

Politechnika Wrocławska

Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych i
Optoelektroniki

Zespół Układów Elektronicznych

LABORATORIUM UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH

Data: 12.04.2021	Dzień: Poniedziałek		
Grupa: E12-93I	Godzina: 13:15-15:30		
TEMAT ĆWICZENIA: Liniowe stabilizatory napięcia			
DANE PROJEKTOWE: Napięcie wyjściowe: $U_{OUTmax} = 4,2$ [V] Maksymalny prąd wyjściowy: $I_{OUTmax} = 400$ [mA]			
Lp.	Nazwisko i Imię	Oceny	
1.	Kuboń Piotr 252871		

1. Część praktyczna

1.1. Dane projektowe

Napięcie wyjściowe: $U_{OUTmax} = 7,5 [V]$

Maksymalny prąd wyjściowy: $I_{OUTmax} = 500 [mA]$

1.1.1. Założenia:

$$U_{Ref} = 2,75 [V]$$

$$U_0 = \left(1 + \frac{R_5}{R_6}\right) * U_{Ref}$$

$$R_5 + R_6 \leq \frac{U_0}{1 mA} = 7,5 k\Omega$$

$$R_6 = 1,2 k\Omega$$

$$R_5 = \left(\frac{U_{wyn}}{U_{Ref}} - 1\right) R_6 = \left(\frac{7,5}{2,75} - 1\right) * 1200 = 2070 \Omega$$

$$R_4 = \frac{0,45}{I_{0max}} = \frac{0,45}{0,5} = 0,9 \Omega$$

Wartość rezystancji krytycznej obliczamy ze wzoru: $R_{kr} = \frac{U_0}{I_{0max}} = \frac{7,5}{0,5} = 15 \Omega$

1.1.2. Pomiar wartości elementów układu:

$$R_5 = 1,9737 k\Omega$$

$$R_6 = 1,2067 k\Omega$$

$$R_4 = 0,91 \Omega$$

Pomiar R6 obarczony jest dużym błędem. Wynika to z faktu posiadania przez rezystor bardzo małej rezystancji. Aby dokonać lepszego pomiaru należało by zastosować mostek Thomsona.

1.1.3. Obliczenie maksymalnej wydzielonej mocy:

$$P_{max} = (U_{we} - U_{wy}) * I_{we} = (20 - 7,5) * 0,5 = 6,25 [W]$$

Szacowana temperatura stabilizatora bez radiatora: 426,25°C

Szacowana temperatura stabilizatora z radiatorem: 65°C

1.2. Przebieg pomiarów

1.2.1. Pomiar charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze R_0

Lp.	$R_{01} = 200\Omega$		$R_{02} = 20\Omega$		$R_{03} = 10\Omega$	
	$U_{we} [V]$	$U_{wy} [V]$	$U_{we} [V]$	$U_{wy} [V]$	$U_{we} [V]$	$U_{wy} [V]$
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0
3	2	0,013	2	0,016	2	0
4	3	0,272	3	0,0343	3	0,031
5	4	2,52	4	2,3468	4	2,2366
6	5	3,4643	5	3,25	5	3,1
7	6	4,4378	6	4,1804	6	3,9869
8	7	5,419	7	5,117	7	4,8813
9	7,5	5,912	7,5	5,587	7,5	5,327
10	8	6,404	8	6,057	8	5,563
11	8,5	6,9	8,5	6,532	8,5	5,561
12	9	7,224	9	6,999	9	5,551
13	9,5	7,229	9,5	7,21	9,5	5,555
14	10	7,229	10	7,21	10	5,545
15	11	7,23	11	7,212	11	5,533
16	12	7,231	12	7,214	12	5,523
17	13	7,232	13	7,214	13	5,516
18	14	7,232	14	7,215	14	5,516
19	15	7,233	15	7,216	15	5,519
20	16	7,234	16	7,218	16	5,517
21	17	7,235	17	7,22	17	5,517
22	18	7,236	18	7,221	18	5,517
23	19	7,237	19	7,224	19	5,519
24	20	7,237	20	7,225	20	5,514

Parametr S_{Umin} wyznaczamy metodą przyrostową, sprawdzając gdzie osiąga minimum

$$S_{Umin} = \min \left(\frac{U_{wyn+1} - U_{wyn}}{U_{wen+1} - U_{wen}} \right)$$

W każdym przypadku wynosi on 0. Na tej podstawie możemy ustalić punkt wypłaszczenia się charakterystyki.

