

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ
НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ**

**Методичні рекомендації
до виконання курсового проекту**

з дисциплін «Основи схемотехніки», «Електроніка та мікросхемотехніка»

для бакалаврів галузей знань 17 Електроніка та телекомунікації,
15 Автоматизація та приладобудування

Дніпро
2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»



ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

**РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ
НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ**

Методичні рекомендації
до виконання курсового проекту
з дисциплін «Основи схемотехніки», «Електроніка та мікросхемотехніка»
для бакалаврів галузей знань 17 Електроніка та телекомунікації,
15 Автоматизація та приладобудування

Дніпро
НТУ «ДП»
2019

Галушко О.М.

Розрахунок та моделювання релаксаційних генераторів на операційних підсилювачах. Методичні рекомендації до виконання курсового проекту з дисциплін «Основи схемотехніки», «Електроніка та мікросхемотехніка» для бакалаврів галузей знань 17 Електроніка та телекомунікації, 15 Автоматизація та приладобудування / Упоряд. О.М. Галушко; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2019. – 19 с.

Упорядник

О.М. Галушко, канд. техн. наук, доц.

Затверджено редакційною радою університету (протокол № 2 від 07.02.2019) за поданням методичної комісії зі спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка (протокол № 6 від 07.02.2019).

Подано методичні рекомендації до виконання курсового проекту на тему «Розрахунок та моделювання релаксаційних генераторів на операційних підсилювачах» для бакалаврів галузей знань 172 Телекомунікації та радіотехніка, 15 Автоматизація та приладобудування.

Відповідальний за випуск зав. кафедри БІТ В.І. Корнієнко, д-р техн. наук, проф.

РЕЛАКСАЦІЙНІ ГЕНЕРАТОРИ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛИВАНЬ

Релаксаційні генератори – це генератори, підсилювальні елементи яких працюють в релейному – перевмикательному (комутаційному) режимі.

До цієї групи пристроїв відносяться:

- різні модифікації мультивібраторів,
- генератори лінійно змінювальної напруги,
- блокінг- генератори.

1. Мультивібратори на операційних підсилювачах (ОП)

Призначення, область застосування і тимчасові діаграми роботи мультивібраторів на ОП

Мультивібратори – генератори імпульсів прямокутної форми.

Мультивібратори, побудовані на операційних підсилювачах (ОП) генерують різнополярні імпульси прямокутної форми.

Область застосування цих пристроїв:

- генератори синхроімпульсів;
- задатчики тимчасових інтервалів;
- генератори імпульсів трикутної форми;
- формувачі запускаючих вхідних імпульсів для блоків в схемах імпульсних і цифрових пристроїв.

Несиметричні мультивібратори дозволяють отримати різні співвідношення між тривалістю імпульсу і паузи, що розширює можливості цих пристроїв.

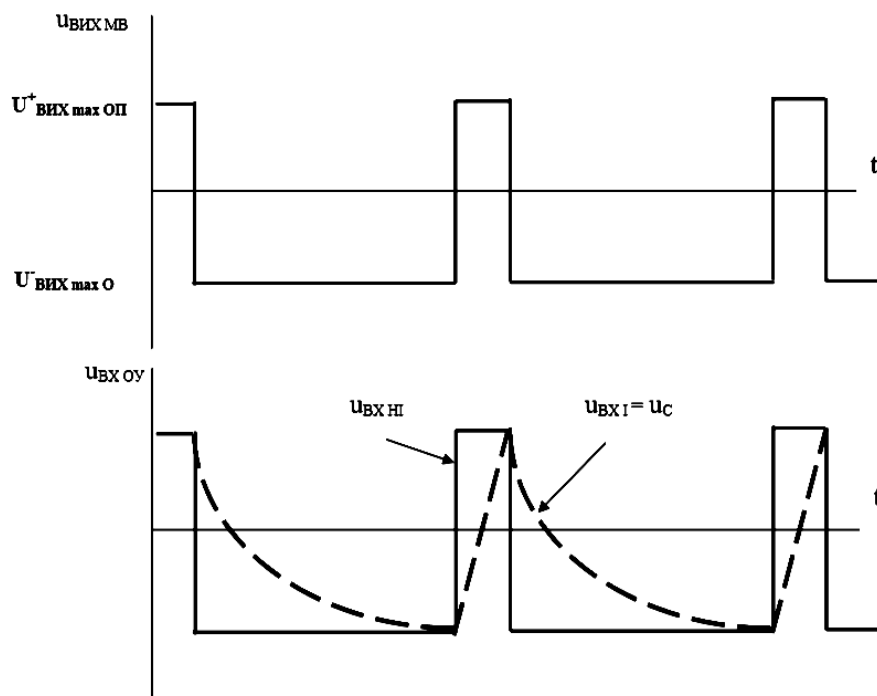


Рисунок 1.1 - Діаграми роботи несиметричного мультивібратора

2. Розрахунок мультивібратора на операційному підсилювачі (ОП)

Розрахувати схему мультивібратора (МВ), виконаного на базі операційного підсилювача (ОП), згідно із заданими параметрами, наведеними в таблиці 1.1.

$U_{\text{вих м}}$ – амплітуда вихідної напруги МВ;

$f_{\text{MIN}} - f_{\text{MAX}}$ – діапазон зміни частоти імпульсів мультивібратора;

Q_{MAX} – найбільше значення шпаруватості вихідних імпульсів МВ;

R_{H} – опір навантаження.

