}{2} - V_{BE_2} < \frac{20}{2} - 0{,}7 < 9{,}3\ \text{V}$$

BZX84C7V5L

$V_Z = 7{,}5$ V

$I_Z = 5$ mA

$P_Z = 250$ mA



Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

EEL-USP Escola de Engenharia de Lorena

5 – Calcular R_3:

$V_i = 35 - 40\text{ V}$

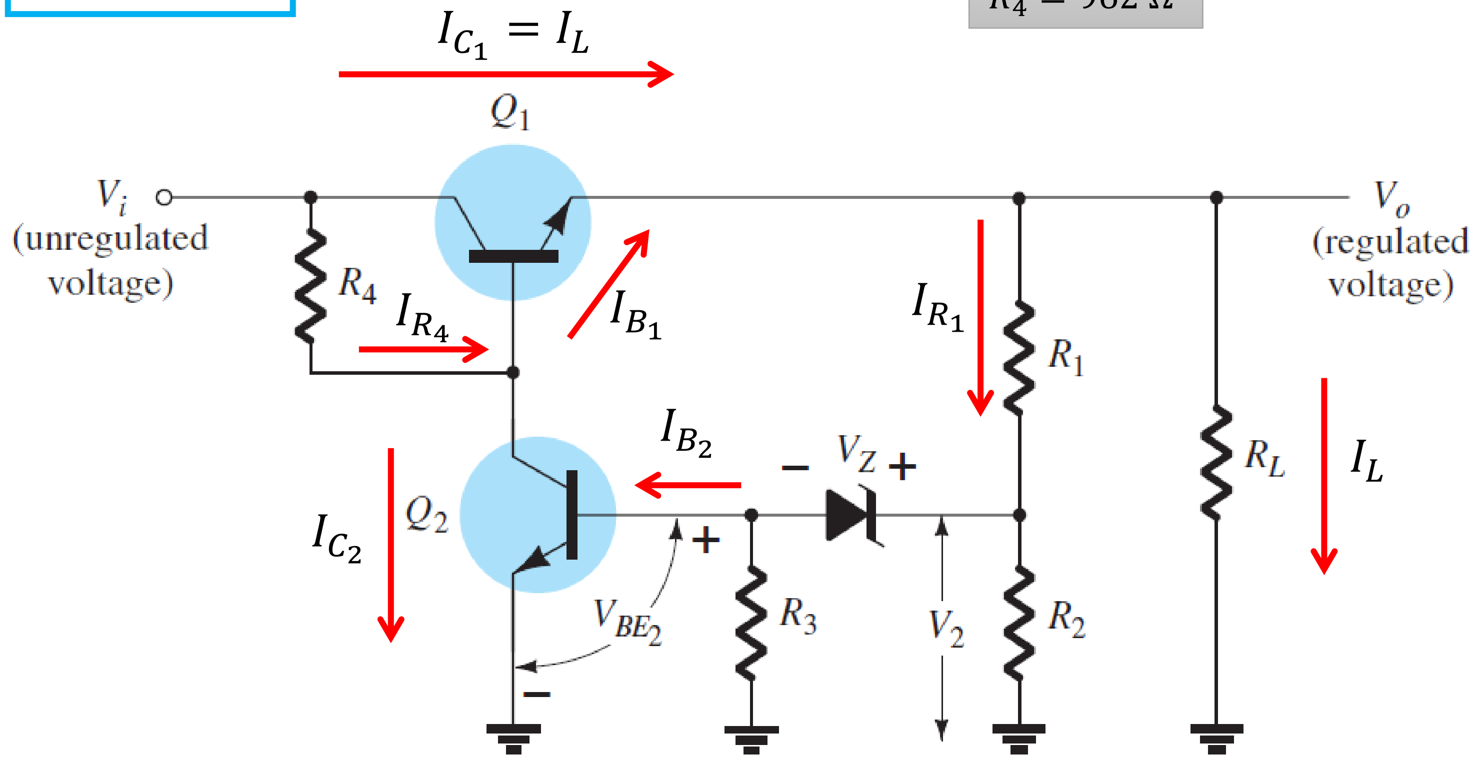
$V_o = 20 - 30\text{ V}$

$I_L = 2\text{ A}$

$\beta_1 = 3300$ | $\beta_2 = 460$

$I_{B_1} = 606\ \mu\text{A}$ | $I_{C_2} = 3{,}03\text{ mA}$

$R_4 = 962\ \Omega$



R_3 deve ser calculado para garantir a corrente quiescente do diodo Zener.

