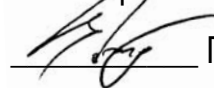


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Утверждаю

Зав. каф. ПМЭ ИНК



Г.С. Евтушенко

« 14 » ноября 2013 г.

Гребенников В.В., Огородников Д.Н.

ГЕНЕРАТОРЫ ПИЛООБРАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Микроэлектроника» для студентов III курса,
обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и
201000 «Биотехнические системы и технологии»

Издательство
Томского политехнического университета
2013

УДК 621.314
ББК 32.847.3
Г79

Гребенников В.Н.

Г79 Генераторы пилообразного напряжения: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Микроэлектроника» для студентов III курса, обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и 201000 «Биотехнические системы и технологии» / В.В. Гребенников, Д.Н. Огородников; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 17 с.

**УДК 621.314
ББК 32.847.3**

Методические указания рассмотрены и рекомендованы
к изданию методическим семинаром кафедры
промышленной и медицинской электроники ИНК
« 12 » ноября 2013 г.

Зав. кафедрой ПМЭ
проф., доктор техн. наук


Г.С. Евтушенко

Рецензент
доцент каф. ПМЭ ТПУ, канд. техн. наук
Е.В. Ярославцев

© ГОУ ВПО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет», 2013
© Гребенников В.В., 2013
© Огородников Д.Н., 2013
© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2013

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью настоящей лабораторной работы является закрепление у студентов теоретических знаний и получение ими практических навыков по расчету, сборке и исследованию схем генераторов линейно изменяющегося напряжения, выполненных на основе интегрирующей RC-цепи и токостабилизирующего двухполюсника.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Ознакомиться с теоретическими сведениями к данной работе и рекомендованной литературой.

2. Рассчитать длительность прямого хода пилы и частоту (скважность работы принять $q = 3$) при величине коэффициента нелинейности $\varepsilon = 10; 20; 50; 80\%$ для заданных параметров времязадающей цепи в схеме рис. 1. При расчёте $t_{пх}$ использовать точную формулу (10).

ПРОГРАММА РАБОТЫ

1. Подготовить оборудование к работе:
 - а) с помощью цифрового вольтметра выставить на выходе III лабораторного источника требуемое значение напряжения питания;
 - б) подготовить к включению генератор Г5-54 согласно инструкции по эксплуатации;
 - в) включив генератор, установить амплитуду основного выходного импульса генератора $U_{m\text{вх}} = 5\text{ В}$ положительной полярности, длительность и частоту – в соответствии с результатами расчетов для $\varepsilon = 80\%$;
 - г) убедиться с помощью осциллографа, что параметры выходных импульсов Г5-54 соответствуют заданным.
2. Собрать на монтажной панели схему ГПН по рис. 1.
3. Источник сигнала (генератор Г5-54) к схеме не подключать. Включить источник питания. С помощью осциллографа убедиться, что в исходном состоянии транзистор находится в режиме насыщения. Измерить начальное напряжение на конденсаторе ($U_{0C} = U_{кн}$) и на базе ($U_{0б} = U_{бэ\text{н}}$) транзистора.