W celu wyznaczenia współczynnika stabilizacji korzystamy ze wzoru: $S_U = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}}$

$$S_{U_{200\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{7,237 - 7,229}{20 - 9,5} = 0,000762 = 0,0762\%$$

$$S_{U_{20\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{7,225 - 7,21}{20 - 9,5} = 0,00143 = 0,143\%$$

$$S_{U_{10\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{5,514 - 5,563}{20 - 8} = 0,004083 = 0,4083\%$$

W celu wyznaczenia $U_{DropOut}$ należy skorzystać ze wzoru:

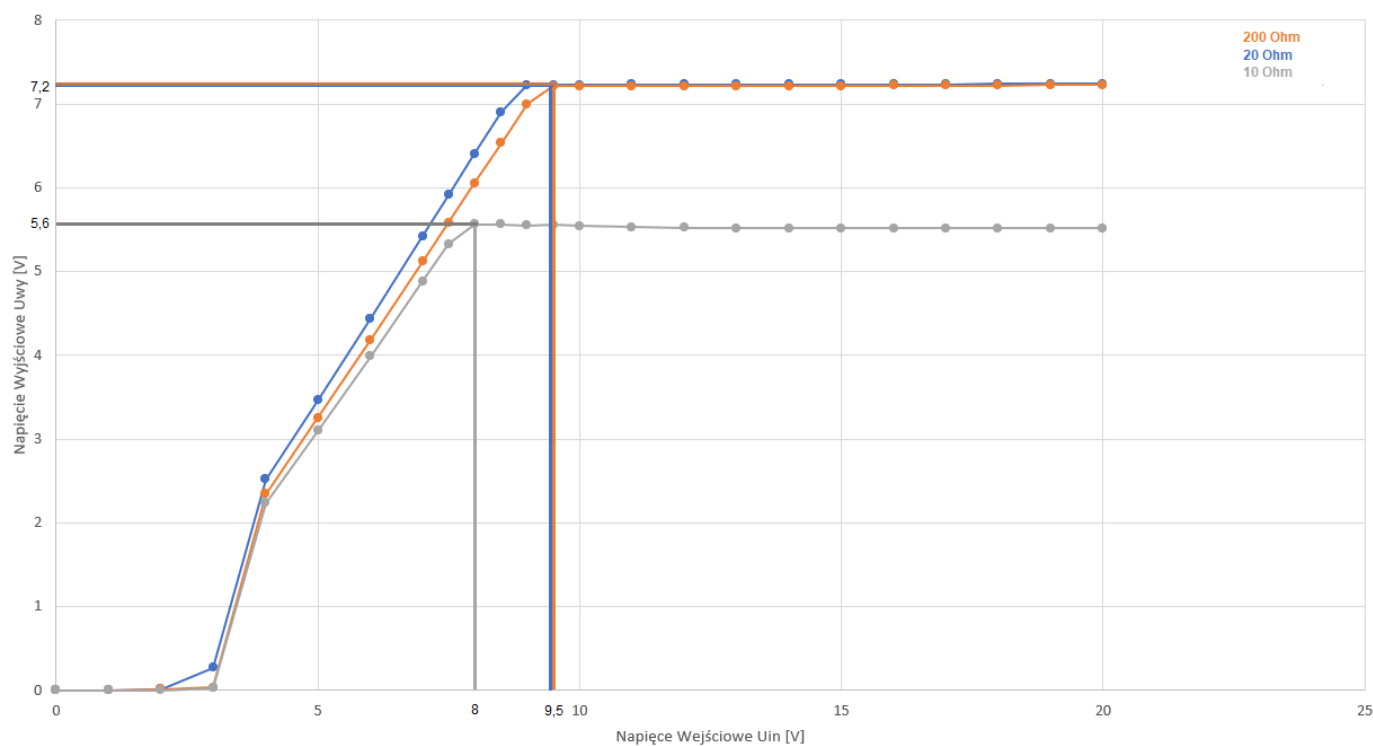
$$U_{DropOut} = U_{we_{min}} - U_{wy_{min}}$$

