

# Лекція 9

## Перетворювачі напруга-частота (ПНЧ)

План лекції.

9.1. Вступ. Генератор керований напругою.

9.1. Вступ. Генератор керований напругою.

9.2. ПНЧ з розрядом конденсатора.

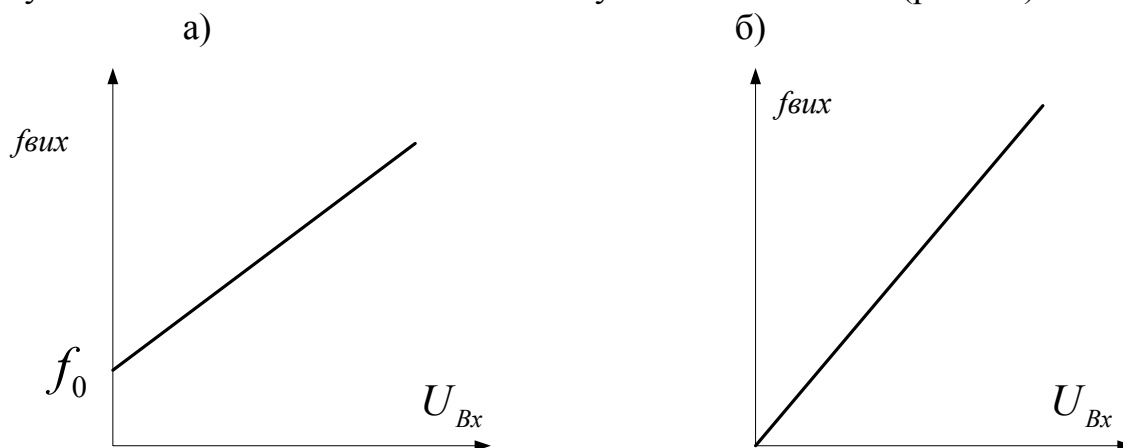
9.3. ПНЧ зі зміною напрямку інтегрування.

9.4. ПНЧ з імпульсним зворотнім зв'язком.

9.5. Контрольно-навчальний тест до лекції 9.

### 9.1. Вступ. Генератор керований напругою

Перетворювачі напруга-частота поділяються на два типи: з початковою ненульовою частотою і з початковою нульовою частотою (рис 9.1)

