

# Лекція 5

## Діодні обмежувачі сигналів

**Мета лекції:** вивчити типи діодних обмежувачів сигналів ,їх характеристики та застосування.

**План лекції:**

- 5.1. Вступ
- 5.2. Послідовні діодні обмежувачі.
- 5.3. Паралельні діодні обмежувачі
- 5.4. Застосування діодних обмежувачів
- 5.5. Інерційні властивості діодних обмежувачів.
  - 5.5.1. Послідовний діодний обмежувач.
  - 5.5.2. Паралельний діодний обмежувач.
- 5.6. Контрольно-навчальний тест до лекції №5.

## 5.1. Вступ

Найбільш простим і розповсюдженим способом формування імпульсів є використання діодних і транзисторних обмежувачів сигналів.

Обмежувачем називається нелінійний чотирьохполюсник, напруга на виході якого  $U_2$  повторює форму вхідної напруги  $U_1$ , якщо вона знаходиться в межах деяких рівнів і залишається постійною, якщо вхідна напруга опиняється за межами цих рівнів.



**Рис 5.1. Чотирьохполюсник, як обмежувач сигналів**

Розрізняють обмежувачі по максимуму, або обмежувачі "зверху", обмежувачі по мінімуму, або обмежувачі "знизу", і двосторонні обмежувачі.

В якості обмежувачів використовують діодні, транзисторні та лампові схеми ключів. При цьому необхідно підкреслити, що принцип роботи цих схем як обмежувачів не є чимось новим. Відмінність полягає в їх іншому функціональному призначенні.

Схеми ключів, які використовуються в якості обмежувачів, вирішують інші задачі. Ключ-обмежувач використовують як пристрій, який застосовується для формування імпульсів.

Обмежувачі використовують для формування імпульсів з постійною амплітудою, вирівнювання верхівок імпульсів, отримання напруги, близької до прямокутної із синусоїдальної, для селекції імпульсів.

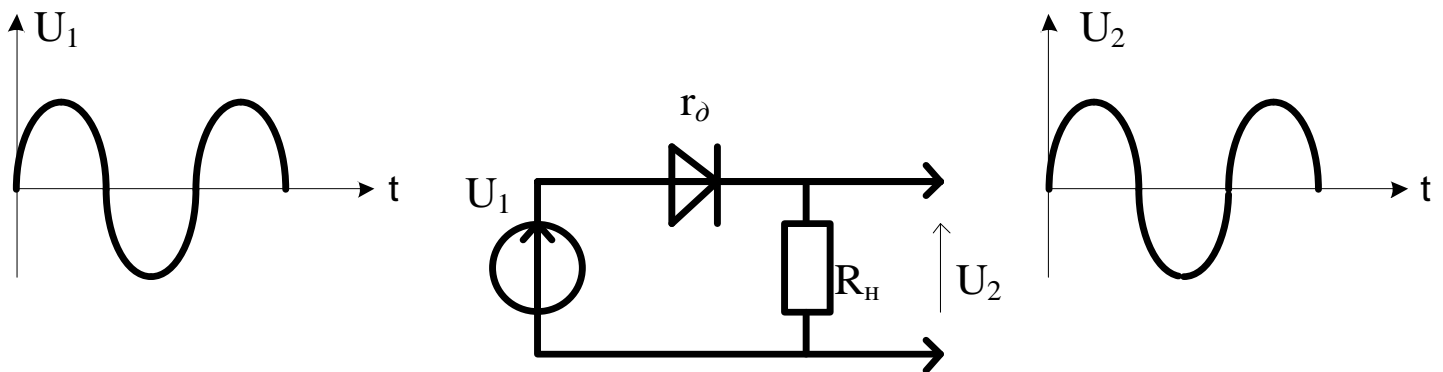
В залежності від способу під'єднання навантаження до обмежувача розрізняють схеми послідовних і паралельних діодних обмежувачів.

## 5.2. Послідовні ДІОДНІ обмежувачі.

В даному обмежувачі діод ввімкнено послідовно між джерелом вхідної напруги  $U_1$  і навантаженням. Якщо напруга на аноді більша за напругу на катоді, то діод є провідним, ділянка між його анодом і катодом близька до короткозамкненого кола і вхідний сигнал передається

на навантаження  $R_H$ . Якщо напруга на аноді діода менша за напругу на катоді, то діод закривається і відмикає джерело вхідного сигналу від навантаження.

У цій схемі обмеження вхідного сигналу відбувається знизу і на нульовому рівні.

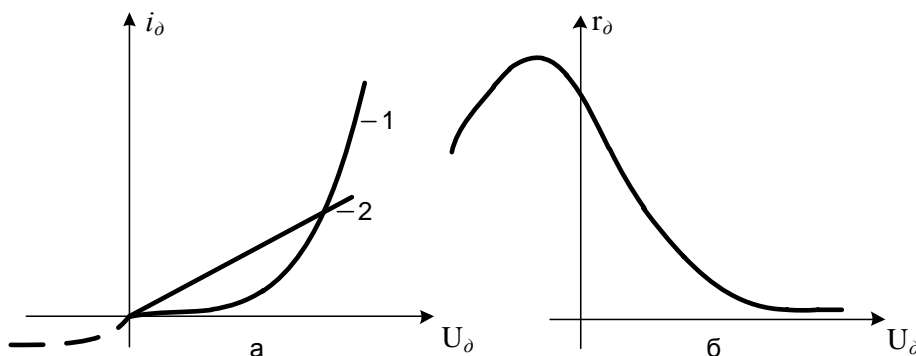


**Рис.5.2** Послідовний діодний обмежувач з обмеженням знизу на

нульовому рівні. При подачі на вхід синусоїдної напруги на виході з'являється позитивні на півхвилі цієї напруги.

$$U_2 = \frac{R_H}{R_H + r_d} U_1$$
 де  $r_d$  - опір відкритого діода. Цей опір є нелінійним і залежить від струму, що протікає через нього.

На рис.5.3 наведена типова вольтамперна характеристика діода і типова орієнтовна характеристика залежності опору діода  $r_d$  від напруги на ньому.