Przy czym wartości napięć należy wziąć z początku zakresu stabilizacji

$$U_{Drop_{200\Omega}} = 9,5 - 7,229 = 2,271 V$$

$$U_{Drop_{20\Omega}} = 9,5 - 7,21 = 2,29 V$$

$$U_{Drop_{10\Omega}} = 8 - 5,563 = 2,437 V$$



Rys. 1: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze R_O

1.2.2. Pomiar charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze U_{we}

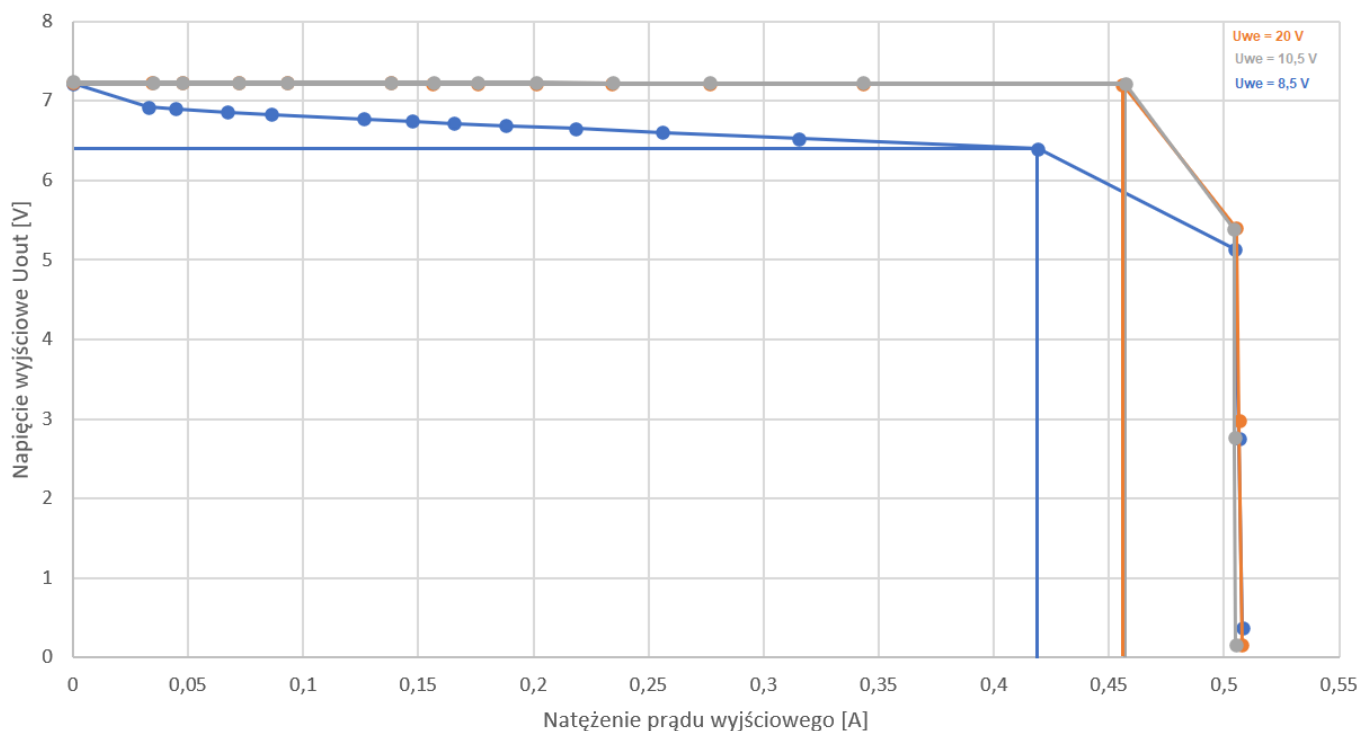
Lp.	$U_{we1} = 8,5V$		$U_{we2} = 10,5V$		$U_{we3} = 20V$	
	$U_{wy} [V]$	$I_{wy} [A]$	$U_{wy} [V]$	$I_{wy} [A]$	$U_{wy} [V]$	$I_{wy} [A]$
1	7,22	0	7,232	0	7,239	0
2	6,922	0,0328	7,229	0,0345	7,236	0,0348
3	6,9	0,0446	7,229	0,0474	7,236	0,0473
4	6,861	0,0672	7,227	0,0719	7,236	0,0721
5	6,832	0,0861	7,226	0,0931	7,235	0,0931
6	6,774	0,1261	7,224	0,138	7,234	0,1379
7	6,745	0,1475	7,223	0,1563	7,233	0,1565
8	6,72	0,1653	7,222	0,1757	7,232	0,1758
9	6,689	0,1882	7,22	0,2012	7,231	0,2011
10	6,651	0,2183	7,218	0,2341	7,23	0,2343
11	6,602	0,2562	7,215	0,2764	7,228	0,2767
12	6,528	0,3155	7,211	0,3433	7,224	0,3434
13	6,401	0,4191	7,204	0,4558	7,219	0,457
14	5,138	0,5045	5,4	0,5054	5,382	0,5044
15	2,7533	0,5065	2,9817	0,5066	2,7696	0,5045
16	0,3683	0,5079	0,1586	0,5078	0,1633	0,505