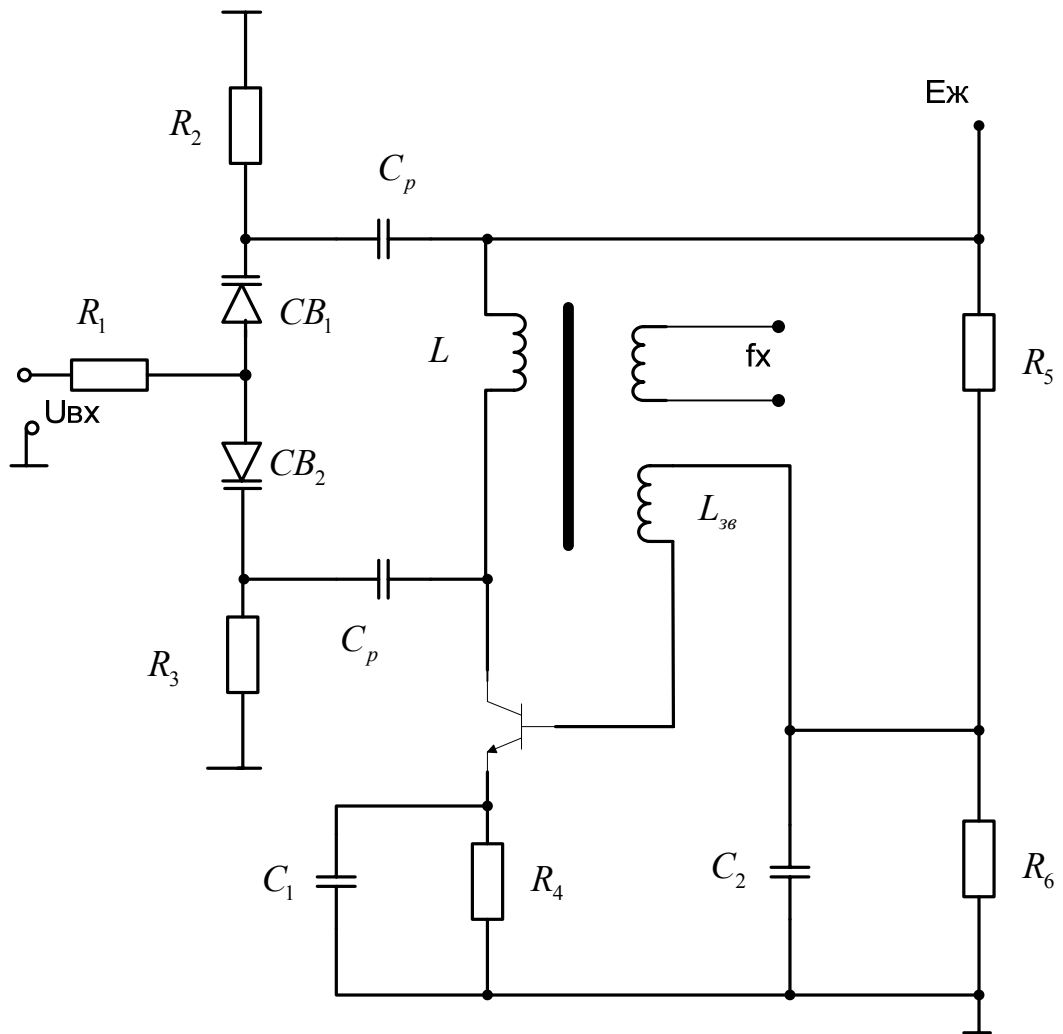


Мал. 9.1. Вихідні характеристики ПНЧ.

Перетворювачі першого типу зручні при передачі частотних сигналів на великі відстані (безпроводна і провідна лінії зв'язку), тому що дозволяють контролювати справність лінії зв'язку і всього тракту передачі. Крім того, частотний сигнал має високу завадостійкість.

ПНЧ другого типу ( $f_0=0$ ) зручні для застосування у вимірювальних пристроях (датчики, вимірювачі напруги, опору і т.п.), та для отримання кодового сигналу.

Розглянемо, як приклад, високочастотний генератор з початковою ненульовою частотою керований напругою (ГКН). У такому ГКН в якості частотнозадаючих елементів використовують різні електронно-керовані елементи: оптрони, варікапи, польові транзистори, котушки з підмагнічуванням тощо.



Мал. 9.2. ГКН з використанням варикапів.

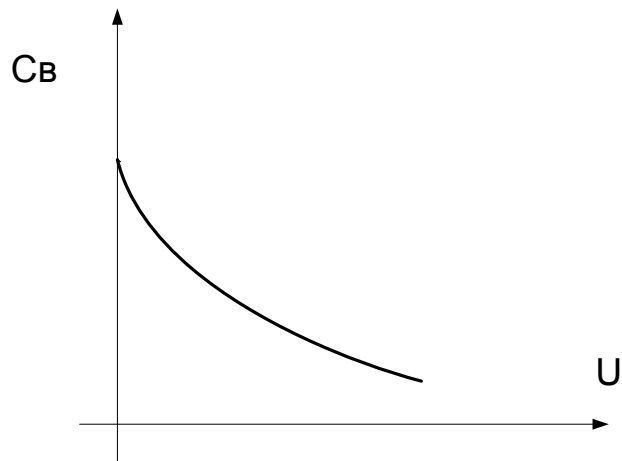
Для високих частот застосовують ГКН з використанням варикапів за схемою мал. 9.2. Тут використовуються транзистори з колами, які задають режим по постійному струму ( $R_4, R_5, R_6, C_1, C_2$ ) і LC – контур на котушці  $L$  і послідовно ввімкнутих варикапах  $C_{B1}, C_{B2}$ . Роздільні конденсатори  $C_p$  мають велику ємність і використовуються для розділення кіл живлення і  $U_{BX}$ . Керування варикапами здійснюється через обмежувальний резистор  $R_1$ . Резистори  $R_2, R_3$  використовуються для утворення стійкого контуру вхідного струму.

