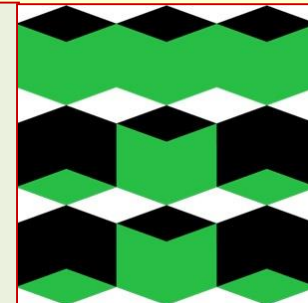




Военный учебный центр при Томском политехническом университете



**Цикл
№2**

**«Боевое применение подразделений,
вооружённых зенитными артиллерийскими
самоходными установками с радиоприборными
комплексами»**

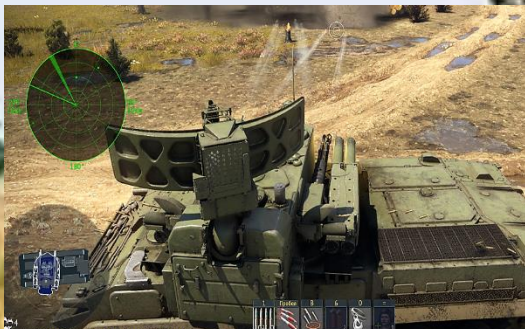


КУРС ЛЕКЦИЙ

**Автор: преподаватель 2 цикла
*подполковник запаса Гаврилов А. А.***



Дисциплина:
«Устройство и эксплуатация ЗСУ»
Раздел 1:
«Основы построения ЗАК»



Тема №2
Основы радиолокации

Контрольные вопросы



Занятие №3
Устройство и работа
импульсной техники

Цели занятия:

Изучить:

- виды электрических импульсов и их параметры;
- цепи формирования импульсов;
- методы определения дальности;
- методы определения угловых координат.

Актуальность занятия:

Обусловлено:

- необходимостью иметь глубокие и твердые знания по видам электрических импульсов и их параметрам; цепям формирования импульсов; методам определения дальности; методам определения угловых координат для формирования компетенций офицера войсковой ПВО.

ВИД ЗАНЯТИЯ:

групповое занятие, 2 часа

Вопросы занятия:

1. Виды электрических импульсов и их параметры.
2. Цепи формирования импульсов.
3. Методы определения дальности.
4. Методы определения угловых координат.

В.А. Подгорный



ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
ЗЕНИТНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ
КОМПЛЕКСОВ



Литература:

1. Учебное пособие
«Основы построения ЗАК»-2013 г.,
стр.69-72, 55-59

Вопрос 1

Виды электрических импульсов и их параметры

Импульсы

Электрический импульс - это кратковременное изменение

тока (напряжения) обязательно радиосигнала

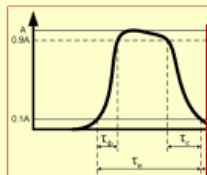
В импульсных сигналах применяются импульсы

- Видеоимпульсы
- Радиоимпульсы

$$U(t) \sin(\omega t)$$

Видеоимпульсы и **Радиоимпульсы** могут быть, постоянную составляющую. **Радиоимпульсы** электрического тока, которых зависят от Огибающая радиосигнала

Основные параметры импульсов

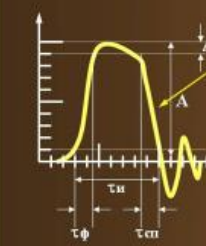


- A** - амплитуда, мА
- τ_n** - длительность
- τ_ϕ** - длительность фазы
- τ_c** - длительность спада
- ΔA** - скос вершины
- T_n** - период повторения
- Q** - скважность;

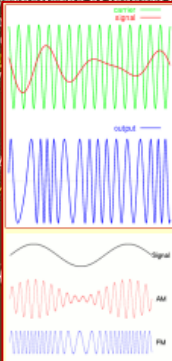
$$Q = \frac{T_n}{\tau_n} = \frac{1}{F_n \cdot \tau_n}$$

Параметры электрических импульсов

В радиолокационной технике очень широко применяется импульсная техника. Импульсные сигналы. Импульс - это кратковременное изменение тока в цепи. Импульсы называются **видеоимпульсами** и имеют форму видеоимпульса