W celu wyznaczenia rezystancji wyjściowej korzystamy ze wzoru: $R_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}}$ w zakresie stabilizacji

$$R_{wy_{8,5V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = \frac{7,22 - 6,401}{0,4191 - 0} = 1,954 \Omega$$

$$R_{wy_{10,5V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = \frac{7,232 - 7,204}{0,4558 - 0} = 0,0614 \Omega$$

$$R_{wy_{20V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = \frac{7,239 - 7,219}{0,457 - 0} = 0,0438 \Omega$$



Rys. 2: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze U_{we}

1.2.3. Pomiar napięcia odniesienia

W celu dokonania pomiaru napięcia odniesienia, należy dokonać pomiaru na rezystorze R_6 przy rozwartym wyjściu stabilizatora.

W celu dokonania pomiaru napięcia odniesienia komparatora-ogranicznika prądu, należy dokonać pomiaru na rezystorze R_4 przy zwartym wyjściu stabilizatora.

Napięcie wejścia dla obu pomiarów wyznaczamy z nierówności: $U_{we} \geq U_{wyn} + 3$

Ustawiamy więc $U_{we} = 12V$ i dokonujemy pomiarów:

$$U_{Ref} = 2,7430 V \text{ zamiast } 2,75 V$$

$$U_{sc} = 0,4127 V \text{ zamiast } 0,45 V$$

2. Część symulacyjna

2.1. Dane projektowe

Napięcie wyjściowe: $U_{OUTmax} = 4,2 [V]$

Maksymalny prąd wyjściowy: $I_{OUTmax} = 400 [mA]$

2.1.1. Założenia:

$$U_{Ref} = 2,75 [V]$$

$$U_0 = \left(1 + \frac{R_5}{R_6}\right) * U_{Ref}$$

$$R_5 + R_6 \leq \frac{U_0}{1 mA} = 4,2 k\Omega$$

$$R_6 = 1,2 k\Omega$$

$$R_5 = \left(\frac{U_{wyn}}{U_{Ref}} - 1\right) R_6 = \left(\frac{4,2}{2,75} - 1\right) * 1200 = 633 \Omega$$

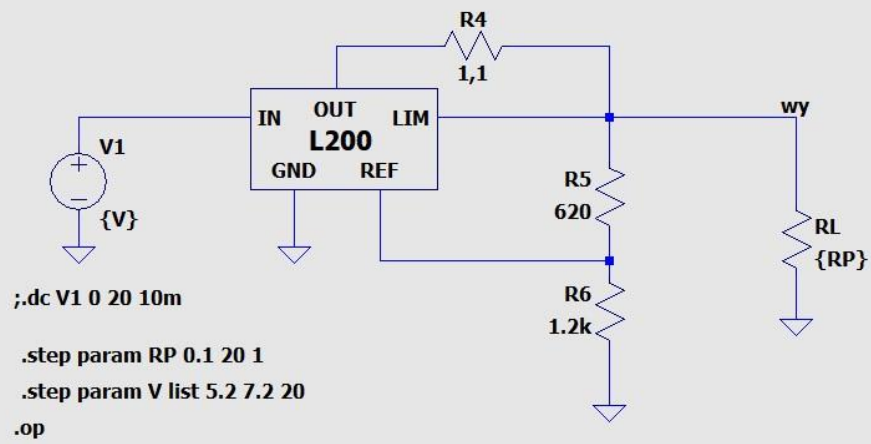
Dobrano wartość $R_5 = 620 \Omega$ zgodną z szeregiem E24.

$$R_4 = \frac{0,45}{I_{0max}} = \frac{0,45}{0,4} = 1,125 \Omega$$

Dobrano wartość $R_4 = 1,1 \Omega$ zgodną z szeregiem E24.

$$\text{Wartość rezystancji krytycznej obliczamy ze wzoru: } R_{kr} = \frac{U_0}{I_{0max}} = \frac{4,2}{0,4} = 10,5 \Omega$$

