

Практическое занятие

СХЕМЫ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

1. Общие сведения

Устройства, преобразующие электроэнергию источника постоянного тока в незатухающую энергию электрических колебаний расчетной частоты и формы, называются электронные генераторы.

Такие генераторы приобрели популярность в электронике, компьютерной технике, радиоприемниках. Генераторами может выдаваться сигнал частотой до нескольких мегагерц. Форма выходного напряжения имеет формы синусоиды, прямоугольника и пилы (рис. 1).

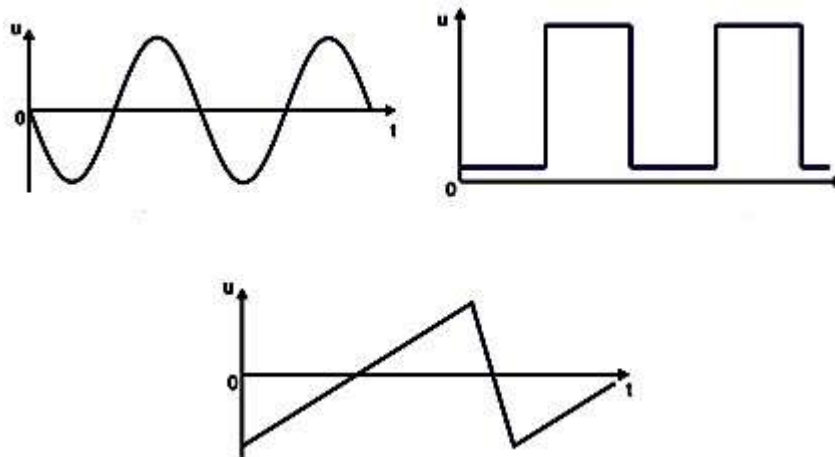


Рис. 1. Формы сигналов

Контур колебаний получает возбуждение от наружного источника тока, появляются колебания, которые со временем затухают, так как сопротивление поглощает энергию. Чтобы колебания не затухали, в контуре нужно восполнять потерю энергии. Этот процесс восполнения выполняется положительной обратной связью (рис. 2). Эта связь подает в контур некоторую часть сигнала, который должен совпадать с сигналом обратной связи.



Рис. 2 Структурная схема электронного генератора

Электронные генераторы состоят из следующих частей:

- Контур колебаний, задающий частоту генератора.
- Усилитель, повышающий амплитуду сигнала на выходе контура колебаний.
- Обратная связь, подающая некоторое количество энергии в контур.

Электронные генераторы используют постоянный ток для образования колебаний переменного тока, и являются схемами с положительной связью.

Классификация

Электронные генераторы делятся на несколько классов по различным параметрам. Рассмотрим основные разновидности таких генераторов.

По форме сигнала:

- В виде синусоиды.
- Прямоугольные.
- В форме пилы.
- Специальные.

По частоте:

- Высокочастотные (более 100 кГц).
- Низкочастотные (менее 100 кГц).

По возбуждению:

- С независимым возбуждением.
- Автогенераторы (самовозбуждение).

Автоматическим генератором называют устройство, которое самостоятельно возбуждается, без воздействия извне, преобразует поступающую энергию в колебания. Электронные генераторы выполняются по схемам, аналогичным усилителям, за исключением отсутствия питания сигнала входа. Вместо него используют обратную связь, которая является передачей некоторого количества сигнала выхода на вход.

Определенная форма сигнала создается обратной связью. Частота колебаний создается на цепях RC или LC, и зависит от времени зарядки емкости. Сигнал обратной связи приходит на вход усилителя, где повышается в несколько раз и выходит. Часть сигнала возвращается и ослабевает в несколько раз, что дает возможность поддерживать одинаковую амплитуду сигнала на выходе.

Генераторы с внешним видом возбуждения считаются усилителями мощности с определенным частотным интервалом. На его вход подается сигнал от автогенератора, усиливается определенный интервал частот.

Электронные генераторы RC

Для образования низкочастотных генераторов применяют усилители. В них вместо обратной связи монтируют RC цепи для создания некоторой частоты колебаний. Эти цепи являются фильтрами частоты, которые пропускают сигналы в специальном интервале частот и не пропускают за его пределами. По обратной связи возвращается некоторая полоса частот.