$V_Z = 7{,}5\text{ V}$ | $I_Z = 5\text{ mA}$

$$R_3 = \frac{V_{BE_2}}{I_Z} = \frac{0{,}7\text{ V}}{5\text{ mA}} = 140\ \Omega$$

EEL-USP Escola de Engenharia de Lorena

6 – Calcular R_1 e R_2 para as condições de máxima e mínima tensão:

$V_i = 35 - 40$ V

$V_o = 20 - 30$ V

$I_L = 2$ A

$\beta_1 = 3300$

$I_{B_1} = 606\ \mu A$

$\beta_2 = 460$

$I_{C_2} = 3{,}03$ mA

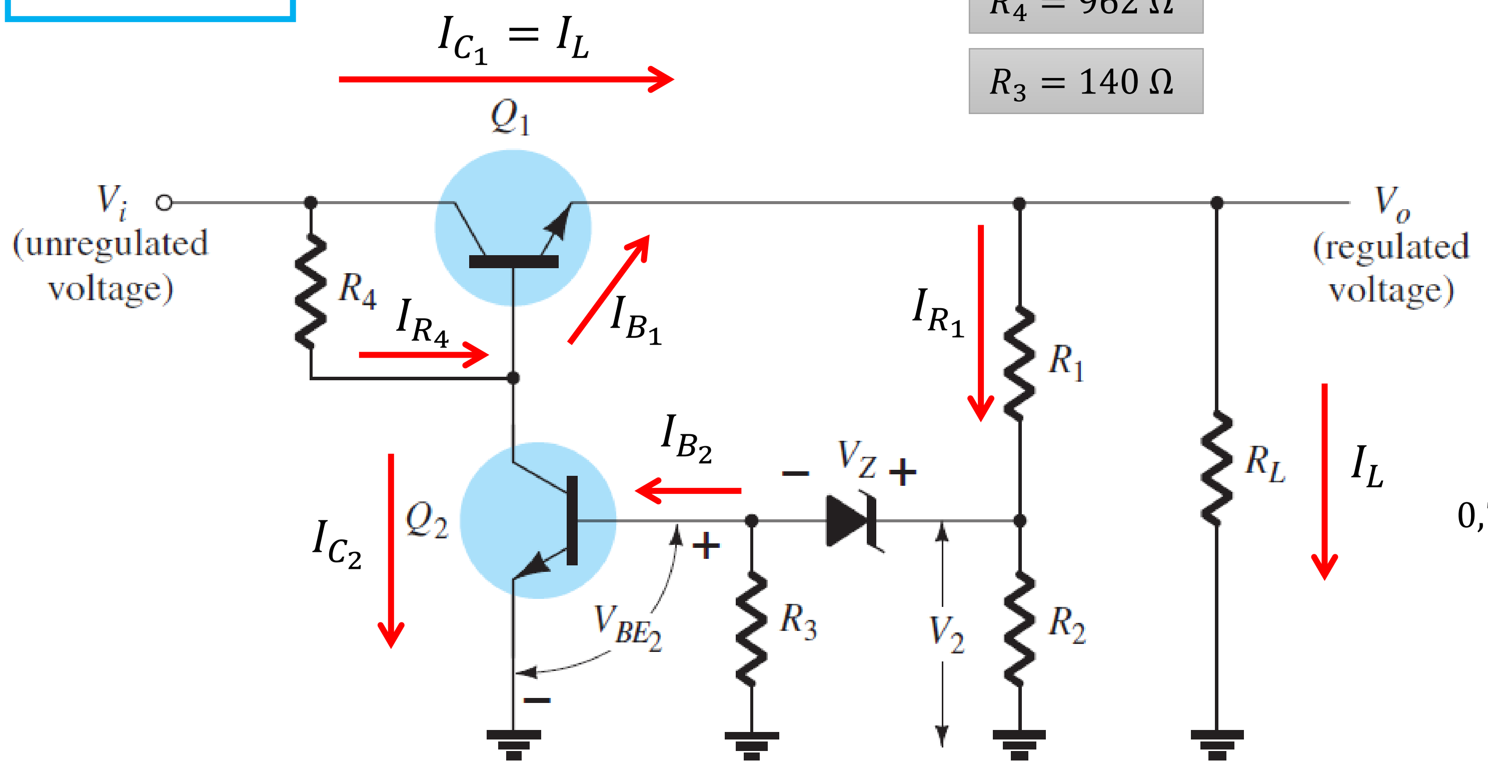
$R_4 = 962\ \Omega$

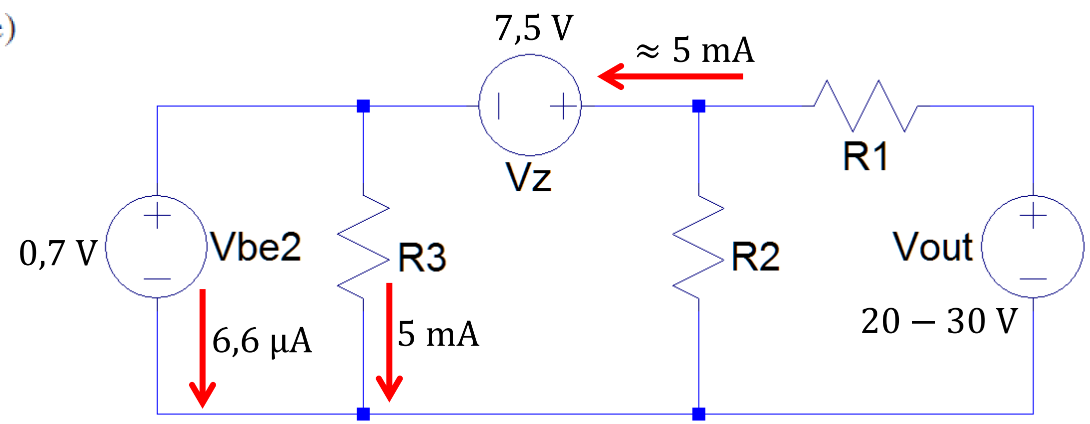
$R_3 = 140\ \Omega$

$V_Z = 7{,}5$ V

$I_Z = 5$ mA

