

# Politechnika Wrocławska

Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych i  
Optoelektroniki

Zespół Układów Elektronicznych

## LABORATORIUM UKŁADÓW ELEKTRONICZNYCH

Data: 19.04.2021	Dzień: Poniedziałek		
Grupa: E12-93I	Godzina: 13:15-15:30		
TEMAT ĆWICZENIA: Przetwornica DC-DC			
DANE PROJEKTOWE: Napięcie wejściowe: $U_{in} = 3,3 \text{ V}$ Napięcie wyjściowe: $U_{out} = 9 \text{ V}$ Maksymalny prąd wyjściowy: $I_{out} = 450 \text{ mA}$			
Lp.	Nazwisko i Imię		Oceny
1.	Kuboń Piotr 252871		

# 1. Część praktyczna

## 1.1. Dane projektowe

Napięcie wejściowe:  $U_{in} = 5 V$

Napięcie wyjściowe:  $U_{out} = 15 V$

Maksymalny prąd wyjściowy:  $I_{out} = 250 mA$

### 1.1.1. Założenia:

$$C_T = 680 pF$$

$$U_{in min} = 3V \quad (\text{przetwornica podwyższająca i odwracająca})$$

$$U_{in min} = U_{out n} + 1 \quad (\text{przetwornica obniżająca})$$

$$U_{CEsat} = 0,2 V$$

$$C_T [pF] = 40 t_{on} [\mu s]$$

$$t_{on} = \frac{C_T}{40} = 17 \mu s$$

$$I_{Lpk} = 2 * I_{out max} * \frac{U_{out}}{U_{in}} = 2 * 0,25 * \frac{15}{5} = 1,5 A$$

$$T = t_{on} + t_{off}$$

$$U_{out} = \frac{U_{in}}{1 - \gamma}$$

$$\gamma = 1 - \frac{U_{in}}{U_{out}} = 1 - \frac{5}{15} = \frac{2}{3}$$

$$T = \frac{t_{on}}{\gamma} = \frac{17 * 3}{2} = 25,5 \mu s \quad \text{stąd} \quad f = \frac{1}{T} = 39,2 kHz$$

$$L_{min} = \left( \frac{U_{in} - U_{CEsat}}{I_{Lpk}} \right) \left( 1 - \frac{U_{in min}}{U_{out}} \right) T = \left( \frac{3 - 0,2}{1,5} \right) \left( 1 - \frac{3}{15} \right) * 25,5 * 10^{-6} = 38,1 \mu H$$

$$\text{Przyjmujemy } L = 100 \mu H$$

$$I_{pk} = I_{Lpk}$$

$$R_{sc} = \frac{0,3}{I_{pk}} = \frac{0,3}{1,5} = 0,2$$

$$\text{Przyjmujemy } R_{sc} = 0,22 \Omega$$

$$|U_{out}| = 1,25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$\text{Przyjmujemy } R_1 = 1 k\Omega$$

$$R_2 = \left( \frac{U_{out}}{1,25} - 1 \right) * R_1 = 11 k\Omega$$

$$\text{Przyjmujemy } C_0 = 100 \mu F$$

$$I_{out n} = \frac{1}{2} I_{out max} = \frac{1}{2} * 0,25 = 0,125 A$$

$$C_0 \geq \frac{9 I_{out}}{U_{tpp}} * t_{on}$$

$$U_{tpp} = \frac{9 * I_{out}}{C_0} * t_{on} = \frac{9 * 0,125}{100 * 10^{-6}} * 17 * 10^{-6} = 0,19 V$$

$$R_{out n} = \frac{U_{out n}}{\frac{1}{2} I_{out max}} = \frac{15}{0,5 * 0,25} = 120 \Omega$$

$$R_{out min} = \frac{R_{out n}}{2} = 60 \Omega$$

### 1.1.2. Pomiar wartości elementów układu:

$$R_2 = 10,933 k\Omega$$

$$R_1 = 987,9 \Omega$$

$$R_{sc} = 0,29 \Omega \text{ jednak pomiar rezystancji przewodów wskazał } 0,07 \Omega$$