Таблиця 1.1

Варіанти завдань розрахунку параметрів схем МВ

№ Варіанта	Схема МВ	Тип операційного підсилювача	Вхідні параметри			
			$U_{\text{вих м}}$, В	$f_{\text{MIN}} - f_{\text{MAX}}$, кГц	Q_{MAX}	R_{H} , кОм
1	2 а	КР140УД11 LM318N	10,0	1,0...2,5	3	7,5
2	2 а	КР140УД7 LM741H	7,0	0,75...1,2	5	10
3	2 а	КР140УД608 MC1456G	9,0	0,3...1,0	6	15
4	2 а	К553УД1 LM709A	8,0	0,6...1,5	4	8,2
5	2 б	КР140УД608 MC1456G	7,0	0,2; 0,5; 0,8	8	12
6	2 б	КР140УД11 LM318N	9,0	1,2; 1,5; 2,4	10	6,8
7	2 б	К553УД1 LM709A	6,0	1,0; 1,3; 1,6	5	18
8	2 б	КР140УД7 LM741H	5,0	0,8; 1,2; 1,8	6	9,1

Порядок розрахунку

1. Згідно заданого типу ОП (за варіантом) з таблиці 1Д виписати його параметри.

При цьому потрібно, щоб було: $U_{\text{вих ОП max}} \geq 1,2 U_{\text{вих м}}$

2. Для забезпечення потрібного значення вихідної напруги МВ до виходу ОП підключено двобічний обмежувач на стабілітронах VD3, VD4 – таблиця 7Д з відповідними напругами стабілізації з урахуванням виразу:

$$U_{\text{вих м}} = U_{\text{СТ}} + U_{\text{ПР VD}}$$

звідси:

$$U_{\text{СТ}} = U_{\text{вих м}} - U_{\text{ПР VD}}$$

Прийняти $U_{\text{ПР VD}} = 0,7 \text{ В}$

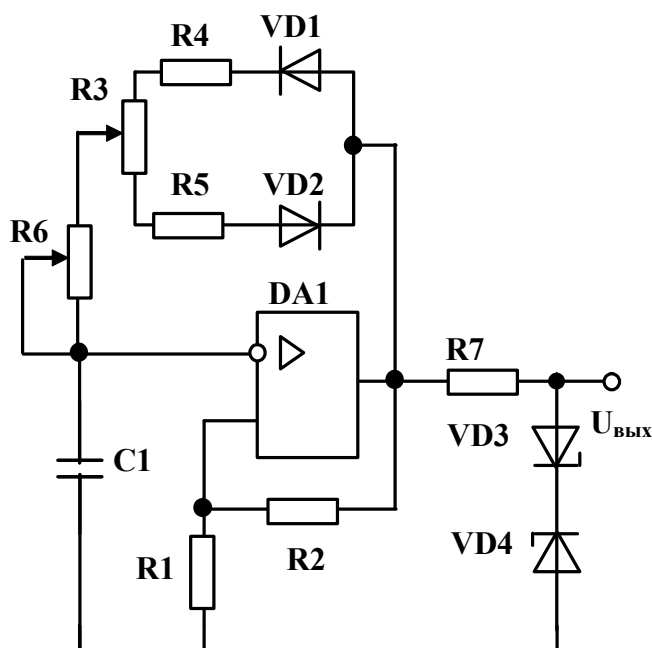


Рисунок 1.2 – Мультивібратор на ОП з регулюванням частоти і шпаруватості імпульсів

3. Розраховується допустиме значення суми опорів резисторів ($R1+R2$) в ланцюгові позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ) з умови обмеження струму навантаження ОП:

$$I_{H \text{ розр}} = I_{CT} + U_{ВЫХ \text{ м}} (1/ R_H + 1/(R1+R2) + 1/ R4) \leq I_{H \text{ max ОП}},$$

звідси:

$$R1+R2 \geq U_{ВЫХ \text{ м}} / [(I_{H \text{ max ОП}} - I_{CT} - (U_{ВЫХ \text{ м}} / R_H) - (U_{ВЫХ \text{ м}} / R4)],$$

де: $I_{H \text{ max ОП}}$ – максимально допустимий струм навантаження заданого типу ОП (таблиця 1Д).

Прийняти спочатку: $R4 = R3 = 3,3 \text{ кОм}$, $I_{CT} \geq I_{CT \text{ min пасп}} \approx (2...3) \text{ мА}$

Остаточно повинно бути - $R1+R2 \geq 10 \text{ кОм}$.

4. Визначається коефіцієнт ПЗЗ $\alpha = R1/(R1+R2)$ – з умови допустимого значення диференціальної напруги на вході ОП.

$$\alpha = (0,2...0,5) U_{ВХ \text{ диф}} / U_{ВЫХ \text{ м}}$$

Остаточно $\alpha \leq 0,25$.

5. Визначаються опори резисторів $R1$ та $R2$ по значенню їх суми ($R1+R2$) та значенню коефіцієнту α :

$$R1 = \alpha(R1+R2), \quad R2 = R1((1 - \alpha)/\alpha)$$

Значення $R1$ та $R2$ приймаються стандартними за рядом E24 за таблицею 2Д.

6. Визначаються параметри кола $R3, R4, R5, R6$, що задає час перезаряду конденсатора $C1$.

Спочатку задається значення ємності конденсатора $C1$ в діапазоні

$10...100 \text{ нФ}$ (остаточно вибір типу конденсатора здійснюється з таблиці 5Д).

