

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 10.02.2022 15:45:00

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

«22» сентября 2016 г.



## ГЕНЕРАТОРЫ ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Методические указания по выполнению лабораторной работы  
по дисциплинам «Электротехника, электроника, схемотехника»  
и «Основы электроники»  
для студентов специальности 09.03.01 «Информатика  
и вычислительная техника»

Курск 2016

УДК 621.37(075)

Составители: В. И. Иванов, Бобырь М.В.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Е.О. Брежнева*

**Генераторы линейно изменяющегося напряжения:**  
методические указания по выполнению лабораторной работы по дисциплинам «Электротехника, электроника, схемотехника» и «Основы электроники» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: В. И. Иванов, М.В. Бобырь. – Курск, 2016. – 12 с.: ил. 5, табл. 2. – Библиогр.: с.12.

Изложена методика проектирования генераторов линейно изменяющегося напряжения – «пилообразной» и «треугольной» формы, – работа которых основана на заряде и разряде конденсатора, и исследования работы генераторов пилообразного и треугольного напряжения; приведены рекомендации по применению программы моделирования электронных схем **Electronics Workbench 5.0** для исследования характеристик генераторов.

Методические указания соответствуют требованиям программы дисциплин «Электротехника, электроника, схемотехника» и «Основы электроники».

Предназначены для студентов специальности 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 22.09.16. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,6. Тираж 50 экз. Заказ 950. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

# ГЕНЕРАТОРЫ ЛИНЕЙНО ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ

## 1. Цель работы

Проектирование и исследование схем генераторов пилообразного напряжения (ГПН) и треугольного напряжения (ГТН), работающих в режиме самовозбуждения (в автоколебательном режиме).

## 2. Основные теоретические положения и описание принципиальной схемы

Генераторы пилообразного и треугольного напряжения вырабатывают импульсы линейно изменяющегося (нарастающего или убывающего) напряжения. Отличие ГПН и ГТН состоит в том, что в первом из них напряжение изменяется по линейному закону только на стадии «прямого хода», а в другом – на обеих стадиях, – и «прямого» и «обратного» хода. И те, и другие генераторы могут работать как в ждущем, так и в автоколебательном режиме.

**Генераторы пилообразного напряжения (ГПН)** во время прямого хода формируют линейно изменяющееся напряжение, а во время обратного хода напряжение монотонно возвращается к начальному уровню обычно по экспоненциальному закону.

Цикл генератора, работающего в ждущем режиме, состоит из трех стадий:

- 1) рабочей стадии («прямого хода») длительностью  $T_{пр}$ , во время которой выходное напряжение изменяется по линейному закону от начального значения  $U_{нач}$  до конечного  $U_{кон}$ ;
- 2) стадии восстановления («обратного хода») длительностью  $T_{обр}$ , во время которой напряжение возвращается к исходному значению  $U_{нач}$ ;
- 3) стадии ожидания длительностью  $T_{ож}$ . Если генератор работает в автоколебательном режиме, то стадия ожидания отсутствует.

Как правило, для получения линейно изменяющегося напряжения используется процесс заряда или разряда конденсатора. Скорость изменения напряжения на конденсаторе зависит от тока и емкости конденсатора:

$$\frac{du_C}{dt} = \frac{i_C}{C}.$$

Для получения линейного напряжения в ГПН необходимо во время прямого хода обеспечить постоянство тока через конденсатор. Амплитуда выходного напряжения  $U_m = |U_{\text{кон}} - U_{\text{нач}}|$  равна

$$U_m = \frac{I_C T_{\text{пр}}}{C}. \quad (1)$$

Схема ГПН, принцип работы которого основан на заряде конденсатора постоянным током, представлена на рисунке 1. На рабочей стадии конденсатор  $C$  заряжается током стока полевого транзистора  $VT2$ , на стадии восстановления разряжается через транзисторный ключ  $VT1$ . Полевой транзистор  $VT2$  с каналом  $p$ -типа работает как источник стабильного тока  $I_C$ . Ток стока в области насыщения выходных характеристик при  $U_{\text{си}} > U_{\text{си.нас}}$  очень слабо зависит от напряжения сток-исток и определяется напряжением затвор-исток.