Для реалізації умов генерації через обмотку  $L_{36}$  заведено позитивний зворотній зв'язок на базу транзистора

Частота коливань визначається:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \text{ де } C = \frac{C_{B1} \cdot C_{B2}}{C_{B1} + C_{B2}}$$

Залежність вихідної частоти від  $U_{BX}$  нелінійна, що свідчить з попереднього виразу, крім того залежність  $C_B=f(U)$  також нелінійна



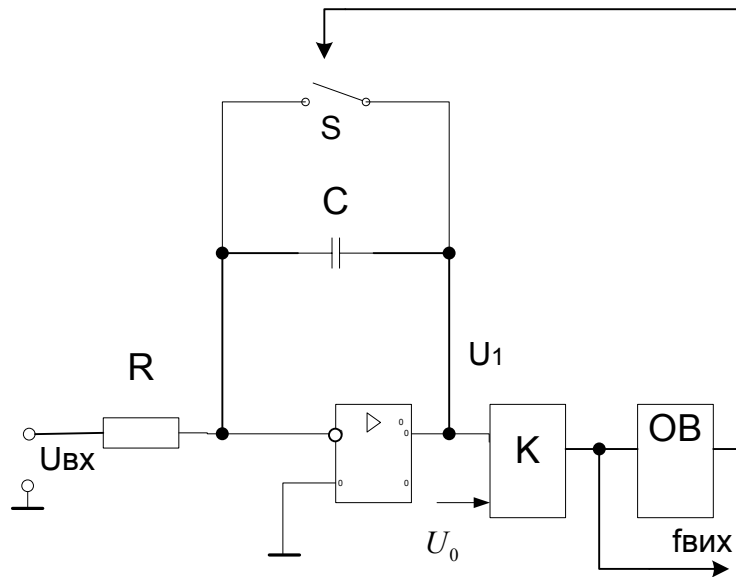
Мал. 9.3. Залежність ємності варикапа від напруги.

Застосування двох варикапів необхідно для зменшення паразитної частотної модуляції від власних коливань напруги в контурі. Так, при зростанні напруги на одному варикапі, із-за їх зустрічного включення, напруга на другому варикапі спадає. Загальна їх ємність залишається постійною і не виникає модуляції цієї ємності напругою LC-контура. Це призводить до того, що миттєвий спектр на виході цієї схеми близький до монохроматичного спектру.

Така схема знаходить застосування в характеристиографах, генераторах коливаючої частоти, синтезаторах частот, у системах пошуку частоти і т.д.

## 9.2. ПНЧ з розрядом конденсатора.

На мал. 9.4 зображена схема перетворювача напруга-частота з розрядом конденсатора.