Огибающая радиосигнала



Например, модулированный сигнал

Модуляция

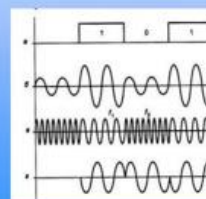
Модуляция (лат. modulatio — размерность, ритмичность) — процесс изменения одного или нескольких параметров модулируемого **несущего сигнала** при помощи **модулирующего сигнала**

Модуляция

Модуляция - [лат. modulatio мерность, размерность] — процесс изменения одного высокочастотного информационного сигнала

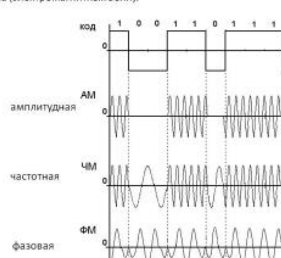
Виды модуляции:

- амплитудная модуляция
- частотная модуляция
- фазовая модуляция

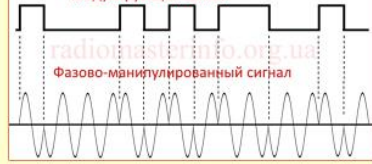


Модуляция аналогового сигнала

Модуляция — способ представления цифрового кода в виде аналогового сигнала (электромагнитных волн).

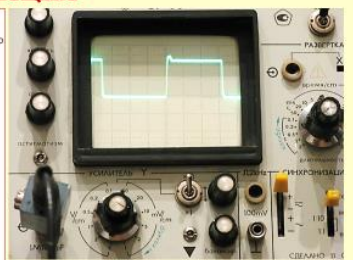


Модулирующий сигнал



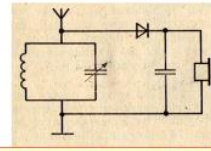
Фазо-манипулированный сигнал

Модуляция



Модуляция - кодированное изменение одного из параметров.

Амплитудная модуляция - изменение амплитуды высокочастотных колебаний по закону изменения звукового передаваемого сигнала.

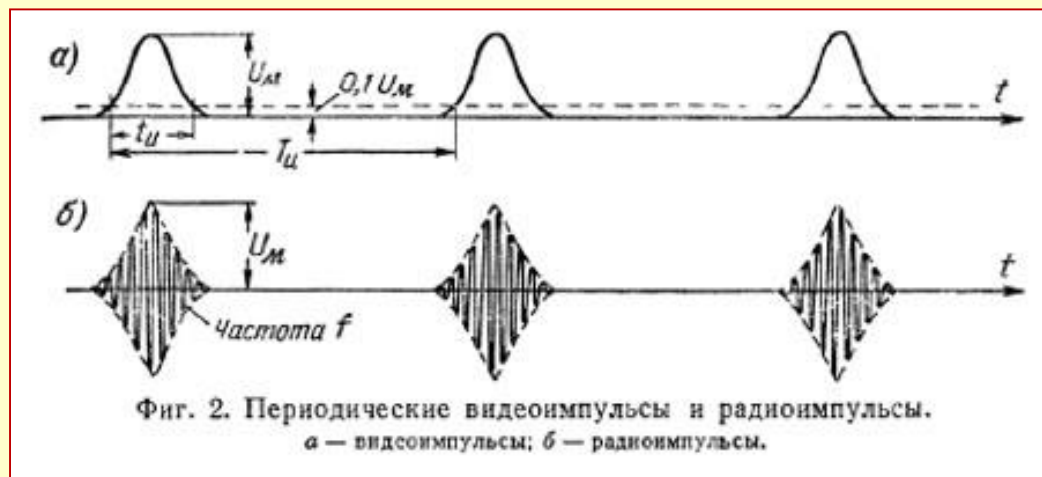


Импульсы

Электрический импульс - это кратковременное изменение тока (напряжения) относительно некоторого исходного уровня (не обязательно равного нулю).

В импульсной технике применяются два вида импульсов:

- **Видеоимпульсы** - $U(t)$;
- **Радиоимпульсы** $U(t) \sin(\omega t)$.



Видеоимпульсы — это импульсы постоянного тока (напряжения).