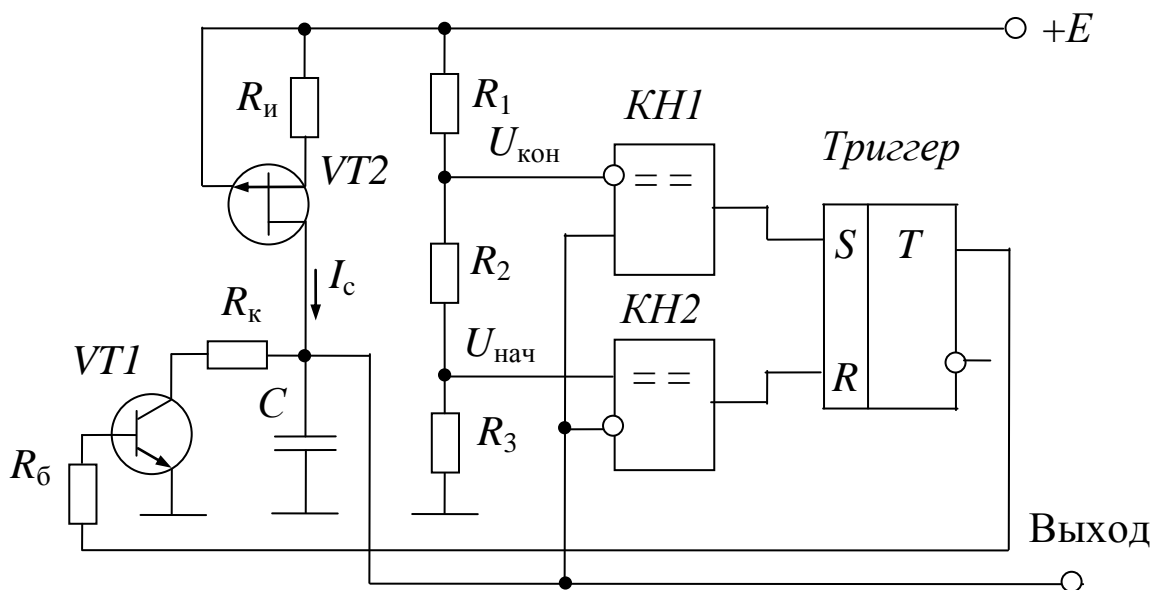


Рис. 1. Схема генератора пилообразного напряжения

Полевой транзистор работает в режиме автосмещения: напряжение смещения  $U_{\text{зи}}$  создается за счет падения напряжения на резисторе  $R_{\text{и}}$ . Величина тока стока устанавливается сопротивлением  $R_{\text{и}}$  в цепи истока. Начальное значение  $U_{\text{нач}}$  и конечное значение  $U_{\text{кон}}$

пилообразного напряжения задаются резисторным делителем  $R1-R2-R3$ :

$$U_{\text{нач}} = \frac{R_3 E}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad U_{\text{кон}} = \frac{(R_2 + R_3) E}{R_1 + R_2 + R_3}. \quad (2)$$

Указанные уровни напряжения определяют амплитуду  $U_m$ . Длительность прямого хода

$$T_{\text{пр}} = \frac{U_m C}{I_c}. \quad (3)$$

Начало прямого хода синхронизируется выходным сигналом компаратора напряжений  $KH2$ , который устанавливает триггер по входу  $R$  ("Reset") в состояние "0", при этом транзистор  $VT1$  закрывается и начинается линейный заряд конденсатора. Когда напряжение на конденсаторе достигает  $U_{\text{кон}}$ , т.е. порога срабатывания компаратора напряжений  $KH1$ , последний переключает триггер по входу  $S$  ("Set") в состояние "1", при этом открывается транзистор  $VT1$ , через который происходит разряд конденсатора до напряжения  $U_{\text{нач}}$ .

Сопротивление  $R_{\text{и}}$  в цепи истока транзистора  $VT2$  можно предварительно рассчитать по формуле

$$R_{\text{и}} = \frac{U_{\text{зи.отс}}}{I_c} \left( 1 - \sqrt{\frac{I_c}{I_{\text{с.нач}}}} \right), \quad (4)$$

где напряжение отсечки  $U_{\text{зи.отс}}$  и начальный ток  $I_{\text{с.нач}}$  – параметры транзистора,  $I_c$  – требуемый ток заряда. Значения параметров  $U_{\text{зи.отс}}$  и  $I_{\text{с.нач}}$  следует найти в свойствах полевого транзистора. Например, у транзистора J2N5021  $U_{\text{зи.отс}} = 1$  В,  $I_{\text{с.нач}} = 2,66$  мА. Для получения тока, равного 1 мА, расчетное сопротивление  $R_{\text{и}} = 387$  Ом. Более точно ток регулируют подбором сопротивления  $R_{\text{и}}$ .

