



AGH
Katedra Elektroniki

**Podstawy Elektroniki
dla Elektrotechniki**

Stabilizatory napięcia

**Instrukcja do ćwiczeń symulacyjnych (4a)
Instrukcja do ćwiczeń sprzętowych (4b)**

2015 r.

**Ćwiczenie
4a, 4b**

1. Wstęp

Zadaniem stabilizatora jest dostarczyć do układu elektronicznego stałe napięcie niezależne od wahań napięcia wejściowego, prądu obciążenia i temperatury. Stabilizator składa się z czterech podstawowych elementów: źródła referencyjnego (odniesienia), detektora błędów, elementu próbkującego, układu sterującego i niekiedy układu zabezpieczającego.

Stabilizator charakteryzuje:

- znamionowe napięcie wyjściowe, dla którego stabilizator został zaprojektowany i wykonany $U_{wy_{nom}}$
- zakres zmian napięcia wejściowego, dla którego stabilizator pracuje poprawnie ($U_{we_{min}}$, $U_{we_{max}}$),
- zakres zmian prądu wyjściowego, dla którego stabilizator pracuje poprawnie ($I_{obc_{min}}$, $I_{obc_{max}}$),
- współczynnik stabilizacji napięciowej S_U ,

$$S_U = \frac{\Delta U_{we}}{\Delta U_{wy}} \Big|_{I_{obc} = const}$$

- dynamiczna rezystancja wyjściowa r_{wy} ,

$$r_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{obc}} \Big|_{U_{we} = const}$$

W niniejszym ćwiczeniu zostaną zbadane cztery układy stabilizatorów:

1. układ podstawowy stabilizatora z diodą Zenera i rezystorem (stabilizator 1),
2. stabilizator z diodą Zenera oraz z ujemnym sprzężeniem zwrotnym (stabilizator 2),
3. stabilizator z układem scalonym TL431 jako źródłem napięcia odniesienia (stabilizator 3)
4. stabilizator z trójkońcówkowym układem scalonym typu LM117 (stabilizator 4).

2. Konspekt

Konspekt powinien zawierać przykład schemat układu stabilizatora szeregowego z diodą Zenera, jak również schemat blokowy stabilizatora z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Konspekt powinien również zawierać definicje podstawowych parametrów charakteryzujących stabilizatory.

W konspekcie należy obliczyć wartość zewnętrznych elementów stabilizatora scalonego LM 117 pozwalających na otrzymanie napięcia wyjściowego rzędu 5V (szczegóły w dalszej części instrukcji).

3. Instrukcja do ćwiczeń symulacyjnych stabilizatorów napięcia

3.1 Podstawowy układ stabilizatora z diodą Zenera i rezystorem (stabilizator 1)

Najprostsze stabilizatory napięcia są zbudowane tylko z dwóch elementów: diody Zenera i rezystora (rys. 1). Efekt stabilizacji uzyskuje się dzięki właściwościom prądowo-napięciowym diody Zenera w obszarze zaporowym. Prawidłowa praca takiego stabilizatora zależy w krytyczny sposób od wartości rezystora R_1 . Spadek napięcia na tym rezystorze powinien pochłaniać całą zmianę napięcia wejściowego. Rezystor R_2 spełnia rolę obciążenia.

Prowadzący podaje typ diody Zenera, którą należy zastosować w układzie jak na rys. 1. Należy ustalić parametry tej diody wypełniając tabelę 1. Źródłem danych jest tabela 2 lub karta katalogowa diody dostępna w internecie. Należy zanotować typ diody, napięcie Zenera U_Z , oraz nominalny prąd stabilizacji I_Z . Należy pamiętać, że maksymalna moc strat P_{max} wydzielana na diodzie nie może przekroczyć 200 mW.

Tabela 1. Parametry diody Zenera zastosowanej w układzie stabilizatora z diodą Zenera i rezystorem

Typ diody Zenera	Napięcie Zenera U_Z [V]	Nominalny prąd stabilizacji I_Z [mA]	Max dopuszczalna moc wydzielana na diodzie P_{max} [mW]	Maksymalny dopuszczalny prąd stabilizacji I_{Zmax} [mA]	Rezystor R_1 [Ω] dla $U_{we} = 15$ V

Maksymalny dopuszczalny prąd stabilizacji I_{Zmax} należy wyznaczyć z ilorazu maksymalnej mocy strat na diodzie i napięcia stabilizacji:

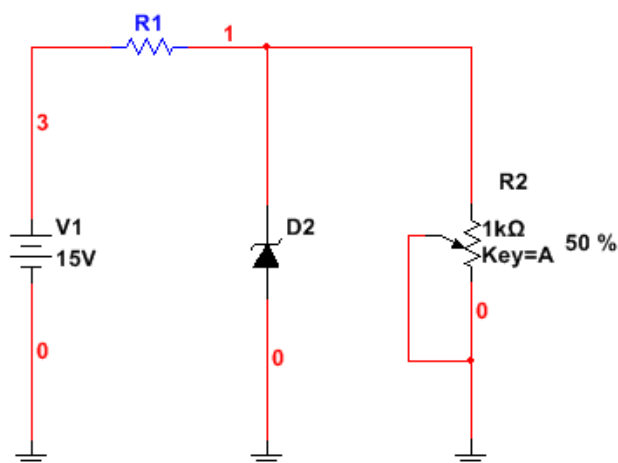
$$I_{Zmax} \cdot U_Z \leq 200 \text{ mW}$$

Przy zadanym napięciu wejściowym $U_{we} = 15$ V należy obliczyć wartość rezystora R_1 , który zapewni uzyskanie maksymalnej wartości prądu stabilizacji w stanie jałowym (bez obciążenia):

$$\frac{U_{we} - U_Z}{R_1} < I_{Zmax}$$

Należy przyjąć, że rzeczywista wartość rezystora R_1 powinna być nieco większa od obliczonej, tak aby układ nie pracował przy swoich warunkach granicznych i wprowadzić tę wartość rezystora R_1 do symulacji układu podstawowego z diodą Zenera i rezystorem (stabilizator 1) z rys. 1.

$R_1 = \dots\dots\dots$



Rys. 1. Układ podstawowy z diodą Zenera i rezystorem (stabilizator 1) – typ diody Zenera podaje prowadzący, rezystor R_1 należy wyliczyć

Tabela 2. Parametry graniczne elementów referencyjnych stabilizatorów

Nazwa elementu	Nominalne napięcie Zenera U_Z	Nominalny prąd stały płynący przez element referencyjny I_Z	Max dop. moc wydzielana na diodzie referencyjnej (diody małe)
Dioda Zenera C2V7	2.7V	30±5 mA	200 mW
Dioda Zenera C3V6	3.6V	30±5 mA	
Dioda Zenera C4V7	4.7V	25±5 mA	
Dioda Zenera C5V1	5.1V	20±5 mA	
Dioda Zenera C6V2	6.2V	15±5 mA	
Dioda Zenera C6V8	6.8V	15±5 mA	
Dioda Zenera C8V2	8.2V	10±2.5 mA	

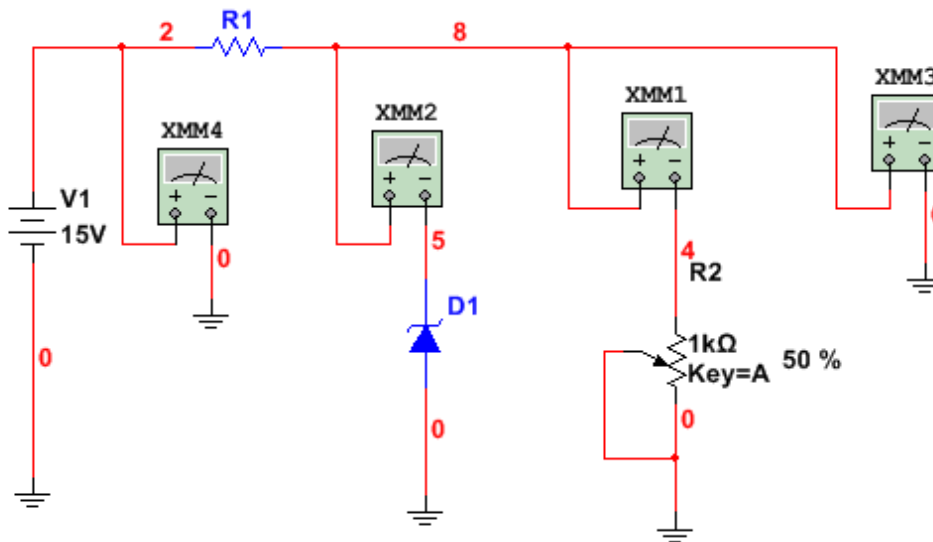
Na przykładzie układu podstawowego stabilizatora 1 zostaną podane metody wyznaczania parametrów charakterystycznych stabilizatorów:

- charakterystyka $U_{wyj} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$,
- charakterystyka $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const.}$,
- dynamiczna rezystancja wyjściowa r_{wy} ,
- współczynnik stabilizacji napięciowej S_U ,

Metody te należy zastosować do wyznaczenia parametrów charakterystycznych innych typów stabilizatorów.