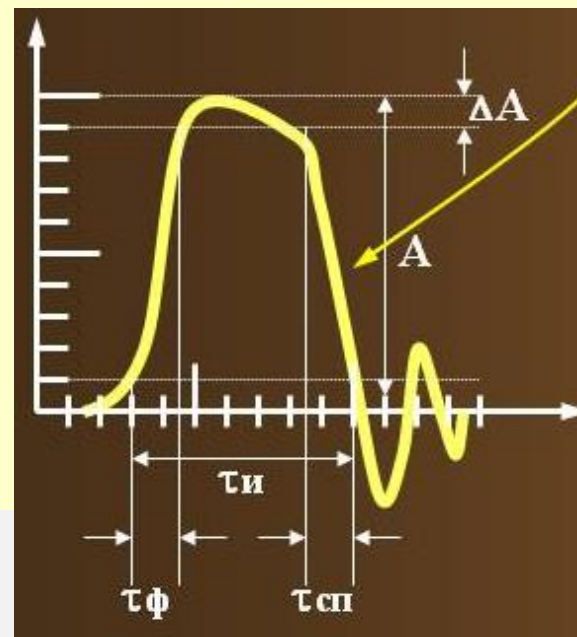
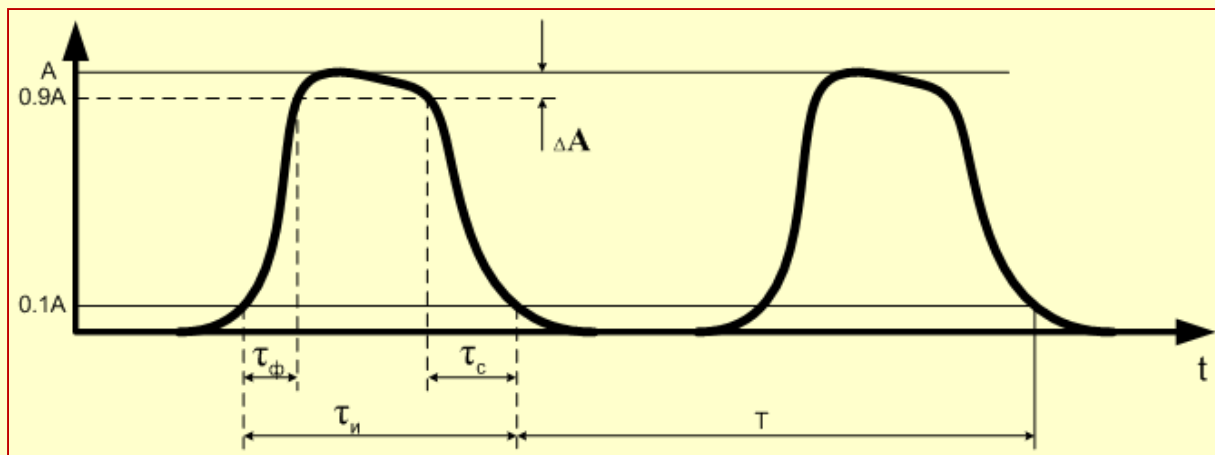
ВИ могут быть, как положительными, так и отрицательными. Имеют постоянную составляющую.

Радиоимпульсы - это прерывистые ВЧ или СВЧ колебания электрического тока или напряжения, амплитуда и продолжительность которых зависят от параметров *модулирующих* колебаний.

Огибающая *радиоимпульса* представляет собой *видеоимпульс*.

Дополнительным параметром **РИ** является *несущая частота* ($f_{\text{нес}}$).

Основные параметры импульсов



A - амплитуда, максимальная величина;

τ_u - длительность импульса на уровне $0.1A$;

τ_{ϕ} - длительность фронта на уровне от $0.1A$ до $0.9A$;

τ_c - длительность спада на уровне от $0.9A$ до $0.1A$;

ΔA - скос вершины = $0.1A$;

T_n - период повторения (следования); **$F_n = 1/T_n$** - частота повтор.;

Q - скважность;