Электронные фильтры

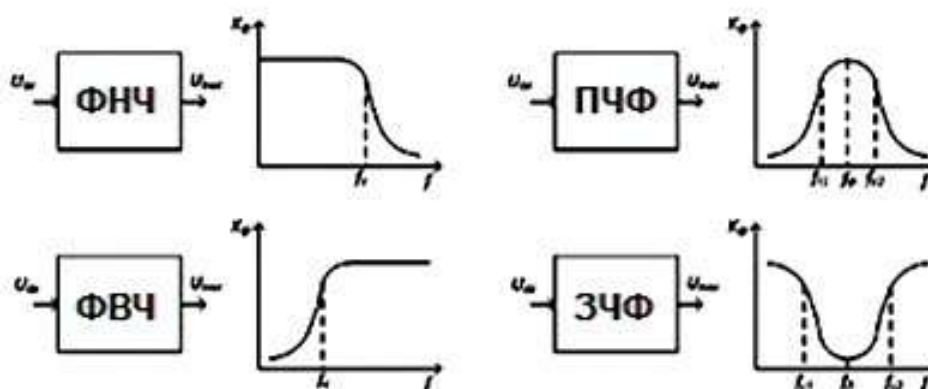


Рис. 3 Типы электронных фильтров и их характеристики

Электронные фильтры бывают:

- низкочастотные фильтры;
- высокочастотные фильтры;
- полосовые фильтры;
- заграждающие фильтры.

Характеристикой фильтра является частота среза. Если взять положение ниже этой частоты, или выше, то сигнал значительно уменьшается. Заграждающие и полосовые фильтры имеют характеристику в виде ширины полосы.

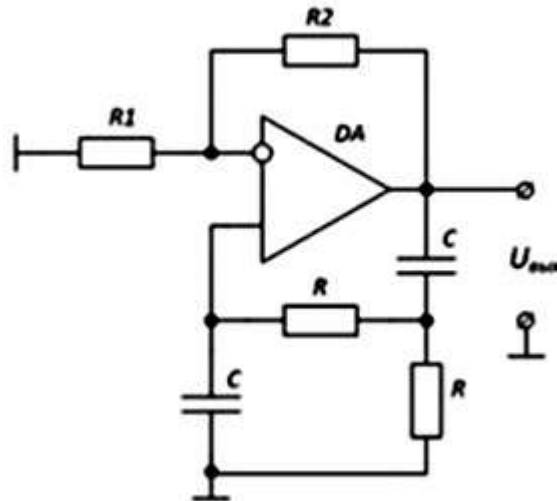


Рис. 4. Схема генератора с синусоидальным сигналом

На рисунке 4 изображена цепь генератора с синусоидальным сигналом. Усиление определяется цепью обратной связи $R1$, $R2$. Для создания нулевого сдвига по фазе обратная связь подключена от выхода усилителя на неинвертирующий его вход. Цепь обратной связи выступает в качестве полосового фильтра.

Для стабилизации величины частоты пользуются кварцевыми резонаторами, которые состоят из минеральной тонкой пластины, закрепленной в держателе. Кварц славится своим пьезоэффектом. Это дает возможность применять его в качестве системы, аналогичной колебательному контуру со свойством резонанса. Частота резонанса пластин колеблется от единиц до тысяч мегагерц.

Мультивибраторы

Генераторы прямоугольных импульсов, имеющие в петле обратной связи элементы, накапливающие энергию, называются мультивибраторами.

Эти электронные генераторы создают колебания формы прямоугольника, являются 2-х каскадным усилителем с обратной связью на основе резисторов. Выходы каскадов соединены со входами. Название этого генератора объясняет наличие значительного количества гармоник.

Мультивибратор способен действовать в нескольких режимах:

- автоколебательный режим;
- синхронизация;
- ждущий режим.

В первом виде режима мультивибратор работает с самовозбуждением. При синхронизации на генератор оказывает воздействие внешнее напряжение с частотой импульсов. Ждущий режим подразумевает работу с внешним возбуждением.