**Рис.5.3** Вольтамперна характеристика діода (а) і залежність опору діода від напруга на ньому (б).

Вольтамперна характеристика діода  $i_{\vartheta} = I_0 \cdot (e^{k \cdot U_{\vartheta}} - 1)$  де  $I_0$  - зворотній струм діода,  $k$ -коефіцієнт, що враховує властивості діода і температурний режим (крива 1 рис.5.3 а). При збільшенні прямої напруги на діоді збільшується струм через нього і опір відкритого діода зменшується. При зворотній напрузі опір діоду зростає і при значній напрузі може відбутися пробиття діоду і його руйнація (рис.5.3 б). Таким чином:

$$U_2 = \frac{R_H}{R_H + r_{\vartheta}(U_{\vartheta})} \cdot U_1 = \frac{R_H}{R_H + r_{\vartheta}(U_1 + U_2)} \cdot U_1,$$

$$\text{Коефіцієнт передачі схеми рис.5.2 } K = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_H}{[R_H + r_{\vartheta}(U_{\vartheta})]}.$$

Тобто коефіцієнт передачі і вихідна напруга нелінійно залежить від  $U_1$  і ця нелінійність суттєво зростає при малих рівнях  $U_1$ .

При розрахунках часто вольтамперну характеристику діода представляють у вигляді апроксимуючої лінії 2 рис.5.3 а і застосовують значення еквівалентного опору  $r_{\vartheta}$ .

Якщо у схемі рис.5.2 змінити полярність діоду на протилежну, то отримаємо обмеження сигналу зверху на нульовому рівні (рис.5.4).

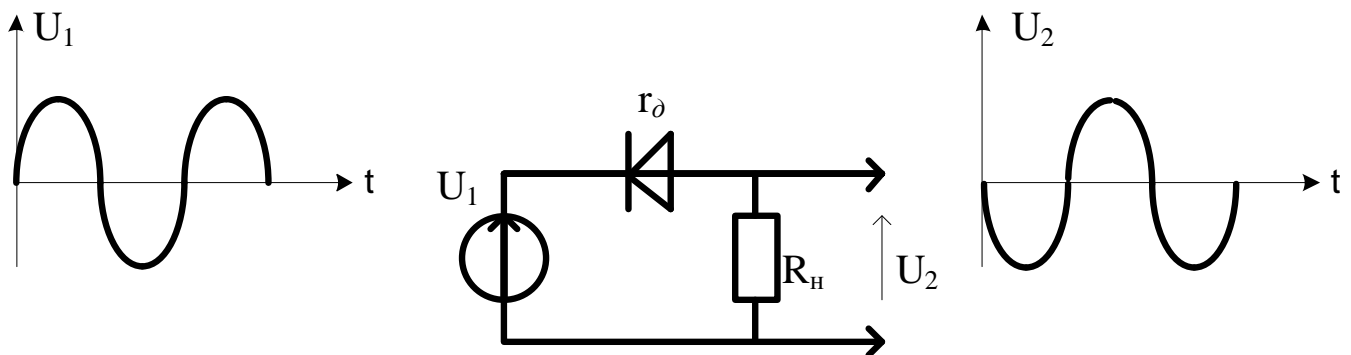
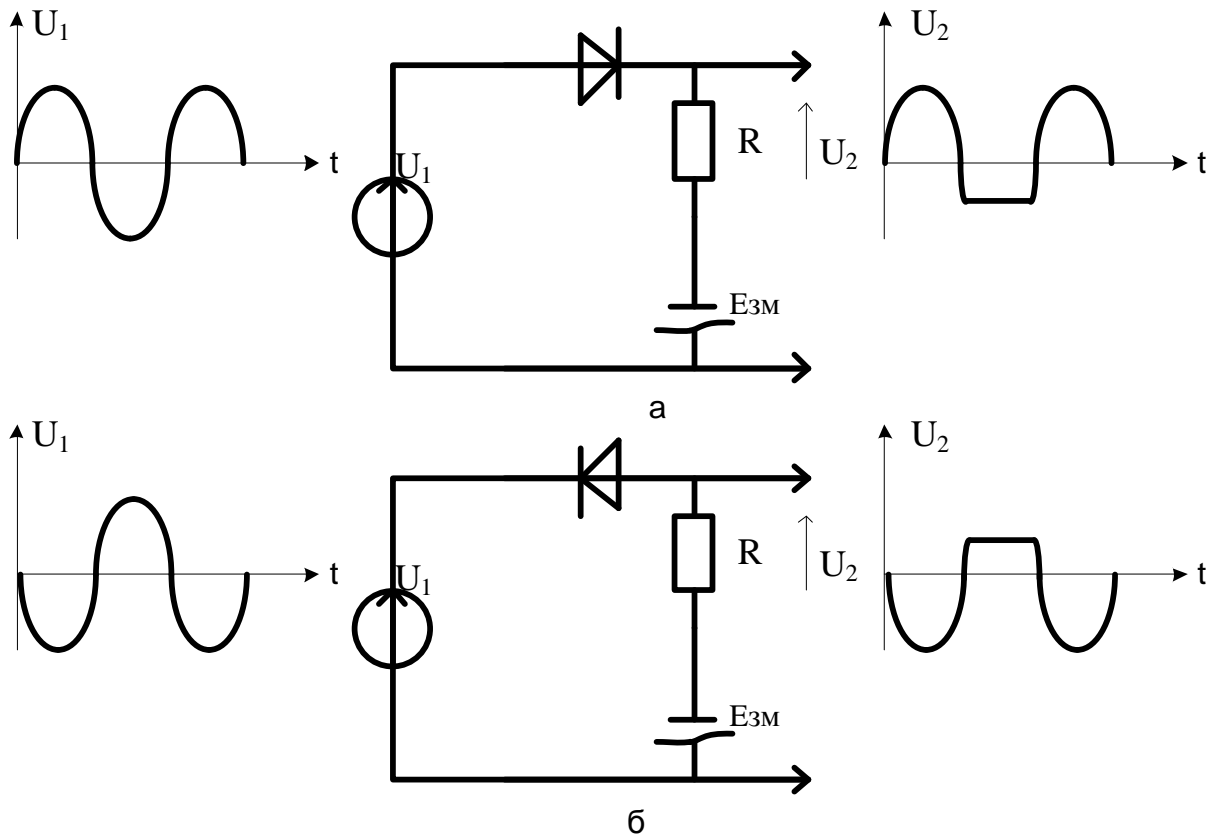