Для вказаного діапазону змінювання частоти імпульсів МВ дійсно:

$$f_{\text{MIN}} = 1/T_{\text{MAX}} = 1/C1(R3 + R4 + R5 + R6) \ln(1+2R1/R2)$$

$$f_{\text{MAX}} = 1/T_{\text{MIN}} = 1/C1(R3 + R4 + R5) \ln(1+2R1/R2)$$

звідси

$$R_{\text{MIN}} = R3 + R4 + R5 = 1/f_{\text{MAX}} C1 \ln(1+2R1/R2)$$

$$R_{\text{MAX}} = R3 + R4 + R5 + R6 = 1/f_{\text{MIN}} C1 \ln(1+2R1/R2)$$

Найбільше значення шпаруватості вихідних імпульсів досягається на максимальній частоті:

$$q_{\text{max}} = T/ t_{\text{и min}} = 1 + (R3 + R5)/R4$$

Значення опорів **R4** та **R5** приймаються від **3,3** до **10 кОм** за рядом E24 – таблиця 2Д (наприклад, типу МЛТ – таблиця 3Д).

Згідно виразу для шпаруватості, маємо:

$$R3 = R5(q_{\text{max}} - 2), \quad R6 = R_{\text{MAX}} - R_{\text{MIN}}$$

R3, **R6** – регулювальні резистори – їх тип обирається за таблицею 4Д (номінал приймається за рядом E6 – таблиця 2Д).

7. Значення опору резистора **R7** визначається з виразу:

$$R7 = (U_{\text{ВИХ ОП max}} - U_{\text{ВИХ m}}) / I_{\text{СТ VD3}}$$

За звичай приймається: $I_{\text{СТ VD3}} = (8...10) \text{ мА}$

Значення опору **R7** обирається як найближче менше відносно до розрахованого згідно ряду E24 – таблиця 2Д.

8. Обираємо діоди VD1 та VD2 – таблиця 6Д згідно параметрів:

- прямому струму $I_{\text{ПР СР MAX}} > U_{\text{ВИХ m}} / R4$;

- зворотній напрузі $U_{\text{ОБР MAX}} > 2U_{\text{ВИХ m}}$

9. Заповнюється таблиця «Перелік елементів».

10. Виконується моделювання схеми МВ в пакеті MULTISIM 11.0

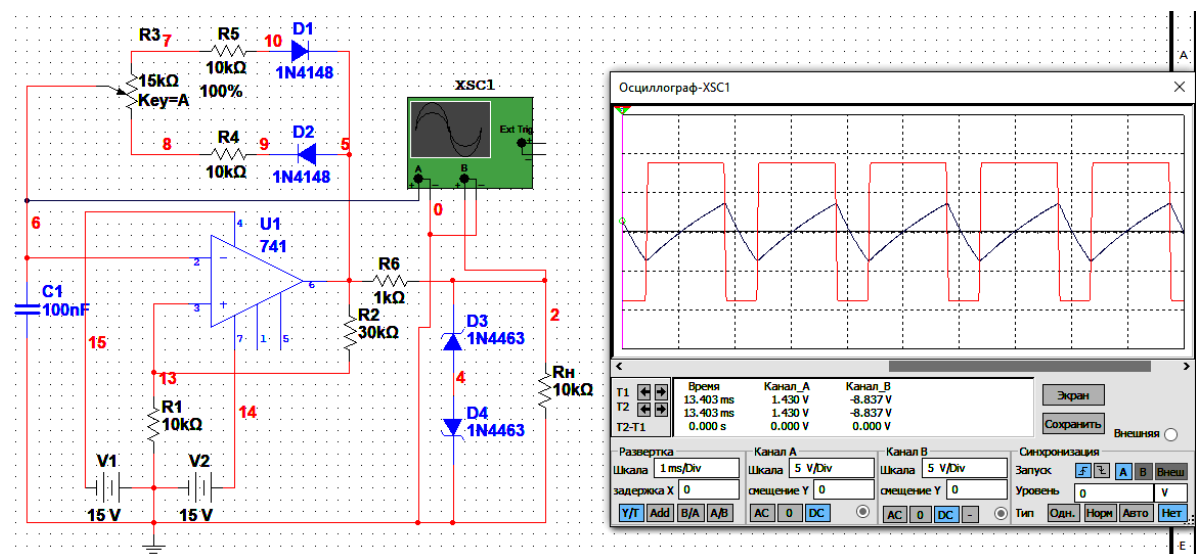


Рисунок 1.3. Приклад моделювання схеми МВ в пакеті MULTISIM 11.0

3. Генератори лінійно змінної напруги (ГЛЗН) на ОП Призначення, область застосування і тимчасові діаграми роботи ГЛЗН

ГЛЗН – генератори імпульсів лінійно змінної напруги.

Область застосування цих пристроїв:

- генератори розгортки в осцилографіях і телевізорах;
- пристрої завдання тимчасових інтервалів;
- модулятори тривалості імпульсів.

ГЛЗН, що побудовані на ОП забезпечують генерацію \square дно полярних або різнополярних імпульсів трикутної форми з неоднаковою тривалістю робочого та зворотного ходу. На рисунку 2.1 наведено схему, побудовану за допомогою компаратора та інтегратора, які охоплені спільним зворотним зв'язком. На рисунку 2.2 – діаграми роботи такого ГЛЗН.