$$\text{Więc } R_{sc} = 0,22 \Omega$$

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

$$C_T = 682,9 pF$$

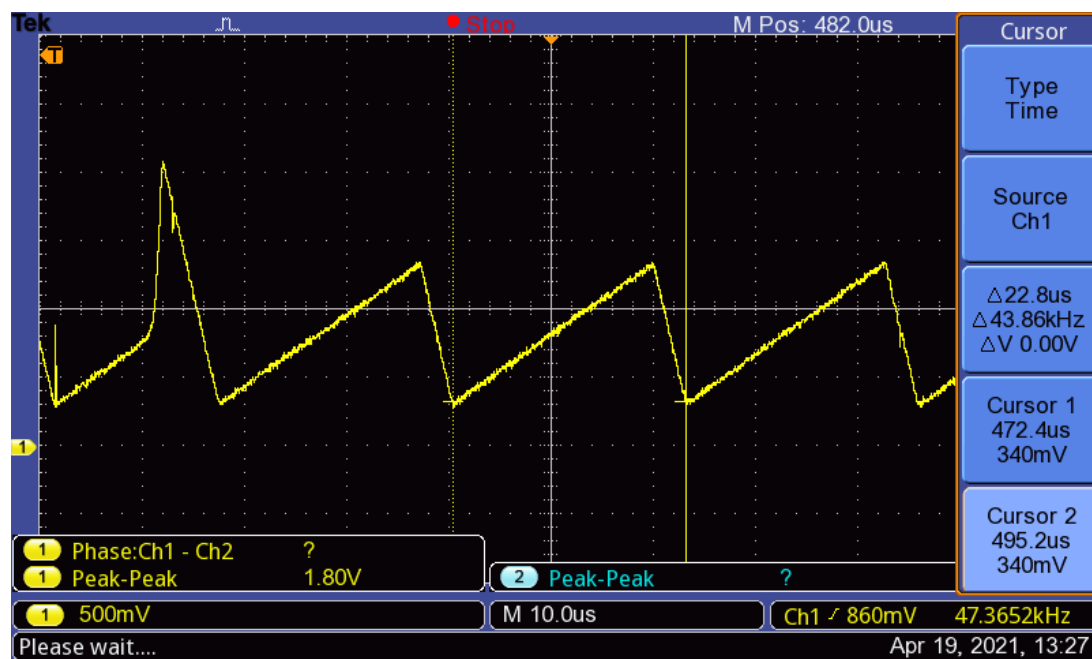
$$C_0 = 100 \mu F$$

$$L = 102 \mu H$$

## 1.2. Przebieg pomiarów

### 1.2.1. Pomiar częstotliwości impulsowania oscylatora

Ustawiamy napięcie wejściowe  $U_{in} = 5\text{ V}$  i rezystancję obciążenia  $R_{out} = 120\Omega$ . Następnie dokonujemy pomiaru okresu impulsów oscylatora na kondensatorze  $C_T$ .



Rys. 1 : Ekran oscyloskopu podczas pomiaru częstotliwości impulsowania oscylatora z zaznaczoną wartością częstotliwości

Za pomocą oscyloskopu zmierzaliśmy częstotliwość  $f = 43,66\text{ kHz}$ .

Po dołączeniu obciążenia przetwornica zmieniła częstotliwość na  $47\text{ kHz}$ .

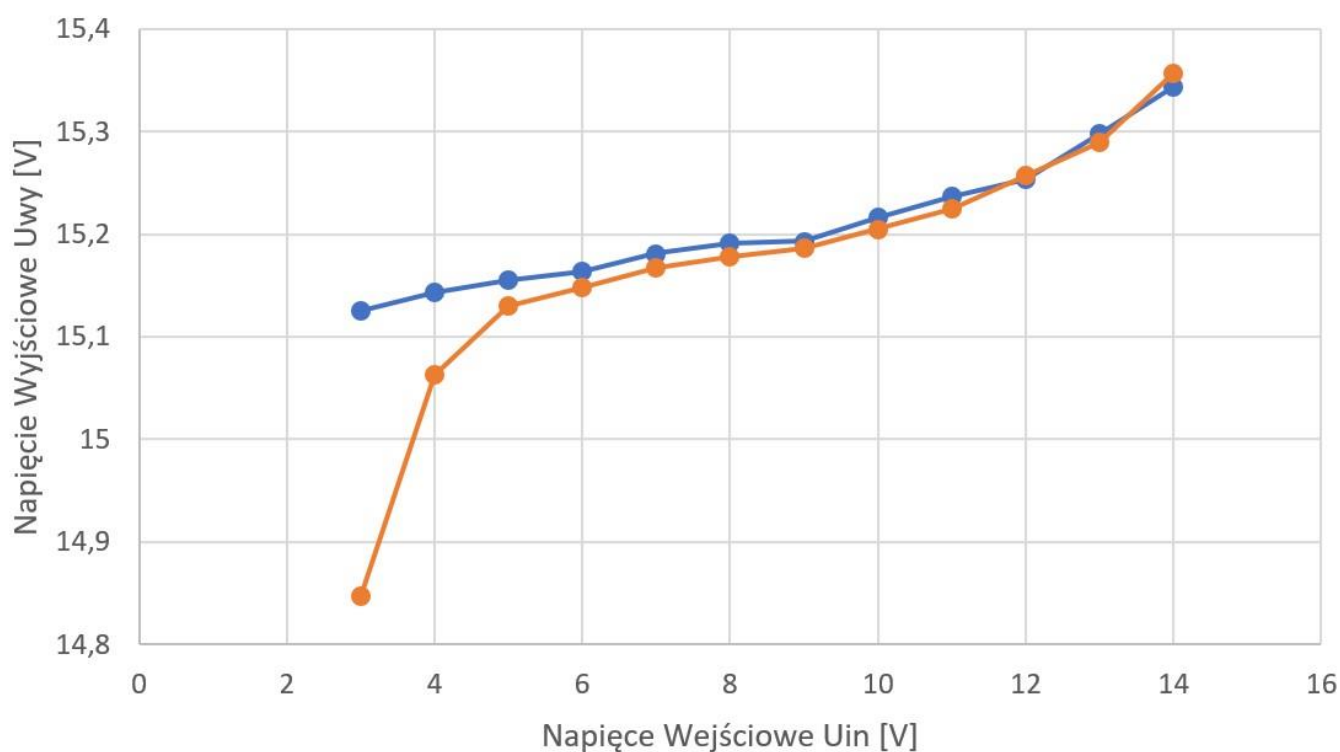
### 1.2.2. Pomiar stałości napięcia wyjściowego od zmian napięcia wejściowego (współczynnik stabilizacji)

Lp.	$R_{01} = 200\Omega$		$R_{02} = 120\Omega$	
	$U_{in} [V]$	$U_{out} [V]$	$U_{in} [V]$	$U_{out} [V]$
1	14	15,344	14	15,357
2	13	15,298	13	15,290
3	12	15,254	12	15,257
4	11	15,237	11	15,225
5	10	15,216	10	15,205
6	9	15,193	9	15,186
7	8	15,191	8	15,178
8	7	15,181	7	15,167
9	6	15,164	6	15,148
10	5	15,155	5	15,130
11	4	15,143	4	15,063
12	3	15,125	3	14,847