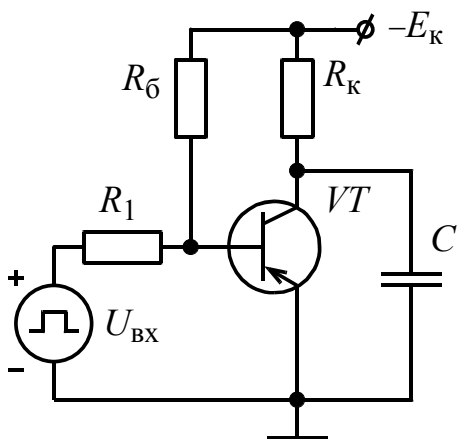


Рис.1

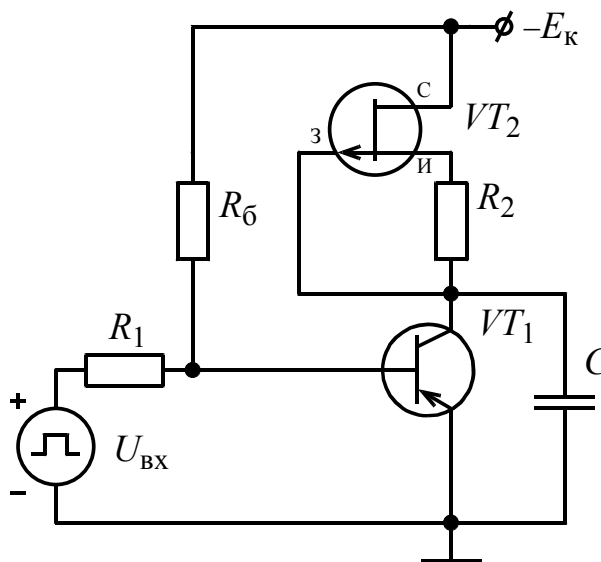


Рис.2

VT_1 – МП39
 VT_2 – КП103Е

$E_k = 12$ В
 $C = 0.01$ мкФ

$R_1 = 10$ кОм
 $R_2 = 2$ кОм

$R_6 = 68$ кОм
 $R_k = 51$ кОм

4. Подать на вход схемы напряжение с выхода Г5-54. Наблюдая с помощью осциллографа сигналы на входе схемы и на конденсаторе, убедиться в работоспособности ГПН.
5. Зарисовать, сфазировав, осциллограммы напряжения:
 - а) на входе схемы; б) на базе транзистора; в) на конденсаторе;
 - г) на зарядном резисторе R_k ($U_R \equiv i_{зар}$!).
 Определить все характерные для каждого вида наблюдаемых импульсов параметры.
6. Определить графически коэффициент нелинейности пилы, сравнить его с заданным значением. Рассчитать коэффициент использования питающего напряжения.
7. Повторить п.п. 5-6, установив длительность входного сигнала, соответствующую коэффициентам нелинейности $\varepsilon = 50; 20; 10\%$.
8. Собрать схему ГПН с токостабилизирующим двухполюсником (см. рис. 2).
9. Определить экспериментально длительности входного сигнала, обеспечивающие получение коэффициента использования питающего напряжения $K_{исп} = 90; 50; 20; 10\%$.
10. Снять, сфазировав, для трёх случаев ($K_{исп} = 90; 50; 20\%$) осциллограммы напряжения: а) на входе схемы; б) на базе биполярного транзистора; в) на выходе схемы (конденсаторе); г) на резисторе в цепи «затвор-исток» полевого транзистора. Определить все характерные параметры наблюдаемых сигналов. Определить графически коэффициенты нелинейности пилы для всех рассматриваемых случаев.

11. Длительность входного сигнала установить равной значению, обеспечивающему $K_{исп} = 10\%$. Заменяв резистор R_2 в цепи «затвористок» переменным сопротивлением с номиналом 2,2 кОм, определить экспериментально максимальный и минимальный зарядные токи конденсатора и соответствующие им амплитуды пины выходного напряжения.
12. На основе полученных результатов сделать выводы по работе.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

- К п. 6. Коэффициент нелинейности ε определяется графическим методом с помощью построения касательных к полученным осциллограммам напряжения на конденсаторе в точках $t = 0$ и $t = t_{пх}$.
- К п. 7. Частоту входных сигналов установить согласно п. 1, в (для $\varepsilon = 80\%$).

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Генераторы пилообразного напряжения (ГПН) используют для создания сигналов развёртки электронного луча на экране электронно-лучевых трубок, получения временных задержек импульсных сигналов, модуляции импульсов по длительности и т.д. Находят применение как одно-, так и двухполярные линейно изменяющиеся напряжения.

Линейно изменяющееся напряжение характеризуется следующими параметрами: начальный уровень U_0 , амплитуда U_m , время прямого хода $t_{пх}$, время обратного хода $t_{ох}$. Для оценки линейности пилообразного напряжения вводят коэффициент нелинейности ε .

Коэффициент нелинейности характеризует изменение скорости нарастания напряжения за время $t_{пх}$ и описывается выражением

$$\varepsilon = \frac{\left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=t_{пх}}}{\left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=0}} = 1 - \frac{\left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=t_{пх}}}{\left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=0}}. \quad (1)$$

Из геометрического смысла производной следует

$$\varepsilon = \frac{\operatorname{tg} \alpha_0 - \operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_0} = 1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_0}, \quad (2)$$

где α_0 – угол наклона касательной к кривой напряжения в начале пины,
 α_1 – угол наклона касательной в точке $t = t_{пх}$ (см. рис. 3).