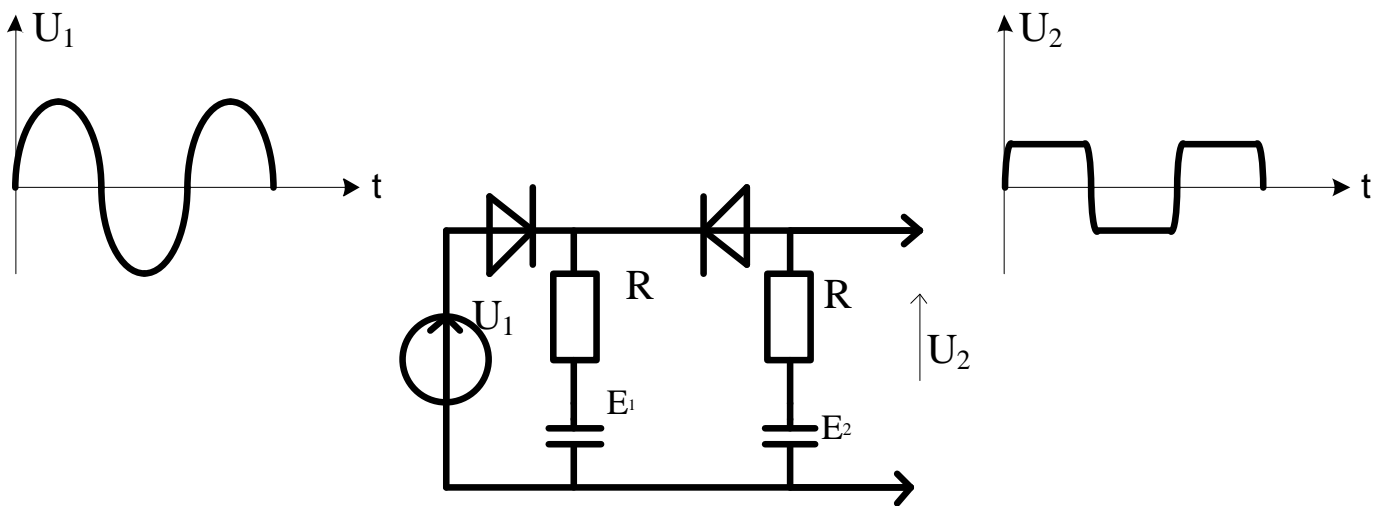
Рис.5.4 Підсилювач діодний обмежувач з обмеженням зверху на нульовому рівні

Якщо потрібне обмеження не на нульовому рівні до застосовують такі схеми.



**Рис.5.5** Схеми послідовних діодних обмежувачів: а-обмеження знизу не на нульовому рівні; б-обмеження зверху не на нульовому рівні.

Якщо включити дві попередні схеми одночасно до будемо мати послідовний діодний обмежувач і зверху, і знизу.