3.1.1 Charakterystyka $U_{wyj}=f(U_{wej})$ dla $I_{obc}=\text{const.}$ dla stabilizatora 1

Do układu stabilizatora z diodą Zenera i rezystorem dołącz multymetry umożliwiające wyznaczenie charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$; przyjmij $I_{obc} = 10 \text{ mA}$ i 20 mA . Kontroluj prąd płynący przez diodę Zenera, aby nie przekroczyć wartości maksymalnej I_{Zmax} .



Rys. 2. Układ do pomiaru ch-k $U_{wy} = f(U_{we})$ oraz $U_{wy} = f(I_{obc})$ dla stabilizatora 1 w układzie z diodą Zenera i rezystorem

Na podstawie pomiarów **wykreśl charakterystykę $U_{wyj}=f(U_{wej})$ dla $I_{obc}=\text{const}$** i określ minimalną wartość napięcia wejściowego, przy którym układ zaczyna stabilizować. Uwaga: wykres powinien zawierać widoczne punkty pomiarowe.

$U_{wemin} = \dots\dots\dots$ dla $I_{obc} = 10 \text{ mA}$

$U_{wemin} = \dots\dots\dots$ dla $I_{obc} = 20 \text{ mA}$

3.1.2 Charakterystyka $U_{wyj}=f(I_{obc})$ dla $U_{we}=\text{const.}$ dla stabilizatora 1

W układzie z rys. 2 wyznacz również charakterystykę $U_{wyj}=f(I_{obc})$ dla zadanego napięcia wejściowego U_{we} .

Przyjmij $U_{we} = 10 \text{ V}$ i $U_{we} = 15 \text{ V}$.

Na podstawie pomiarów wykreśl charakterystykę i określ max wartość prądu obciążenia, przy którym układ zapewnia stabilizację napięcia z dokładnością 5% w stosunku do wartości nominalnej.

$I_{obc \text{ max}} = \dots\dots\dots$ dla stabilizacji 5% i $U_{we} = 10 \text{ V}$

$I_{obc \text{ max}} = \dots\dots\dots$ dla stabilizacji 5% i $U_{we} = 15 \text{ V}$

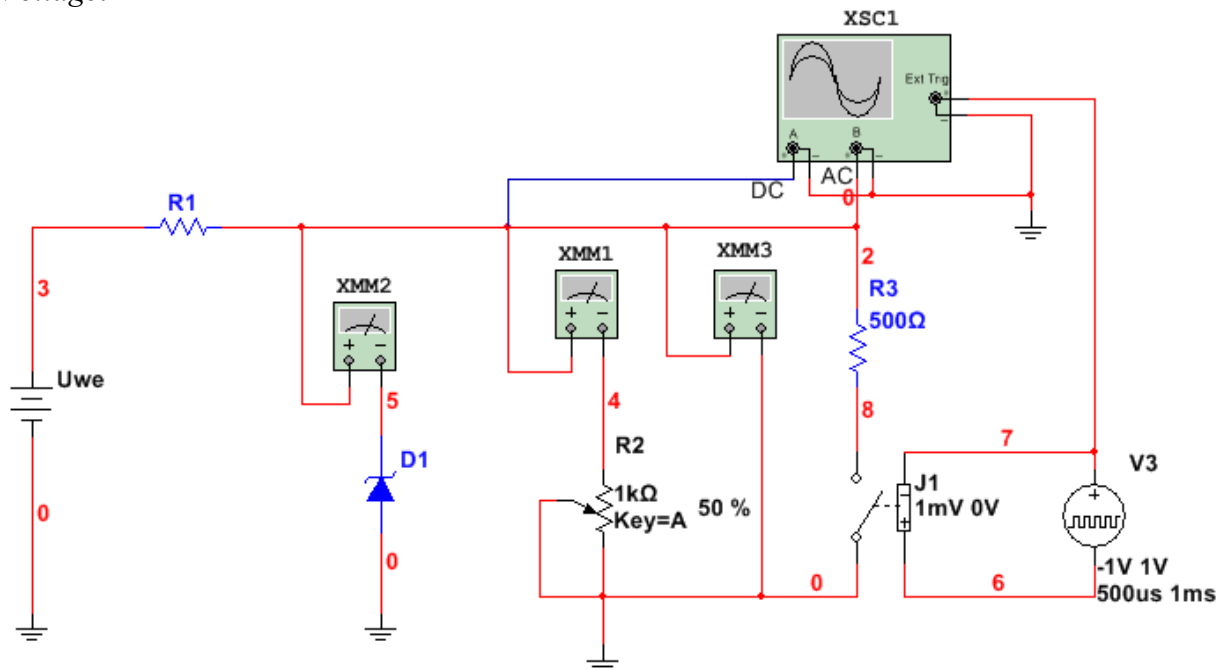
3.1.3. Dynamiczna rezystancja wyjściowa r_{wy} stabilizatora 1

Dynamiczną rezystancję wyjściową określa wzór:

$$r_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{obc}} \Big|_{U_{we} = const}$$

Pomiar należy przeprowadzić w układzie z rys. 3. dla dwóch wartości napięcia wejściowego – $U_{we1} = 10 \text{ V}$ i $U_{we2} = 15 \text{ V}$.

W celu zapewnienia synchronizacji odczytów na oscyloskopie należy do wyjścia synchronizującego oscyloskopu dołączyć układ sterowania dynamicznym poborem prądu składający się z przełącznika J1 i źródła napięcia impulsowego V3. Elementy tego układu znajdziesz w bibliotekach programu MultiSim: J1 jako *Switch/Voltage Controller*, V3 jako *Pulse Voltage*.



Rys. 3. Układ do pomiaru dynamicznej rezystancji wyjściowej r_{wy} stabilizatora 1 z diodą Zenera i rezystorem

Kanał A oscyloskopu należy ustawić w trybie pracy DC, kanał B w trybie pracy AC.

Kanał A pracujący w trybie DC należy wykorzystać do pomiaru składowej stałej napięcia wyjściowego, kanał B pracujący w trybie AC należy wykorzystać do pomiaru składowej zmiennej napięcia wyjściowego o zwiększonej czułości.

$$\Delta U_{wy} = \Delta U_{AC}$$

$$\Delta I_{obc} = \frac{\Delta U_{DC}}{R_3}$$

Multimetr XMM3 mierzy również składową stałą napięcia wyjściowego, alternatywnie do pomiarów na kanale A oscyloskopu. Wskazanie woltomierza XMM3 można więc także wykorzystać do określenia zmian prądu obciążenia.

$$\Delta I_{obc} = \frac{U_{DC}}{R_3}$$

Multimetry XMM2 i XMM1 służą do kontroli odpowiednio prądu płynącego przez diodę i prądu płynącego przez obciążenie w czasie pomiarów.

Dla $U_{we} = 10 \text{ V}$: $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{wy} = \dots\dots\dots$

Dla $U_{we} = 15 \text{ V}$: $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{wy} = \dots\dots\dots$

3.1.4. Współczynnik stabilizacji napięciowej układu S_U stabilizatora 1.

Współczynnik stabilizacji zmian napięcia wejściowego S_U określa wrażliwość napięcia wyjściowego na zmiany wartości napięcia zasilającego przy zachowaniu stałego prądu obciążenia I_{obc} .

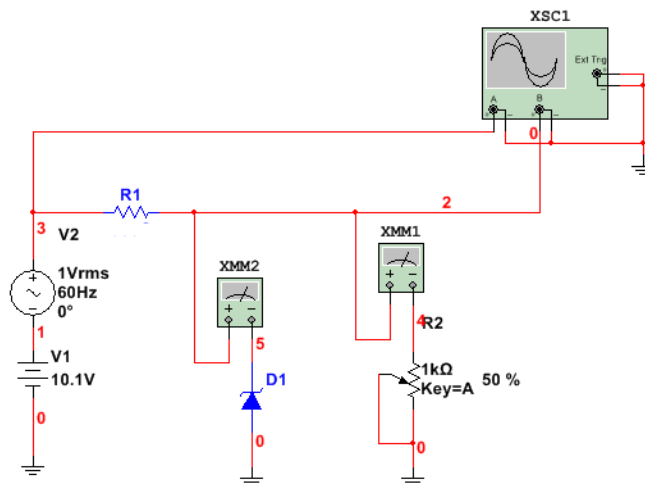
$$S_U = \frac{\Delta U_{we}}{\Delta U_{wy}} \Big|_{I_{obc} = const}$$

Pomiary należy wykonać w układzie pomiarowym z rys. 4. dla dwóch prądów obciążenia $I_{obc} = 10 \text{ mA}$ i $I_{obc} = 20 \text{ mA}$.

Zmiany napięcia wejściowego i wyjściowego ΔU_{we} i ΔU_{wy} należy odczytać z przebiegów na oscyloskopie.