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

$$S_{U_{200\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{15,344 - 15,125}{14 - 3} = 0,0199 = 1,99\%$$

$$S_{U_{120\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{15,357 - 14,847}{14 - 3} = 0,0464 = 4,64\%$$



Rys. 2: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze  $R_0 = 120\Omega$  [pomarańcz]  $R_0 = 200\Omega$  [niebieski]

### 1.2.3. Pomiar rezystancji wyjściowej oraz sprawności przetwornicy

Lp.	$U_{we1} = 10\text{ V}$					
	$I_{in} [A]$	$U_{out} [V]$	$I_{out} [A]$	$P_{in} [W]$	$P_{out} [W]$	$\eta [\%]$
1	0,005	15,2	0	0,05	0	0
2	0,147	15,21	0,076	1,47	1,15596	78,63673469
3	0,196	15,217	0,101	1,96	1,536917	78,41413265
4	0,227	15,215	0,118	2,27	1,79537	79,09118943
5	0,243	15,206	0,127	2,43	1,931162	79,47168724
6	0,265	15,21	0,139	2,65	2,11419	79,78075472
7	0,29	15,202	0,153	2,9	2,325906	80,20365517
8	0,314	15,206	0,165	3,14	2,50899	79,90414013
9	0,352	15,2	0,186	3,52	2,8272	80,31818182
10	0,398	15,2	0,212	3,98	3,2224	80,96482412
11	0,466	15,204	0,246	4,66	3,740184	80,26145923
12	0,545	15,182	0,293	5,45	4,448326	81,62066055

Lp.	$U_{we1} = 5\text{ V}$					
	$I_{in} [A]$	$U_{out} [V]$	$I_{out} [A]$	$P_{in} [W]$	$P_{out} [W]$	$\eta [\%]$
1	0,007	15,151	0	0,035	0	0
2	0,327	15,148	0,075	1,635	1,1361	69,48624
3	0,434	15,144	0,1	2,17	1,5144	69,78802
4	0,5	15,132	0,117	2,5	1,770444	70,81776
5	0,6	15,125	0,139	3	2,102375	70,07917
6	0,66	15,117	0,152	3,3	2,297784	69,62982
7	0,711	15,109	0,165	3,555	2,492985	70,12616
8	0,781	15,018	0,184	3,905	2,763312	70,76343
9	0,9	15,028	0,209	4,5	3,140852	69,79671
10	1,065	15,019	0,244	5,325	3,664636	68,81946
11	1,277	14,931	0,287	6,385	4,285197	67,1135

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

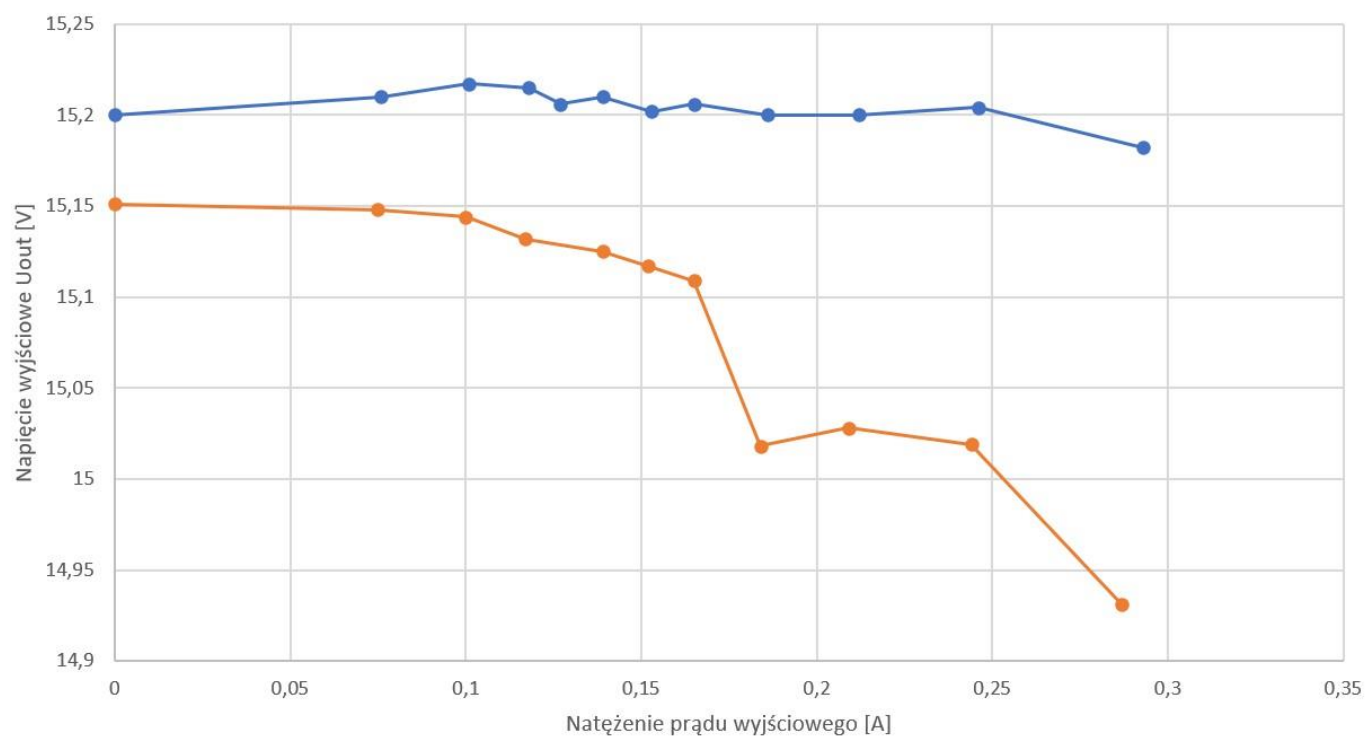
$$R_{out_{10V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = \frac{15,217 - 15,182}{0,293 - 0} = 0,119\ \Omega$$