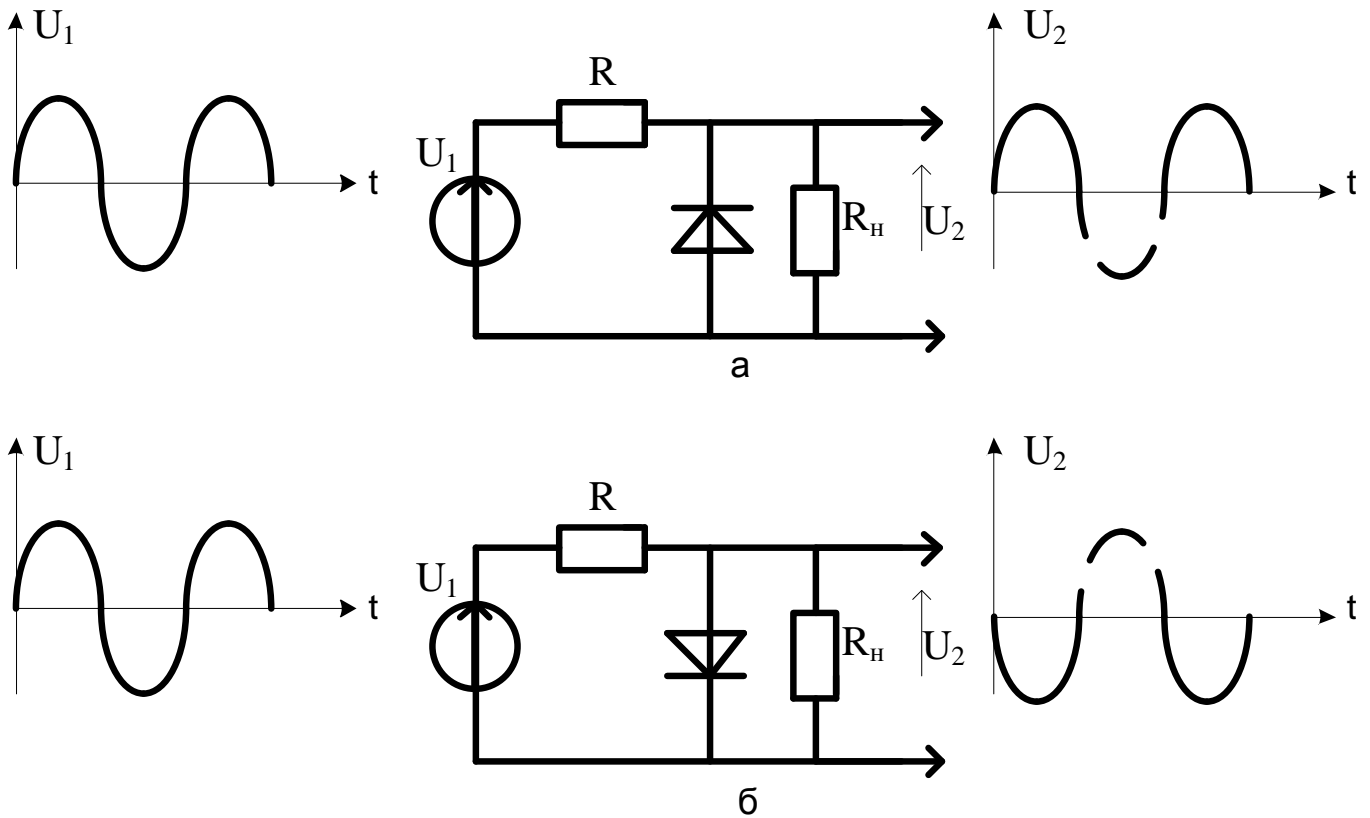


**Рис.5.6** Двохсторонній обмежувач сигналів

### 5.3 Паралельні діодні обмежувачі.

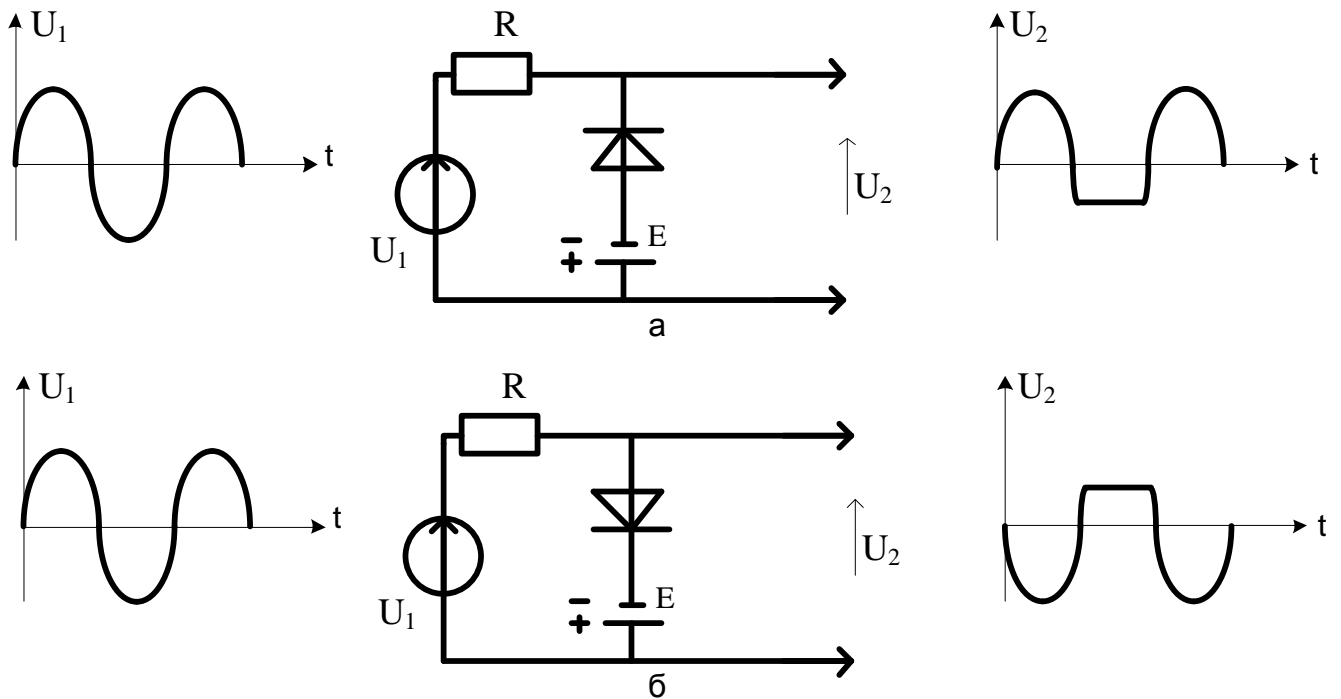
В цьому різновиді обмежувачів діод включається в коло паралельно виходу схеми, тобто навантаженню  $R_n$ . Якщо в даному

обмежувачі  $R_H \rightarrow \infty$ , а величина опору резистора  $R$  вибрана так, що викопується умова:  $R_D \gg R \gg r_D$ , де  $R_D$  - зворотній опір закритого діода, то при дії на вході схеми позитивної напруги (рис.5.7а), діод закритий, і вся вхідна напруга з'являється на резисторі  $R_H$ . При подачі на вхід від'ємної напруги діод відкритий і напруга на виході схеми близька до нуля.



**Рис.5.7** Схеми паралельних обмежувачів: обмеження знизу на нульовому рівні (а); обмеження зверху на нульовому рівні (б).

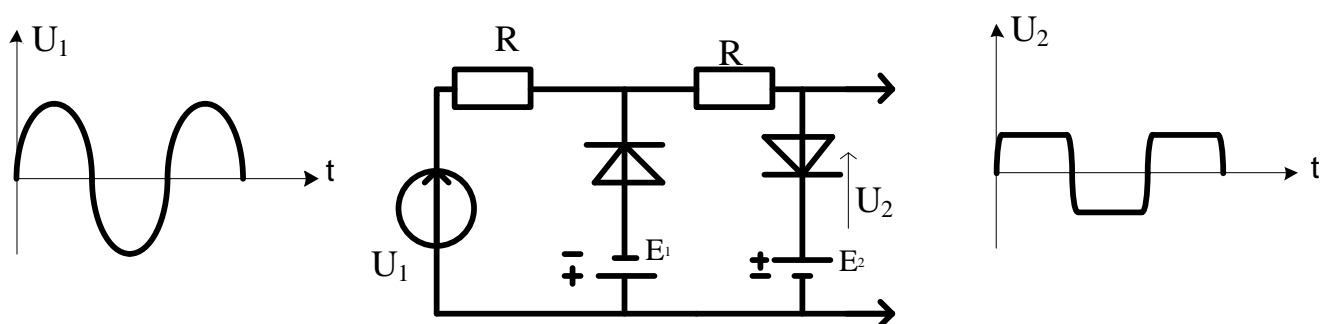
Для обмеження сигналу не на нульовому рівні застосовують схеми наведені на рис.5.8.



**Рис.5.8** Схеми паралельних обмежувачів: обмеження знизу не на нульовому рівні (а); обмеження зверху не на нульовому рівні (б).

Важливо зазначити, що внутрішній опір джерела напруги зміщення  $E$  в схемах (рис.5.8), включається послідовно з опором відкритого діода і повинен бути малим. Чим більша величина внутрішнього опору джерела  $E$ , тим в більшій мірі рівень вихідної напруги після відкриття діода буде залежати від величини вхідної напруги.

Якщо об'єднати дві схеми (рис.5.8), то отримаємо схему двохстороннього паралельного діодного обмежувача (рис.5.9).