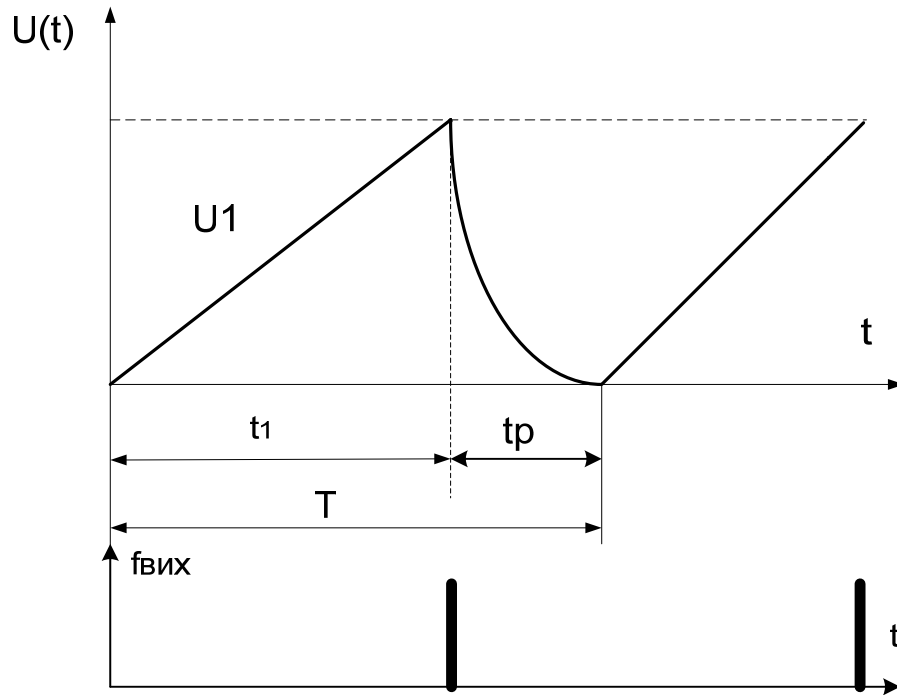


Мал. 9.4. ПНЧ з розрядом конденсатора.

При подачі постійної напруги на вхід ПНЧ відбувається заряд конденсатора С за законом  $U_1(t) = U_{вх}(t) \cdot t / RC$ . Компаратор спрацьовує, коли  $U_{вх} \frac{t_1}{RC} = U_0$ , де  $t_1$ -час заряду конденсатора. Короткий імпульс з компаратора змушує спрацювати одновібратор ОБ, що формує імпульс, протягом якого замикається ключ S, і конденсатор швидко розряджається. Далі конденсатор знову заряджається і процес повторюється.

Час розряду конденсатора позначимо через  $t_p$ , тоді відповідно до мал. 9.5

$$T = t_1 + t_p, \quad t_1 = \frac{1}{T} = \frac{U_0 RC}{U_x},$$



Мал. 9.5-Діаграма напруг ПНЧ з розрядом конденсатора

А частота коливань:

$$f = \frac{1}{\frac{RCU_0}{U_x} + t_p} = \frac{U_x}{RCU_0 + t_p U_x} = \frac{U_x}{RCU_0(1 + t_p \frac{U_x}{RCU_0})} \approx \frac{U_x}{RCU_0} (1 - t_p \frac{U_x}{RCU_0})$$

Залишок  $t_p \frac{U_x}{RCU_0}$  створює нелінійність функції перетворення цього ПНЧ.

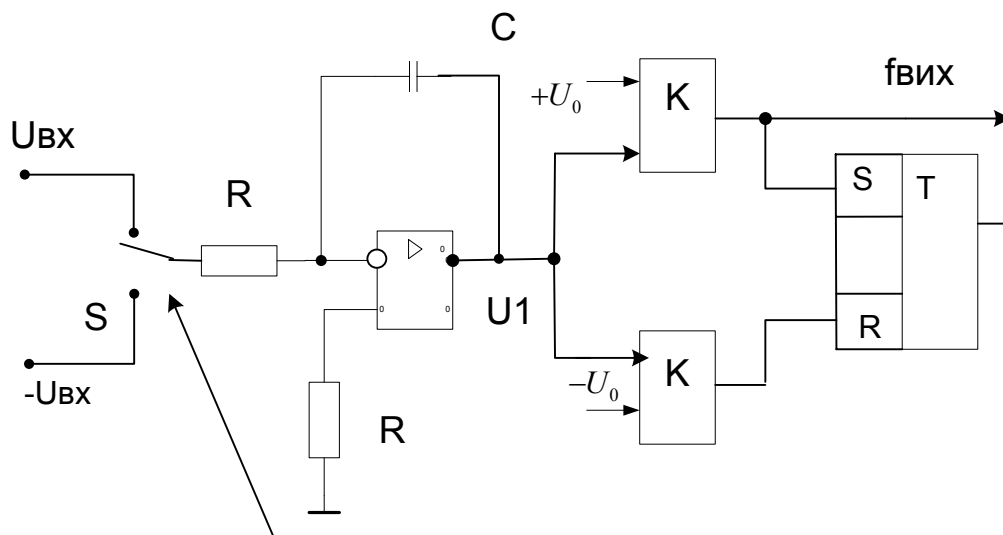
Похибки схеми виникають із-зі нестабільності  $R, C, U_0$ , дрейфу нуля ОП. На основі цієї схеми реалізовано ПНЧ з такими характеристиками:

похибка 0,5%;

вхідна напруга 0,1...1В;

частота вихідних імпульсів 0÷10кГц.

### 9.3. ПНЧ зі зміною напрямку інтегрування.



Мал. 9.6-ПНЧ зі зміною напрямку інтегрування.

В даній схемі використовується два компаратори з різними рівнями порівнювальних напруг. На вхід схеми подається різнополярна, але однакова напруга  $\pm U_{ВХ}$ . Нехай ключ S знаходиться в верхньому положенні, тоді напруга на виході інтегратора

$$U_1(t) = (U_{ВХ} + U_{др}) \frac{t}{RC} - U_0, \text{ де } U_{др} - \text{ дрейф нуля ОП.}$$

В момент часу  $t = T_1$

$$U_1(T_1) = (U_{ВХ} + U_{др}) \frac{T_1}{RC} - U_0 = U_0, \text{ звідки } T_1 = \frac{2U_0RC}{U_{ВХ} + U_{др}}$$

Спрацьовує компаратор  $K_1$ , переводить тригер Т в стан 1, від якого ключ S переходить в нижнє положення і напруга інтегратора зменшується

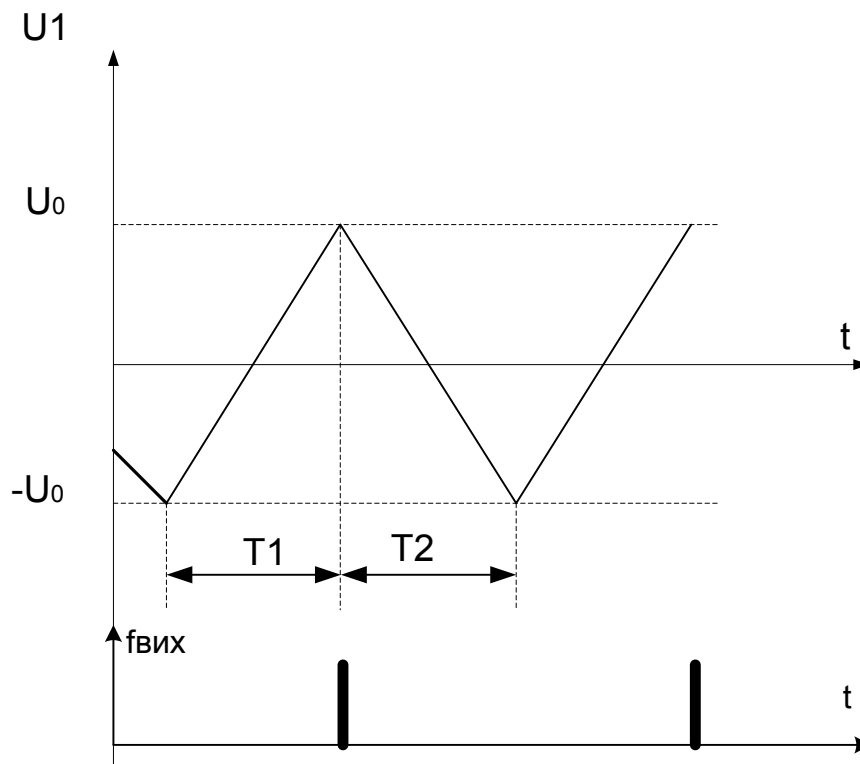
$$U_1(t) = (-U_{ВХ} + U_{др}) \frac{t}{RC} + U_0 = U_0$$