$$R_{out_{5V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = \frac{15,151 - 14,931}{0,287 - 0} = 0,767\ \Omega$$

W celu wyznaczenia mocy wyjściowej korzystamy ze wzoru:  $P_{in} = U_{in} * I_{in}$

W celu wyznaczenia mocy wejściowej korzystamy ze wzoru:  $P_{out} = U_{out} * I_{out}$

W celu wyznaczenia sprawności korzystamy ze wzoru:  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$



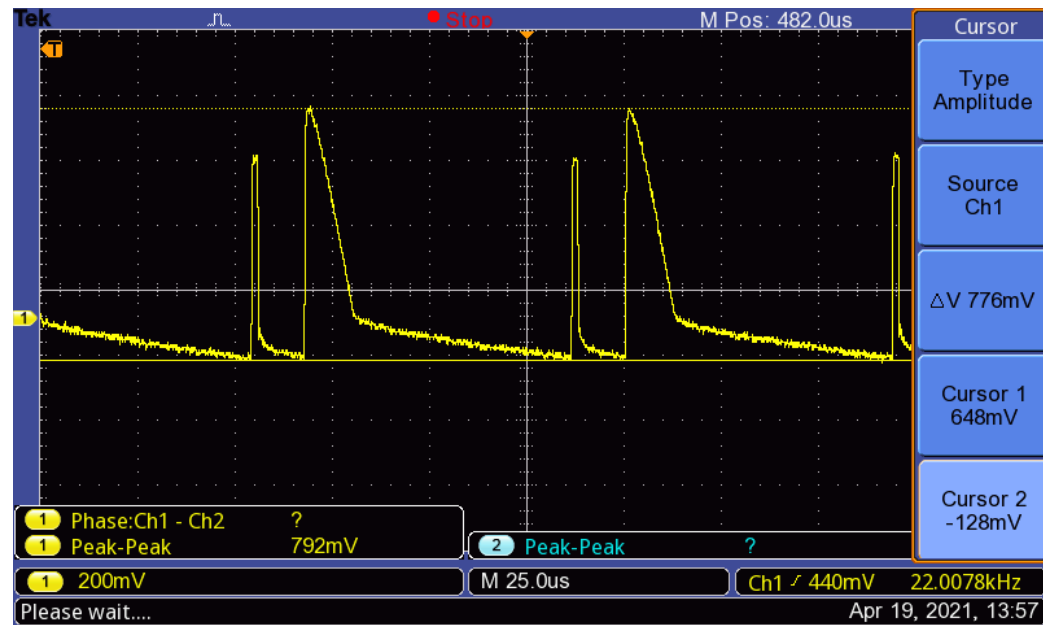
Rys. 3: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze  $U_{in} = 5V$  [pomarańcz]  $U_{in} = 10V$  [niebieski]

### 1.2.4. Pomiar napięcia tętnień

W celu dokonania pomiaru napięcia tętnień ustawiamy obciążenie na wartość  $120\Omega$  oraz napięcie wyjściowe na wartość nominalną. Napięcie wejściowe wynosi 5V.

Pomiaru wartości napięcia międzyszczytowego składowej zmiennej [AC] dokonujemy na rezystorze R2 (rezystor podłączony na wyjście).

Napięcie tętnień wynosi 776mV



Rys. 4: Ekran oscyloskopu podczas pomiaru wartości składowej zmiennej napięcia międzyszczytowego z zaznaczoną ową wartością



## 2. Część symulacyjna

### 2.1. Dane projektowe

Napięcie wejściowe:  $U_{in} = 3,3 V$

Napięcie wyjściowe:  $U_{out} = 9 V$

Maksymalny prąd wyjściowy:  $I_{out} = 450 mA$

#### 2.1.1. Założenia:

$$C_T = 680 pF$$

$$U_{in min} = 3V \quad (\text{przetwornica podwyższająca i odwracająca})$$

$$U_{CEsat} = 0,2 V$$

$$C_T [pF] = 40 t_{on} [\mu s]$$

$$t_{on} = \frac{C_T}{40} = 17 \mu s$$

$$I_{Lpk} = 2 * I_{out max} * \frac{U_{out}}{U_{in}} = 2 * 0,45 * \frac{9}{3,3} = 2,455 A$$

$$T = t_{on} + t_{off}$$

$$U_{out} = \frac{U_{in}}{1 - \gamma}$$

$$\gamma = 1 - \frac{U_{in}}{U_{out}} = 1 - \frac{3,3}{9} = 0,633$$

$$T = \frac{t_{on}}{\gamma} = \frac{17 * 10^{-6}}{0,633} = 26,86 \mu s \quad \text{stąd} \quad f = \frac{1}{T} = 37,24 kHz$$

$$L_{min} = \left( \frac{U_{in} - U_{CEsat}}{I_{Lpk}} \right) \left( 1 - \frac{U_{in min}}{U_{out}} \right) T = \left( \frac{3,3 - 0,2}{2,455} \right) \left( 1 - \frac{3}{9} \right) * 26,86 * 10^{-6} = 22,66 \mu H$$