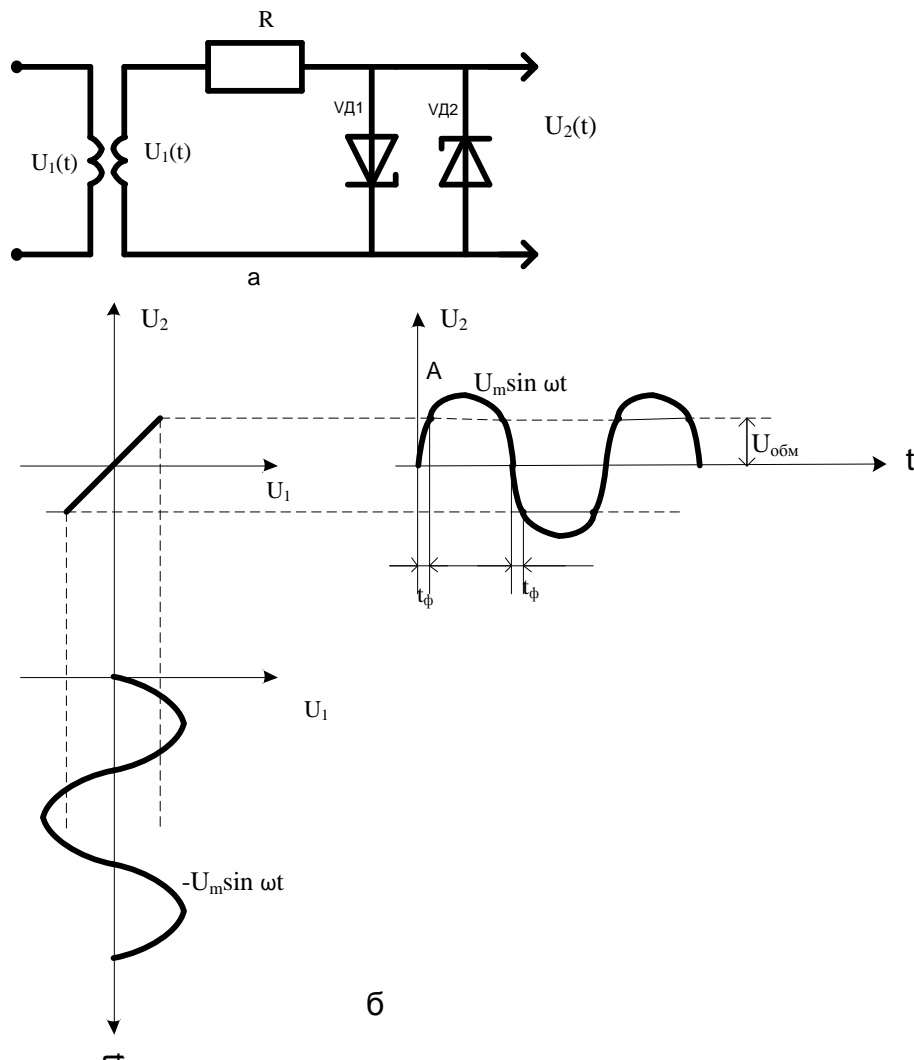


**Рис.5.9** Схема паралельного двохстороннього обмежувача

## 5.4 Застосування діодних обмежувачів.

За допомогою обмежувачів вирішується ряд важливих завдань в схемах формування Імпульсів. Розглянемо найбільш розповсюджені з них.

1. Формування прямокутних імпульсів із сигналу синусоїдної форми. Для вирішення цієї задачі використовують двосторонній обмежувач з рівними за величиною і протилежними за знаком рівнями обмеження вхідної напруги (рис.5.10а). Характеристика передачі такого обмежувача і порядок побудови графіка вихідної напруги  $U_2$ , коли на вході обмежувача діє напруга синусоїдної форми  $U_1 (i) = U_m \cdot \sin \omega t$ , наведені на рис.5.10 б.



**Рис.5.10 Формування імпульсної напруги із синусоїдного сигналу: а-схема; б-графіки.**

Для визначення фронтів отриманих імпульсів скористаємось виразом для точки А графіка.

$$U_m \cdot \sin \omega \cdot t_{\phi p} = U_{обм}$$

Якщо  $\omega \cdot t_{\phi p} \approx 0$ , то  $U_m \cdot \omega \cdot t_{\phi p} \approx U_{обм}$ ,  $t_{\phi p} \approx U_{обм} / \omega \cdot U_m$ ,

тобто  $t_{\phi p} \approx U_{обм} / 2\pi f \cdot U_m$



Із графіків і останнього виразу видно, що для зменшення тривалості фронтів  $t_\phi$  необхідно збільшувати амплітуду  $U_m$  вхідної напруги  $U_1$  частоту  $f$  і зменшувати рівень обмеження  $U_{обм}$ .

**Приклад.** Дано:  $U_m=220$  •

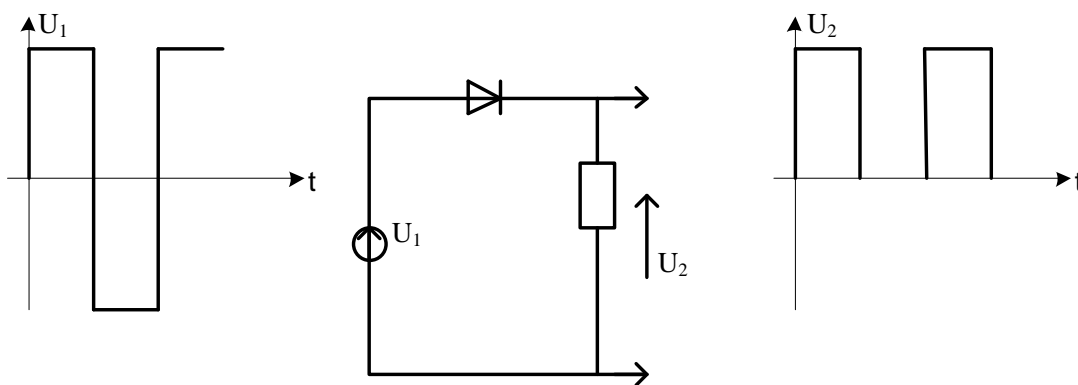
$$2 \cdot d^{(1/2)}, f=50 \text{ Гц.}$$

Який необхідно мати рівень обмеження  $U_{обм}$  для отримання фронтів імпульсів  $t_\phi=0,1 \text{ мс}$ ? ^язок:  $u^*$  Розв'язок

$$U_{обм} \approx 2\pi f \cdot U_m \cdot t_\phi = 6,28 \cdot 50 \cdot \sqrt{2} \cdot 220 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \approx 9 \text{ (В)}$$

2. Селекція імпульсів за полярністю.