Автоколебательные мультивибраторы формируют импульсную последовательность при подаче напряжения питания на схему, так как они имеют две цепи обратной связи с накопителями энергии, а ждущие мультивибраторы формируют одиночный импульс с заданными параметрами по внешнему запуску, так как одна петля обратной связи не имеет накопителя энергии.

Одновибратор – что-то среднее между мультивибратором и триггером [1].

Различают мягкий и жесткий режимы возбуждения мультивибраторов. При мягком режиме любые изменения напряжения в цепи обратной связи в момент включения питания приводят к

возникновению режима генераций; при жестком режиме генерация возникает, когда напряжение в цепи обратной связи достигает определенного порога.

Мультивибраторы подразделяются на перезапускаемые и неперезапускаемые. В первом случае при подаче импульса запуска генерация выходных сигналов начинается заново с исходного состояния. Перезапуски позволяют неограниченно увеличивать длительность выходного импульса независимо от параметров схемы мультивибратора. Неперезапускаемые мультивибраторы не реагируют на внешние импульсы запуска

Автоколебательный режим мультивибратора

Устройство мультивибратора (рис. 5) включает в себя два каскада усилителя с резисторами. Выходы каскадов подключены ко входам других каскадов через емкости C1 и C2.

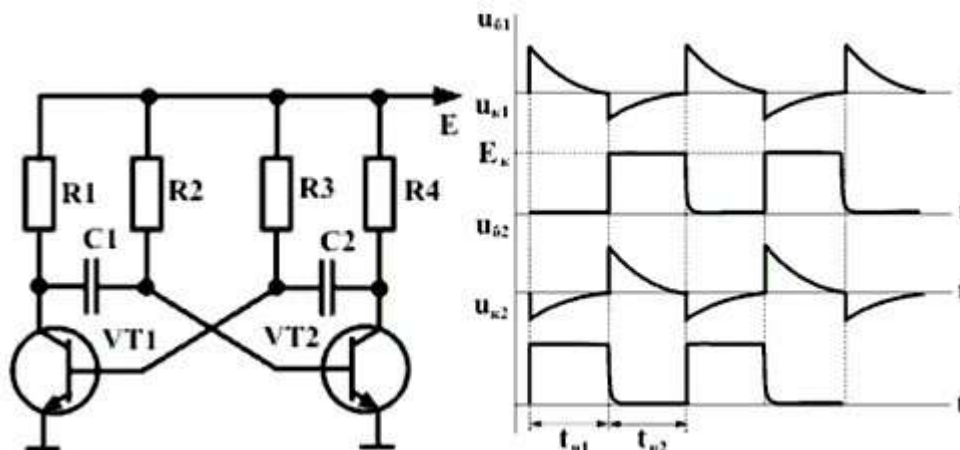


Рис. 5. Схема симметричного мультивибратора и его сигналы

Мультивибраторы с аналогичными транзисторами и симметричными компонентами имеют название симметричных.

В режиме автоколебаний мультивибратор может находиться в 2-х состояниях равновесия:

- 1) один транзистор в насыщении, второй в отсечке.
- 2) первый транзистор на отсечке, другой в насыщении.

Такие положения неустойчивы. Одна схема переходит в другую с эффектом лавины с помощью обратной связи. Для оптимизации формы импульсов на выходе генератора подключают разделительные диоды в схемы коллекторов (рис. 6). Через диоды подключают вспомогательные резисторы.

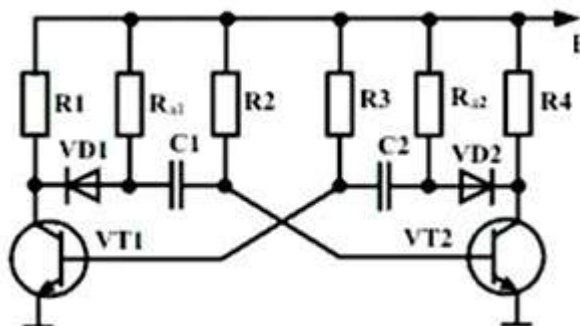


Рис. 6. Схема симметричного мультивибратора с диодами

По схеме после закрытия одного транзистора и уменьшения потенциала коллектора диод тоже закрывается. При этом он отключает конденсатор от цепи. Конденсатор заряжается через вспомогательный резистор. Наибольшая длина импульсов определяется параметрами частоты транзисторов.