Przyjmujemy  $L = 100 \mu H$

$$I_{pk} = I_{Lpk}$$

$$R_{sc} = \frac{0,3}{I_{pk}} = \frac{0,3}{2,455} = 0,122$$

Przyjmujemy  $R_{sc} = 0,12 \Omega$

$$|U_{out}| = 1,25 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Przyjmujemy  $R_1 = 1,2 k\Omega$

$$R_2 = \left( \frac{U_{out}}{1,25} - 1 \right) * R_1 = \left( \frac{9}{1,25} - 1 \right) * 1200 = 7,44 k\Omega$$

Przyjmujemy  $R_2 = 7,5 k\Omega$

Przyjmujemy  $C_0 = 100 \mu F$

$$I_{out n} = \frac{1}{2} I_{out max} = \frac{1}{2} * 0,45 = 0,225 A$$

$$U_{tpp} = \frac{9 * I_{out}}{C_0} * t_{on} = \frac{9 * 0,225}{100 * 10^{-6}} * 17 * 10^{-6} = 0,344 V$$

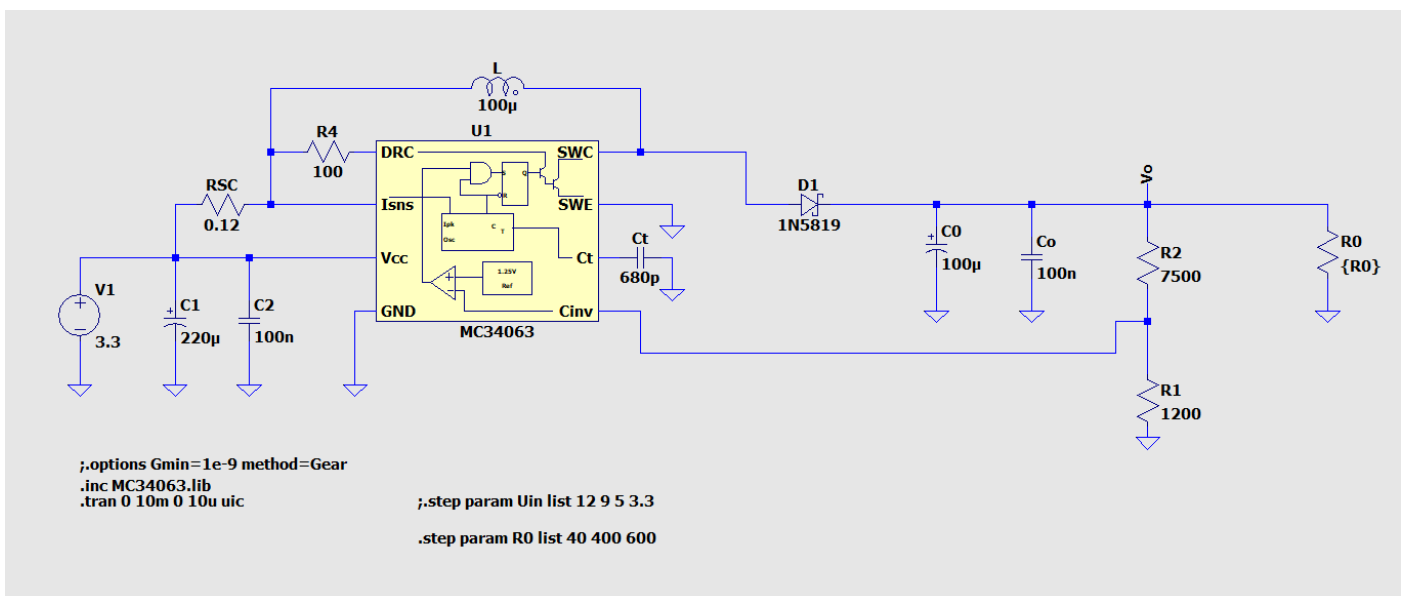
$$R_{out n} = \frac{U_{out n}}{\frac{1}{2} I_{out max}} = \frac{9}{0,5 * 0,45} = 40 \Omega$$

$$R_{out min} = \frac{R_{out n}}{2} = 20 \Omega$$

W trakcie przeprowadzania symulacji zauważono iż w momencie gdy rezystancja wyjściowa wynosi  $40 \Omega$  napięcie wyjściowe nie jest w stanie osiągnąć napięcia wyższego niż 4.8V przy dużych tętnieniach.

Z tego powodu dalsze obliczenia wykonano dla nominalnej rezystancji wyjściowej wynoszącej  $400 \Omega$ . Zapewnia ona uzyskanie napięcia wyjściowego na poziomie 9V w czasie 8.6ms.