Dla $I_{obc} = 10 \text{ mA}$: $\Delta U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $S_U = \dots\dots\dots$

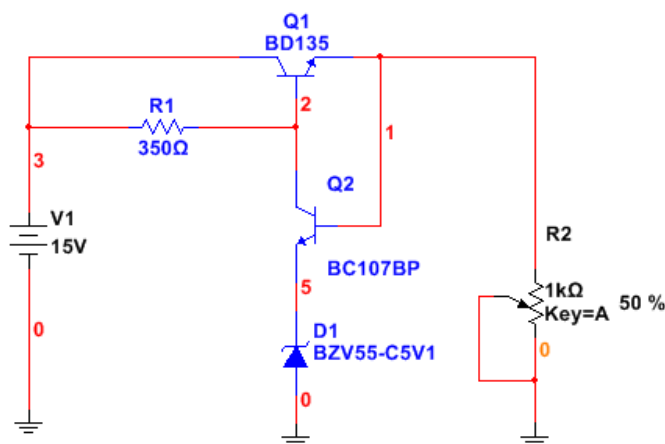
Dla $I_{obc} = 20 \text{ mA}$: $\Delta U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $S_U = \dots\dots\dots$



Rys. 4. Układ do pomiaru współczynnika stabilizacji napięciowej układu S_U w układzie stabilizatora 1 z diodą Zenera i rezystorem.

3.2. Układ stabilizatora z diodą Zenera i ujemnym sprzężeniem zwrotnym (stabilizator 2)

Wprowadź do programu symulacyjnego schemat stabilizatora napięcia w układzie rys. 5. Jest to układ stabilizatora z diodą Zenera i zewnętrzną pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego. Tranzystor Q1 jest elementem wykonawczym i pracuje w układzie wtórnika emiterowego. Tranzystor Q2 pracujący w konfiguracji wspólnego emitera pełni rolę wzmacniacza sterującego i komparatora porównującego napięcie odniesienia diody U_Z z napięciem wyjściowym. Sygnał błędny wzmocniony k -razy przez tranzystor Q2 steruje tranzystorem Q1, realizując zasadę sprzężenia zwrotnego.

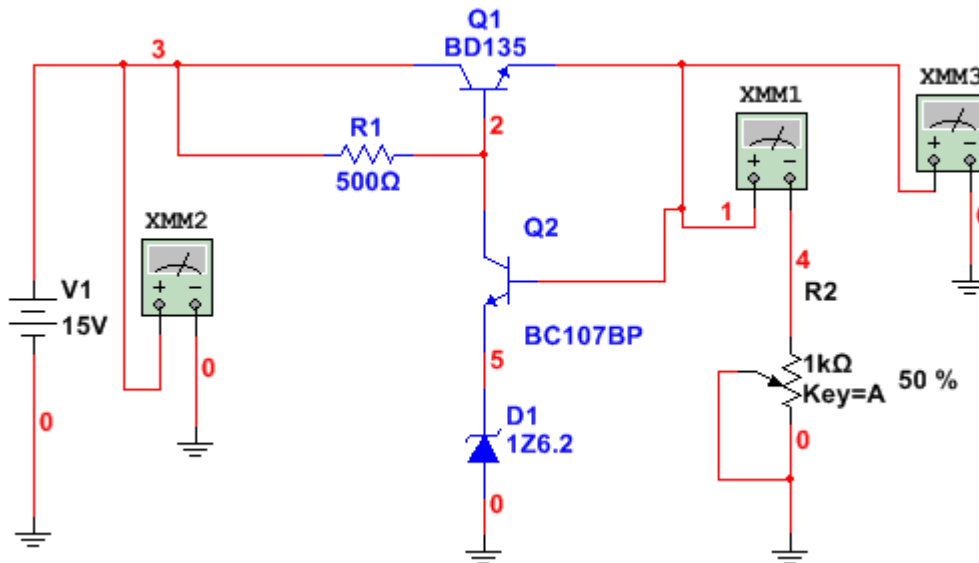


Rys. 5. Stabilizator z diodą Zenera i zewnętrzną pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego (stabilizator 2)

Dla układu stabilizatora z diodą Zenera i zewnętrzną pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego należy wykonać pomiary jak dla układu podstawowego stabilizatora z diodą Zenera i rezystorem :

- charakterystyka $U_{wyj} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$,
- charakterystyka $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const.}$,
- dynamiczna rezystancja wyjściowa r_{wy} ,
- współczynnik stabilizacji napięciowej S_U ,

3.2.1 Charakterystyka $U_{wyj} = f(U_{wej})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$ ($I_{obc} = 10 \text{ mA}$ i 20 mA) stabilizatora



2

Rys. 6. Układ do pomiaru ch-k $U_{wyj} = f(U_{we})$ oraz $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla stabilizatora 2 w układzie z diodą Zenera i ujemnym sprzężeniem zwrotnym

$U_{wemin} = \dots\dots\dots$ dla $I_{obc} = 10 \text{ mA}$

$U_{wemin} = \dots\dots\dots$ dla $I_{obc} = 20 \text{ mA}$

3.2.2. Charakterystyka $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const.}$

$I_{obc \text{ max}} = \dots\dots\dots$ dla stabilizacji 5% i $U_{we} = 10 \text{ V}$

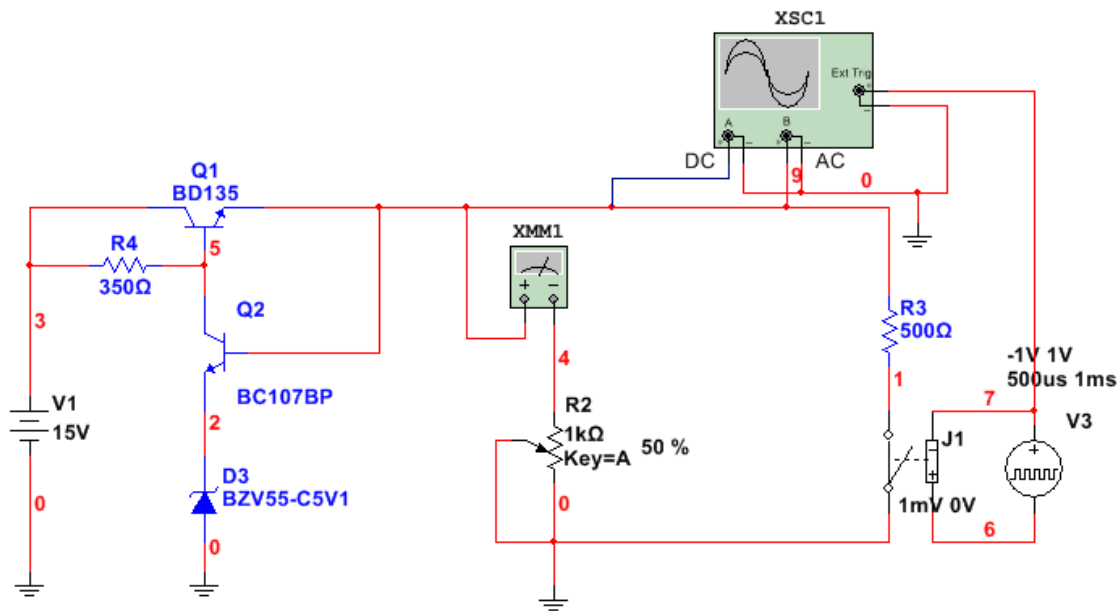
$I_{obc \text{ max}} = \dots\dots\dots$ dla stabilizacji 5% i $U_{we} = 15 \text{ V}$

3.2.3. Dynamiczna rezystancja wyjściowa r_{wy} stabilizatora 2

$$r_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{obc}} \Big|_{U_{we} = \text{const}}$$

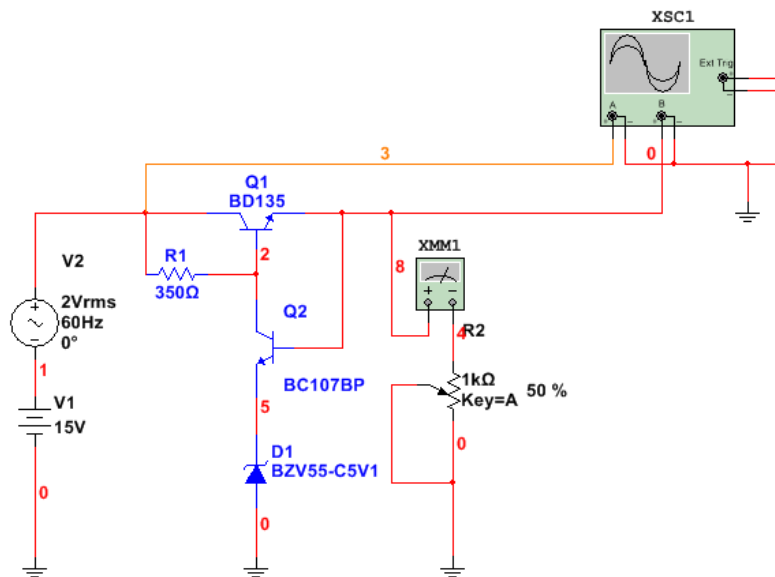
Dla $U_{we} = 10 \text{ V}$: $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{wy} = \dots\dots\dots$

Dla $U_{we} = 15 \text{ V}$: $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{wy} = \dots\dots\dots$



Rys.7. Układ do pomiaru dynamicznej rezystancji wyjściowej r_{wy} stabilizatora 2 w układzie z diodą Zenera i ujemnym sprzężeniem zwrotnym

3.2.4. Współczynnik stabilizacji napięciowej układu S_U stabilizatora 2



Rys. 8. Układ do pomiaru współczynnika stabilizacji napięciowej układu S_U w układzie z diodą Zenera i ujemnym sprzężeniem zwrotnym

$$S_U = \frac{\Delta U_{WE}}{\Delta U_{WY}} \Big|_{I_{obc} = const}$$

Dla $I_{obc} = 10 \text{ mA}$: $\Delta U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $S_U = \dots\dots\dots$