**Генераторы напряжения треугольной формы (ГТН)** отличаются от ГПН тем, что у них как заряд, так и разряд конденсатора осуществляется токами, значение которых неизменны. Принцип работы ГТН также базируется на выполнении операций интегрирования и сравнения. Поэтому схемы релаксационных генераторов колебаний пилообразной, треугольной и прямоугольной формы, как правило, идентичны, а форма сигнала определяется точкой, которая принимается за выход.

Генератор сигналов треугольной формы, схема которого представлена на рисунке 2, включает в свой состав интегратор на ОУ  $DA2$ , пороговый детектор (типа триггера Шмитта) на ОУ  $DA1$  и параметрический стабилизатор напряжения  $R1, VD1, VD2$ .

На выходе первого ОУ, работающего в качестве порогового устройства, устанавливается одно из двух возможных состояний насыщения и в точке  $a$  формируется напряжение, равное либо  $U_{a.max} = U_{ст} + U_{д.пр}$ , либо  $U_{a.min} = -(U_{ст} + U_{д.пр})$ . В зависимости от его полярности конденсатор интегратора может заряжаться или разряжаться, в результате чего выходное напряжение изменяется по линейному закону со скоростью

$$\frac{du_{\text{ВЫХ}}}{dt} = -\frac{U_a}{R_2 C}. \quad (5)$$

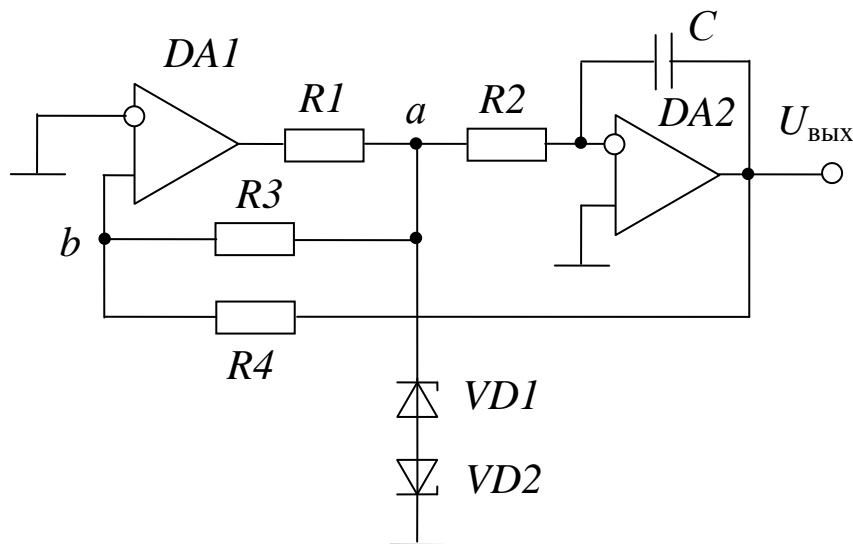


Рис. 2. Генератор напряжения треугольной формы

Когда напряжение в точке  $a$  имеет высокий уровень  $U_{a.max}$ , выходное напряжение понижается. Как только оно достигает минимального значения, равного  $U_{\text{ВЫХ.min}} = -U_{a.max} \frac{R_4}{R_3}$ , напряжение в точке  $b$  проходит через нулевой уровень, состояние выхода порогового детектора  $DA1$  скачком изменяется на противоположное, и в точке  $a$  устанавливается напряжение низкого уровня  $U_{a.min}$ . Это приводит к смене знака скорости изменения выходного напряжения интегратора, и

оно повышается до максимального уровня  $U_{\text{вых.мах}} = -U_{\text{а.мин}} \frac{R_4}{R_3}$ . В результате на выходе генератора формируется напряжение  $u_{\text{вых}}$  треугольной формы с периодом

$$T = 4 \frac{R_4}{R_3} R_2 C. \quad (6)$$

Диаграммы напряжений в схеме ГТН изображены на рисунке 3. Чтобы обеспечить симметрию положительного и отрицательного треугольников выходного напряжения, токи перезаряда интегратора должны значительно превышать входные токи ОУ DA2. Если его напряжение смещения  $U_{\text{см}}$  гораздо меньше значения  $U_{\text{вых.мах}}$ , то смещение выходного сигнала относительно нулевого уровня будет практически отсутствовать. Регулировку частоты выходного напряжения целесообразно осуществлять подстройкой резистора  $R_2$ .