В момент часу  $T_2$

$$U_1(T_2) = (-U_{ВХ} + U_{др}) \frac{T_2}{RC} + U_0 = -U_0 \text{ звідки } T_2 = \frac{2U_0RC}{U_{ВХ} - U_{др}}$$

спрацьовує компаратор  $K_2$ , переводить тригер Т в стан 0, від якого ключ S переходить у верхнє положення. Далі процес повторюється.

Частота вихідних коливань:  $f = \frac{1}{T_1 + T_2}$



Мал. 9.7. Діаграма напруг ПНЧ за схемою рис 9.6.

Тоді частота вихідних коливань:

$$f = \frac{1}{T_1 + T_2} = \frac{1}{\frac{2U_0 RC}{U_{ex} + U_{др}} + \frac{2U_0 RC}{U_{ex} - U_{др}}} = \frac{1}{\frac{2U_0 RC(U_{ex} - U_{др}) + 2U_0 RC(U_{ex} + U_{др})}{(U_{ex} + U_{др})(U_{ex} - U_{др})}} =$$

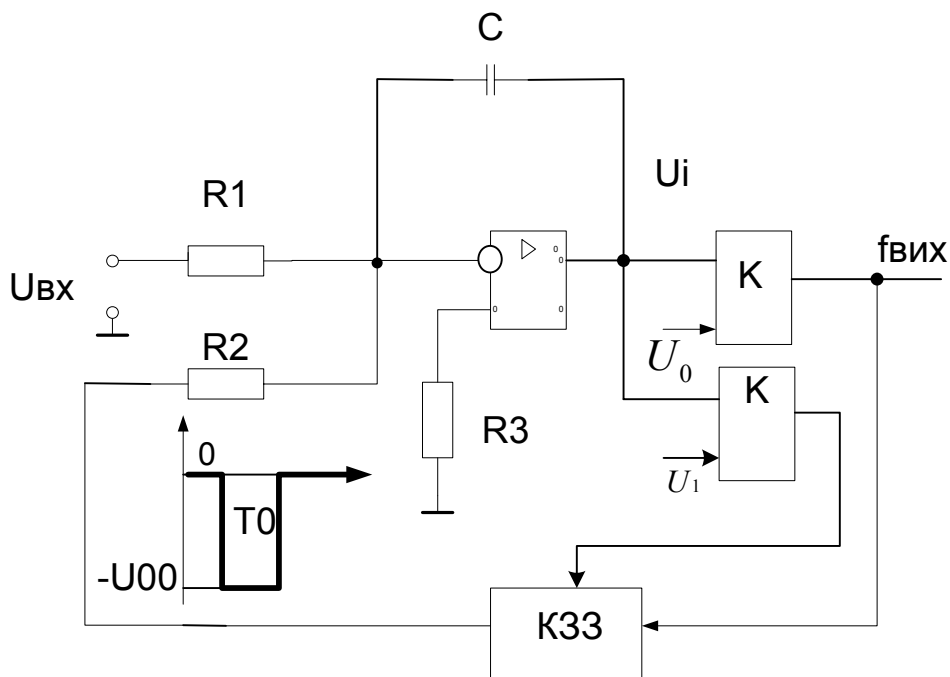
$$= \frac{U_{ex}^2 - U_{др}^2}{4U_0 RC U_{ex}} = \frac{U_{ex}}{4U_0 RC} \left[ 1 - \left( \frac{U_{др}}{U_{ex}} \right)^2 \right]$$

Якщо  $\frac{U_{др}}{U_{ex}} \ll 1$  схема лінійна, джерелом похибки є нестабільність  $R, C, U_0$ .