Такой тип схемы дает возможность создать импульсы практически прямоугольной формы. В качестве недостатков можно отметить малую скважность и невозможность плавного регулирования периода колебаний.

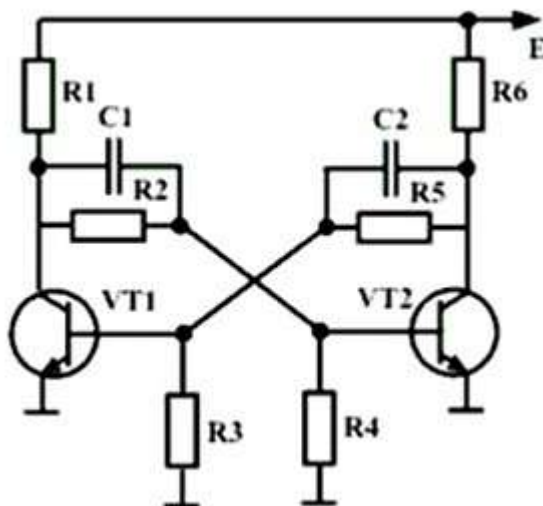


Рис. 7. Схема симметричного мультивибратора с параллельными резисторами

По схеме на рис. 7 резисторы R2 и R5 включены параллельно емкостям C1 и C2. Резисторы R(1, 3, 4, 6) создают делители напряжения, которые стабилизируют потенциал базы транзистора. При коммутации мультивибратора ток базы резко меняется. Это уменьшает время снижения зарядов в базе и увеличивает скорость выхода транзистора из насыщения.

Ждущий мультивибратор (одиночный)

Если мультивибратор действует в режиме автоколебаний и не имеет устойчивости, то его можно преобразовать в генератор с одной устойчивой позицией и одной неустойчивой позицией. Такие цепи имеют название одновибраторов (релаксационных реле). Чтобы перевести схему из одного состояния в другое, необходимо воздействие внешнего импульса.

В неустойчивой позиции цепь находится некоторое время, зависящее от ее параметров. Далее она скачкообразно возвращается в устойчивую позицию. Чтобы получить ждущий режим генератора, необходимо собрать следующую схему:

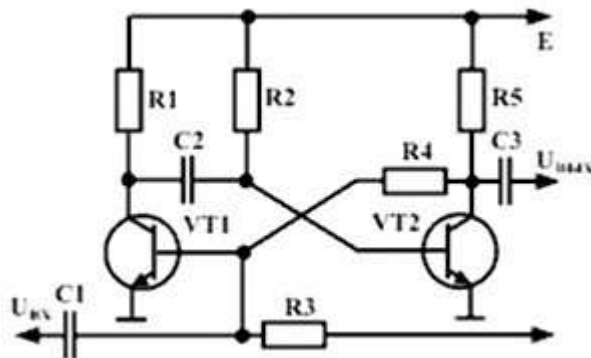


Рис. 8 Схема ждущего мультивибратора

По схеме на рис. 8 в исходном положении транзистор VT1 находится в закрытом виде. При поступлении на вход плюсового импульса по транзистору идет ток коллектора. При изменении разности потенциалов на транзисторе VT1 оно подается через емкость C2 на базу VT2. С помощью обратной связи повышается лавинный эффект, который приводит к закрытию VT2 и открытию VT1.

В такой неустойчивой позиции схема находится до полного разряда емкости C2. Далее транзистор VT2 открывается, VT1 закрывается. Положение схемы возвращается в первоначальную позицию.

2. Описание схемы мультивибратора на полевых транзисторах

Высокое входное сопротивление полевых транзисторов (ПТ) позволяет конструировать мультивибраторы на очень низкие частоты повторения импульсов при малых ёмкостях времязадающих конденсаторов. Благодаря этому форма выходных импульсов оказывается менее искажённой, а скважность больше, чем у мультивибраторов на биполярных транзисторах.