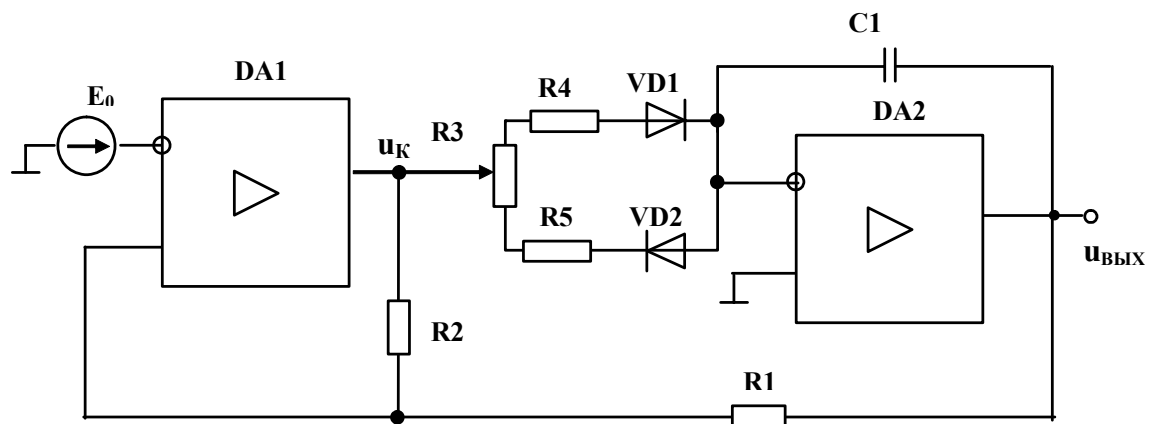


Рисунок 2.1 = Схема ГЛЗН на ОП

На операційному підсилювачі **DA1** зібрано компаратор – тригер Шмітта. Розподільник на резисторах **R1**, **R2** є ПЗЗ і виконує функцію завдання рівня перемикання цього пристрою, що задає як період надходження імпульсів на виході, так і їх амплітуду. Інтегратор зібрано на ОП **DA2**. Він перетворює прямокутні імпульси у лінійно змінну форму імпульсів напруги на своєму виході.

Постійна часу інтегрування при формуванні робочого ходу:

$$\tau_{\text{РОБ}} = (R5 + \kappa R3) * C1;$$

При формуванні зворотного ходу:

$$\tau_{\text{ЗВОР}} = (R4 + (1 - \kappa) R3) * C1, \quad \kappa = 0 \dots 1$$

Амплітуда імпульсів на виході ГЛЗН:

$$U_{\text{ВЫХ} \text{ м}} = U_{\text{КОМП} \text{ м}} * R1/R2$$

Період надходження імпульсів ГЛЗН:

$$T = 1/f_{\text{ВИХ}} = 2(R3 + R4 + R5) * C1(R1/R2)$$

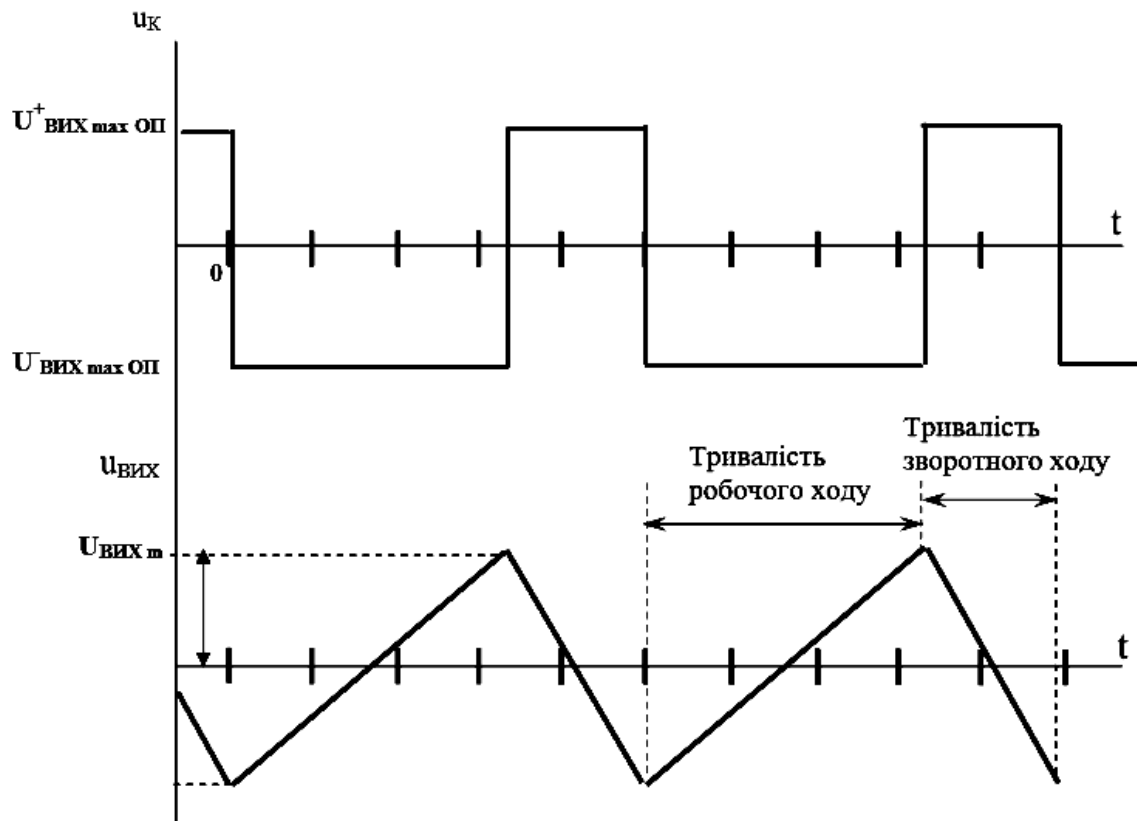


Рисунок 2.2 – Діаграми роботи ГЛЗН на ОП

Розрахунки та вибір елементів схеми ГЛЗН на ОП

Розрахувати параметри схеми генератора лінійно змінної напруги (ГЛЗН), виконаного на базі операційних підсилювачів, згідно варіантам завдань, наведеним у таблиці 2.1:

- $U_{\text{ВИХ m}}$ – амплітуда напруги на виході ГЛЗН;
- $U_{\text{КОМП m}}$ – амплітуда напруги на виході компаратора;
- f – частота імпульсів на виході ГЛЗН;
- $q_{\text{МАХ}}$ – найбільше значення шпаруватості імпульсів на виході компаратора;
- $R_{\text{Н}}$ – опір навантаження.

Таблиця 2.1

Варіанти завдань розрахунку параметрів схем ГЛЗН

№ варіанта	Тип операційного підсилювача	Вхідні параметри					
		$U_{\text{ВИХ м}}, \text{В}$	$\Delta U_{\text{ВИХ м}}, \text{В}$	$U_{\text{КОМП м}}, \text{В}$	$f, \text{кГц}$	$q_{\text{МАХ}}$	$R_{\text{Н}}, \text{кОм}$
1	КР140УД11 LM318N	2,0	2,0	9,0	3,0	6	5,1
2	КР140УД7 LM741Н	3,0	0	7,0	1,8	5	6,2
3	КР140УД608 MC1456G	4,0	2,0	5,0	1,5	4	10
4	К553УД1 LM709А	5,0	2,5	6,0	1,2	3	12
5	КР140УД608 MC1456G	2,0	0	7,0	1,0	5	4,7
6	КР140УД11 LM318N	3,0	- 1,5	10,0	2,5	8	6,8
7	К553УД1 LM709А	4,0	4,0	8,0	0,6	4	7,5
8	КР140УД7 LM741Н	5,0	- 2,5	9,0	1,6	3	9,1

Порядок розрахунку

1. Згідно заданого типу ОП (за варіантом) з таблиці 1Д виписати його параметри.

При цьому потрібно, щоб виконувалася умова:

$$U_{\text{ВИХ ОП max}} \geq 1,2 U_{\text{ВИХ м}}$$

2. Для забезпечення потрібного значення вихідної напруги компаратора до виходу ОП на **DA1** підключено двобічний обмежувач на стабілітронах **VD1, VD2** (рис.2.3) з відповідними напругами стабілізації (таблиця 7Д) з урахуванням виразу:

$$U_{\text{ВИХ м}} = U_{\text{СТ}} + U_{\text{ПР VD}},$$

звідси:

$$U_{\text{СТ}} = U_{\text{ВИХ м}} - U_{\text{ПР VD}}$$

Прийняти $U_{\text{ПР VD}} = 0,7 \text{ В}$,

тоді:

$$U_{\text{ВИХ ОП max}} = U_{\text{СТ}} + U_{\text{ПР VD}} + I_{\text{СТ}} R_{\text{ДОД}},$$

У цьому виразі треба прийняти струм стабілітрона з виразу:

$$0,5I_{\text{Н max ОП}} \geq I_{\text{СТ}} > I_{\text{СТ min}},$$

тоді:

$$R_{\text{ДОД}} = (U_{\text{ВИХ ОП max}} - U_{\text{СТ}} - U_{\text{ПР VD}}) / I_{\text{СТ}}$$

Значення $R_{доб}$ приймається стандартним за рядом E24.

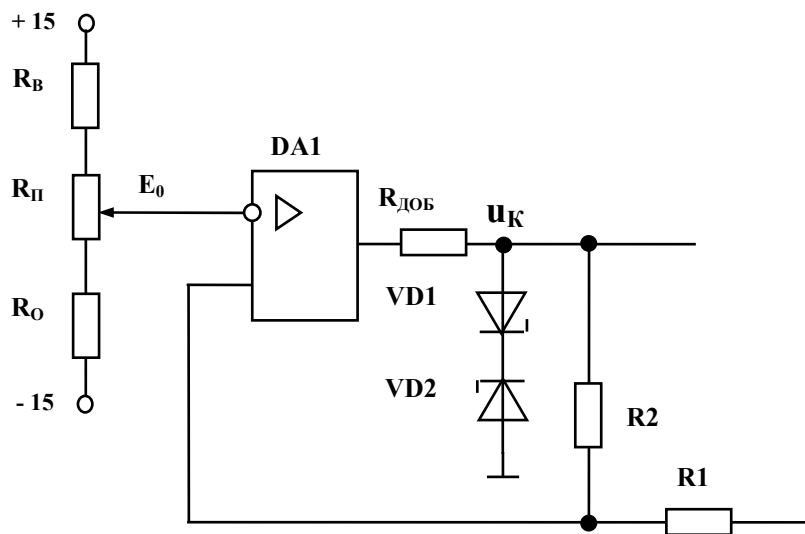


Рисунок 2.3 Схема компаратора з обмежувачем амплітуди імпульсів та можливістю зміщення їх за допомогою $R_{П}$

3. Попередньо приймаємо суму опорів резисторів в ланцюгові позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ) $(R1+R2) \geq 30$ кОм., а $R4 = 3,3$ кОм.
4. Перевіряємо допустиме значення струму навантаження ОП DA1

$$I_{H \max} = I_{CT} + U_{КОМП m} (1/(R_H + R4) + 1/(R1+R2+ R_H)) \leq I_{H \max ОП}$$

де: $I_{H \max ОП}$ – максимальний струм навантаження заданого типу ОП - таблиця 1П.