$$I_{B_2} = \frac{I_{C_2}}{\beta_2} = \frac{3{,}03\ \text{mA}}{460} = 6{,}6\ \mu A$$





Projeto de Fonte Ajustável

❑6 – Calcular R_1 e R_2 para as condições de máxima e mínima tensão:

$V_i = 35 - 40$ V

$V_o = 20 - 30$ V

$I_L = 2$ A

$\beta_1 = 3300$

$I_{B_1} = 606\ \mu A$

$\beta_2 = 460$

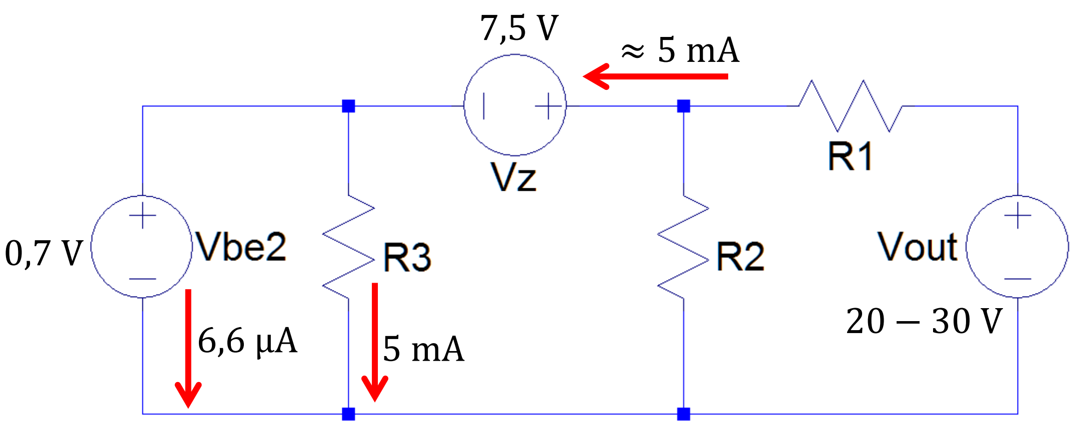
$I_{C_2} = 3{,}03$ mA

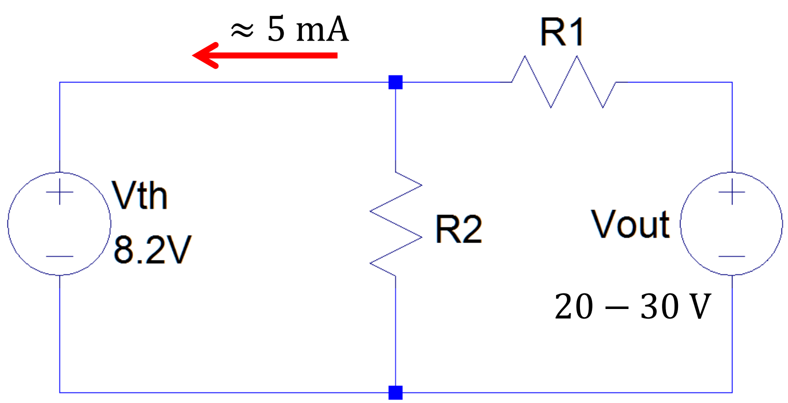
$R_4 = 962\ \Omega$

$R_3 = 140\ \Omega$

$V_Z = 7{,}5$ V

$I_Z = 5$ mA

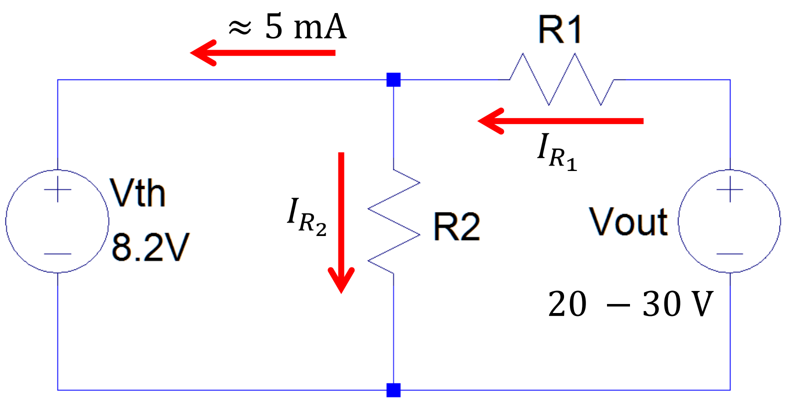




6 – Calcular R_1 e R_2 para as condições de máxima e mínima tensão:

$V_i = 35 - 40$ V
$V_o = 20 - 30$ V
$I_L = 2$ A

$\beta_1 = 3300$ | $\beta_2 = 460$ | $V_Z = 7{,}5$ V
$I_{B_1} = 606\ \mu A$ | $I_{C_2} = 3{,}03$ mA | $I_Z = 5$ mA
$R_4 = 962\ \Omega$
$R_3 = 140\ \Omega$



Adotando $I_{R_2} = 5 \times 5$ mA:

$I_{R_2} = 25$ mA

$V_{R_2} = 8{,}2$ V

$$R_2 = \frac{V_{R_2}}{I_{R_2}} = \frac{8{,}2\ \text{V}}{25\ \text{mA}} = 328\ \Omega$$

Resistor Fixo!!!

$I_{R_1} = I_{R_2} + 5 = 25 + 5 = 30$ mA

Para $V_o = 20\ V$:

$V_{R_1} = 20 - V_{R_2} = 11{,}8$ V

$$R_1 = \frac{V_{R_1}}{I_{R_1}} = \frac{11{,}8\ \text{V}}{30\ \text{mA}} = 393\ \Omega$$

Para $V_o = 30\ V$:

$V_{R_1} = 30 - V_{R_2} = 21{,}8$ V

$$R_1 = \frac{V_{R_1}}{I_{R_1}} = \frac{21{,}8\ \text{V}}{30\ \text{mA}} = 727\ \Omega$$

Em um circuito real seria utilizado um potenciômetro para variar a resistência entre 393 e 727 Ω

7 – Verificar o projeto através de simulação no LTspice.