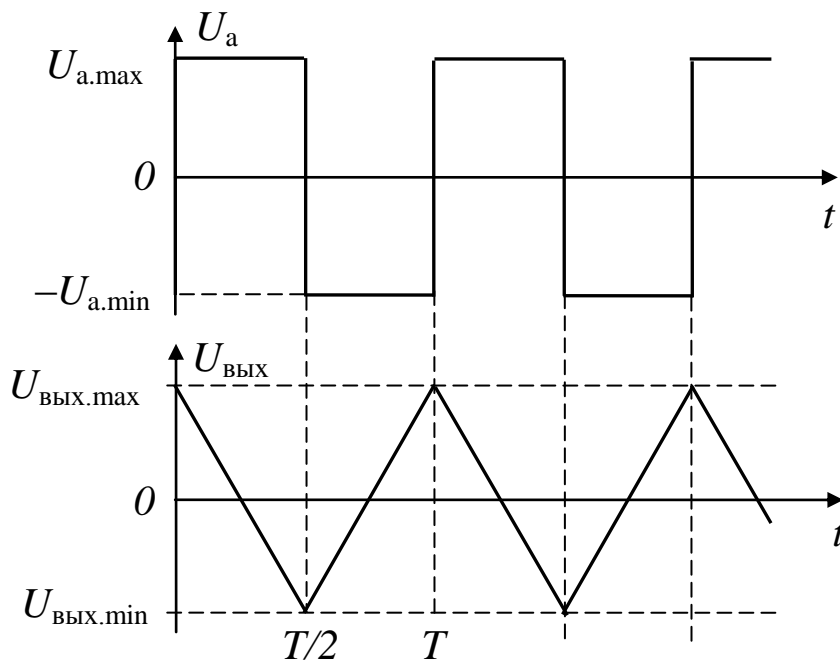


Рис. 3. Диаграммы напряжений в схеме ГТН

Амплитудой выходного напряжения ГТН называют перепад напряжения на выходе интегратора:

$$U_{\text{вых.п}} = U_{\text{вых.мах}} - U_{\text{вых.мин}}.$$

Амплитуду можно выразить с помощью значений напряжения в точке **a**:

$$U_{\text{вых.м}} = \frac{R_4}{R_3} (U_{\text{а.мах}} - U_{\text{а.мин}}). \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет найти сопротивления резисторов  $R_3$  и  $R_4$ .

### 3. Программа исследований и методические указания

Работа проводится на персональном компьютере с помощью программы схемотехнического моделирования **Electronics Workbench 5.0с**.

#### 1. Исследование ГПН с генератором стабильного тока

Собрать схему генератора пилообразного напряжения с источником стабильного тока (рис. 4). Исходные данные для проектирования схемы ГПН приведены в табл. 1.