5. Визначається коефіцієнт ПЗЗ $\alpha = R1/R2$ з заданого значення напруги на виході ГЛЗН

$$R1/R2 = U_{ВИХ m} / U_{КОМП m}$$

6. Визначаються опори резисторів $R1$ та $R2$:

$$R2 = 30/(1+ \alpha) \text{ кОм};$$

$$R1 = 30 - R2$$

Значення $R1$ та $R2$ приймається стандартним за рядом E24.

7. Визначаються параметри кола інтегрування, за попередньо прийнятим значенням $C1 = 1...50$ нФ.

Для заданої частоти вихідних імпульсів ГЛЗН

$$f = 1/T = R2/2C1 * R1 (R3 + R4 + R5)$$

маємо:

$$R3 + R4 + R5 = R2 / 2f \cdot C1 \cdot R1$$

При цьому найбільше значення шпаруватості імпульсів компаратора

$$q_{\max} = 1 + (R3 + R5) / R4$$

Попередньо (для перевірки допустимого струму ОП) прийняте значення $R4 = 3,3 \text{ кОм}$, для подальшого можна задавати з діапазону

$$R4 = R5 = 3,3 \dots 10 \text{ кОм}, \text{ і тоді:}$$

$$R3 = R5(q_{\max} - 2)$$

Приймаємо $R3$ – регульований резистор за рядом Е6 – таблиця 2Д. Тип резистора – за таблицею 4Д.

Тривалість робочого ходу:

$$t_p = 2C1(R3 + R5) \cdot R1 / R2$$

Тривалість зворотного ходу:

$$t_o = 2C1 \cdot R4 \cdot R1 / R2$$

8. Обираємо діоди VD3 та VD4 – таблиця 6Д згідно параметрів:

- прямому струму $I_{\text{пр ср max}} > U_{\text{комп м}} / R4$;
- зворотній напрузі $U_{\text{обр max}} > 2U_{\text{вих max ОП}}$

9. Завдання опорної напруги E_0 – рисунок 1.5 забезпечується трьома резисторами - $R_{\text{п}}, R_{\text{в}}, R_{\text{о}}$, які здійснюють розподіл напруги живлення ОП - $U_{\text{п}} = \pm 15 \text{ В}$. При цьому $R_{\text{п}}$ – змінний.

Загальний опір розподільника:

$$R_{\text{п}} + R_{\text{в}} + R_{\text{о}} = 2 | U_{\text{п}} | / I_{\text{д}}$$

$$R_{\text{п}} = 2 | \Delta U_{\text{вих м}} | / I_{\text{д}}$$

Струм $I_{\text{д}}$ можна прийняти рівним 1 мА .

Обираємо найближчі до розрахункових стандартні значення $R_{\text{в}}$ та $R_{\text{о}}$ за рядом Е24, змінний $R_{\text{п}}$ – за рядом Е6.

10. Для балансу ОП можна (необов'язково) прийняти змінні резистори за номіналом 10 кОм типу, наприклад, **СП5 – 16 ВГ**.

11. Заповнюється таблиця «Перелік елементів».

12. Виконується моделювання схем, параметри яких розраховані,

Моделювання здійснюється за допомогою програми MULNISIM версія 11.0 або пізнішої.

Приклад моделювання схеми ГЛЗН в пакеті MULNISIM 11.0 наведено на рисунках 2.4.