$V_i = 35 - 40\ \text{V}$

$V_o = 20 - 30\ \text{V}$

$I_L = 2\ \text{A}$

$Q_1 = \text{TIP120}$

$Q_2 = \text{BC546B}$

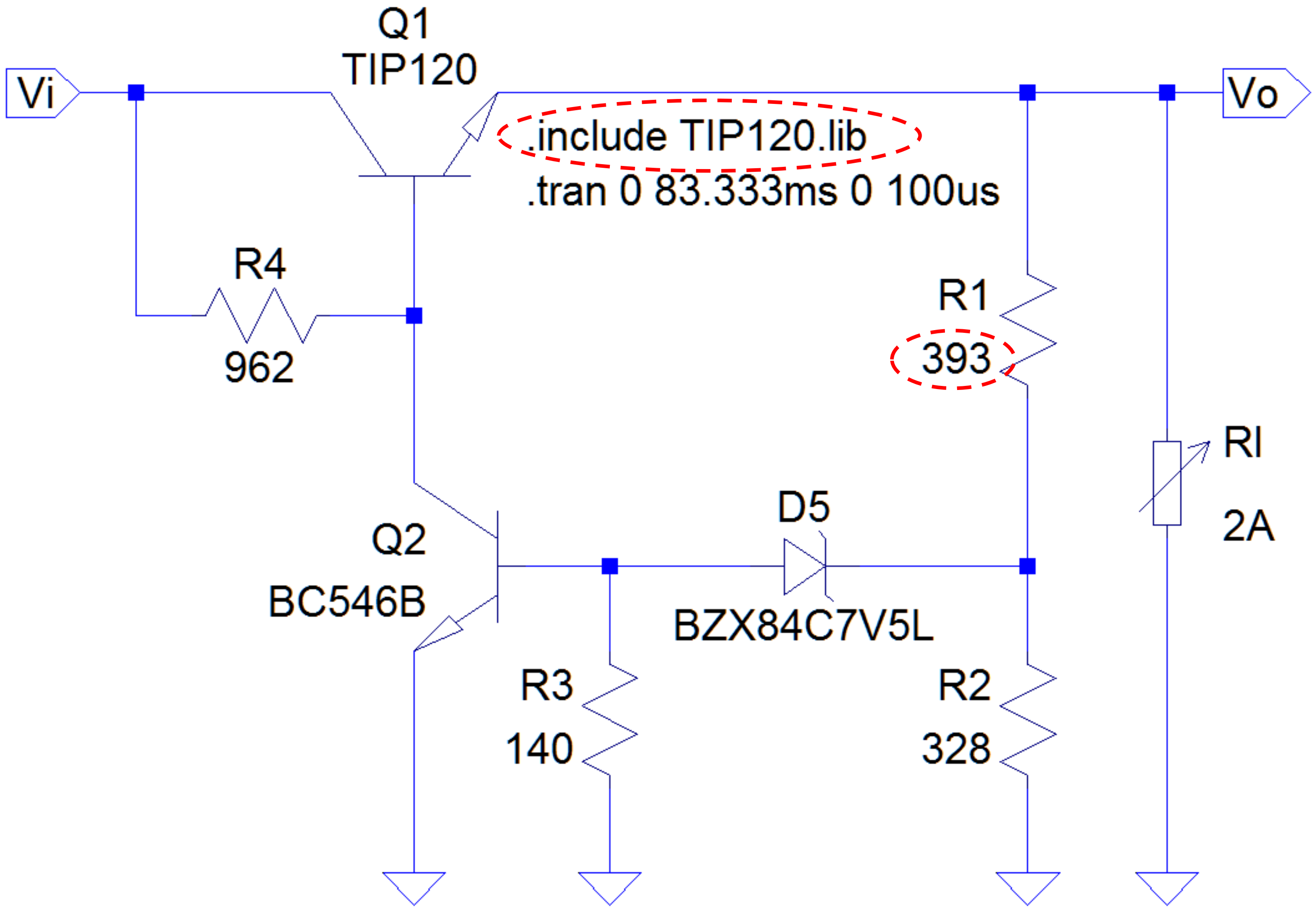
$D_5 = \text{BZX84C7V5L}$

$393\ \Omega \leq R_1 \leq 727\ \Omega$

$R_2 = 328\ \Omega$

$R_3 = 140\ \Omega$

$R_4 = 962\ \Omega$

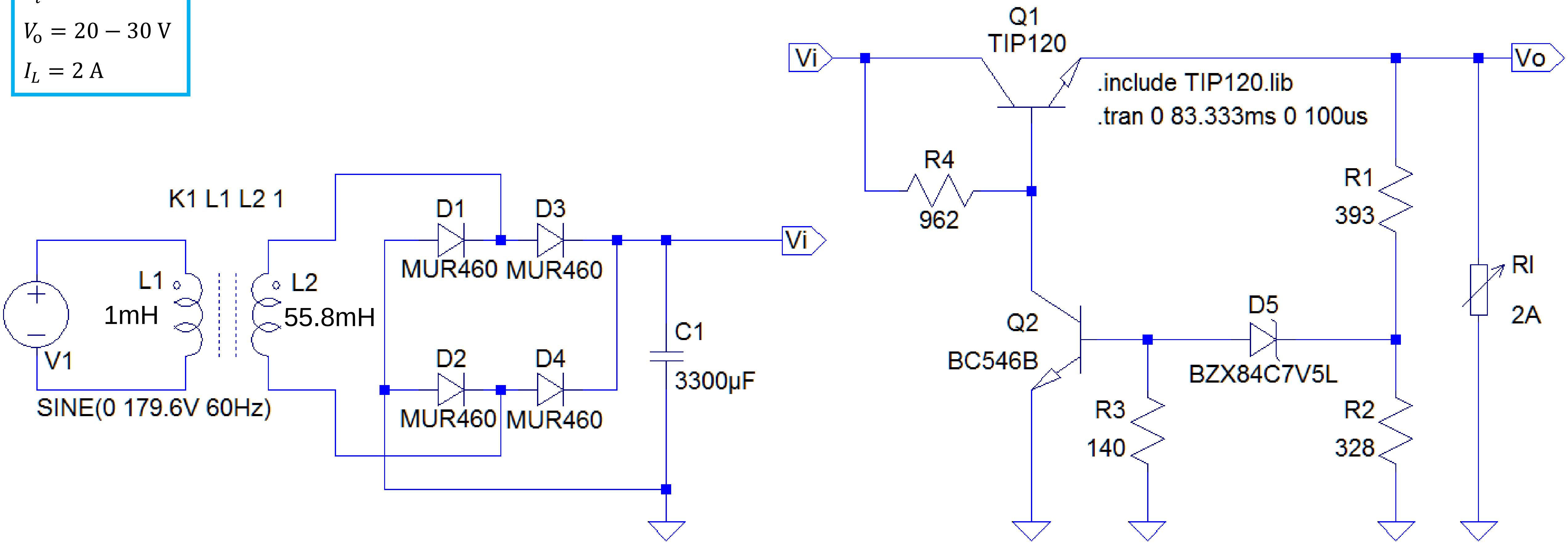


7 – Verificar o projeto através de simulação no LTspice.