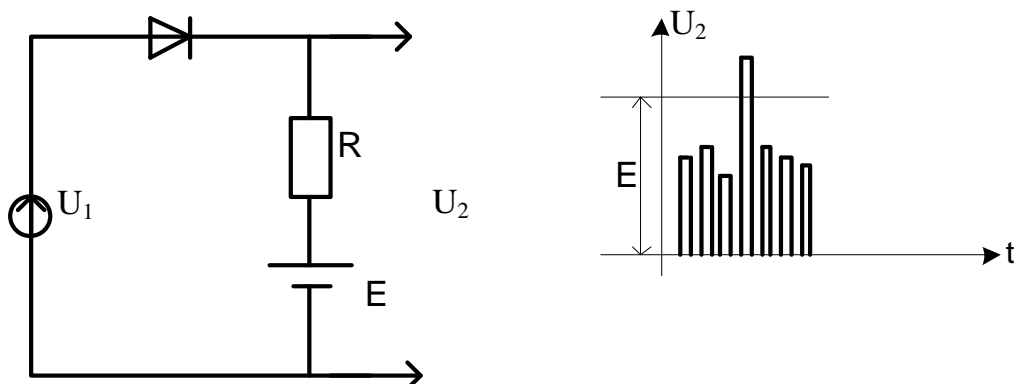
Дана задача вирішується за допомогою одностороннього обмежувача, який має нульовий рівень обмеження вхідної напруги (рис.5.11).



**Рис.5.11 Відбір імпульсів позитивної полярності**

Якщо в схемі зображеній на рис.5.11, змінити полярність діода, то буде відбуватися селекція імпульсів негативної полярності. 3. Селекція імпульсів за амплітудою.

Для відбору імпульсів за амплітудою  $U_m$ , що перевищує деякий рівень  $E$ , використовують односторонній обмежувач з нижнім рівнем обмеження  $E$  вхідної напруги. Схеми такого пристрою і часові графіки наведені на рис.5.12.



## Рис.5.12 Відбір імпульсів за амплітудою

### 4 Згладжування вершини імпульсу.

Якщо на вершині імпульса присутні пульсації ,які обумовлені перешкодою або умовами формування імпульсу, то виправлення вершини можна виконати, використовуючи односторонній обмежувач. При цьому потрібно вибрати рівень обмеження вхідної напруги так, щоб пульсації попадали в область обмеження (рис.5,13).

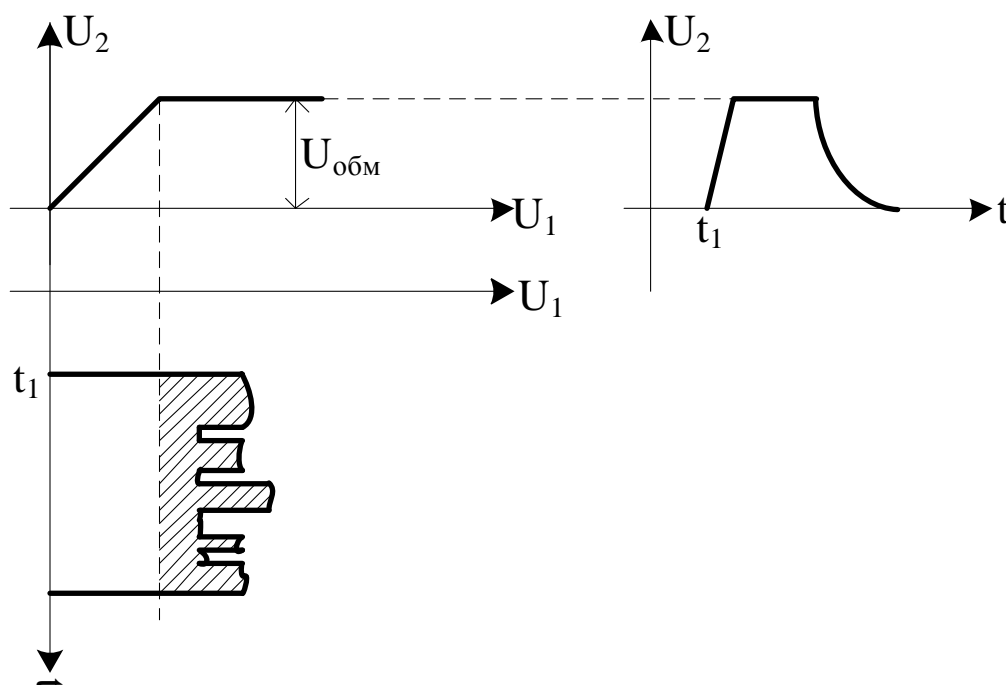


Рис.5.13 Згладжування вершини імпульсу.

### 5.5. Інерційні властивості діодних обмежувачів.

При розладі принципу дії діодних обмежувачів сигналів використовувалися лише статичні характеристики передачі. В дійсності із-за наявності бар'єрної ємності діодів ,ємності монтажу завантаження (індуктивність кіл не враховуємо) формування імпульсів буде відбуватись не миттєво ,а з певною інерційністю і з деформацією вихідних імпульсів.