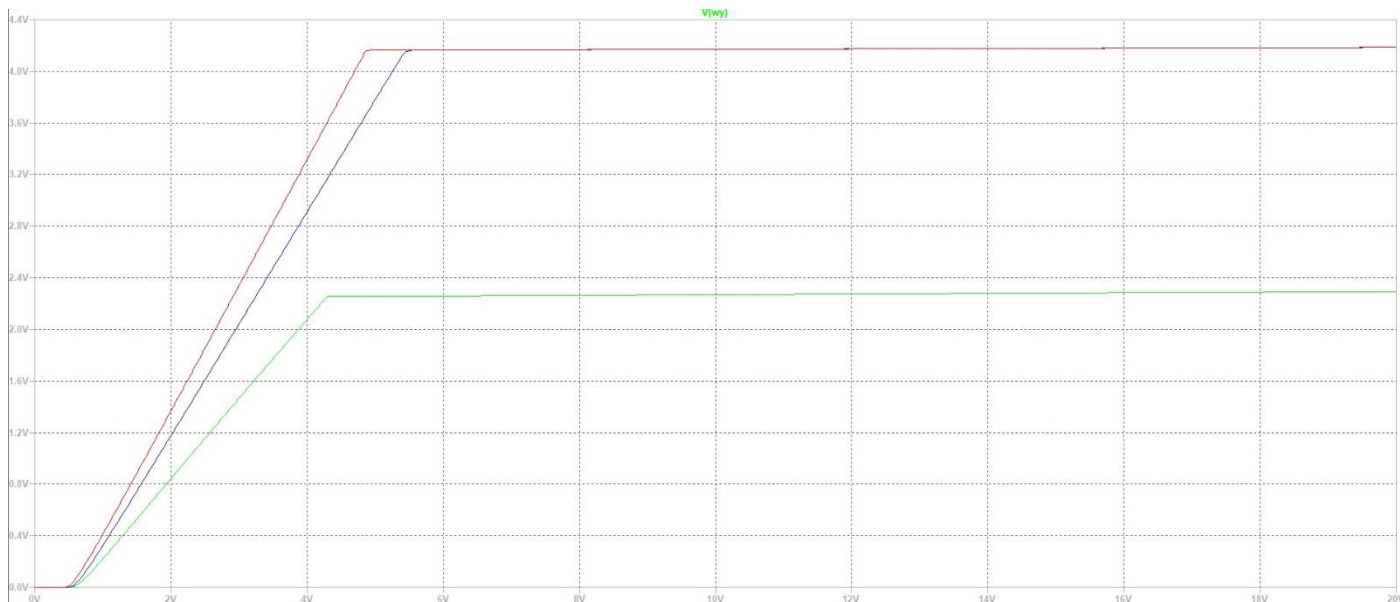
2.2. Schemat symulowanego układu



Rys 1: Schemat LTSpice badanego układu

2.3. Przebieg pomiarów

2.3.1. Pomiar charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze R_0



Rys. 3: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze R_0

Pomiary wykonano dla

$R_0 = 200\Omega$ – przebieg czerwony

$R_0 = 20\Omega$ – przebieg niebieski

$R_0 = 5\Omega$ – przebieg zielony

W celu wyznaczenia współczynnika stabilizacji ustawiamy kursory na początku i końcu zakresu stabilizacji, następnie odczytujemy wartość wskazaną przez funkcję „Slope”.

$$S_{U_{200\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = 0.152 \%$$

$$S_{U_{20\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = 0.152\%$$

$$S_{U_{5\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = 0.249\%$$

W celu wyznaczenia $U_{DropOut}$ należy skorzystać ze wzoru:

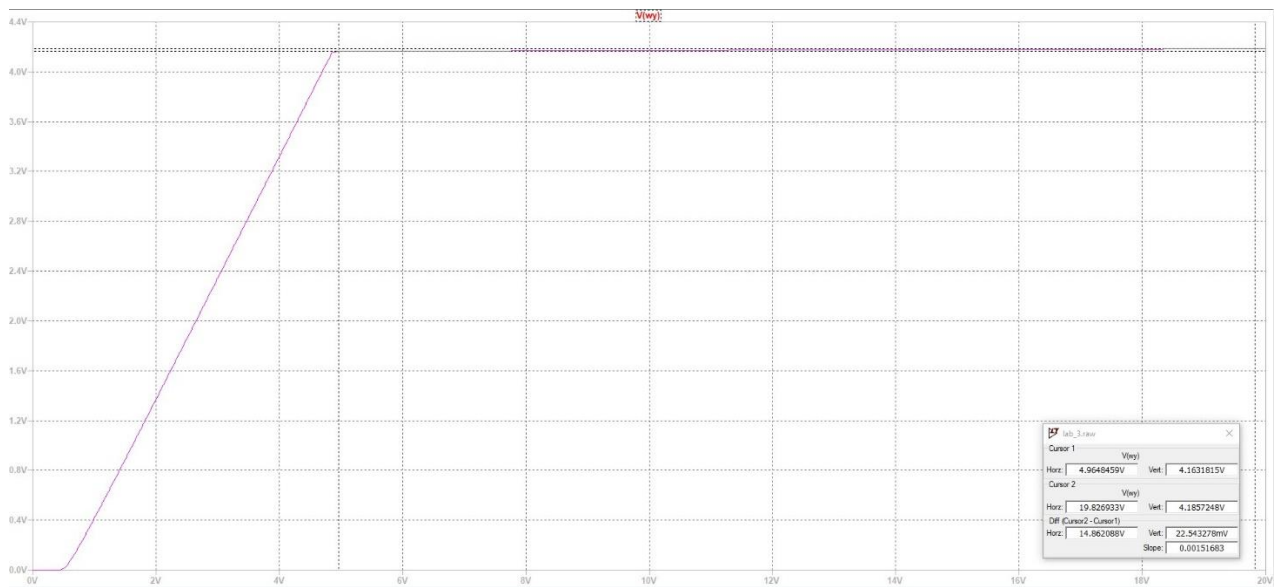
$$U_{DropOut} = U_{we_{min}} - U_{wy_{min}}$$