## 2.2. Schemat symulowanego układu

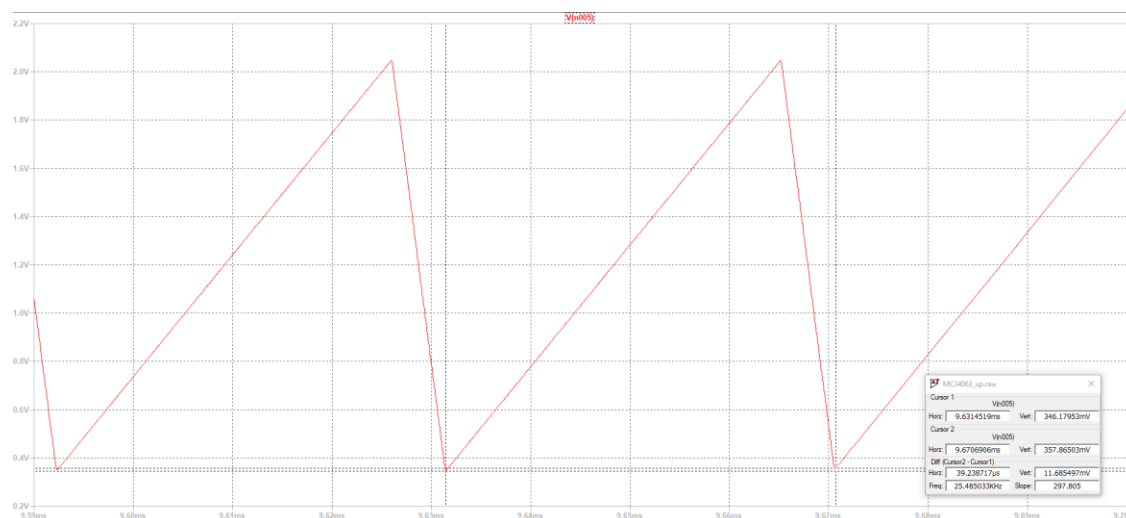


Rys 1: Schemat LTSpice badanego układu

## 2.3. Przebieg pomiarów

### 2.3.1. Pomiar częstotliwości impulsowania oscylatora

Ustawiamy napięcie wejściowe  $U_{in} = 3.3\text{ V}$  i rezystancję obciążenia  $R_{out} = 400\Omega$ . Następnie dokonujemy pomiaru okresu impulsów oscylatora na kondensatorze  $C_T$ .



Rys. 5 : Ekran symulatora podczas pomiaru częstotliwości impulsowania oscylatora z zaznaczonymi wartościami kursorów

Za pomocą kursorów zmierzaliśmy wartości kolejnych dwóch wartości minimalnych. Na tej podstawie jesteśmy w stanie wyliczyć okres impulsowania który wynosi  $T_{imp} = 39,238\mu\text{s}$ , jak również częstotliwość impulsowania która wynosi  $f_{imp} = \frac{1}{T_{imp}} = 25,49\text{kHz}$

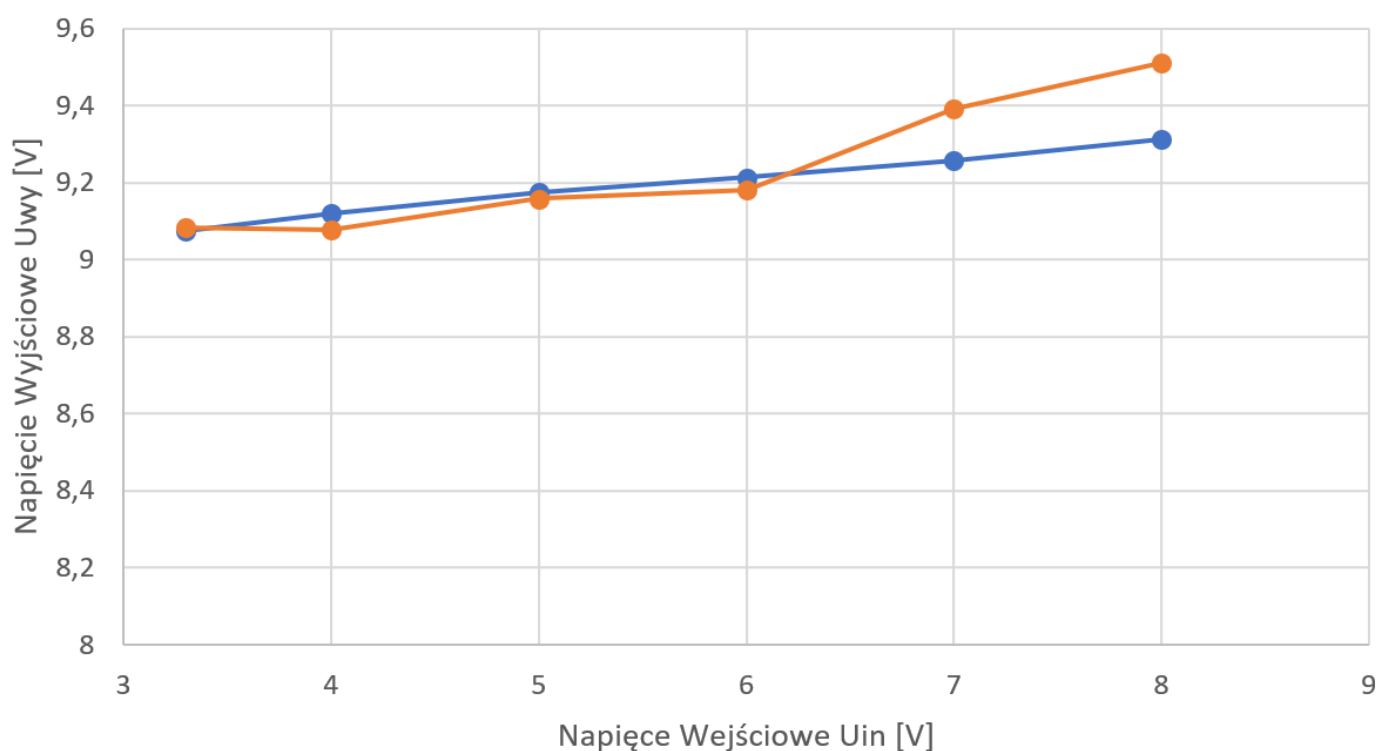
### 2.3.2. Pomiar stałości napięcia wyjściowego od zmian napięcia wejściowego (współczynnik stabilizacji)