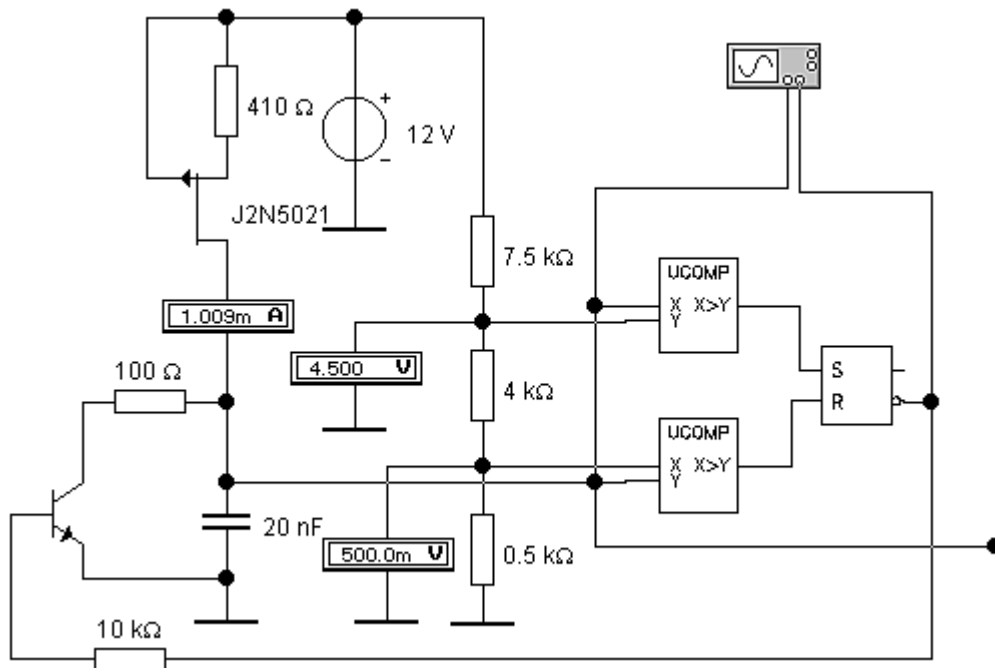


Рис. 4. Генератор пилообразного напряжения с источником тока

Используя формулы (1) – (4), рассчитать компоненты схемы генератора, включая сопротивления резисторного делителя  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , которые обеспечивают заданные параметры пилообразных импульсов. При расчете сопротивлений резисторного делителя в схеме ГПН с источником стабильного тока принять ток через



резисторы  $R1 - R3$ , равным  $1 \text{ мА}$ . Тогда падение напряжения на каждом резисторе численно равно его сопротивлению (в  $\text{кОм}$ ).

При вычислениях по формулам (1) – (7) использовать единицы измерений:

- 1) Вольты – для напряжений;
- 2)  $\text{мА}$  – для тока;
- 3)  $\text{мкс}$  – для интервалов времени;
- 4)  $\text{нФ}$  – для емкости;
- 5)  $\text{кОм}$  – для сопротивлений.

Установить в свойствах компаратора (модель **Comparator** из магазина **Analog ICs**) параметр **Input Offset Voltage** (Напряжение смещения)  $0 \text{ V}$ .

Таблица 1. Варианты заданий

Вариант	$U_{\min}, \text{В}$	$U_{\max}, \text{В}$	$U_{\text{м}}, \text{В}$	$T_{\text{пр}}, \text{мкс}$	$I_{\text{с}}, \text{мА}$	$C, \text{нФ}$
1		6.0	5.0	100		20
2	0.5		6.0		1.5	15
3	1.5	6.0		90	1.5	
4		6.0	4.0	80		20
5	0.5		6.0		1.5	45
6	1.5	6.5		100	2.0	
7		6.0	4.0	75		30
8	1.0		5.4		2.7	50
9	0.5	6.5		75	2.4	
10		6.5	5.0	80		40
11	2.0		4.0		2.0	45
12	1.0	6.0		100	2.5	
13		6.5	6.0	120		30
14	1.5		5.0		2.0	40

Построить с помощью осциллографа временные диаграммы напряжений на конденсаторе  $C$  и на выходе триггера. На основании

этих осциллограмм проверить соответствие результатов эксперимента заданию в табл. 1.

Для получения качественного изображения и синхронизации всех временных диаграмм войти в меню: *Analysis / Analysis Options... / Instruments / Oscilloscope* отключить “**Generate time steps automatically**”, установить в графе “**Minimum number of time points**” количество точек 400 или 500.

## 2. Исследование ГТН на интеграторе напряжения

Собрать схему ГТН на основе интегрирующего усилителя (рис. 5). Выбрать из библиотеки **Motor\_1n** модель стабилитрона, указанную в задании, и записать его параметр  $U_{ст}$ . Используя формулы (5) – (7), рассчитать компоненты схемы генератора, которые обеспечивают заданные параметры треугольных импульсов.