Przy czym wartości napięć należy wziąć z początku zakresu stabilizacji

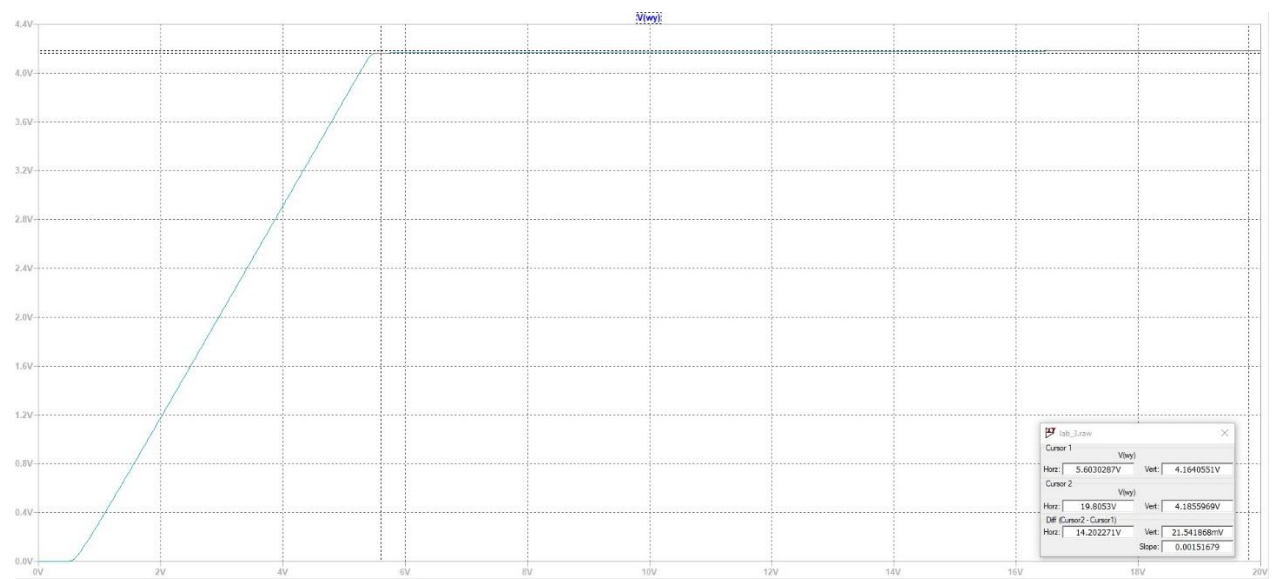
$$U_{Drop_{200\Omega}} = 4,96 - 4,16 = 0,8 \text{ V}$$

$$U_{Drop_{20\Omega}} = 5,603 - 4,164 = 1,439 \text{ V}$$

$$U_{Drop_{5\Omega}} = 4,586 - 2,256 = 2,33 \text{ V}$$



Rys. 4: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze $R_0 = 200 \Omega$