Lp.	$R_{01} = 400\Omega$		$R_{02} = 800\Omega$	
	$U_{in} [V]$	$U_{out} [V]$	$U_{in} [V]$	$U_{out} [V]$
1	3,3	9,075	3,3	9,084
2	4	9,119	4	9,076
3	5	9,174	5	9,158
4	6	9,213	6	9,182
5	7	9,256	7	9,391
6	8	9,311	8	9,511

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

$$S_{U_{400\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{9,311 - 9,075}{8 - 3,3} = 0,0502 = 5,02\%$$

$$S_{U_{800\Omega}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}} = \frac{9,511 - 9,084}{8 - 3,3} = 0,0909 = 9,09\%$$



Rys. 6: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji napięcia wejściowego przy parametrze  $R_0 = 800\Omega$  [pomarańcz]  $R_0 = 400\Omega$  [niebieski]

### 2.3.3. Pomiar rezystancji wyjściowej oraz sprawności przetwornicy

Lp.	$U_{we1} = 3,3 V$					
	$I_{in} [A]$	$U_{out} [V]$	$I_{out} [mA]$	$P_{in} [W]$	$P_{out} [mW]$	$\eta [\%]$
1	-0,685	9,068	23	2,2605	208,57	9,23
2	-0,685	9,095	15,16	2,2605	137,89	6,1
3	-0,685	9,101	11,38	2,2605	103,57	4,58
4	-0,685	9,097	9,098	2,2605	82,76	3,66
5	-0,685	9,082	6,05	2,2605	54,94	2,43
6	-0,685	9,091	4,55	2,2605	41,36	1,83
7	-0,685	9,1	0	2,2605	0	0

Lp.	$U_{we1} = 6 V$					
	$I_{in} [A]$	$U_{out} [V]$	$I_{out} [mA]$	$P_{in} [W]$	$P_{out} [W]$	$\eta [\%]$
1	-1,6	9,05	22,7	9,6	0,205	2,14
2	-1,589	9,069	15,11	9,534	0,137	1,44
3	-1,594	9,072	11,34	9,564	0,103	1,08
4	-1,812	9,072	9,072	10,872	0,082	0,76
5	-1,78	9,073	6,05	10,68	0,055	0,51
6	-1,56	9,077	4,54	9,36	0,042	0,44
7	-0,0016	9,33	0	0,0096	0	0

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

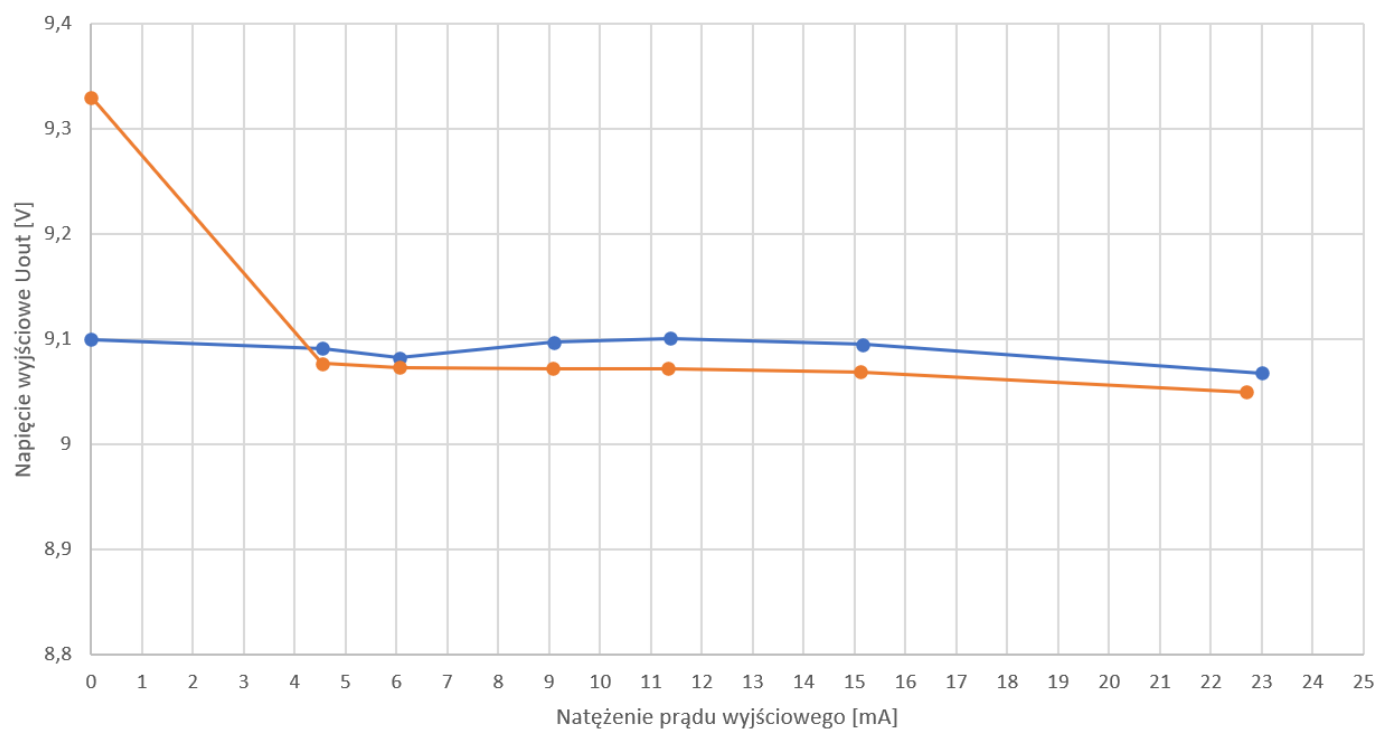
$$R_{out_{3,3V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = \frac{9,1 - 9,068}{0,023 - 0} = 1,39 \Omega$$

$$R_{out_{6V}} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} = \frac{9,33 - 9,05}{0,0227 - 0} = 12,33 \Omega$$