Для автоколебательных мультивибраторов наиболее подходят ПТ с управляющим р-п переходом, так как во время заряда конденсаторов напряжение на участке затвор-исток приложено в прямом направлении и поэтому сопротивление этого участка мало и малым становится время заряда конденсаторов.

Схема мультивибраторов из ПТ с управляющим р-п переходом и каналом р-типа изображена на рис.9. В этом мультивибраторе через резисторы R_3 подаётся небольшое отрицательное напряжение на затвор относительно истока, что повышает стабильность периода колебаний и длительность выходных импульсов. В отличие от мультивибратора на БП транзисторах работа устройства не нарушается, если резисторы R_3 включить между затвором и общей точкой (схема с «нулевым» затвором).

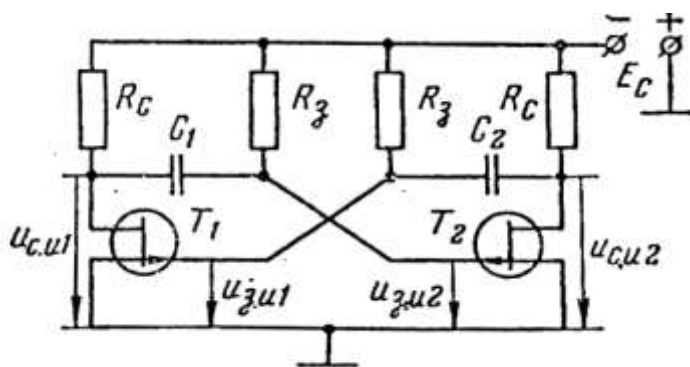


Рис. 9. Схема мультивибратора на полевых транзисторах

Временные диаграммы работы несимметричного мультивибратора показаны рис. 10. В основных чертах принцип действия этого мультивибратора такой же, как и у лампового. От мультивибратора на БТ его отличает то, что во временно устойчивых состояниях равновесия разряд конденсаторов происходит практически только через резисторы R_3 и не до нулевого напряжения, а до значения, при котором напряжение на затворе становится равным напряжению отсечки $U_{Зотс}$ (обычно $U_{Зотс} \approx 1-6$ В).