Суттєво зменшується похибка від дрейфу нуля ОП і компаратора.

Похибка даної схеми складає близько 0,1%, вимоги до вхідного перемикача високі.

#### 9.4. ПНЧ з імпульсним зворотнім зв'язком.



Мал. 9.8. ПНЧ з імпульсним зворотнім зв'язком.

На вхід схеми надходить постійна вхідна напруга  $U_{вх}$ , яка заряджає конденсатор  $C$

На виході інтегратора напруга  $U_i$  лінійно зростає від рівня  $-U_1$  до рівня  $U_0$ . При  $U_i=U_0$  спрацьовує компаратор і через коло зворотнього зв'язку КЗЗ генерується від'ємний імпульс тривалістю  $T_0$  і амплітудою  $-U_{00}$ , котрий перезаряджає конденсатор  $C$  до рівня  $-U_1$ . Заряд конденсатора від  $U_{вх}$  відбувається за формулою:  $U_{вх} \frac{t}{R_1 C} - U_1$ , а розряд від  $U_{00}$  відповідно

$$U_0 - U_{00} \frac{t}{R_2 C}.$$

В момент часу  $t = T_1$  :

$$U_{вх} \frac{T_1}{R_1 C} - U_1 = U_0$$

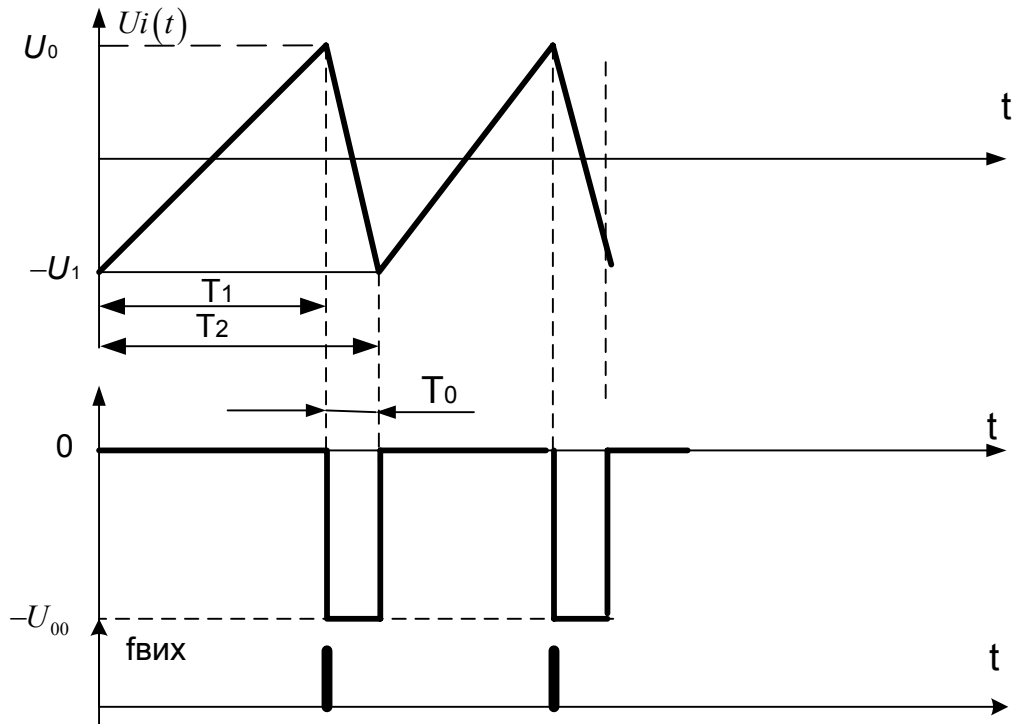
В момент часу  $t = T_2$ :

$$U_0 - U_{00} \frac{T_0}{R_2 C} = -U_1$$

Значить для інтервалу заряду конденсатора протягом часу  $T_1$  можна записати

$$U_{вх} \frac{T_1}{R_1 C} + U_0 - U_{00} \frac{T_0}{R_2 C} = U_0, \text{ тобто } T_1 = \frac{U_{00} T_0 R_1}{U_{вх} R_2}$$





Мал. 9.9. Діаграма напруг ПНЧ з імпульсним зворотнім зв'язком.