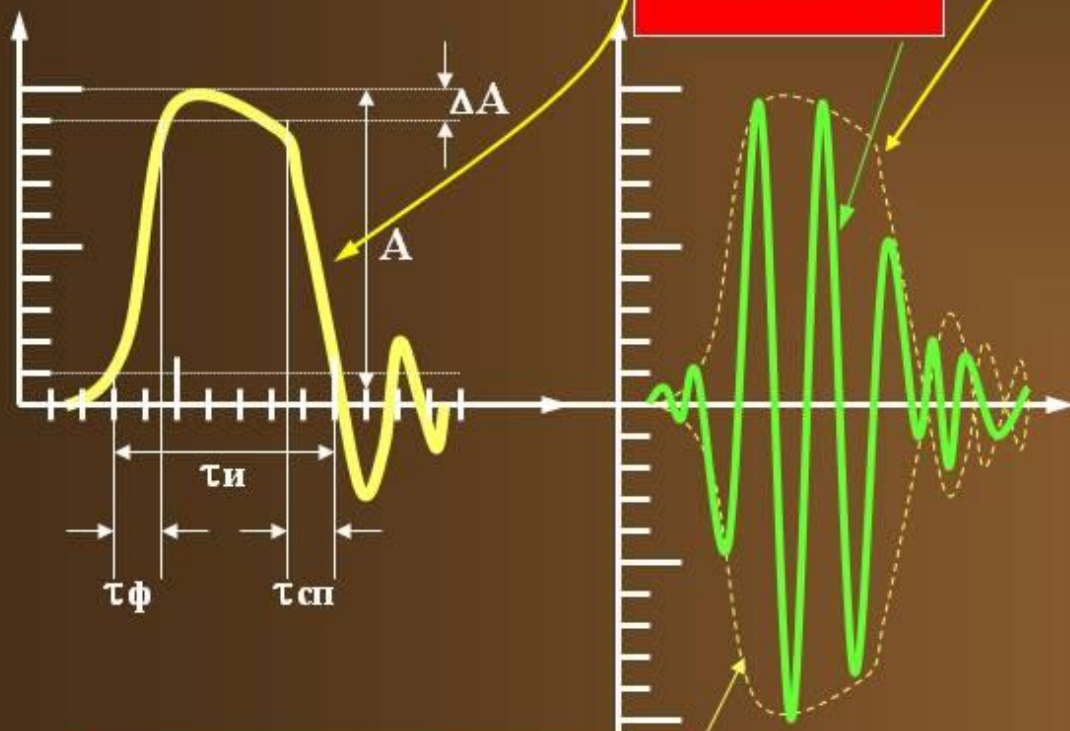
K_z - коэффициент заполнения.

$$Q = \frac{T_n}{\tau_u} = \frac{1}{F_n \cdot \tau_u}$$





$$K_z = \frac{1}{Q} = \frac{\tau_u}{T_n} = F_n \cdot \tau_u$$

Параметры электрических импульсов

В радиолокационной технике очень широко применяется импульсная техника. Импульсные устройства вырабатывают видео и радиоимпульсы. Импульс-это кратковременное скачкообразное изменение напряжения или силы тока в цепи. Импульсы однополярные (без высокочастотной составляющей) называются видеоимпульсами. Электрические колебания, огибающая которых имеет форму видеоимпульсов называются радиоимпульсами.



Виды видеоимпульсов

-  прямоугольный
-  трапецидальный
-  экспоненциальный
-  колоколообразный

Огибающая радиоимпульса



Преобразование сигналов

В процессе передачи информации от источника к потребителю управляющие сигналы и радиосигналы подвергаются различным преобразованиям.

Виды преобразований:

- получение модулированных колебаний (**модуляция**);
- детектирование радиосигналов (демодуляция);
- преобразование частоты радиосигналов;
- умножение частоты;
- ограничение амплитуды колебаний;
- дифференцирование и интегрирование сигналов.

Модуляция (лат. modulatio - размеренность, ритмичность) - процесс изменения одного или нескольких параметров модулируемого **несущего сигнала** при помощи **модулирующего сигнала**.

$$(f_m = f_{\text{нес}} + f_{\text{мод}})$$

На примере **частотной модуляции**: *carrier* — несущая, *signal* — модулирующий сигнал, *output* — собственно результат — **частотная модуляция**.