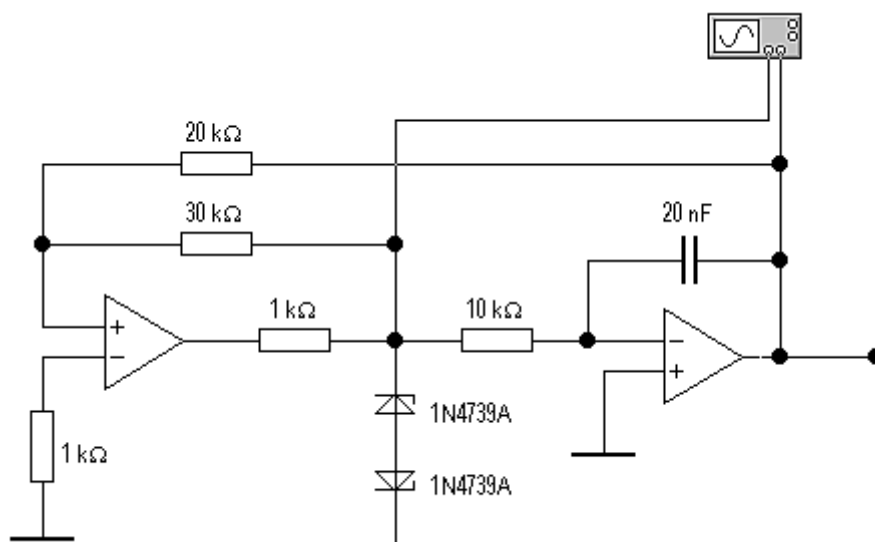


Рис. 5. Генератор треугольного напряжения

Исходные данные для проектирования схемы ГТН приведены в табл. 2.

Таблица 2. Варианты заданий

Вариант	Тип стабилитрона	$U_{\text{вых.м.}}$ , В	$T$ , мкс	$R_3$ , кОм	$R_4$ , кОм	$C$ , нФ	$R_2$ , кОм
1	1N4731A	10	100	49		15	6
2	1N4732A	14	150		70	10	
3	1N4735A	12	120	68			10

Вариант	Тип ста- билитрона	$U_{\text{вых.м}},$ В	$T, \text{ мкс}$	$R_3,$ кОм	$R_4,$ кОм	$C, \text{ нФ}$	$R_2,$ кОм
4	1N4734A	15	80		75		5
5	1N4734A	12	100	62		20	
6	1N4736A	16	60		80		10
7	1N4737A	10	75	81		10	15
8	1N4738A	8	100		40		20
9	1N4739A	14	150	97		10	
10	1N4736A	10	120		50		8
11	1N4733A	12	80	57		20	
12	1N4736A	15	120		75	15	4
13	1N4738A	14	60	88			10
14	1N4740A	10	75		50	15	

Запустить цикл работы генератора. Построить с помощью осциллографа временные диаграммы напряжений в точке *a* и на выходе интегратора. На основании этих осциллограмм проверить соответствие результатов эксперимента заданию в табл. 2.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Какой процесс используется в ГПН для получения линейно изменяющегося напряжения?
2. От чего зависит скорость изменения напряжения на конденсаторе?
3. Какое условие необходимо для получения линейного изменения напряжения на конденсаторе?
4. Каким образом задается в исследуемых генераторах требуемая амплитуда пилообразного напряжения?
5. От чего зависят длительности стадии прямого хода (выходного импульса) и стадии обратного хода (восстановления)?
6. От чего зависят длительности стадий заряда и разряда времязадающего конденсатора?
7. Почему полевой транзистор можно использовать в качестве источника постоянного тока?

8. Почему в ГПН во время обратного хода выходное напряжение изменяется не по линейному закону? А по какому?
9. В какие моменты времени происходит переключение направления изменения выходного напряжения ГТН?

### **5. Содержание отчёта**

Отчёт должен содержать:

- 1) титульный лист;
- 2) наименование работы и цель исследований;
- 3) схемы исследуемых генераторов пилообразного и треугольного напряжения;
- 4) результаты расчета элементов ГПН и ГТН, осциллограммы напряжений и результаты измерения параметров генераторов.
- 5) титульный лист;
- 6) наименование работы и цель исследований;

### **Библиографический список**

1. Титов, В.С. Проектирование аналоговых и цифровых устройств: Учеб. Пособие для студентов вузов / В.С. Титов, В.И. Иванов, В.М. Бобырь // М.: ИНФРА-М, 2014. 143 с.
2. Электротехника и электроника: Учебное пособие / В.М. Бобырь, В.И. Иванов, В.С. Титов, А.С. Ястребов. В 2 кн. – Курск: Курск. гос. тех. ун-т. – 2009. Кн. 2. – Электроника. – 240 с.
3. Гусев, В.Г. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник для вузов. / В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. Изд. 3-е. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.
4. Опадчий, Ю.Ф. Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов / Ю.Ф. Опадчий, О.П. Глудкин, А.И. Гуров; Под ред. О.П. Глудкина. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2002. – 768 с.