Rys. 5: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze $R_0 = 20 \Omega$

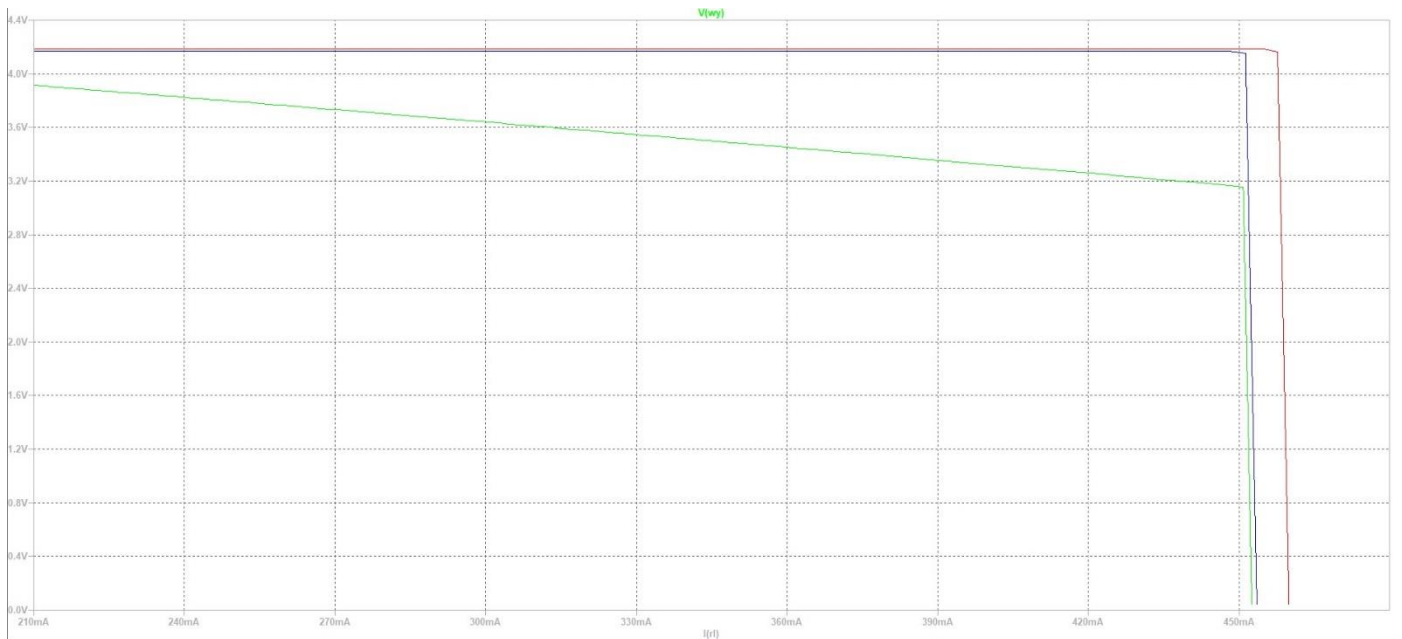


Rys. 6: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze $R_0 = 5 \Omega$

2.3.2. Pomiar charakterystyki napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze U_{we}

Pomiary dokonano dla następujących wartości napięcia wejściowego:

- $U_{we1} = 5,2 \text{ V}$
- $U_{we2} = 7,2 \text{ V}$
- $U_{we3} = 20 \text{ V}$



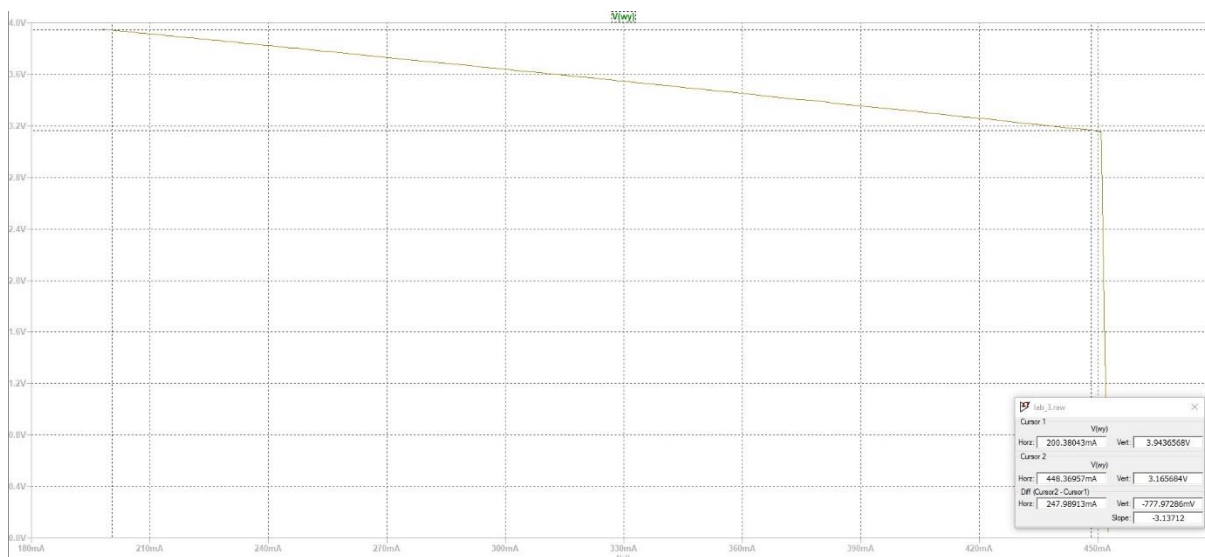
Rys. 7: Rys. 8: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze U_{we}