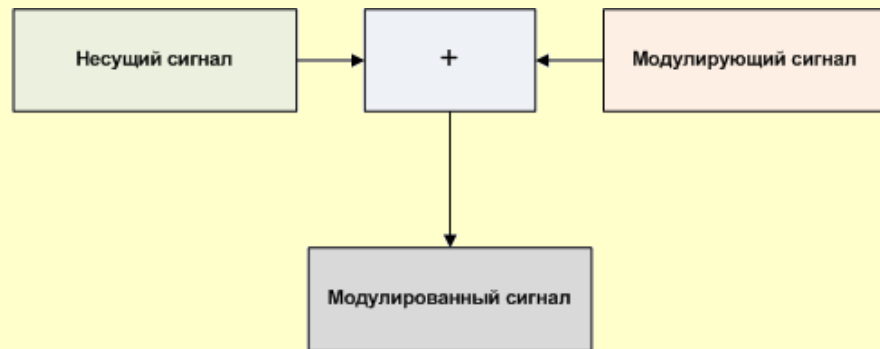
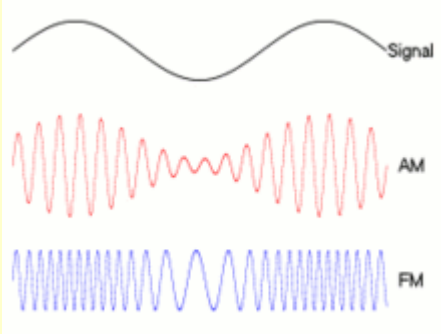
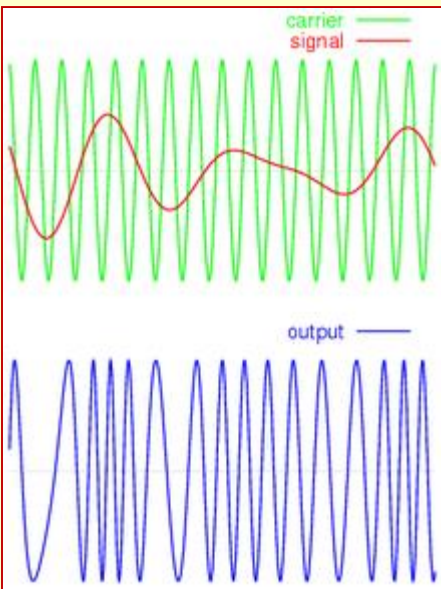
Модуляция

Модуляция осуществляется в специальных устройствах - **модуляторах**.

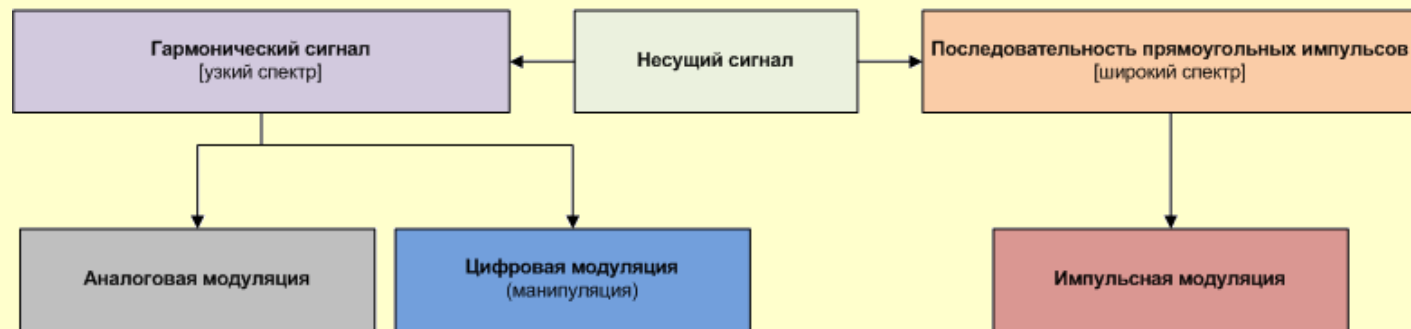
На один вход подается - *управляющий сигнал* $U_{упр}(t)$;

на второй вход - *гармоническое несущее колебание* $U_{нес}(t)$.

На выходе появляются - модулированное колебание $U_{мод}(t)$.