Dla $I_{obc} = 20 \text{ mA}$: $\Delta U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $S_U = \dots\dots\dots$

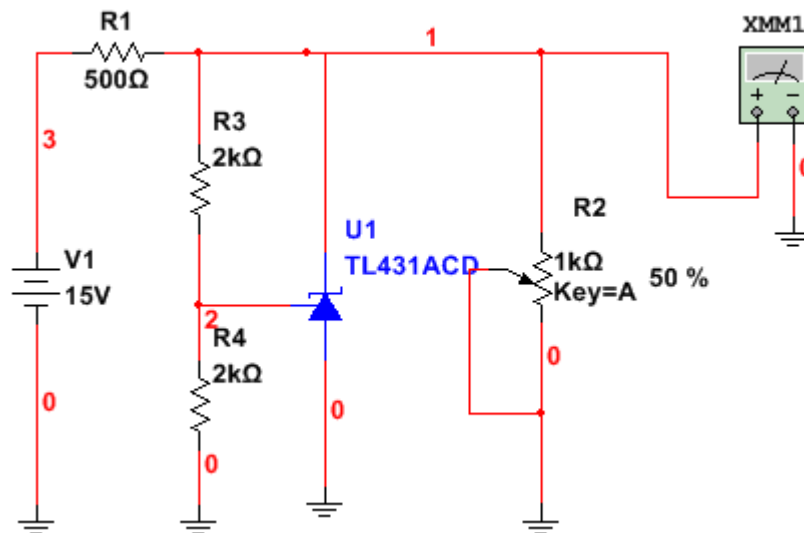
3.3 Układ stabilizatora z układem scalonym TL431 jako źródłem odniesienia (stabilizator 3)

Współczesne monolityczne układy realizujące źródło napięcia odniesienia zapewniają uzyskanie znacznie lepszych parametrów eksploatacyjnych niż typowe diody Zenera. Dotyczy to zwłaszcza takich parametrów jak zależność zmian napięcia odniesienia od temperatury, (która jest mniejsza od 10ppm/K) oraz małej rezystancji dynamicznej (która jest rzędu pojedynczych Ω).

Wyróżniamy dwa typy monolitycznych źródeł napięcia odniesienia.:

- o ustalonej fabrycznie wartości napięcia odniesienia np. LM 385,
- regulowane źródła napięcia odniesienia, których wartość napięcia stabilizacji dobiera się poprzez współczynnik podziału rezystywnego dzielnika napięcia np. TL431.

Wprowadź do programu symulacyjnego schemat stabilizatora napięcia z układem scalonym TL431 jako źródłem odniesienia (rys. 9). Układ TL431 znajduje się w katalogu *Master-Power-Voltage regulator-Voltage Reference*.



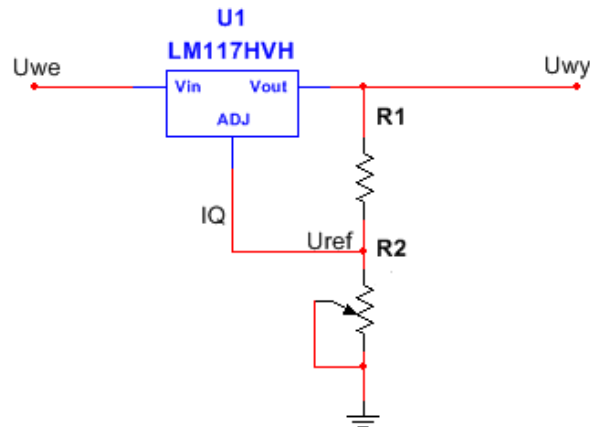
Rys. 9. Układ stabilizatora z układem scalonym TL431 jako źródłem odniesienia (stabilizator 3)

Dla układu stabilizatora z układem scalonym TL431 jako źródłem odniesienia należy wykonać następujące pomiary:

- charakterystyka $U_{wyj} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$,
- charakterystyka $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const.}$,
- dynamiczna rezystancja wyjściowa r_{wy} ,
- współczynnik stabilizacji napięciowej S_U , stosując metody takie jak w punkcie 3.1 dla stabilizatora z diodą Zenera jako źródłem odniesienia.

3.4. Układ stabilizatora z układem scalonym LM117 jako elementem regulacyjnym (stabilizator 4)

Stabilizator LM 117 przeznaczony jest do stabilizacji napięcia o ustalonej wartości $U_{ref}(1,25V)$. Regulację wartości napięcia wyjściowego uzyskuje się za pomocą dzielnika R_1 i R_2 (rys. 10).



Rys. 10 Układ stabilizator napięcia LM 117 o regulowanej wartości napięcia wyjściowego

$$U_{wy} = U_{ref} + U_{R2} = U_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_Q R_2$$

Napięcie wyjściowe określa zależność:

$$I_Q = \frac{U_{ref}}{R_1}$$

Prąd płynący przez rezystor R_1 wynosi:

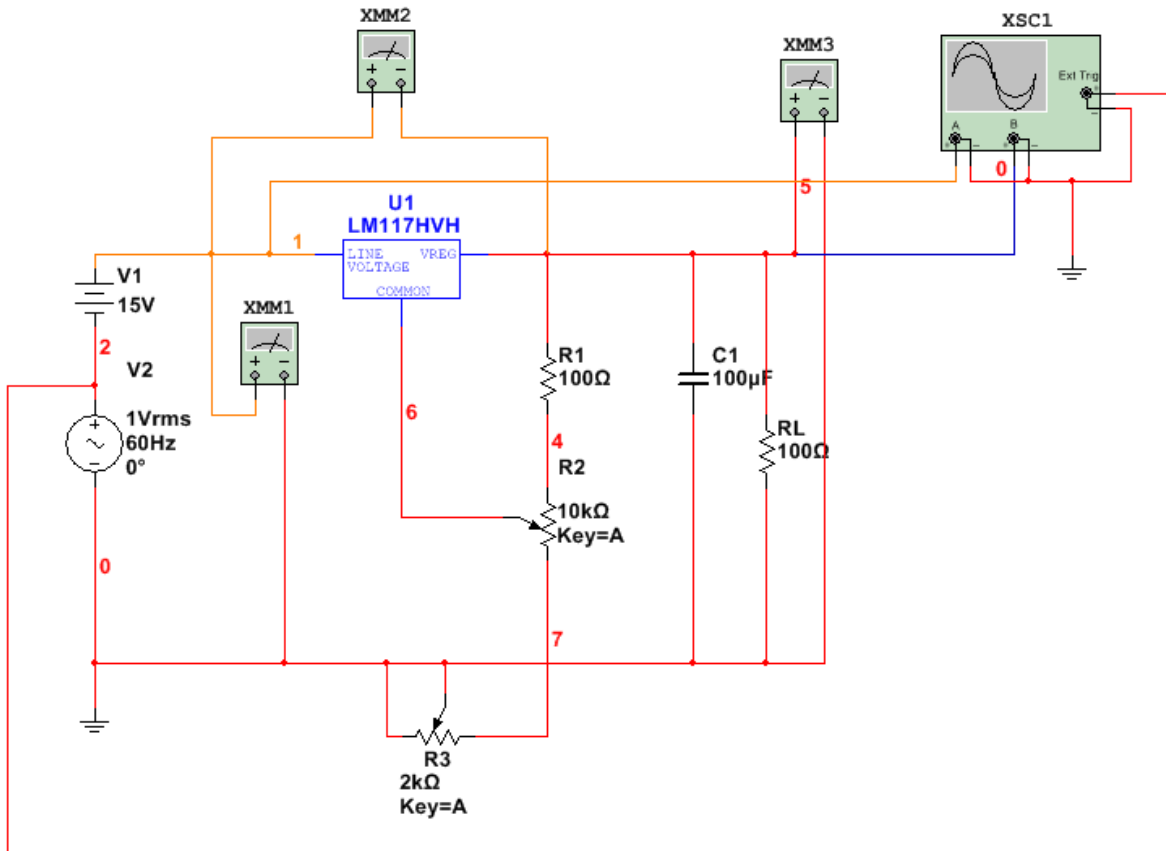
Natomiast prąd płynący przez R_2 jest sumą prądu I_{R1} i prądu spoczynkowego stabilizatora I_Q . Wartość prądu spoczynkowego zmienia się przy zmianach napięcia wejściowego i prądu obciążenia. Zmiany prądu spoczynkowego wpływają na pogorszenie parametrów stabilizatora, zwłaszcza współczynników stabilizacji S_U i S_I . Należy użyć rezystora R_2 o małej wartości rezystancji oraz wybrać stabilizator z małym prądem spoczynkowym i mało zależnym od obciążenia. Prąd spoczynkowy zmienia się też wraz ze zmianami temperatury. Dla otrzymania określonego napięcia wyjściowego należy zmniejszyć R_1 . Zwiększy się wtedy prąd płynący przez R_1 i R_2 .