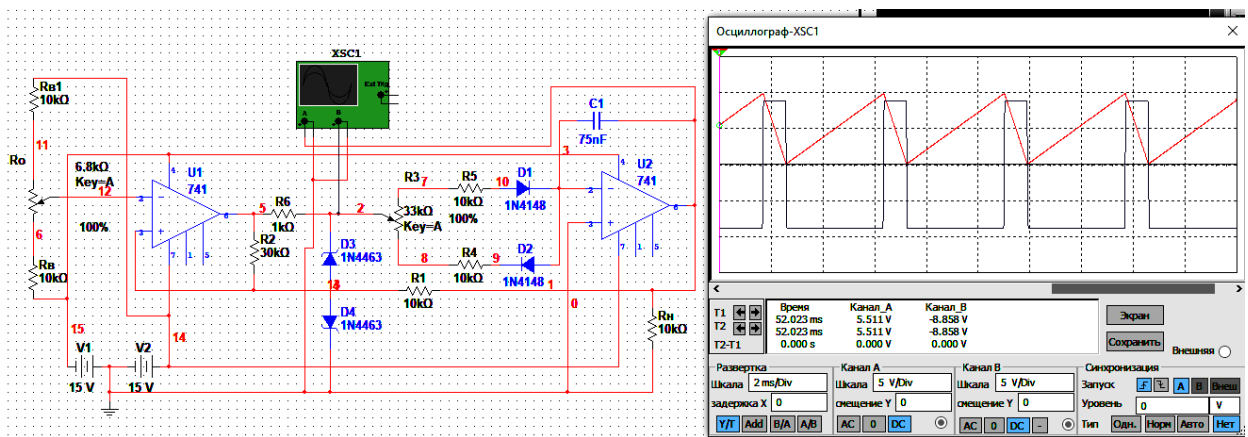


Рисунок 2.4. Приклад моделювання схеми ГЛЗН в пакеті MULTISIM 11.0

Перелік елементів

Позначення в схемі	Найменування	Кількість	Примітки (імпортований аналог)
	Резистори		
R ₁		1	
R ₂		1	
R ₃		1	
R ₄		1	
R ₅		1	
	Конденсатори		
C1			
	Транзистори		
VT1		1	
VT2		1	
VT3		1	
	Діоди та стабілітрони		
VD1		2	
VD2			
	Мікросхеми		
DA1		1	

Довідкові матеріали

Параметри інтегральних операційних підсилювачів (ОП)

Таблиця 1Д

Тип ОП, імпортний аналог	K_U ОП	$U_{S1,2}$, В	$U_{ВВХ\max}$, В	f_1 , МГц	$I_{сп}$, мА	$R_{ВХ}$, МОм	$R_{ВВХ}$, Ом	$R_{Н\ доп}$, кОм	$I_{Н\ max}$, мА	$U_{ВХ\ диф}$, В
КР140УД608	30000	±15	±12	1,0	4,0	1,0	150	1,0	6,0	±3,0
МС1456G	10000 а	±18	±15	1,0	3,0	2,5	150	1,0	6,0	±3,0
КР140УД7	30000	±15	±10,5	0,8	2,8	0,4	120	2,0	5,0	±2,0
LM741H	20000 0	±22 (15)	±21 (13)	1,5	1,7... 2,8	2,0	75	2,0	5,0	±2,0
КР140УД11	30000	±15	±12	15	8,0	0,4	150	2,0	6,0	±6,0-
LM318N	20000 а	±22	±18 (13)	10	5...10	3,0	75	1,0	12,0	±6,0
КР140УД14	50000	±15	±12	0,5	1,0	30	150	1,0	6,0	±8,0
LM108H	50000	±15	±13,5	-	0,6	30	150	1,0	5,0	±2,0
К153УД2	25000	±15	±11	1,0	3,0	0,3	150	2,0	5,0	±8,0
LM101	11000 а	±22	±20	1,0	1,8	4,0	75	1,0	10,0	±10,0
К553УД1	20000	±15	±10	1,0	6,0	0,2	150	2,0	5,0	±5,0
LM709A	47000	±20	±17	1,0	-	0,7	150	1,0	10,0	±5,0
КР544УД2 А/Б	50000	±15	±10	1,0	3,5		150	2,0	5,0	±6,0-
LF357AH	20000 0	±(15- 18)	±13	2,0	5...10	1*10 ⁶	75	1,0	12,0	±10,0

Примітки: $U_{S1,2}$ – значення напруг різнополярних джерел живлення;
 $U_{ВВХ\ max}$ – максимальне значення рівню сигналу на виході; I_N – максимально допустимий струм навантаження; $U_{ВХ\ диф}$ - максимально допустимий диференціальний сигнал на вході ОП; $R_{Н\ доп}$ – мінімально допустимий опір навантаження.

Стандартизовані ряди номінальних значень опору резисторів та ємності конденсаторів

Таблиця 2Д

Допустимі відхилення параметрів від номінального значення, %								
±5 E24	±10 E12	±20 E6	±5 E24	±10 E12	±20 E6	±5 E24	±10 E12	±20 E6
Номінальні опори та ємності: Ом, десятки Ом, сотні Ом, кілоОм, десятки кілоОм, сотні кілоОм, мегаОм; мікрофаради								
1,0	1,0	1,0	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7
1,1			2,4			5,1		
1,2	1,2		2,7	2,7		5,6	5,6	
1,3			3,0			6,2		
1,5	1,5	1,5	3,3	3,3	3,3	6,8	6,8	6,8
1,6			3,6			7,5		
1,8	1,8		3,9	3,9		8,2	8,2	
2,0			4,3			9,1		

Параметри постійних резисторів типу МЛТ

Таблиця 3Д

№	Номінальна потужність розсіювання, Вт	Діапазон номінальних значень опорів, Ом	Максимальна робоча напруга, В
1	2	3	4
1	0,125	1...3*10 ⁶	200
2	0,25	1...5,1*10 ⁶	250
3	0,5	1...5,1*10 ⁶	350
4	1	1...10*10 ⁶	500
5	2	1...10*10 ⁶	700

Параметри змінних резисторів

Таблиця 4Д

№	Тип	Діапазон номінальних значень опорів, Ом	Номінальна потужність розсіювання, Вт
1	2	3	4
1	СП2 - 2	22...4,7*10 ⁶	0,5
2	СП3 - 4аМ	100...4,7*10 ⁶	0,25
3	СП3 - 9а	1000...4,7*10 ⁶	0,5
4	СП3 - 33	100...4,7*10 ⁶	0,25
5	СП3 - 45а	47...10*10 ⁶	0,5
6	СП5-16ВВ	47...33000	0,25
7	СП5 - 35А	68...22000	1
8	СП5 - 39 - 0,5	100...47000	0,5
9	СП5 - 44 - 1	1...47000	1
10	ППЗ - 40	4,7...20000	3