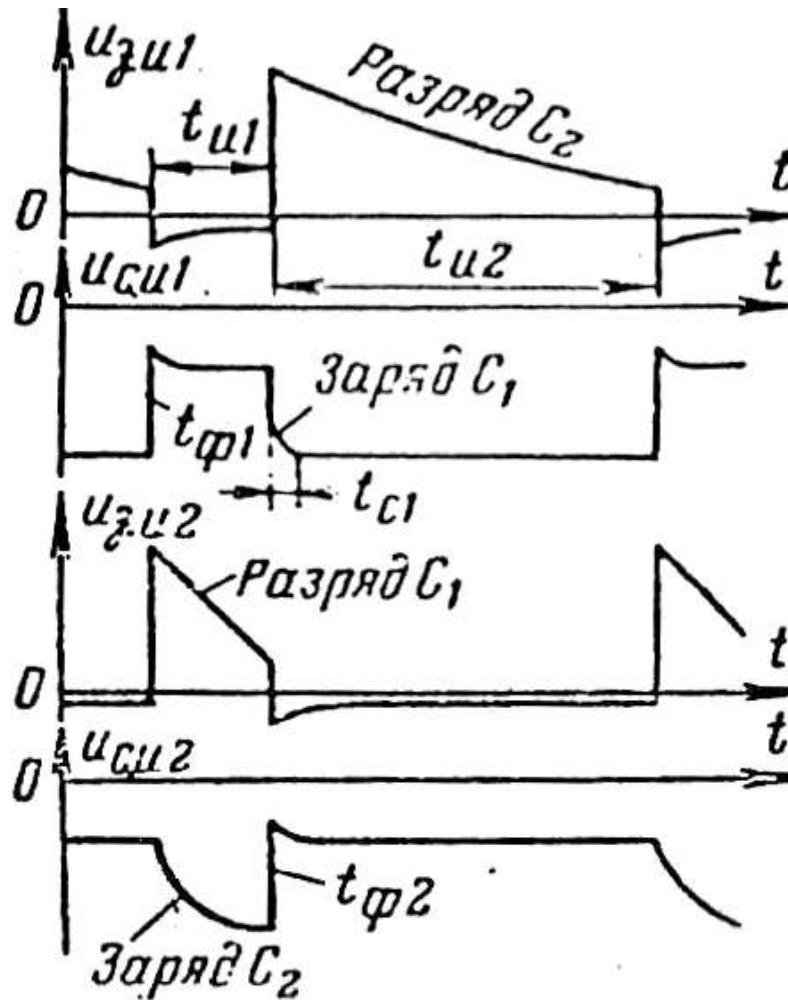


Рис. 10.

3. Расчет мультивибратора на полевых транзисторах

3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

I. Выбор транзистора. Для обеспечения временно устойчивых состояний равновесия необходимо выбирать транзисторы, у которых

$$\frac{U_{СИ\max}}{U_{ЗИотс}} \geq 2,5$$

где $U_{СИ\max}$ - максимально допустимое напряжение сток-исток,

$U_{ЗИотс}$ - напряжение отсечки.

По справочнику выбираем ПТ КП103Л, имеющий следующие параметры:

При напряжениях $U_{СИ} = 10$ В и $U_{ЗИ} = 0$ ток стока $I_c = 3 - 6,6$ мА, крутизна характеристики

$S = 1.8 - 3.8$ мА/В; ток затвора $I_{зут} \leq 20$ нА, входная ёмкость $C_{1in} \leq 20$ пФ, проходная

ёмкость $C_{12n} \leq 8$ пФ и рассеиваемая на коллекторе мощность $P = 120$ мВт. Рассчитаем средние значения напряжения отсечки и входного сопротивления.

$$U_{3Иотс} \approx 2 \frac{I_c}{S} \approx 2 \frac{3-6.6}{1.8-3.8} \approx 3.3-3.48B$$

Для расчёта принимаем $U_{3Иотс} \approx 3,4B$. Это значение удовлетворительно согласуется с усреднёнными выходными характеристиками КП103Л (рис. 11).

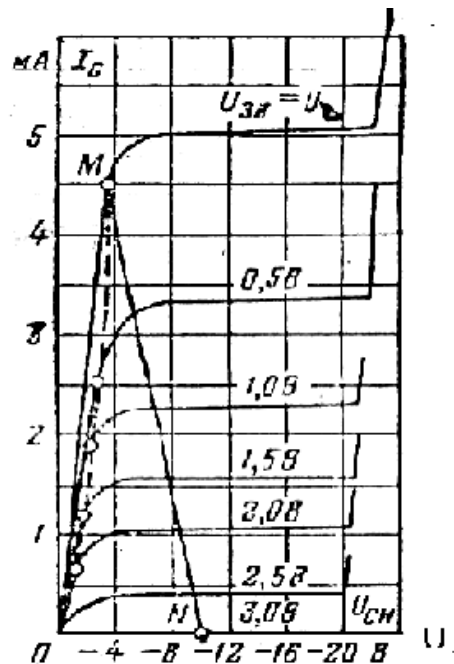


Рис. 11.

Проверяем отношение

$$\frac{U_{СИмакс}}{U_{3Иотс}} = \frac{10}{3,4} \approx 2,94 > 2,5$$

Среднее значение входного сопротивления

$$r_{вх} \approx \frac{U_{сш}}{I_{3ут}} \approx \frac{10}{20 \cdot 10^{-9}} \approx 500 M\Omega$$

II. Выбор сопротивления резистора R_c . Выбираем сопротивление резисторов R_c из условия получения амплитуды импульса равной $U_{вых.и}: -10 B$

$$U_{cu1} \approx U_{cu2} \approx E_c - U_{3Иотс} \Rightarrow E_c = U_{cu1} + U_{3Иотс} = -10 + 3.48 = -6.52B$$

$$R_c \approx \frac{U_{cu1}}{I_c} = \frac{10}{4.5 \cdot 10^{-3}} = 2.22 k\Omega$$