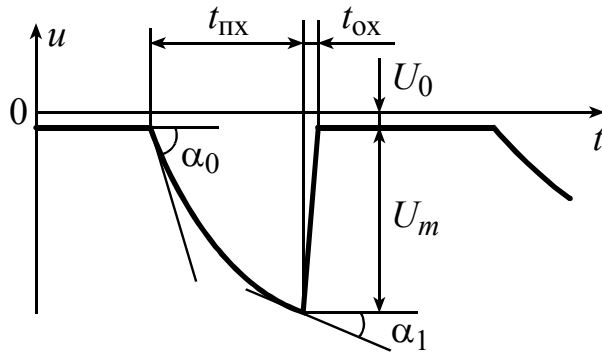


Рис. 3. Выходное напряжение ГПН

Идеальное пилообразное напряжение имеет постоянный угол наклона, следовательно, коэффициент нелинейности будет равен нулю. В реальных ГПН величина ϵ составляет от долей до десятков процентов.

Важным параметром генератора пилообразного напряжения является коэффициент использования питающего напряжения:

$$K_{\text{исп}} = \frac{U_m}{E}, \quad (3)$$

где U_m – амплитуда пилы, E – напряжение источника питания.

Наиболее просто можно сформировать пилообразное напряжение, осуществляя заряд (и/или разряд) конденсатора постоянным током. Действительно, напряжение на конденсаторе связано с током следующим соотношением:

$$U_C = \frac{1}{C} \int i_C dt + U_{0C}, \quad (4)$$

и, если $i_C = \text{const} = I_C$ и $U_{0C} = 0$, то

$$U_C = \frac{I_C \cdot t}{C} = A \cdot t, \quad (5)$$

где $A = \frac{I_C}{C}$ – постоянная величина.

Любое изменение зарядного тока i_C в процессе формирования пилообразного напряжения приводит к нелинейности. Различные схемы ГПН отличаются, в основном, способами стабилизации зарядного (разрядного) тока конденсатора.

ГПН на основе интегрирующей цепи

Схема генератора приведена на рис. 1. Он содержит интегрирующую цепь R_k, C и ключ на транзисторе VT .

В исходном состоянии при $U_{\text{вх}} = 0$ транзистор VT открыт и насыщен. Это состояние обеспечивается базовым током, протекающим в цепи $+E \rightarrow$

переход эмиттер-база $VT \rightarrow R_{\text{б}} \rightarrow (-)E$. На рис. 4, а показана схема замещения генератора в исходном состоянии.

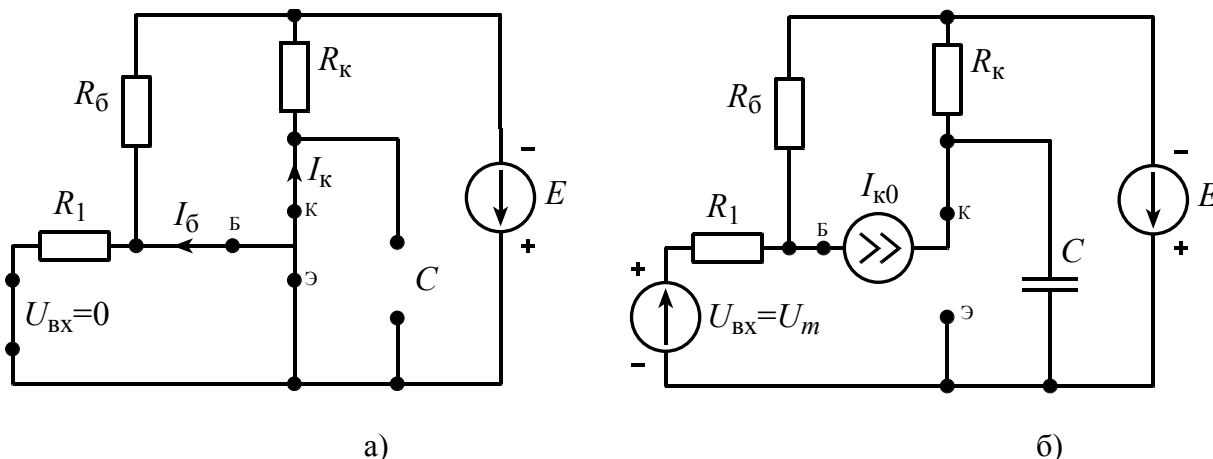


Рис. 4. Схемы замещения ГПН в исходном состоянии (а) и на этапе нарастания пилообразного напряжения (б)

Напряжение на конденсаторе: $U_C = U_{\text{кн}} \cong 0$.