$V_i = 35 - 40\text{ V}$

$V_o = 20 - 30\text{ V}$

$I_L = 2\text{ A}$



Projeto de Fonte Ajustável

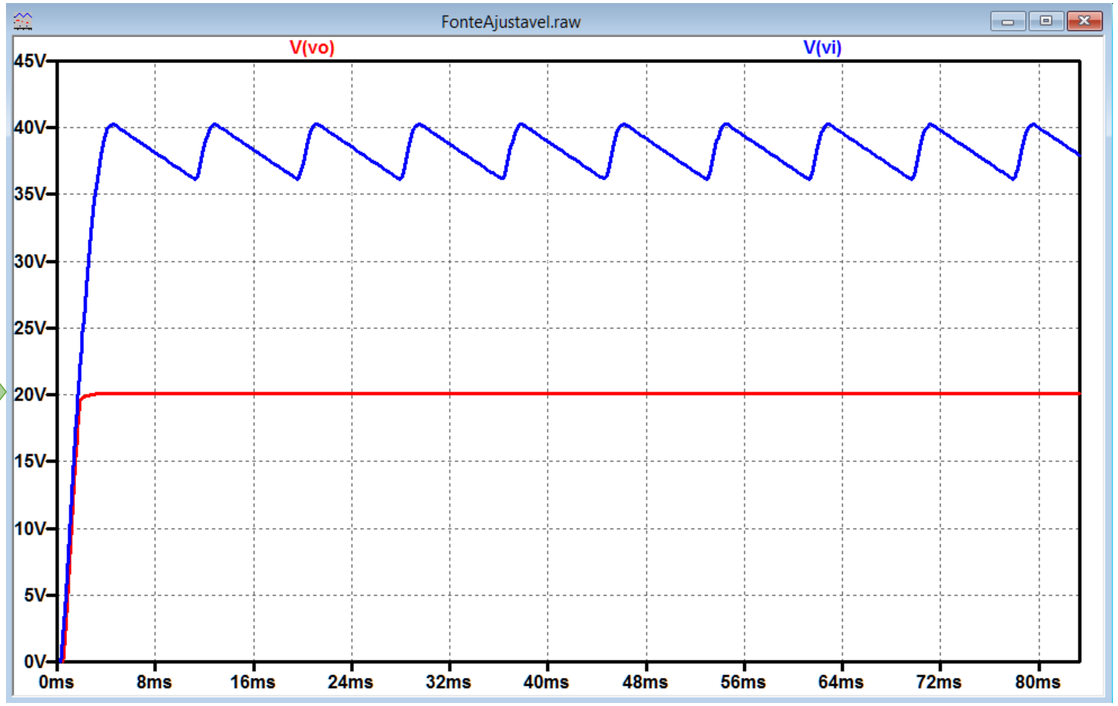
7 – Verificar o projeto através de simulação no LTspice.