Виды Модуляции

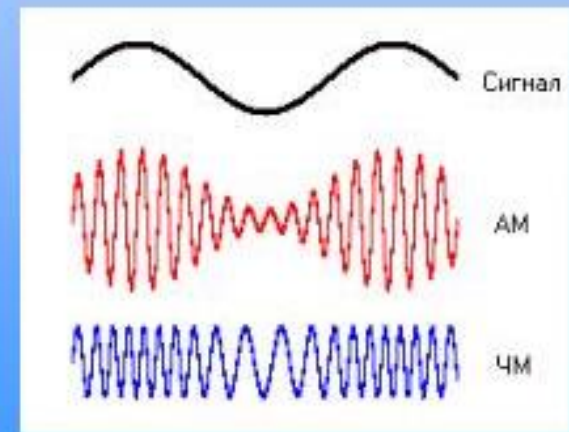
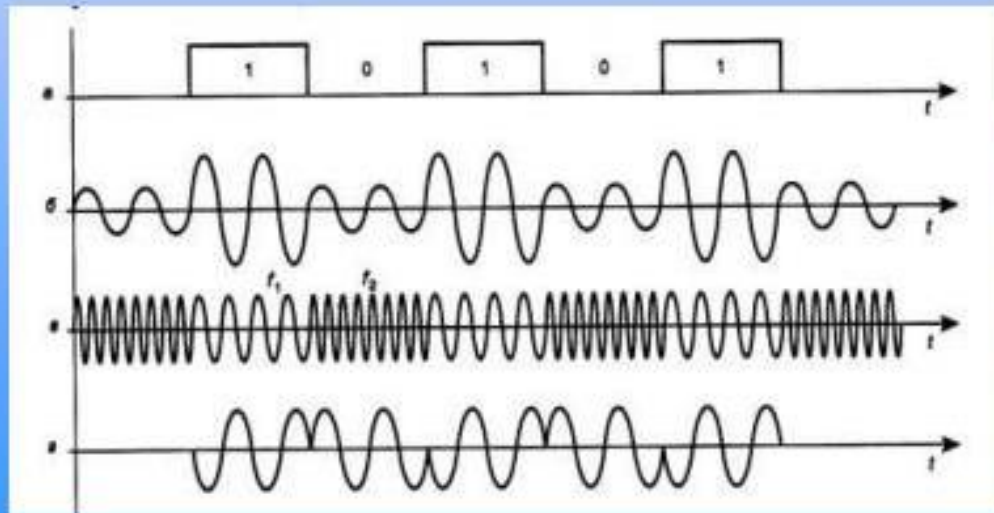


Модуляция

Модуляция - [лат. modulatio мерность, размерность] — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного модулируемого колебания по закону информационного низкочастотного сообщения (сигнала).

Виды модуляции:

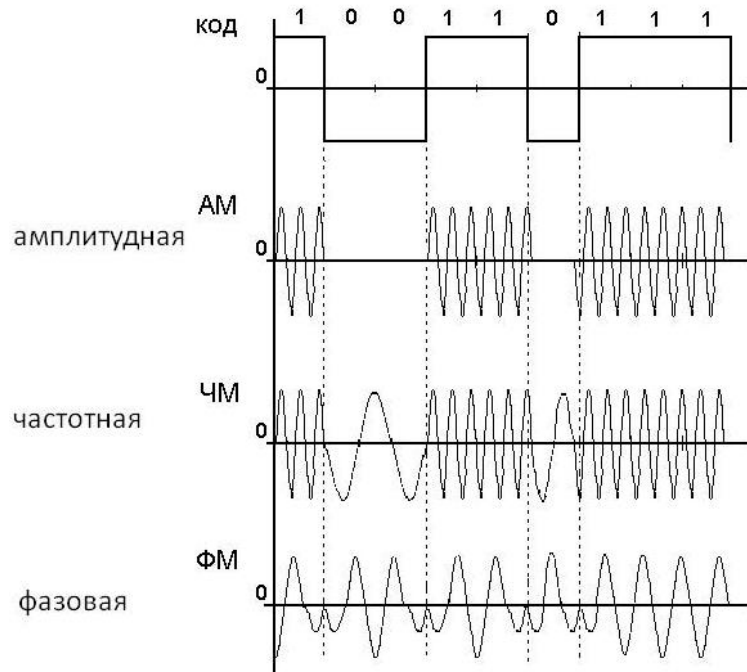
- *амплитудная модуляция (б)*
- *частотная модуляция (в)*
- *фазовая модуляция (г)*



Модуляция

Модуляция аналогового сигнала

Модуляция – способ представления цифрового кода в виде аналогового сигнала (электромагнитных волн).