Ток коллектора транзистора: $I_{\text{кн}} = \frac{E - U_{\text{кн}}}{R_{\text{к}}} \cong \frac{E}{R_{\text{к}}}$.

Ток базы насыщения: $I_{\text{бн}} = \frac{I_{\text{кн}}}{\beta} = \frac{E}{R_{\text{к}} \cdot \beta}$,

где β – коэффициент усиления транзистора в схеме ОЭ.

Ток базы: $I_{\text{б}} = \frac{E - U_{\text{бн}}}{R_{\text{б}}} \cong \frac{E}{R_{\text{б}}}$.

Степень насыщения транзистора будет определяться выражением:

$$S = \frac{I_{\text{б}}}{I_{\text{бн}}} = \frac{E}{R_{\text{б}}} \cdot \frac{R_{\text{к}} \cdot \beta}{E} = \frac{R_{\text{к}} \cdot \beta}{R_{\text{б}}}, \quad (6)$$

таким образом, для выполнения условия насыщения необходимо, чтобы выполнялось $R_{\text{б}} \leq R_{\text{к}} \cdot \beta$.

Положительный входной импульс амплитудой U_m внешнего генератора запирает транзистор VT , и начинается заряд конденсатора C от источника питания через резистор $R_{\text{к}}$. Диаграммы приведены на рис. 5.

Получим условие запираения транзистора, используя метод наложения. Согласно схеме замещения, показанной на рис. 4, б, напряжение на переходе база-эмиттер транзистора равно:

$$U_{\text{бэ}} = \frac{U_m \cdot R_{\text{б}}}{R_1 + R_{\text{б}}} - \frac{E \cdot R_1}{R_1 + R_{\text{б}}} - \frac{I_{\text{к0}} \cdot R_1 R_{\text{б}}}{R_1 + R_{\text{б}}}.$$

Без большой погрешности можно пренебречь составляющей с током $I_{\text{к0}}$, тогда $U_{\text{бэ}} = \frac{U_m \cdot R_{\text{б}}}{R_1 + R_{\text{б}}} - \frac{E \cdot R_1}{R_1 + R_{\text{б}}} = \frac{R_{\text{б}}}{R_1 + R_{\text{б}}} \cdot \left(U_m - \frac{E \cdot R_1}{R_{\text{б}}} \right)$.

Условие запираания выполнится, если $U_{\text{бэ}} > 0$, следовательно,
 $U_m - \frac{E \cdot R_1}{R_{\text{б}}} > 0$.

Таким образом, амплитуда входного сигнала, необходимая для запираания VT:

$$U_m > \frac{E_{\text{к}} \cdot R_1}{R_{\text{б}}}. \quad (7)$$

Сопротивление резистора R_1 выбирается из условия $R_1 \gg r_{\text{вх}}$, где $r_{\text{вх}}$ – входное сопротивление транзистора в схеме ОЭ. При выполнении этого условия можно не учитывать шунтирующего действия цепи запуска.

Заряд конденсатора проходит по классическому закону

$$U_C(t) = E \left(1 - e^{-t/\tau} \right) = E - E \cdot e^{-t/\tau}, \quad (8)$$

где $\tau = R_{\text{к}} C$ – постоянная времени цепи.

Определим коэффициент нелинейности для данной схемы, для чего возьмём производную выражения (8):

$$\frac{dU_C(t)}{dt} = -E \cdot e^{-t/\tau} \cdot (-) \frac{1}{\tau} = \frac{E}{\tau} \cdot e^{-t/\tau};$$

$$\frac{dU_C(0)}{dt} = \frac{E}{\tau}; \quad \frac{dU_C(t_{\text{пх}})}{dt} = \frac{E}{\tau} \cdot e^{-t_{\text{пх}}/\tau}.$$

$$\text{Тогда } \varepsilon = \frac{\left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=t_{\text{пх}}}}{\left. \frac{dU}{dt} \right|_{t=0}} = \frac{\frac{E}{\tau} - \frac{E}{\tau} \cdot e^{-t_{\text{пх}}/\tau}}{\frac{E}{\tau}} = 1 - e^{-t_{\text{пх}}/\tau}. \quad (9)$$

$$\text{Отсюда, } e^{-t_{\text{пх}}/\tau} = 1 - \varepsilon; \quad -t_{\text{пх}}/\tau = \ln(1 - \varepsilon); \quad t_{\text{пх}} = (-)\tau \cdot \ln(1 - \varepsilon);$$

$$t_{\text{пх}} = \tau \cdot \ln\left(\frac{1}{1 - \varepsilon}\right). \quad (10)$$

Выражение (10) является точной формулой для определения времени прямого хода пилообразного напряжения.