W celu wyznaczenia mocy wyjściowej korzystamy ze wzoru:  $P_{in} = U_{in} * I_{in}$

W celu wyznaczenia mocy wejściowej korzystamy ze wzoru:  $P_{out} = U_{out} * I_{out}$

W celu wyznaczenia sprawności korzystamy ze wzoru:  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$



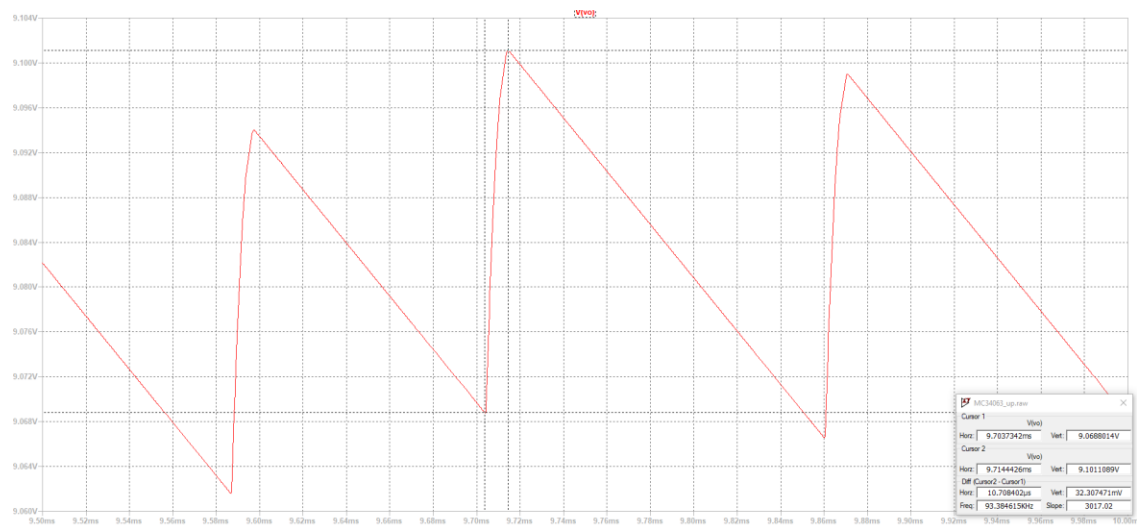
Rys. 7: Charakterystyka napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego przy parametrze  $U_{in} = 6V$  [pomarańcz]  $U_{in} = 3.3V$  [niebieski]

### 2.3.4. Pomiar napięcia tętnień

W celu dokonania pomiaru napięcia tętnień ustawiamy obciążenie na wartość  $400\Omega$  oraz napięcie wyjściowe na wartość nominalną. Napięcie wejściowe wynosi  $3,3V$ .

Pomiaru wartości napięcia międzyszczytowego składowej zmiennej [AC] dokonujemy na rezystorze R2 (rezystor podłączony na wyjście).

Napięcie tętnień wynosi  $32,3mV$



Rys. 8: Ekran symulatora podczas pomiaru wartości składowej zmiennej napięcia międzyszczytowego

### 3. Wnioski

- Im większa wartość indukcyjności dławika, tym większe wahania napięcia, ale także większe wzmocnienie. Jest to spowodowane faktem magazynowania energii przez dławik, która następnie zostaje uwolniona.
- Wartość pojemności kondensatora  $C_T$  wpływa bezpośrednio na czas narastania a co za tym idzie również na okres i częstotliwość impulsowania przetwornicy
- Układ rzeczywisty spełnił zamierzenia projektowe. Niewielkie rozbieżności wynikają przez korzystanie z nieidealnych elementów rzeczywistych.
- Układ symulacyjny nie spełnił zamierzeń projektowych. Po zawyżeniu nominalnej rezystancji wyjściowej udało się ostatecznie uzyskać na wyjściu napięcie 9V, jednak spowodowało to uzyskanie mniejszych prądów wyjściowych, a przez to znaczny spadek sprawności.
- Uzyskanie ujemnego prądu wejściowego może wynikać z niedokładności modelu lub błędnej interpretacji schematu, a co za tym idzie jego niepoprawnej realizacji.
- Współczynnik stabilizacji jest w obu ćwiczeniach na zadowalającym poziomie, jednak znacznie odbiega od wartości jakie udało się uzyskać w przypadku stabilizatora.
- Rezystancja wyjściowa zarówno w przypadku części praktycznej jak i symulacyjnej jest na zadowalającym poziomie.
- Przekroczenie przyjętego napięcia wejściowego powoduje szybsze uzyskanie stanu ustalonego, oraz możliwość uzyskania wyższych prądów wyjściowych, jednak wpływa to również na zwiększenie rezystancji wyjściowej oraz na zwiększenie się wydzielonej mocy.