$V_i = 35 - 40\ \text{V}$

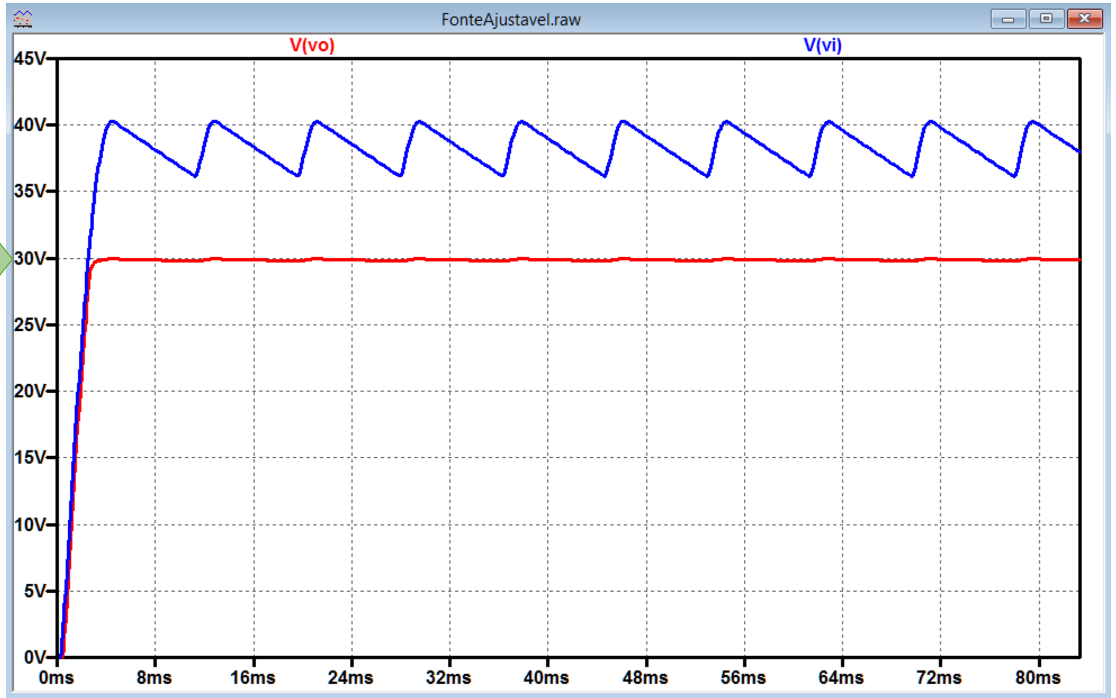
$V_o = 20 - 30\ \text{V}$

$I_L = 2\ \text{A}$

$R_1 = 393\ \Omega$



$R_1 = 727\ \Omega$

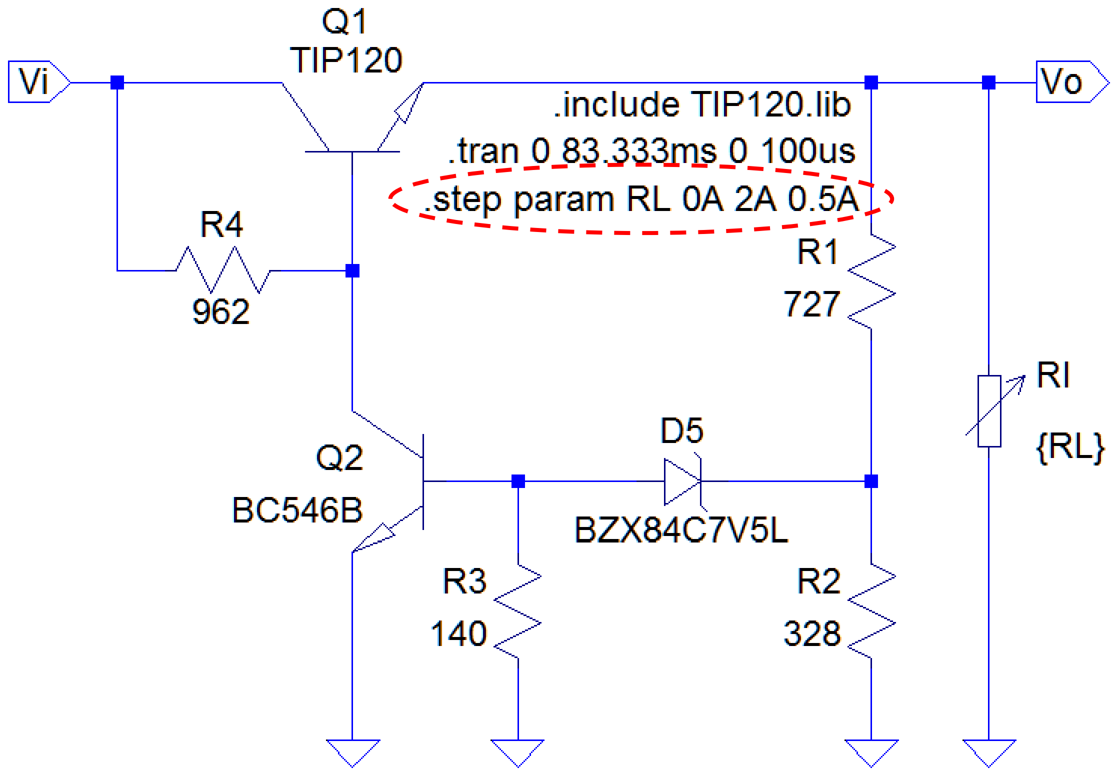


7 – Verificar o projeto através de simulação no LTspice.