Определим коэффициент нелинейности.

$$\frac{dU_C(t)}{dt} = \frac{E - U_C(t)}{R_K C} = \frac{E - U_C(t)}{\tau};$$

$$\frac{dU_C(0)}{dt} \cong \frac{E - 0}{\tau} = \frac{E}{\tau}; \quad \frac{dU_C(t_{\text{пх}})}{dt} \cong \frac{E - U_{Cm}}{\tau}.$$

$$\text{Тогда из (1) следует } \varepsilon = 1 - \frac{E - U_{Cm}}{\tau} \cdot \frac{\tau}{E} = 1 - 1 + \frac{U_{Cm}}{E} = \frac{U_{Cm}}{E}.$$

Используя (3), получим коэффициент использования питающего напряжения в схеме ГПН:

$$K_{\text{исп}} = U_{Cm}/E = \varepsilon. \quad (11)$$

Чем бóльшую амплитуду пилообразного напряжения при заданном напряжении питания E требуется получить, тем хуже его линейность. Например, для получения коэффициента нелинейности $\varepsilon = 10\%$ напряжения источника питания должно в 10 раз превышать амплитуду выходного.

Известно, что при $t_{\text{пх}} \ll \tau$ выполняется приближённое равенство:

$$e^{-t_{\text{пх}}/\tau} \cong 1 - \frac{t_{\text{пх}}}{\tau}.$$

Тогда выражение (8) преобразуется как

$$U_C(t) = E - E \cdot \left(1 - \frac{t}{\tau}\right) = E \cdot \frac{t}{\tau},$$

следовательно, максимальное напряжение на конденсаторе с учётом принятого допущения равно

$$U_C(t_{\text{пх}}) = U_{Cm} = E \cdot \frac{t_{\text{пх}}}{\tau}. \quad (12)$$

Коэффициент нелинейности с учётом (12):

$$\varepsilon = \frac{U_{Cm}}{E} = \frac{E \cdot t_{\text{пх}}}{\tau} \cdot \frac{1}{E} = \frac{t_{\text{пх}}}{\tau}. \quad (13)$$

Выражение (13) является приближённой формулой для определения времени прямого хода.

В момент времени $t = t_{\text{пх}}$ напряжение на выходе ГПН достигает своего максимального значения, заканчивается входной импульс ($U_{\text{вх}} = 0$). Транзистор открывается, в цепи базы появляется ток базы $I_{\text{б}}$. Так как заряженный конденсатор подключен к коллектору транзистора, а база-эмиттерный переход смещается в прямом направлении, то переход коллектор-база $V T_1$ оказывается смещён в обратном направлении. Действительно, $U_{\text{кб}} = U_{\text{бэ}} - U_C$, $U_C = U_{Cm} > U_{\text{бэ}}$, тогда $U_{\text{кб}} < 0$.

Таким образом, транзистор после открывания будет находиться в активном режиме, несмотря на то, что ток базы достаточен для насыщения транзистора.

Ток конденсатора имеет также составляющую от тока через резистор $R_{\text{к}}$, однако, на этапе разряда $I_{R_{\text{к}}} \ll I_{\text{к}}$, поэтому считают $I_C \cong I_{\text{к}}$.

Для активного режима работы транзистора справедливо $I_{\text{к}} = \beta \cdot I_{\text{б}}$. Ток коллектора зависит от напряжения $U_C = U_{\text{кэ}}$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$ незначительно, т.е. можно полагать, что конденсатор разряжается постоянным током (по линейному закону!). За время $t_{\text{ох}}$ конденсатор разряжается до $U_{\text{кн}}$. Чтобы определить время обратного хода запишем:

$$I_C = I_{\text{к}} = \beta \cdot I_{\text{б}} = C \cdot \frac{dU_C(t)}{dt} \approx C \cdot \frac{\Delta U_C}{\Delta t},$$

где $\Delta U_C = U_{Cm} - U_{\text{кн}} \approx U_{Cm}$, $\Delta t = t_{\text{ох}}$.