Wówczas napięcie wyjściowe wynosi:

$$U_{wy} = U_{ref} + U_{R2} = U_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1,25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

3.4.1. Charakterystyka $U_{wyj} = f(U_{wej})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$ dla stabilizatora 4

Zastosuj układ LM117 jako element regulacyjny w obwodzie stabilizatora z rys. 11. Załóż, że rezystor $R_1 = 100 \Omega$. Dobierz wartości rezystorów R_2 i R_3 tak, aby napięcie na wyjściu stabilizatora $U_{wy} = 5 \text{ V}$. Rezystor R_3 służy do dokładnego dostrojenia wartości napięcia wyjściowego. Po ustawieniu odpowiednich wartości rezystancji na potencjometrach R_2 i R_3 można potencjometry wyjąć z obwodu, zmierzyć omomierzem ustawioną na nich rezystancję zastępczą i do dalszych pomiarów zastąpić potencjometry rezystorem stałym o rezystancji równej rezystancji zastępczej.



Rys. 11. Stabilizator z układem scalonym LM 117 jako elementem regulacyjnym (stabilizator 4). Uwaga: potencjometry R_2 i R_3 wymagają odpowiedniego ustawienia rezystancji za pomocą suwaków. Podane na rysunku wartości określają jedynie maksymalną wartość rezystancji możliwą do ustawienia na potencjometrze

Wyznacz charakterystyki $U_{wyj} = f(U_{wej})$ dla stabilizatora 4 dla dwóch wartości rezystancji obciążenia $R_L = 100 \Omega$ i $R_L = 50 \Omega$. Napięcie wejściowe należy zmieniać w zakresie od 2 V do 15 V. Uwaga: nie można przekroczyć $I_{obcmax} = 200 \text{ mA}$.

Pomiary należy wykonać za pomocą multimetrów dołączonych na wejście i wyjście układu. Należy kontrolować spadek napięcia na stabilizatorze U1 (multimetr XMM2). Wyniki pomiarów należy zapisać w tabeli 3.

Na oscyloskopie należy zaobserwować zmiany napięcia wyjściowego pod wpływem wymuszonej za pomocą źródła V2 zmiany napięcia wejściowego.

Tabela 3. Stabilizator z układem scalonym LM117. $U_{wyj}=f(U_{wej})$ dla $I_{obc}=\text{const.}$

V_{wej1} [V]	2	5	7	8	9	10	11	12	15
U_{wyj} [V] RL=100Ω									
U_{wyj} [V] RL=50Ω									

W sprawozdaniu należy zamieścić charakterystyki $U_{wyj} = f(U_{we})$ dla $R_L = 100 \Omega$ i $R_L = 50 \Omega$. Należy określić minimalną wartość napięcia wejściowego U_{wemin} , dla której układ zaczyna stabilizować.

$U_{wemin} = \dots\dots\dots$

3.4.2 Charakterystyka wyjściowa $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const.}$ dla stabilizatora 4

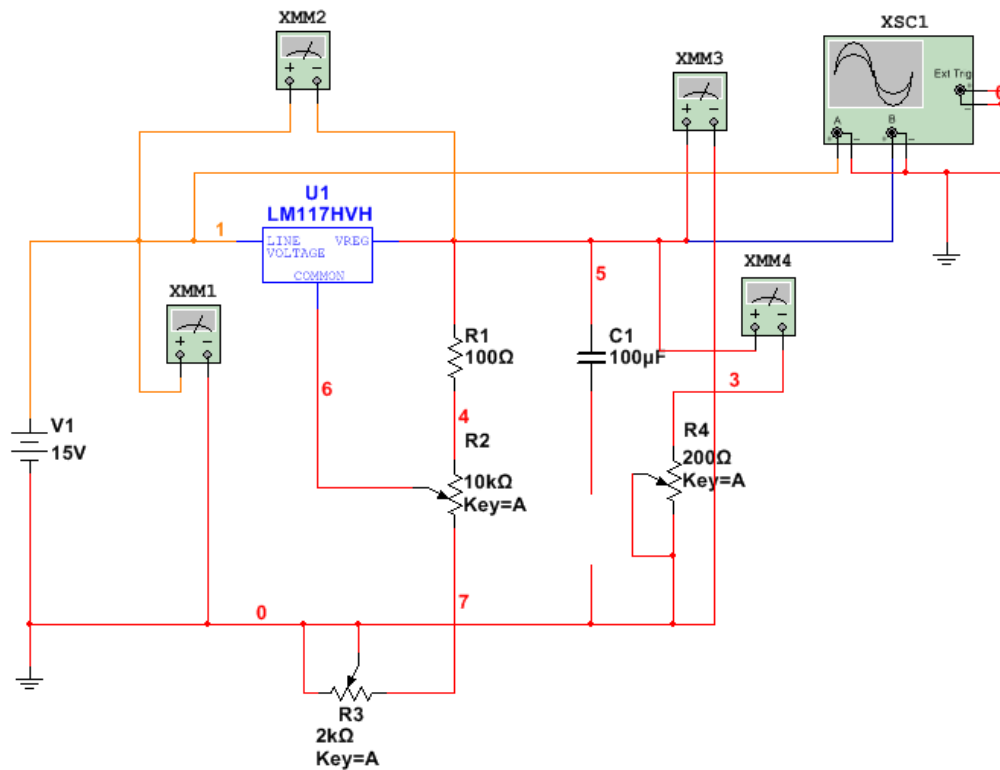
Pomiar należy wykonać w układzie z rys. 12 dla dwóch wartości napięcia wejściowego $U_{we} = 8 \text{ V}$ i $U_{we} = 10 \text{ V}$, mierząc prąd płynący przez zmienną rezystancję obciążenia R_L oraz napięcie na wyjściu układu U_{wy} .

Wyniki należy zanotować w tabeli 4 i wykreślić charakterystyki $U_{wyj} = f(I_{obc})$.

Tabela 4. Stabilizator z układem scalonym LM117. $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const.}$

R_L [Ω]	$U_{we} = 8 \text{ V}$		$U_{we} = 10 \text{ V}$	
	I_{obc} [mA]	U_{wy} [V]	I_{obc} [mA]	U_{wy} [V]
.....

Należy również sprawdzić dla obydwu napięć wejściowych ile wynosi max prąd obciążenia stabilizatora. W tym celu zmniejszamy rezystancję obciążenia aż do momentu gdy układ przestaje stabilizować. Odpowiadający temu stanowi prąd obciążenia uznajemy za max prąd obciążenia stabilizatora.



Rys. 12. Układ do pomiaru ch-ki wyjściowej $U_{wyj} = f(I_{obc})$ stabilizatora z układem scalonym LM117. Uwaga dot. potencjometrów R2, R3 i R4 jak dla rysunku 11 – należy ustawić suwaki tych potencjometrów, aby spełnione były warunki zadania

Dla $U_{we} = 8 \text{ V}$: $I_{obc \text{ max}} = \dots\dots\dots$

Dla $U_{we} = 10 \text{ V}$: $I_{obc \text{ max}} = \dots\dots\dots$

3.4.3 Dynamiczna rezystancja wyjściowa r_{wy} stabilizatora 4

Dynamiczną rezystancję wyjściową określa wzór:

$$r_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{obc}} \Big|_{U_{we} = \text{const}}$$

Pomiar należy przeprowadzić w układzie z rys. 13. dla dwóch wartości napięcia wejściowego – $U_{we1} = 8 \text{ V}$ i $U_{we2} = 10 \text{ V}$.

W układzie pomiarowym tranzystor Q_1 impulsowo dołącza rezystor R_5 do obciążenia układu. Kanał A oscyloskopu pracuje w trybie DC. Kanał B oscyloskopu pracuje w trybie AC. Na kanale B oscyloskopu odczytujemy zmiany ΔU_{wy} spowodowane dołączeniem i odłączeniem rezystora R_5 czyli $\Delta U_{wy} = \Delta U_{AC}$.