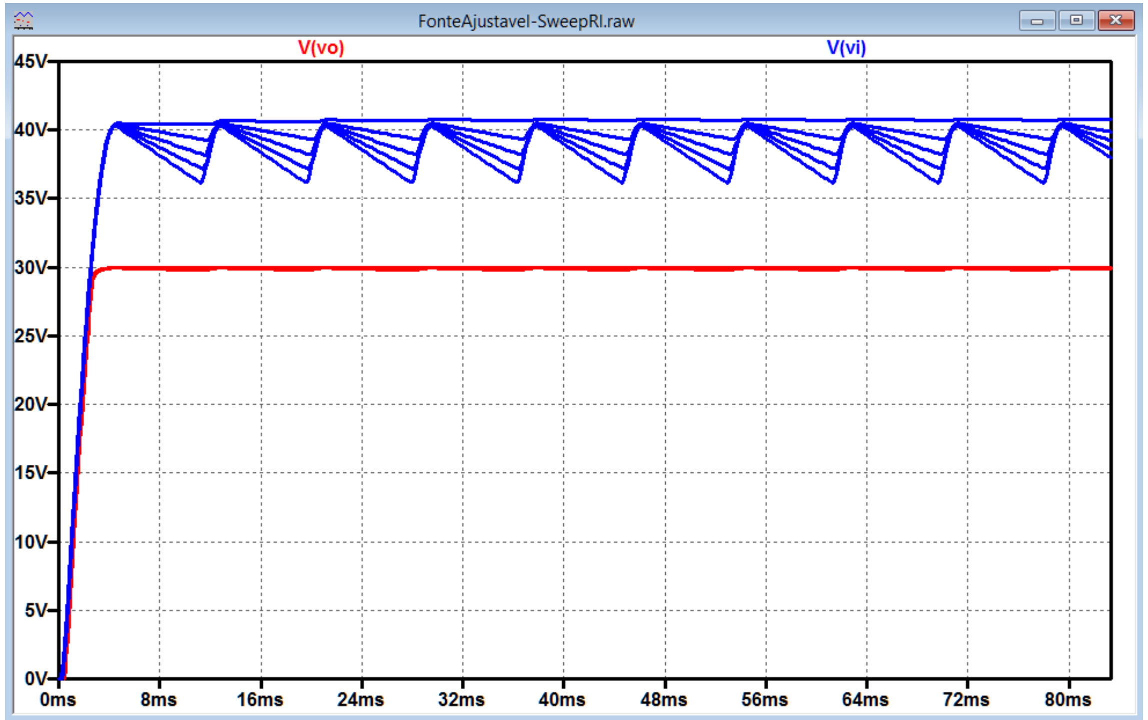
$V_i = 35 - 40\ \mathrm{V}$

$V_o = 20 - 30\ \mathrm{V}$

$I_L = 2\ \mathrm{A}$



$R_1 = 727\ \Omega$



$$\%\mathrm{V.R.} = \frac{V_{\mathrm{NL}} - V_{\mathrm{FL}}}{V_{\mathrm{FL}}} \times 100\% = \frac{30 - 29{,}7}{29{,}7} \times 100\% = 1\%$$

Experimento 1: Fonte Ajustável

EEL-USP Escola de Engenharia de Lorena

- Dimensionar um circuito retificador em onda completa e uma fonte ajustável para atender aos seguintes requisitos:

Retificador

$V_1 = 127$ V rms/60 Hz

$V_m = 30$ V

$V_r(\text{pp}) = 2$ V

$I_L = 1$ A

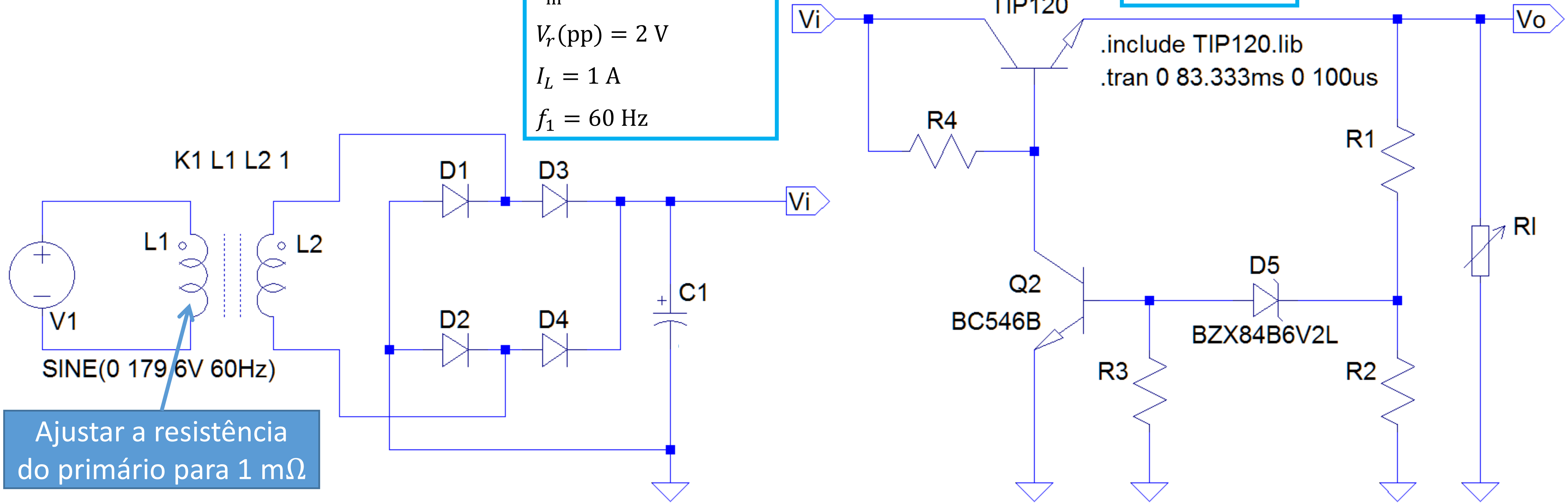
$f_1 = 60$ Hz

Fonte Ajustável

$V_i = 28 - 30$ V

$V_o = 15 - 20$ V

$I_L = 1$ A



Emerson G. Melo – Departamento de Engenharia de Materiais - Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6, Lorena, SP 12612-550, Brasil

Referências

- Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos”, 6 ed., Rio de Janeiro, LTC (1998
- Boylestad, Robert L.; Nashelsky, Louis “Electronic Devices and Circuit Theory”, 11 ed., Boston, Pearson (2013).