Следовательно,
$$t_{ox} = \frac{C \cdot U_{Cm}}{\beta \cdot I_{\delta}} = \frac{C \cdot U_{Cm}}{\beta \cdot E} \cdot R_{\delta};$$

$$t_{ox} = \frac{C \cdot R_{\delta}}{\beta} \cdot K_{исп}. \quad (14)$$

После разряда конденсатора транзистор насыщается. При этом момент насыщения характеризуется равенством $U_{кэ} = U_{\deltaэ}$; $U_{кб} = 0$.

Схема возвращается в исходное состояние.

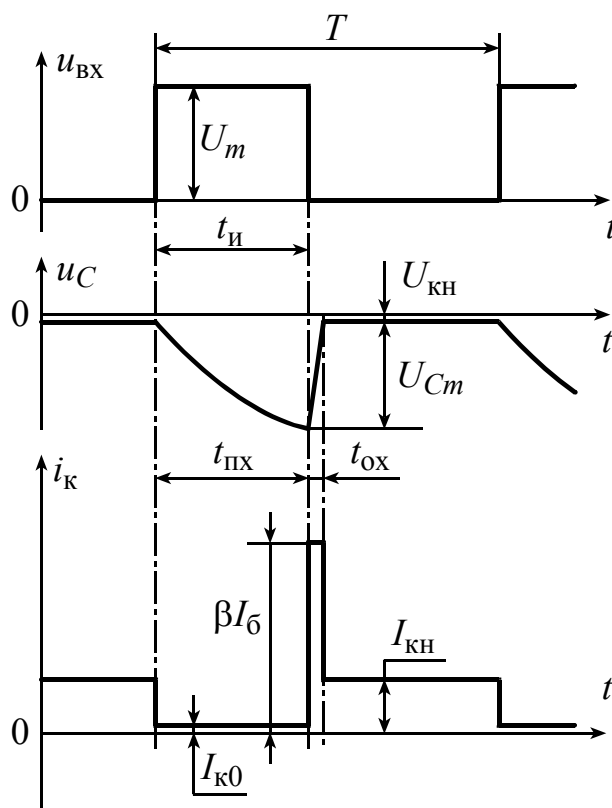


Рис. 5. Диаграммы, поясняющие принцип действия ГПН

ГПН с токостабилизирующим двухполюсником

Схема генератора приведена на рис. 2. В отличие от ГПН по рис. 1 он содержит токостабилизирующий двухполюсник (ТСДП), построенный на полевом транзисторе VT_2 и резисторе R_2 . Разрядная цепь конденсатора выполнена и действует так же, как в схеме ГПН, описанной выше.

Известно, что ток стока полевого транзистора слабо зависит от напряжения сток-исток при $U_{зи} = const$ (см. рис. 6). Включение такого прибора в зарядную цепь эквивалентно увеличению сопротивления интегрирующей цепи ранее рассмотренной схемы до величины

$$R_{\text{экв}} = \frac{\Delta U_{\text{си}}}{\Delta I_{\text{с}}}.$$

Положение рабочей точки полевого транзистора определяется резистором R_2 . Так как ток затвора транзистора пренебрежимо мал, можно считать, что

$$U_{\text{зи}} = U_{R2} = I_{\text{с}} \cdot R_2, \quad (15)$$

где $I_{\text{с}}$ – ток стока полевого транзистора.

Чем больше сопротивление резистора R_2 , тем больше запирающее напряжение затвор-исток и тем меньше ток ТСДП.

Коэффициент нелинейности пилообразного напряжения в этой схеме

$$\varepsilon = \frac{t_{\text{пх}}}{R_{\text{экв}} \cdot C}, \quad (16)$$

а коэффициент использования питающего напряжения

$$K_{\text{исп}} = 1 - \frac{U_{\text{отс}}}{E}. \quad (17)$$

где $U_{\text{отс}}$ – напряжение отсечки транзистора.

Зарядный ток конденсатора можно определить из выражения

$$I_{\text{зар}} \cong \frac{I_{\text{с0}}}{1 + R_2 \cdot S}, \quad (18)$$

где $I_{\text{с0}}$ – начальный ток стока полевого транзистора, S – крутизна характеристики.