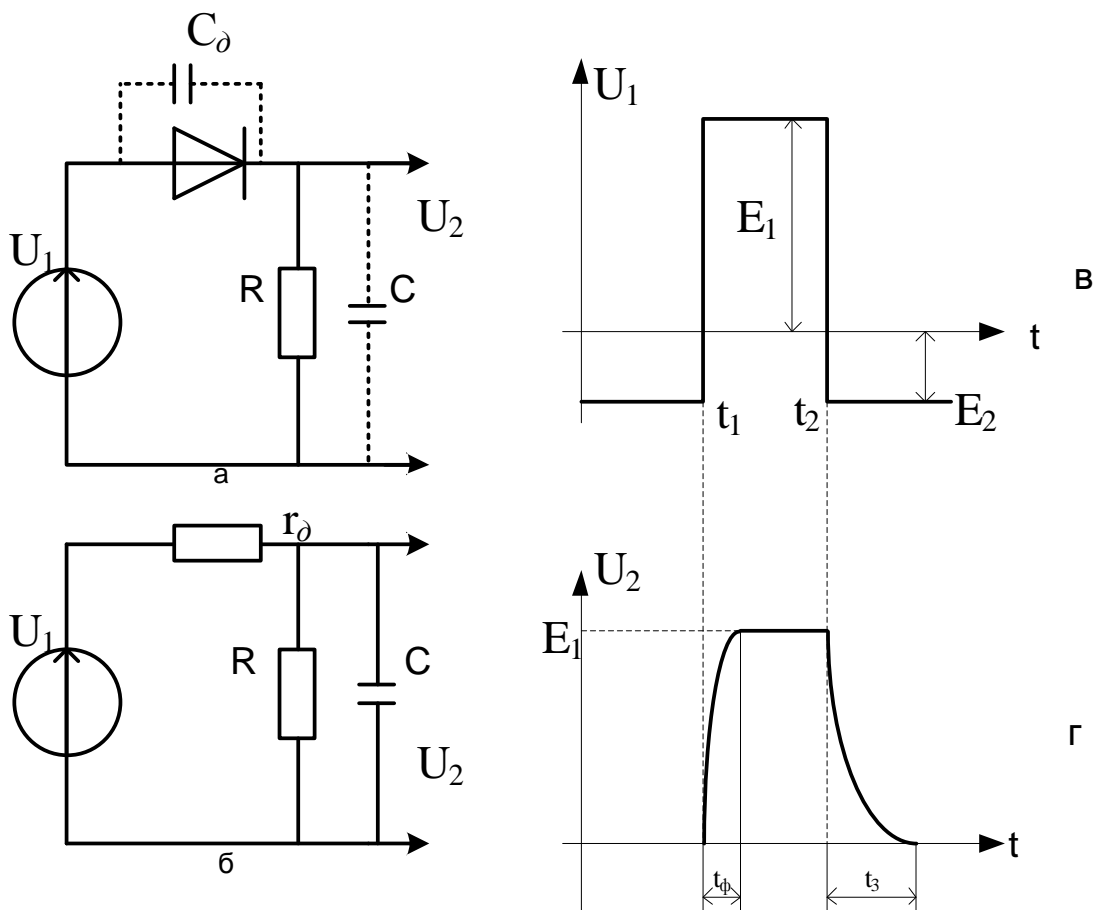
Розглянемо це більш детально.

#### 5.5.1 Послідовний діодний обмежувач.

Схема послідовного діодного обмежувача з урахуванням паразитних ємностей представлена на рис.5.14а. Ємність  $C$  складається із ємності навантаження  $C_n$  і ємності монтажу  $C_m$ :  $C=C_n+C_m$  може досягати одиниці і десятки пікофарад. Ємність  $C_d$  визначається прохідною ємністю діода. Величина  $C_d$  мала (1-2 пФ) і її вплив при  $C \gg C_d$  не значний і в подальшому

не будемо урахувати.

Розглянемо перехідні процеси в Схемі а,



**Рис.5.14** Перехідні процеси у послідовному діодному обмежувачі вважаючи ,що на вході діє напруга  $U_1$  стрибком змінюючи свою величину.(рис.5.14в). Після позитивного перепаду напруги  $U_1$  (час  $t_1$ ) діод відкривається і через нього протікає струм. Замінивши його еквівалентним опором  $r_d$ , отримаємо для цього режиму еквівалентну схему (рис.5,14б).

В цій Схемі Стала часу  $\tau$  визначається ємністю  $C$  і паралельним з'єднанням  $r_d$  і  $R$ , тобто стала часу заряду:

$$\tau_s = \frac{R \cdot r_d}{R + r_d} \cdot C$$

Виникає експоненціальний перехідний процес (рис.5.14г) ,так що  $U_2(t) = E_1 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_s}})$ , де  $E_x$  -напруга на виході схеми рис. 5.14б після закінчення перехідного процесу, її можна визначити ,як  $E_1 = E \cdot \frac{R}{R + R_d}$

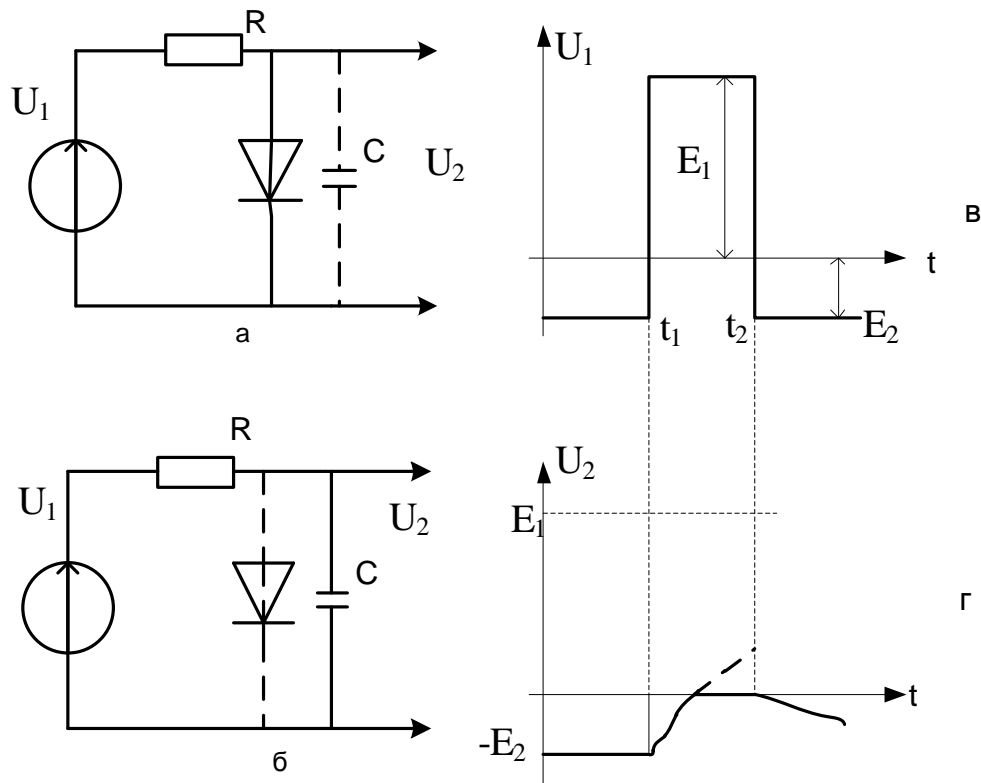
у момент часу  $t_2$  виникає негативний перепад напруги  $U_1$  і діод замикається ,і конденсатор  $C$  розряджається на резистор  $R$ . При цьому напруга на конденсаторі зменшується за експоненціальним законом:

$$U_2 = E_1 \cdot e^{-t/\tau_p}$$

де  $\tau_p = RC$  - стала часу розряду конденсатора  $C$  на резисторі  $R$ . Як правило, на практиці  $\tau_p > \tau_3$ , тому на виході обмежувача формується похилий зріз імпульсу (рис.5.14г). Фронт імпульсу  $U_2(t)$  можна визначити, як  $t_f \approx 3\tau_3$ . Зріз імпульсу  $i_3$   $\approx 3m_p$ . Таким чином в даній схемі послідовного діодного обмежувача інерційність визначається в основному зрізом імпульсу.

### 5.5.1 Паралельний діодний обмежувач

Схема паралельного діодного обмежувача з урахуванням паразитних ємностей представлена на рис.5.15а.



**Рис.5.15** Перехідні Процеси у паралельному діодному обмежувачі

Ємність  $C$  складається з ємності навантаження  $C_u$ , ємності монтажу  $c_m$  і ємності діода  $c_d$ .  $c = c_u + c_m + c_d$ .

До моменту часу  $t_x$  тобто до позитивного перепаду напруги  $U_x$  (рис. 5.15в) конденсатор  $C$  буде зарядженим до напруги  $-E_2$ . В момент часу  $t_x$  напруга на конденсаторі  $C$  не змінюється, діод залишається закритим і еквівалентна схема обмежувача буде такою, як зображено на рис.5.15 б. Зразу після перепаду при  $t > t_x$ , починається процес перезаряду конденсатора  $C$  через резистор  $R$  із сталою часу  $\tau = RC$ . Напруга на виході  $U_2(t)$  прямує до рівня  $E_1$ , за експоненційним законом, тобто

$$U_2(t) = E_1 - (E_1 + E_2) \cdot e^{-t/\tau}$$

Цей процес перезаряду закінчується як тільки  $U_2$  стає позитивним. Діод при цьому відкривається і вихідна напруга  $U_2 = 0$ .

Тривалість фронту  $t_{\phi}$  можна знайти із виразу (5.1) і при  $U_2(t) = 0$ , тоді

$$e^{-t_{\phi}/\tau} = \frac{E_1}{(E_1 + E_2)},$$

$$t_{\phi} = RC \ln[(E_1 + E_2)/E_1].$$

У момент  $t_2$ , коли на вході діє негативний перепад, діод закривається. Еквівалентна схема обмежувача залишається такою, як показана на рис. 5.156. Тільки тепер діє напруга  $-R_2$ . Конденсатор  $C$  заряджається через резистор  $K$  за законом

$$U_2(t) = -E_2 \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

і час заряду визначається тривалістю зрізу імпульсу  $t_3 - 3\tau = 3RC$ .

Таким чином, в паралельній схемі діодного обмежувача паразитна ємність, так як і в послідовній схемі спотворює форму вхідних імпульсів.

Рівні вихідної напруги встановлюються не миттєво, а за час відповідно  $t_{\phi}$  і  $t_3$ , при чому  $t_{\phi} < t_3$  незважаючи на однакову сталу часу  $\tau = RC$  як для заряду так і розряду конденсатора  $C$ .

## 5.6. Контрольно-навчальний тест до лекції №5.

Питання 5.1 Як зміниться коефіцієнт передачі схеми рис. 5.2 при збільшенні вхідної напруги	Вибір правильної відповіді 1- зменшиться 2- збільшиться
Питання 5.2 У схемі послідовного обмежувача рис. 5.5 б, як зміниться рівень обмеження зверху при збільшенні $E_{in}$ ?	Вибір правильної відповіді 1- збільшиться 2- зменшиться 3- залишиться незмінним
Питання 5.3 У схемі паралельного двохстороннього обмежувача рис. 5.10 а напруга стабілізації стабілітронів $V_{D1}$ , $V_{D2}$ $U_{cm} = U_{ввм} = 95$ , яка повинна бути амплітуда синусоїдної напруги $U_1(t)$ для отримання фронтів вихідних імпульсів $U_2(t)$ тривалістю $t_{\phi p} = 9 \cdot 10^{-5}$ с, коефіцієнт	Вибір правильної відповіді 1- $\approx 1105$ 2- $\approx 2205$ 3- $\approx 405$ 4- $\approx 62,85$

трансформації трансформатора $k=1$ , частота імпульсів 400 Гц?	
Питання 5.4 Для схеми рис.5.14 $r_{\partial} = 1000\text{Ом}$ $R = 9000\text{Ом}$ $E_1 = 8\text{В}$ . Чому дорівнює амплітуда $E_1$ вихідних імпульсів?	Вибір правильної відповіді 1- 9В 2- 8В 3- 7,2В
Питання 5.5 Від чого залежить тривалість фронту вихідного імпульсу схеми рис.5.14?	Вибір правильної відповіді 1- C 2- $r_{\partial}$ 3- C, $r_{\partial}$ , R 4- R 5- C, $r_{\partial}$
Питання 5.6 Від чого залежить тривалість зрізу вихідного імпульсу схеми рис.5.14?	Вибір правильної відповіді 1- C 2- R 3- C, R 4- R, $r_{\partial}$ 5- $r_{\partial}$ C
Питання 5.7 Від чого залежить тривалість фронту вихідного імпульсу схеми рис.5.15?	Вибір правильної відповіді 1- K, C 2- $E_1, R, C, E_2$ 3- C, $E_1, E_2$ 4- R, $E_1 E_2$
Питання 5.8 Від чого залежить тривалість зрізу вихідного імпульсу схеми рис.5.15?	Вибір правильної відповіді 1- R, C 2- $E_1, R, C, E_2$ 3- R, $E_1$ , 4- C, $E_1, E_2$ 5- R, $E_1, E_2$
Питання 5.9 Як зменшити тривалість фронту вихідного імпульсу схеми рис.5.15?	Вибір правильної відповіді 1- збільшити RC 2- зменшити RC і збільшити ( $E_1 + E_2$ ) 3- зменшити $E_x$