Параметри неполярних конденсаторів

Таблиця 5Д

№	Тип конденсатора	Номінальна робоча напруга, В	Діапазон номінальних значень ємностей у відповідності зі стандартизованими рядами
1	К10-17а	25	910...15000 пФ
		25	0,015...1,5 мкФ
		50	75...22000 пФ
2	К10-47 А	100	0,01...0,68 мкФ
		250	0,0015...0,1 мкФ
		500	0,001...0,017 мкФ
3	К31-10 К31-11	100	277...10000 пФ
		250	750...10000 пФ
4	К71-5	160	0,01...1,0 мкФ
5	К73-17	160	1,5...2,2 мкФ
		400	0,022...1,0 мкФ

Параметри електролітичних конденсаторів

Таблиця 6Д

№	Тип конденсатора	Номинальна робоча напруга, В	Діапазон номінальних значень ємностей у відповідності зі стандартизованими рядами, мкФ
1	К50-16	25	2...2000
		50	2...500
		100	0,5...50
		160	1...20
2	К50-24	40	100...1000
		63	10...2200
		100	4,7...200
		160	1...220
3	К50-32	160	1000...4700
		250	100...2200
		350	47...1000
		450	47...470

Параметри діодів та діодних збірок

Таблиця 7Д

№	Тип приладу	Максимально допустимий середній за період прямий струм, А	Максимальне значення зворотної напруги, В
1	КД102Б	0,1	300
2	КД103Б	0,1	50
3	КД104А	0,01	300
4	КД105Б	0,3	400
	В	0,3	600
	Г	0,3	800
5	КД106А	0,3	100
6	КД202А	5,0	50
	В	5,0	100
	Д	5,0	200
	Ж	5,0	300
	К	5,0	400
7	КД206А	10	400
	Б	10	500
	В	10	600
8	КД210В,Г	10	1000
9	КЦ105В(стовб)	0,1	6000
Мости			
10	КЦ402А	1	600
	Б	1	500
	В	1	400
11	КЦ412А	1	50
	Б	1	100
	В	1	200

Параметри стабілітронів

Таблиця 8Д

№	Тип приладу	Іноземний аналог	Напруга стабілізації, $U_{ст}$ В	Мінімальний - $I_{ст\ min}$ та максимальний - $I_{ст\ max}$ струми стабілізації, мА
1	КС133А	1N4684	2,97...3,63	3; 81
2	КС139А	1N4730А	3,51...4,29	3; 70
3	КС147А	1N4732А	4,23...5,17	3; 58
4	КС156А	1N4690	5,04...6,16	3; 55
5	КС168А	1N4461	6,12...7,48	3; 45
	КС175Ж	1N4462	7,1...7,9	0,5; 17
	КС182Ж	1N4463	7,4...8	0,5; 18
	КС191Ж	1N4464	8,6...9,6	0,5; 14
	КС210Ж	1N4465	9...11	0,5; 14
	КС211Ж	1N4466	10,4...11,6	0,5; 14
	КС212Ж	1N4467	10,8...13,2	0,5; 11
	КС215Ж	1N4469	13,5...16,5	0,5; 8,3
	КС482А	1N4463	8,98...9,0	1...96
	КС515А	1N4469	12,3...16,5	1...53
	КС524Г	1N4474	22,8...25,2	3...19
	КС530А	1N4476	28...31	1...27

Перелік літератури

1. Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков «Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум», К. «Каравела», 2-е вид. 2004, 432 с.
2. Воробйова О.М. Основи схемотехніки: підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – [2-ге вид.]. – Одеса: Фенікс, 2009, 388 с.
3. В.І. Бойко, А.М. Гужвій, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі, В.М. Співак, Т.О. Терещенко «Схемотехніка електронних систем», Книга 1, «Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої», Київ, «Вища школа», 2004, 366 с.
4. Аналоговые интегральные схемы: Справочник / А.Л. Булычев, В.И. Галкин, В.А. Прохоренко.– Мн.: Беларусь, 1995.- 388 с.
5. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: Справочник / Н.Н.Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко, Ю.П. Худоренок.– Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с.
6. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. Справочник радиолюбителя.– К.: Наукова думка, 1988.

ЗМІСТ

	Ст.
1. Мультивібратори на операційних підсилювачах (ОП). Призначення, область застосування і тимчасові діаграми роботи мультивібраторів на ОП.....	3
2. Розрахунок мультивібратора на операційному підсилювачі (ОП).....	4
3. Генератори лінійно змінної напруги (ГЛЗН) на ОП. Призначення, область застосування і тимчасові діаграми роботи ГЛЗН.....	7
4. Розрахунки та вибір елементів схеми ГЛЗН на ОП.....	8
5. Довідкові матеріали.....	13
6. Перелік літератури.....	17

Упорядник:

Галушко Олег Михайлович

**РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ГЕНЕРАТОРІВ
НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ**

**Методичні рекомендації
до виконання курсового проекту**

з дисциплін «Основи схемотехніки», «Електроніка та мікросхемотехніка»

для бакалаврів галузей знань 17 Електроніка та телекомунікації,
15 Автоматизація та приладобудування

Видано в редакції упорядника

Комп'ютерний дизайн, верстка та обробка – О.М. Галушко

Підписано до друку 18.02.2019. Формат 30x42/4.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,1.

Обл.-вид. арк. 1,1. Тираж 6 пр. Зам. №

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.