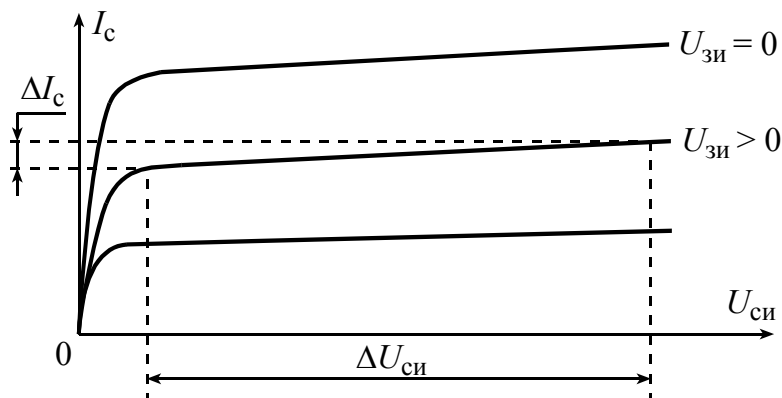


Рис. 6. Статические выходные характеристики полевого транзистора с каналом p -типа

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде отдельных разделов по каждому из основных пунктов программы работы. При этом каждый из разделов должен содержать следующие сведения:

1. Принципиальную схему исследуемого генератора.
2. Предварительные расчёты.
3. Осциллограммы напряжений.
4. Таблицы экспериментальных данных.
5. Графики и характеристики, построенные по экспериментальным данным.
6. Анализ полученных в результате исследования генератора данных и выводы по проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите диаграмму пилообразного напряжения, на которой покажите основные и дополнительные параметры сигнала: а) исходный уровень U_0 ; б) амплитуду пилы U_m ; в) время прямого хода $t_{пх}$; г) время обратного хода $t_{ох}$; д) время паузы $t_{п}$; е) период импульсного процесса T .
2. Что такое «амплитуда пилы»? Дайте определение данному параметру.
3. Раскройте физический смысл понятий: коэффициент нелинейности пилообразного напряжения ϵ , коэффициент использования питающего напряжения. Приведите формулы для их определения.
4. Каково условие линейности напряжения на конденсаторе? Докажите свое утверждение математически.
5. Приведите простейшую схему ГПН на основе интегрирующей цепи с ключом на биполярном транзисторе $p-n-p$ -типа. Поясните принцип действия устройства.
6. Изобразите сфазированные диаграммы напряжения и тока для простейшего ГПН с транзисторным ключом $n-p-n$ -типа: а) входное

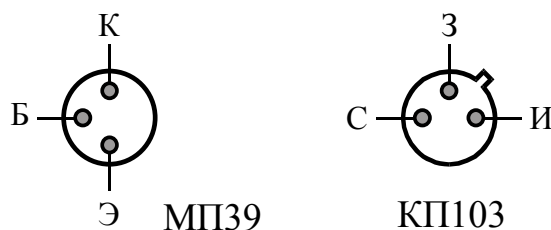
- напряжение $U_{\text{вх}}$; б) напряжение на базе транзистора $U_б$; в) базовый ток $I_б$; г) ток коллектора $I_к$; д) ток конденсатора $I_с$; е) напряжение на конденсаторе $U_с$. Как изменятся диаграммы, если изменить тип транзистора?
7. Каким образом можно снять осциллограмму тока конденсатора?
 8. Получите условия обеспечения работоспособности схемы простейшего ГПН: насыщения транзистора при отсутствии входного сигнала и запираения (режим глубокой отсечки) при наличии $U_{\text{вх}}$. Проверьте, выполняются ли эти условия для используемых в лабораторной работе параметров элементов схемы (коэффициент усиления транзистора β принять равным 20).
 9. Определите минимальную амплитуду входного сигнала, достаточную для запираения транзистора в схеме простейшего ГПН при используемых номиналах элементов схемы ($\beta = 20$).
 10. Получите выражение для расчета и рассчитайте коэффициент нелинейности пилы в схеме простейшего ГПН, если параметры элементов схемы: $C = 0.01$ мкФ; $R_к = 51$ кОм; $E = 12$ В; $t_{\text{и вх}} = 500$ мкс.
 11. Объясните с физической точки зрения, почему при снижении коэффициента питающего напряжения в схеме простейшего ГПН улучшается линейность выходного пилообразного напряжения.
 12. Поясните принцип действия токостабилизирующего двухполюсника (ТСДП) на полевом транзисторе. Каким образом можно менять ток такого генератора стабильного тока? Как обеспечить максимально возможное значение тока?
 13. Предложите схему генератора стабильного тока на биполярном транзисторе.
 14. Приведите схему ГПН с ТСДП на полевом транзисторе, поясните принцип действия устройства.
 15. Нарисуйте диаграмму тока конденсатора в схеме ГПН с ТСДП.
 16. Изобразите ток коллектора транзистора в схемах рассматриваемых ГПН, сфазировав его с входным сигналом.
 17. Приведите сфазированные диаграммы ГПН с ТСДП: а) входной сигнал $U_{\text{вх}}$; б) ток стока $I_с$; в) напряжение на полевом транзисторе $U_{\text{си}}$; г) напряжение на резисторе в цепи «затвор-исток» $U_{\text{зи}}$ полевого транзистора; д) напряжение на конденсаторе $U_с$.
 18. Каким образом по диаграмме напряжения на конденсаторе в схемах ГПН определить коэффициент усиления биполярного транзистора?
 19. Предложите схему генератора, вырабатывающего пилообразное напряжение, подобное по форме: а) равнобедренному треугольнику; б) равнобокой трапеции.
 20. Какие из диаграмм и каким образом изменятся, если биполярный транзистор в схеме ГПН поменять на аналогичный, но с существенно большим коэффициентом усиления?