W celu wyznaczenia rezystancji wyjściowej ustawiamy kursory na początek i koniec zakresu stabilizacji, następnie korzystając z funkcji „Slope” wyznaczamy szukaną wartość.

$$R_{wy_{5,2V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = 3.14 \Omega$$

$$R_{wy_{8,5V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = 0.00051 \Omega$$

$$R_{wy_{8,5V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = 0.00051 \Omega$$



Rys. 9: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze $U_{we} = 5,2V$



Rys. 10: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze $U_{we}=7,2V$



Rys. 11: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze $U_{we}=20V$

2.3.3. Pomiar napięcia odniesienia

W celu dokonania pomiaru napięcia odniesienia, należy dokonać pomiaru na rezystorze R_6 przy rozwartym wyjściu stabilizatora.

W celu dokonania pomiaru napięcia odniesienia komparatora-ogranicznika prądu, należy dokonać pomiaru na rezystorze R_4 przy zwartym wyjściu stabilizatora.

Napięcie wejścia dla obu pomiarów wyznaczamy z nierówności: $U_{we} \geq U_{wyn} + 3$

Ustawiamy więc $U_{we} = 12V$ i dokonujemy pomiarów:

$$U_{Ref} = 2,7520 \text{ V} \text{ zamiast } 2,75 \text{ V}$$

$$U_{sc} = 0,4565 \text{ V} \text{ zamiast } 0,45 \text{ V}$$

3. Wnioski

3.1. Wpływ R_0 na charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})$

- Dla wartości mniejszych od rezystancji krytycznej układ nie jest w stanie uzyskać na wyjściu wartości napięcia zbliżonego do oczekiwanego. Spowodowane jest to faktem posiadania przez stabilizator ograniczenia prądowego.
- Dołączenie na wyjście stabilizatora rezystancji większych od rezystancji krytycznej, nie powoduje znacznego obciążenia stabilizatora, dzięki czemu jesteśmy w stanie uzyskać na wyjściu wartości zbliżone do oczekiwanych. Różnią się one nieznacznie, ponieważ zastosowano elementy rzeczywiste o wartościach jedynie zbliżonych do obliczonych wartości.
- Przekroczenie zakresu stabilizacji spowoduje drastyczne pogorszenie parametrów układu.

3.2. Wpływ U_{we} na charakterystyki $U_{wy} = f(I_{wy})$

- Podanie na wejście układu napięć mniejszych od sumy napięcia oczekiwanego i napięcia DropOut spowoduje uzyskanie na wyjściu napięcia mniejszego od zakładanego. Jest to spowodowane faktem iż stabilizator wymaga podania na wejście napięcia z odpowiednim zapasem.
- Podając na wejście układu napięcia większe od sumy napięcia oczekiwanego i napięcia DropOut na wyjściu otrzymamy napięcie zbliżone do oczekiwanego.
- Przekroczenie zakresu stabilizacji spowoduje drastyczne pogorszenie parametrów układu.

3.3. Współczynnik stabilizacji S_u

- W idealnym przypadku wynosi 0
- Wraz ze wzrostem rezystancji obciążenia, wartość współczynnik maleje, co jest zjawiskiem korzystnym, ponieważ świadczy o poprawieniu się stabilizacji napięcia wyjściowego.
- Uzyskane wartości współczynnika pokrywają się z zapewnieniami producenta, nawet w przypadku znacznego obciążenia stabilizatora

3.4. Rezystancja wyjściowa stabilizatora

- W przypadku zasilenia stabilizatora napięciem z odpowiednim zapasem, rezystancja wyjściowa stabilizatora jest niewielka. Wraz z spadkiem napięcia wejściowego, rezystancja wzrasta.
- Impedancja wyjściowa jest znacznie większa, od wartości podawanych przez producenta.

3.5.

- Dla wartości R_0 powyżej rezystancji krytycznej, stabilizator stabilizuje napięcie
- Dla wartości R_0 poniżej rezystancji krytycznej, stabilizator stabilizuje prąd
- Dla wartości U_{we} powyżej sumy napięcia DropOut i oczekiwanego napięcia wyjściowego, stabilizator stabilizuje poprawnie napięcie

3.6.

- Napięcie odniesienia zarówno w przypadku symulacji jak i rzeczywistego układu udało się uzyskać w granicach wartości deklarowanych za poprawne przez producenta
- Im mniejsze obciążenie stabilizatora, tym lepsze parametry jesteśmy w stanie uzyskać