(2,7кОм)

III. Вычисление ёмкости большего из конденсаторов C_2 (рис.2). Она должна быть такой, чтобы за время длительности выходного импульса $\tau_u = 10 \mu s$ он успевал зарядиться. Поэтому

$$3 \cdot C_2 \cdot R_c \leq \tau_u \text{ или } C_2 \leq \frac{\tau_u}{3R_c} = \frac{10^{-5}}{3 \cdot 2.7 \cdot 10^3} = 1234 nF$$

(1200пФ)

IV. Сопротивление резисторов R_3

$$R_3 = \frac{T - \tau_u}{C_2 \ln \frac{E_c + U_{cu2}}{E_c + U_{3Иотс}}} = \frac{(200 - 10) \cdot 10^{-6}}{1200 \cdot 10^{-12} \ln \frac{-6.52 - 10}{-6.52 + 3.4}} = 43 \text{ кОм} \quad (39 \text{ кОм})$$

Полученное значение сопротивлений резисторов R_3 удовлетворяет двум условиям: оно значительно меньше входного сопротивления транзистора ($R_{ex} = 500 \text{ МОм}$) и значительно больше сопротивления открытого р-п перехода. Первое условие важно с точки зрения влияния входного сопротивления транзистора на период следования импульсов, а второе – для обеспечения на затворе (относительно истока) напряжения открытого транзистора, близкого к нулю.

V. Ёмкость конденсатора C_1

$$C_1 = \frac{\tau_u}{R_3 \ln \frac{E_c + U_{cu1}}{E_c + U_{3Иотс}}} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{39 \cdot 10^3 \ln \frac{-6.52 + 10}{-6.52 + 3.4}} = 119 \text{ нФ} \quad (120 \text{ пФ})$$

VI. Длительность среза импульса

$$\tau_{cp} \approx 3,0 R_c C_1 = 3 \cdot 2700 \cdot 119 \cdot 10^{-12} = 0,963 \text{ мкс} \leq \tau_{cp}$$

VII. Длительность фронта импульса

$$t_{\phi 1} \approx t_{\phi 2} \approx 3 R_c C_0, \text{ где } C_0 \approx C_{11n} + C_{12n} + C_m = 20 + 8 + 20 = 48$$

$$t_{\phi 1} \approx t_{\phi 2} \approx 3 \cdot 2700 \cdot 48 \cdot 10^{-12} = 0,38 \text{ мкс}$$

при этих значениях $t_{\phi 1}, t_{\phi 2}$ форма импульсов будет хорошей.

3.2. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

На основании приведенного выше расчета выбираем элементы (для схемы электрической принципиальной данной в пункте 1):

1) В качестве транзисторов Т1 и Т2 были взяты полевые транзисторы КП103Л, со следующими характеристиками:

- Структура: р-п;
- Канал р-типа;
- $U_{СИ} = 10 \text{ В}$;
- $U_{3Иотс} \approx 3,4 \text{ В}$;
- Ток затвора $I_{3ут} \leq 20 \text{ нА}$;
- Входная ёмкость $C_{11n} \leq 20 \text{ пФ}$, проходная ёмкость $C_{12n} \leq 8 \text{ пФ}$;
- Максимально допустима рассеивающая мощность коллектора: 120 мВт.

2) В соответствии с рассчитанной емкостью C_1 и C_2 , подбираем следующие конденсаторы соответственно: М47 $U_{\text{ном}}=10$ В; $C=120$ пФ $\pm 5\%$ и П33 $U_{\text{ном}}=10$ В; $C=1200$ пФ $\pm 10\%$ - удовлетворяющие нашим требованиям и расчетам.

В соответствии с рассчитанными номиналами резисторов в пункте 2.1., имеем:

$$R_3 = 39 \text{ кОм:} \quad \text{МЛТ-0,125-39кОм}\pm 2\%;$$

$$R_c = 2,7 \text{ кОм} \quad \text{С5-36,47-2700 Ом}\pm 2\%;$$