Частота вихідних коливань :  $f_{вих} = \frac{1}{T_1 + T_0}$ .

Якщо задати  $U_{00}$  достатньо великим, то  $T_0 \rightarrow 0$  і частота коливань вихідного сигналу визначається, як:

$$f_{вих} \cong \frac{1}{T_1} = \frac{U_{ex} R_2}{U_{00} T_0 R_1}$$

Значення для  $U_1$  вибрати і нульовим, тобто  $U_1=0$ .

Похибки цього ПНЧ визначаються:

нестабільністю імпульсу зворотнього зв'язку ( $U_{00}, T_0$ );

неідентичністю резисторів  $R_2, R_1$ ;

дрейфом нуля ОП;

Перевагою схеми є те, що в ній відсутні вхідні ключі. Нестабільність компараторів і їх опорних напруг, не впливають на похибку ПНЧ, Загальна точність схеми висока, похибка сягає 0,01%.

## 9.5 Контрольно-навчальний тест до лекції 9.

### Питання 9.1

ГКН з використанням варикапів застосовуються для:

Вибір правильної відповіді

- 1 – низьких частот
- 2 – середніх частот
- 3 – високих частот

### Питання 9.2

Для реалізації умов генерації (ГКН з використанням варикапів) через обмотку заведено позитивний зворотній зв'язок на:

Вибір правильної відповіді

- 1 – колектор транзистора
- 2 – базу транзистора
- 3 – емітер транзистора

### Питання 9.3

Частота коливань визначається:

Вибір правильної відповіді

- 1 -  $f = 2\pi\sqrt{LC}$
- 2 -  $f = \frac{2\pi}{\sqrt{LC}}$
- 3 -  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

### Питання 9.4

Застосування 2-х варикапів необхідно для:

Вибір правильної відповіді

- 1 – зменшення паразитної частотної модуляції
- 2 – збільшення чутливості частотної модуляції
- 3 – збільшення стабільності паразитної частотної модуляції

### Питання 9.5

При зростанні напруги на одному варикапі, із-за їх зустрічного включення, напруга на другому варикапі:

Вибір правильної відповіді

- 1 – зростає
- 2 – зменшується
- 3 – залишається незмінною

### Питання 9.6

Одною з переваг ПНЧ з імпульсним зворотнім зв'язком є:

Вибір правильної відповіді

- 1 – відсутність вхідних ключів
- 2 – наявність вхідних ключів
- 3- те, що ємність конденсатора впливає на похибку ПНЧ

### Питання 9.7

В момент часу  $T_1$  спрацьовує компаратор  $K_1$  і ключ  $S$  переходить в нижнє положення (рис. 9.6) і напруга інтегратора:

Вибір правильної відповіді

- 1 – збільшується
- 2 – зостається незмінною
- 3 – зменшується

### Питання 9.8

Після закінчення часу  $T_2$  спрацьовує компаратор  $K_2$  і переводить ключ  $S$  у верхнє положення (рис 9.6). Далі процес:

Вибір правильної відповіді

- 1 - зупиняється
- 2 - продовжується
- 3 – повторюється

### Питання 9.9

Похибка схеми (рис 9.6) складає близько

Вибір правильної відповіді

- 1 – 0,9 %
- 2 – 0,1 %
- 3 – 0,5 %

### Питання 9.10

На вхід схеми (рис 9.8):

Вибір правильної відповіді

- 1 – надходить змінна вхідна напруга
- 2 – напруга не надходить
- 3 – надходить постійна вхідна напруга