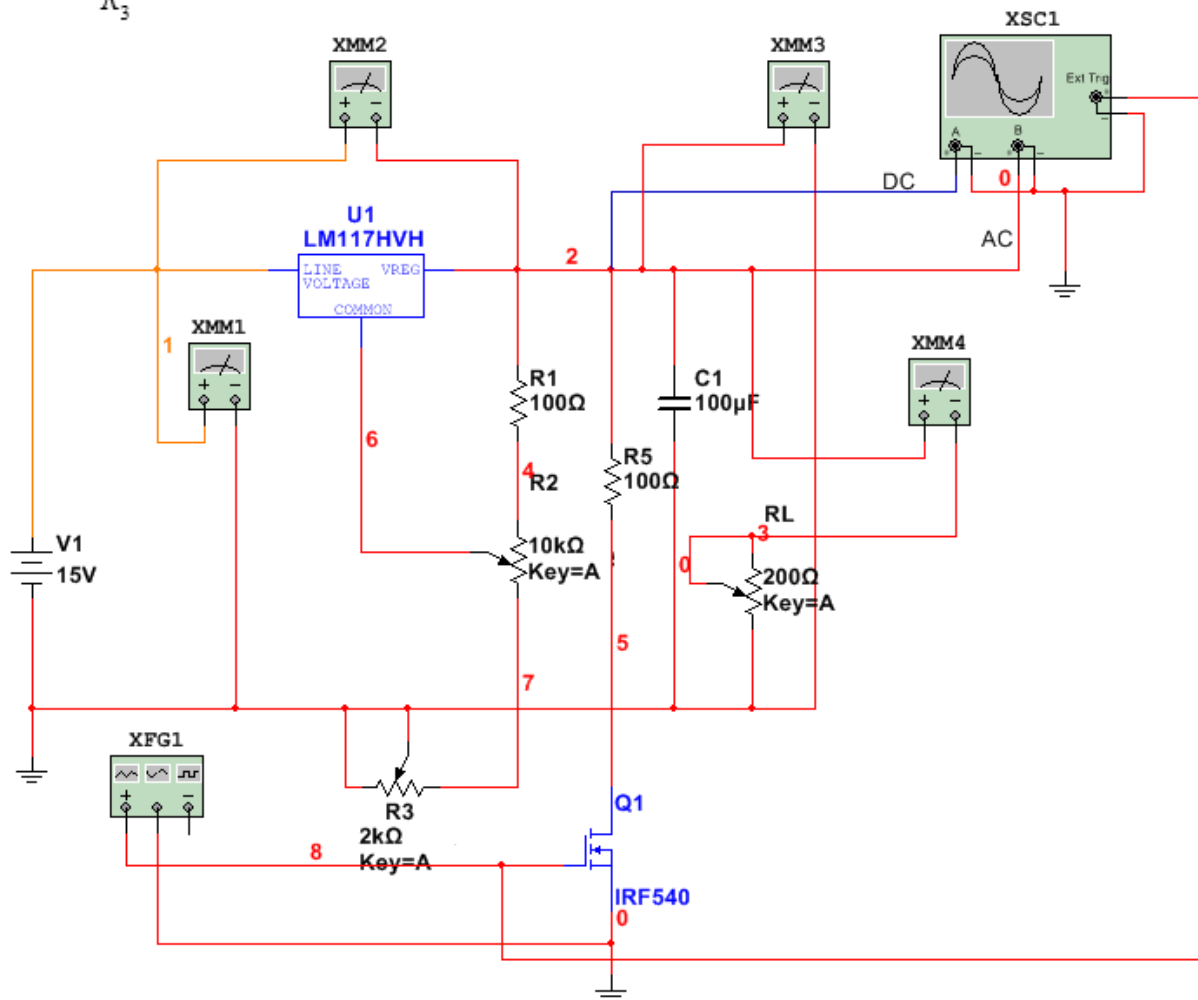
$$\Delta U_{wy} = \Delta U_{AC}$$

Na kanale A oscyloskopu odczytujemy składową stałą napięcia wyjściowego ΔU_{DC} i wyznaczamy zmiany prądu obciążenia ΔI_{obc} .

$$\Delta I_{obc} = \frac{\Delta U_{DC}}{R_3}$$

Multimetr XMM3 mierzy również składową stałą napięcia wyjściowego, alternatywnie do pomiarów na kanale A oscyloskopu. Wskazanie woltomierza XMM3 można więc także wykorzystać do określenia zmian prądu obciążenia.

$$\Delta I_{obc} = \frac{U_{DC}}{R_3}$$



Rys. 13. Układ do pomiaru dynamicznej rezystancji wyjściowej r_{wy} stabilizatora 4 w układzie z układem scalonym LM117

Dla $U_{we} = 8 \text{ V}$: $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{wy} = \dots\dots\dots$

Dla $U_{we} = 10 \text{ V}$: $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{wy} = \dots\dots\dots$

3.4.4. Współczynnik stabilizacji napięciowej układu S_U stabilizatora 4

Współczynnik stabilizacji napięciowej układu S_U określa wzór:

$$S_U = \frac{\Delta U_{we}}{\Delta U_{wy}} \Big|_{I_{obc} = const}$$

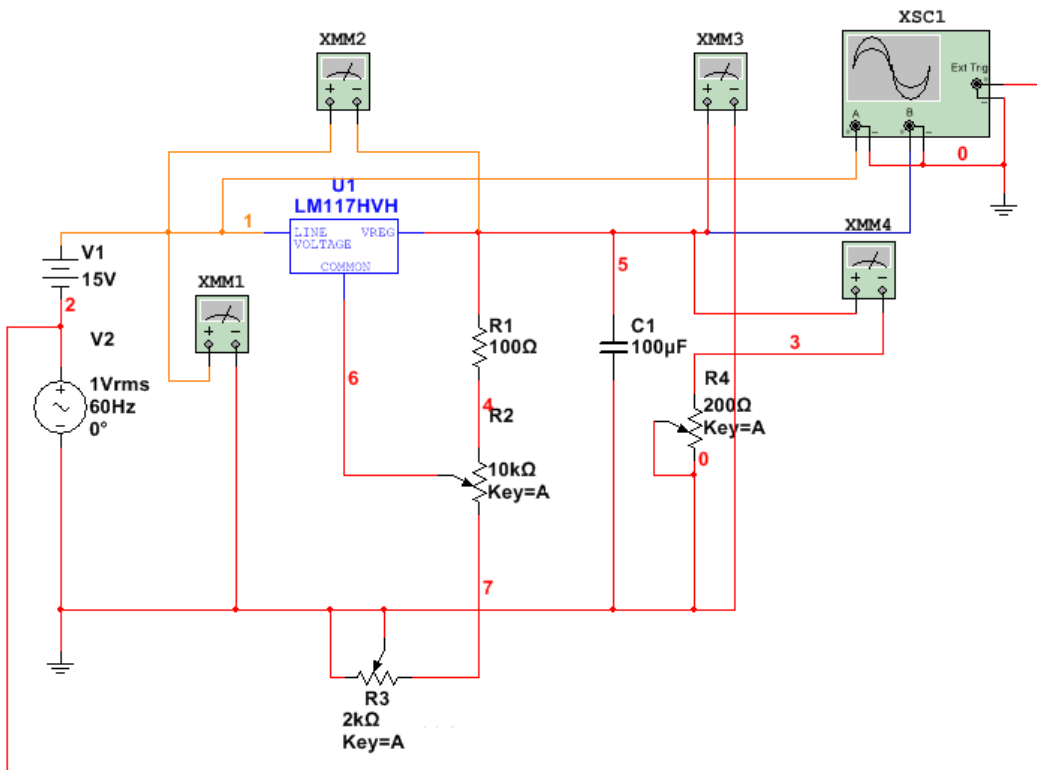
Pomiary należy wykonać w układzie pomiarowym z rys. 14 dla dwóch wartości prądu obciążenia $I_{obc} = 50 \text{ mA}$ i $I_{obc} = 100 \text{ mA}$.

Napięcie wejściowe należy modulować w granicach od 15 V do 16 V.

Zmiany napięcia wejściowego ΔU_{we} odczytujemy na kanale A oscyloskopu. Zmiany napięcia wyjściowego ΔU_{wy} odczytujemy na kanale B oscyloskopu. Obydwa kanały pracują w trybie AC.

Dla $I_{obc} = 50 \text{ mA}$: $\Delta U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $S_U = \dots\dots\dots$

$I_{obc} = 100 \text{ mA}$: $\Delta U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $S_U = \dots\dots\dots$



Rys. 14. Układ do pomiaru współczynnika stabilizacji napięciowej układu S_U stabilizatora z układem scalonym LM117

W podsumowaniu części symulacyjnej ćwiczenia powinno znaleźć się porównanie parametrów stabilizatorów badanych w czasie ćwiczenia.

4. Część sprzętowa

4.1. Obserwacja charakterystyki diody Zenera i układu scalonego TL431 za pomocą charakterografu

Układ scalony TL431 znajduje zastosowanie jako źródło napięcia odniesienia znacznie doskonalsze niż dioda Zenera, co uwidaczniają charakterystyki prądowo napięciowe obydwu elementów.

Umieść diodę Zenera na platformie Elvis. Podłącz jej wyprowadzenia do charakterografu *Two wire analyzer*. Pamiętaj, że pasek na obudowie diody oznacza katodę i powinien być podłączony do wejścia DUT+. Anodę diody podłączamy do DUT-. Zaobserwuj na charakterografie charakterystykę prądowo-napięciową diody Zenera, zachowaj ją do sprawozdania i zanotuj napięcie, przy prądzie 1mA i 10mA.

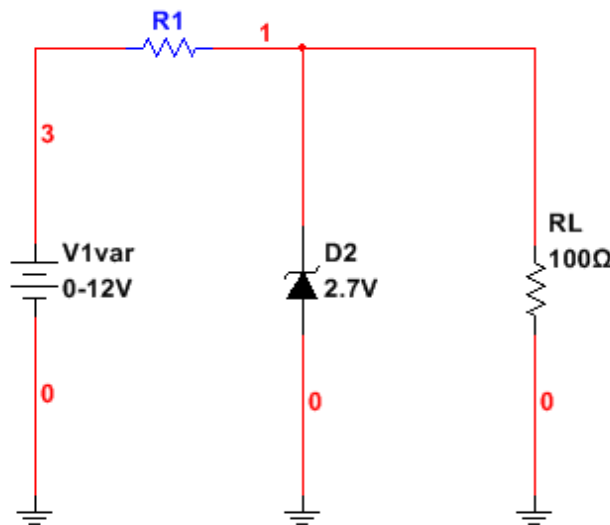
Umieść układ scalony TL431 na platformie Elvis. Układ TL431 został zamontowany na płytce pomocniczej. Wyprowadzenia oznaczone znakiem + należy podłączyć do wejścia DUT+ analizatora. Pozostałe wyprowadzenia do wejścia DUT-. Zaobserwuj na charakterografie charakterystykę prądowo-napięciową układu TL431 i zachowaj ją do sprawozdania. Zanotuj napięcie przy prądzie 1 mA i 10 mA.

Dlaczego układ TL431 pracuje znacznie lepiej jako źródło napięcia odniesienia niż dioda Zenera?

4.2. Badanie stabilizatora napięcia z diodą Zenera i rezystorem

4.2a. Pomiar ch-ki $U_{wy} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const}$

Zmontuj na platformie Elvis układ stabilizatora z diodą Zenera i rezystorem wg rys. 15. Zastosuj diodę stosowaną w czasie symulacji i dobrany wówczas rezystor R_1 .



Rys. 15. Stabilizator z diodą Zenera i rezystorem

Zastosuj zasilacz *Power Supply Variable*, który umożliwi płynne zmiany napięcia wejściowego. Masę tego zasilacza należy połączyć z masą (GROUND) zasilacza napięcia stałego. Masa zasilacza napięcia stałego może też posłużyć do utworzenia szyny masowej dla całego układu.

Pasek na obudowie diody wskazuje na katodę, którą należy połączyć z wyższym potencjałem regulowanego źródła napięcia zasilania. Obciążenie układu stabilizatora stanowi rezystor $R_L = 100 \Omega$. Włącz szeregowo z R_L multimetr i zmierz prąd obciążenia, który płynie przez ten rezystor w obwodzie stabilizatora w stanie gdy ten stabilizuje już napięcie wyjściowe..

Zanotuj:

$$R_L = 100 \Omega, \quad I_{obc} = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

Przełącz multimetr równolegle do obciążenia i zastosuj go do pomiaru napięcia wyjściowego U_{wy} . Wyznacz ch-kę $U_{wy} = f(U_{we})$ dla I_{obc} ustalonego przez pojedynczy rezystor R_L , zagęszczając punkty pomiarowe wokół punktu, w którym stabilizator zaczyna stabilizować.

Wykreśl charakterystykę $U_{wy} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const}$. Określ napięcie U_{wemin} .

$$U_{wemin} = \dots\dots\dots$$

4.2b. Pomiar ch-ki $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{wej} = \text{const}$

Pomiar przeprowadź ponownie w układzie z rys. 15. Ustal wartość $U_{wej} = \text{const}$. z obszaru, w którym stabilizator już stabilizuje. Prąd obciążenia zmieniaj dołączając do istniejącego rezystora $R_L = 100 \Omega$ rezystory R_L równolegle (max 4) . Włącz multimetr do pomiaru prądu obciążenia w gałęzi rezystora R_L i do pomiaru prądu wypadkowego w przypadku równoległego połączenia rezystorów R_L .

Należy zwrócić uwagę, żeby stabilizator był zawsze obciążony choćby minimalnym obciążeniem R_L .

Wyznacz charakterystykę $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{wej} = \text{const}$. Wykreśl tę ch-kę.

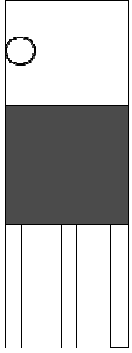
Określ jeśli to możliwe I_{obcmax} .

$$U_{wej} = \dots\dots\dots \quad I_{obcmax} = \dots\dots\dots$$

4.2c. Pomiar dynamicznej rezystancji wyjściowej r_{wy}

$$r_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{obc}} \Big|_{U_{we} = \text{const}}$$

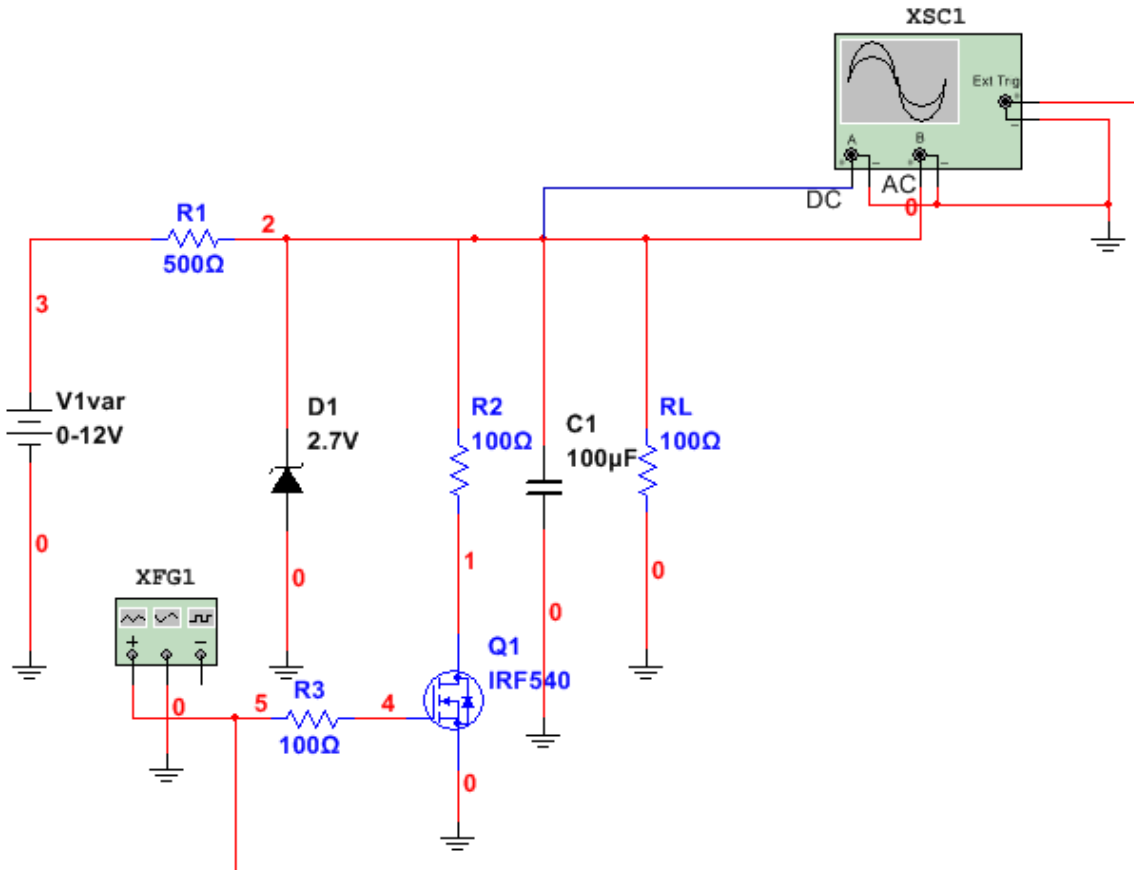
Impulsowanie prądu wyjściowego uzyskuje się za pomocą tranzystora IRF540 pracującego jako klucz. Do istniejącego układu stabilizatora z rys. 15 dołącz tranzystor unipolarny IRF540, którego wyprowadzenia G(gate), D(drain) i S(source) przedstawia rys. 16. Aby tranzystor pracował jako klucz włącz w jego obwód drenu rezystor $R_3 = 100 \Omega$ połączony z drugiej strony z wyjściem układu stabilizatora. W obwód bramki tranzystora włącz rezystor $R_4 = 100 \Omega$ dołączony z drugiej strony do zacisku + generatora.



G D S

Rys.16. Oznaczenia wyprowadzeń tranzystora IRF 540

Podaj z generatora sygnał prostokątny o częstotliwości np. 100 Hz i amplitudzie 10 V. Dołącz oscyloskop na wyjście stabilizatora. Jeden kanał oscyloskopu powinien pracować w trybie DC, drugi w trybie AC. Tak jak w ćwiczeniu symulacyjnym wyznacz ΔI_{obc} , ΔU_{wy} i wyznacz r_{dyn} dla U_{we} z obszaru, w którym stabilizator już stabilizuje. Układ pomiarowy przedstawia rys. 17



Rys.17. Układ do pomiaru r_{dyn} z tranzystorem impulsującym IRF 540

Zanotuj: $U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{dyn} = \dots\dots\dots$

4.2d. Pomiar współczynnika stabilizacji napięciowej S_U

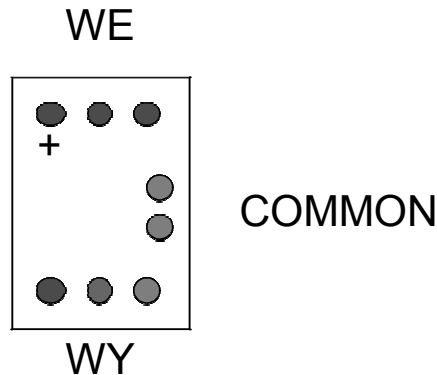
$$S_U = \frac{\Delta U_{we}}{\Delta U_{wy}} \Big|_{I_{obc} = const}$$

Pomiaru współczynnika S_U dokonaj inaczej niż w symulacji - nie za pomocą oscyloskopu, ale za pomocą multimetru w układzie z rys. 15.

4.5. Układ stabilizatora z układem scalonym LM117

Układ stabilizatora został zamontowany na dodatkowej płytce i zabezpieczony przed uszkodzeniem dodatkowymi rezystorami. Konfigurację wyprowadzeń na płytce dodatkowej przedstawia rys. 18

Znak + na płytce dodatkowej oznacza rząd wyprowadzeń wejściowych. Wyprowadzenia po przeciwnej stronie płytki to wyprowadzenia wyjściowe. Wyprowadzenia boczne to wyprowadzenia członu referencyjnego.



Rys. 18. Konfiguracja wyprowadzeń układu LM 117 na płytce dodatkowej

4.5.1. Wyznaczenie rezystora referencyjnego R_x

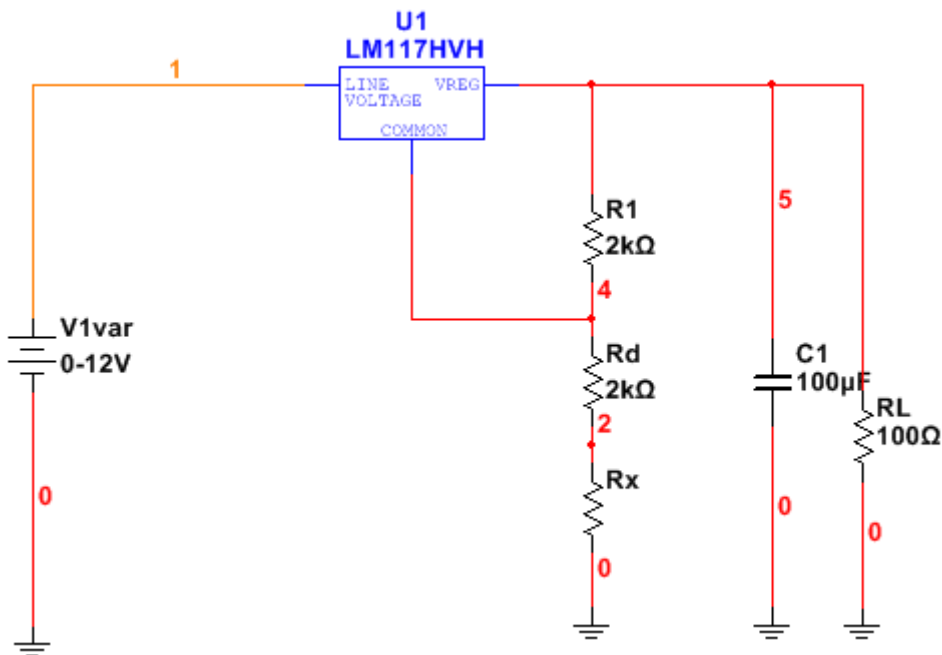
Układ stabilizatora z układem scalonym LM117 i dodatkowymi zabezpieczeniami przedstawia rys.19. Zabezpieczenia polegają na tym, że w układzie z rys.10 został ustalony rezystor $R_1 = 2k\Omega$, a rezystor $R_2 = R_d + R_x$, gdzie $R_d = 2 k\Omega$. Aby ustalić zakres napięcia referencyjnego na poziomie 5 V, należy wyliczyć zgodnie z metodyką podaną w punkcie 3.4. części symulacyjnej instrukcji rezystor R_x . Kondensator C_1 i R_L stanowią obciążenie układu.

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

$$R_2 = R_d + R_x$$

$$U_{wy} = 1,25 \left(1 + \frac{R_d + R_x}{R_1} \right)$$

$R_x = \dots\dots\dots$



Rys. 19. Układ stabilizatora z układem LM117 do pomiarów sprzętowych . Uwaga – rezystory R_1 i R_d znajdują się już na płytce dodatkowej; na platformie Elvis należy dołączyć tylko rezystor R_x

4.5.2. Pomiar ch-ki $U_{wy}=f(U_{we})$ dla $I_{obc}=\text{const}$

Zamontuj na platformie Elvis układ stabilizatora z układem LM117 wg rys. 19, Zacznij od pojedynczego rezystora R_L . Włącz szeregowo z R_L multimetr i ustal prąd obciążenia, który płynie w obwodzie gdy układ już stabilizuje.
Zanotuj:

$R_L = 100 \Omega, \quad I_{obc} = \dots\dots\dots \text{ mA}$

Przełącz multimetr równolegle do obciążenia i zastosuj go do pomiaru napięcia wyjściowego U_{wy} . Wyznacz ch-kę $U_{wy} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$, zagęszczając punkty pomiarowe wokół punktu, w którym stabilizator zaczyna stabilizować.

Wykreśl charakterystykę $U_{wy} = f(U_{we})$ dla $I_{obc} = \text{const.}$ Określ napięcie U_{wemin} .

$U_{wemin} = \dots\dots\dots$

4.5.3. Pomiar ch-ki $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const}$

Pomiar przeprowadź ponownie w układzie z rys. 19. Ustal wartość U_{wej} , z zakresu napięć gdy układ już stabilizuje. Włącz multimetr do pomiaru prądu obciążenia. Dołączając rezystory równolegle do rezystora obciążenia R_L zmieniaj prąd obciążenia (max 4 rezystory, potem prąd obciążenia staje się zbyt duży). Wyznacz ch-kę $U_{wyj} = f(I_{obc})$ dla $U_{we} = \text{const}$. Wykreśl tę charakterystykę. Określ maksymalny prąd obciążenia $I_{obc_{max}}$, jeśli to możliwe.

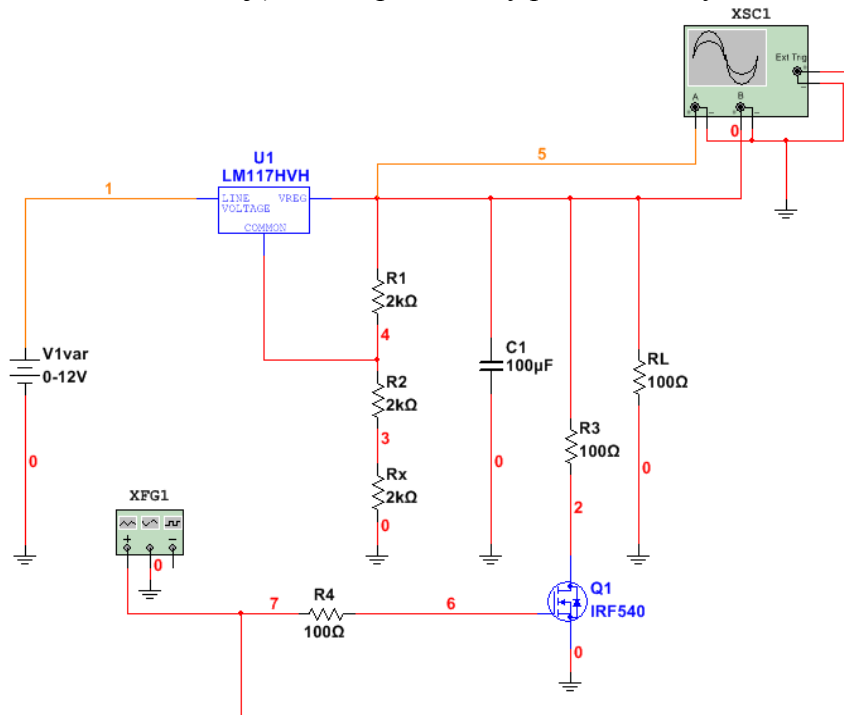
$I_{obc_{max}} = \dots\dots\dots$

4.5.4. Pomiar dynamicznej rezystancji wyjściowej r_{wy}

$$r_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{obc}} \Big|_{U_{we} = \text{const}}$$

Impulsowanie prądu wyjściowego uzyskuje się za pomocą tranzystora IRF540 pracującego jako klucz. Do układu stabilizatora z rys. 19 dołącz tranzystor unipolarny IRF540 z rezystorem $R_3 = 100 \Omega$ włączonym w obwód drenu. W obwód bramki włącz rezystor $R_4 = 100 \Omega$.

Tranzystor MOS jest sterowany z generatora (prostokąt, 1 kHz, amplituda 10V. Dołącz oscyloskop na wyjściu jak na rys.20. Jeden kanał oscyloskopu powinien pracować w trybie DC, drugi w trybie AC. Tak jak w ćwiczeniu symulacyjnym wyznacz ΔI_{obc} , ΔU_{wy} i wyznacz r_{dyn} dla wybranego U_{we} (z zakresu stabilizacji). Układ pomiarowy przedstawia rys. 20.



Rys.20. Układ do pomiaru r_{dyn} z tranzystorem impulsującym IRF 540

Zanotuj: $U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $\Delta I_{obc} = \dots\dots\dots$, $r_{dyn} = \dots\dots\dots$

4.5.5. Pomiar współczynnika stabilizacji napięciowej S_U

$$S_U = \frac{\Delta U_{we}}{\Delta U_{wy}} \Big|_{I_{obc} = const}$$

Pomiaru współczynnika S_U dokonaj inaczej niż w symulacji - nie za pomocą oscyloskopu, ale za pomocą multimetru mierząc w paru punktach zmiany napięcia wejściowego i wyjściowego i wyznaczając przyrosty ΔU_{we} , ΔU_{wy} .

$U_{we} = \dots\dots\dots$, $\Delta U_{wy} = \dots\dots\dots$, $S_U = \dots\dots\dots$

W sprawozdaniu porównaj badane stabilizatory.

*Opracowanie: M. Sapor, B.Dziurdzia, Zb Magoński, W. Maziarz 2015
Uaktualnienie:*