21. Почему в схеме с ТСДП на полевом транзисторе линейность пины практически не зависит от коэффициента питающего напряжения?
22. Можно ли амплитуду пины ГПН измерить с помощью универсального цифрового вольтметра? Аргументируйте ответ.
23. Каким образом в схеме ГПН с ТСДП при заданном $t_{и\text{вх}}$ получить максимально возможный $K_{исп}$?

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Г. Гусев, Ю.М. Гусев. Электроника и микропроцессорная техника: учебник для вузов – 5-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2008. – 798 с.: ил.
2. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: Энергия, 1977.
3. Полупроводниковые приборы: Транзисторы. Справочник / В.Л. Аронов, А.В. Баюков, А.А. Зайцев и др. Под общ. ред. Н.Н. Горюнова. – 2-е изд., перераб.– М.: Энергоатомиздат, 1985. – 904 с., ил.

Цоколёвка транзисторов



Электрические параметры **МП39Б**

Тип транзистора: биполярный	<i>p-n-p</i>
Предельная частота коэффициента передачи тока при $U_{кб} = 5 \text{ В}$, $I_{э} = 1 \text{ мА}$ не менее	0,5 МГц
Коэффициент передачи тока	20 – 60
Обратный ток коллектора при $U_{кб} = 5 \text{ В}$ не более	15 мкА
Постоянное напряжение коллектор-эмиттер	15 В
Постоянный ток коллектора	30 мА
Импульсный ток коллектора	150 мА
Постоянная рассеиваемая мощность	150 мВт

Электрические параметры **КП103Е**

Тип транзистора: полевой	канал <i>p</i> -типа
Максимальная рабочая частота	3 МГц
Крутизна характеристики при $U_{си} = 10 \text{ В}$, $U_{зи} = 0$	0,4 – 2,4 мА/В
Начальный ток стока при $U_{си} = 10 \text{ В}$, $U_{зи} = 0$	0,3 – 2,5 мА
Напряжение отсечки при $U_{си} = 10 \text{ В}$, $I_c = 10 \text{ мкА}$	0,4 – 1,5 В
Ток утечки затвора при $U_{си} = 0$, $U_{зи} = 10 \text{ В}$	20 нА
Напряжение сток-исток	10 В
Напряжение затвор-исток	10 В
Постоянная рассеиваемая мощность	7 мВт

Учебное издание

ГРЕБЕННИКОВ Виталий Владимирович
ОГОРОДНИКОВ Дмитрий Николаевич

ГЕНЕРАТОРЫ ПИЛООБРАЗНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Микроэлектроника» для студентов III курса,
обучающихся по направлениям 210100 «Электроника и наноэлектроника» и
201000 «Биотехнические системы и технологии»


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 21.11.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 1,16. Уч.-изд.л. 1,05.
Заказ . Тираж 50 экз.



Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru