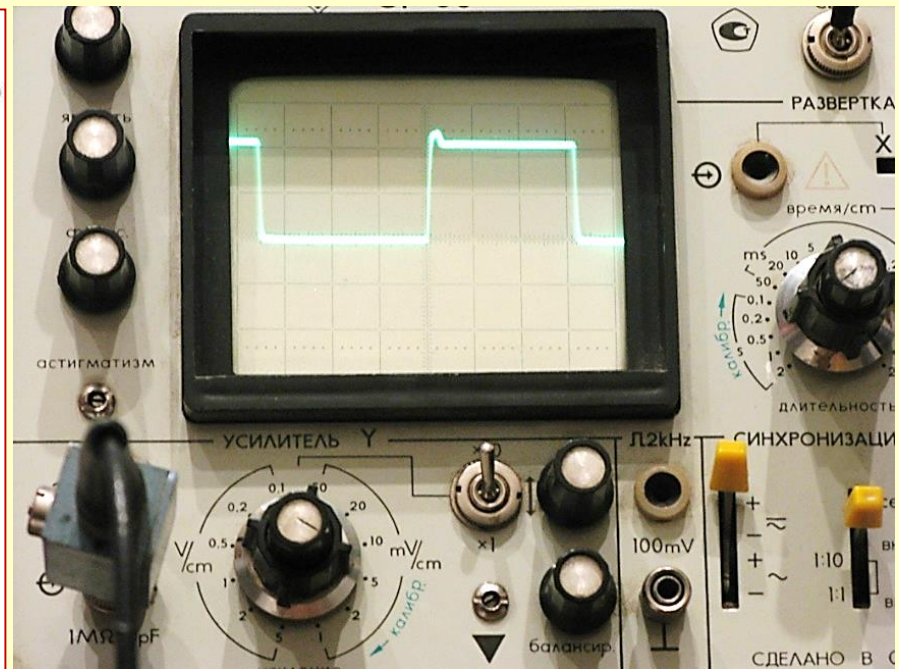
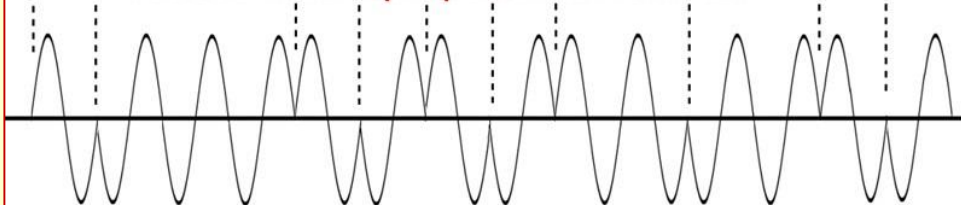


Модулирующий сигнал

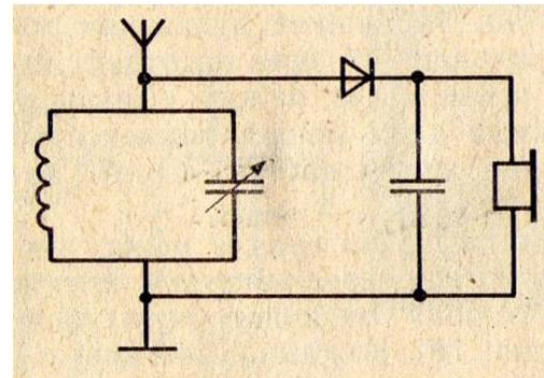


radiomasterinfo.org.ua

Фазово-манипулированный сигнал



- **Модуляция** - кодированное изменение одного из параметров.
- Амплитудная модуляция – изменение амплитуды высокочастотных колебаний по закону изменения звукового передаваемого сигнала.



Вопрос 2

Цепи формирования импульсов

Основные элементы цепи

Условное обозначение элементов

Основные параметры цепи

Параметры – это количественные характеристики элементов

Электрические

Параметры

- ЭДС и внутр.

Параметры

- сопротивление

Элементы, с

линейными

Линейными

Линейными

Линейные эл.

Л, С, М) не

приложенны

направлений

В таких цепях

связаны меж

Электрические
Активные
Пассивные
Пассивные

Электрические цепи

Нелинейными электрическими цепями называются цепи, составленные из нелинейных элементов, или цепей, в которых хотя бы один элемент является нелинейным.

Дифференцирующие цепи

Дифференцирующие цепи – это цепи, у которых

электрическая по времени от

Диф. цепи служат для

- укорочения длительности

- синхронизации

- получения импульсов

измерительной аппаратуры

Основны

a – ёмкост

Принцип действия ёмкостной диф. цепи

1. В исходном состоянии ($t < t_1$) по

Принцип действия ёмкостной диф. цепи

3. В момент t_1 по мере заряда ёмкости С напряжение U_C

изменяется от

напряжения на

тока заряда ёмк

При соблюдении

через время t_2

времени t_2 до

Произведен

времени цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

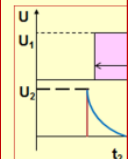
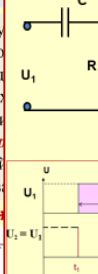
время цепи

время цепи

время цепи

время цепи

время цепи



Вывод:

Интегрирующие цепи

Интегрирующая цепь – это цепь, у которой

Принцип работы интегрирующей цепи

На вход схемы подается импульс в форме $u_{вх} = u_1(t)$.

В момент t_1 на вход цепи подается импульс U_1 . Так как напряжение на конденсаторе $U_C = 0$, то в момент t_1 по закону Ома на резисторе R возникает напряжение $U_R = U_1$.

На практике напряжение на выходе цепи U_2 является интегралом от входного напряжения U_1 .

Наиболее распространённая форма импульса – это импульс с постоянной амплитудой U_1 и длительностью t_1 .

Наиболее распространённая форма импульса – это импульс с постоянной амплитудой U_1 и длительностью t_1 .

Наиболее распространённая форма импульса – это импульс с постоянной амплитудой U_1 и длительностью t_1 .

Далее происходит заряд ёмкости С по экспоненциальному закону.

При условии, что $t_1 \gg \tau$, процесс зарядки конденсатора C можно считать линейным.

Таким образом, интегрирующая цепь RC даёт на выходе экспоненциально изменяющееся напряжение фронта и среза импульсов U_2 с амплитудой $U_2 \ll U_1$ при $RC = \tau \gg t_1$.

Чем сильнее неравенство $t_1 / \tau \gg 1$, тем точнее интегрирование и тем ближе к линейному закону изменения напряжения U_2 .

Закон изменения U_2 на выходе цепи имеет некоторую ошибку интегрирования, зависящую от величины параметров цепи R и C.

Чем больше величина $\tau = RC$, тем меньше отклонение от линейного закона, тем точнее интегрирование входного напряжения, но меньше напряжение на выходе по амплитуде.

Принцип работы интегрирующей цепи

Далее происходит заряд ёмкости С по экспоненциальному закону.

При условии, что $t_1 \gg \tau$, процесс зарядки конденсатора C можно считать линейным.



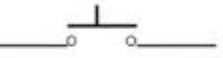


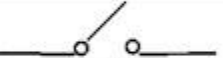
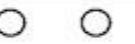


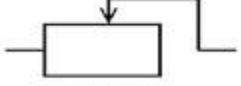

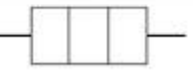

Таким образом, интегрирующая цепь RC даёт на выходе экспоненциально изменяющееся напряжение фронта и среза импульсов U_2 с амплитудой $U_2 \ll U_1$ при $RC = \tau \gg t_1$.

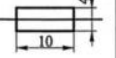
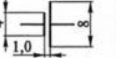
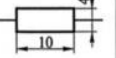




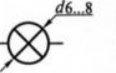
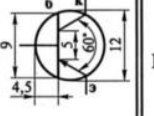
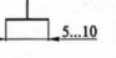


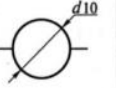

Чем сильнее неравенство $t_1 / \tau \gg 1$, тем точнее интегрирование и тем ближе к линейному закону изменения напряжения U_2 .

Закон изменения U_2 на выходе цепи имеет некоторую ошибку интегрирования, зависящую от величины параметров цепи R и C.

Основные элементы цепи

Условное обозначение элементов электрической цепи

источники тока	потребители	управляющие элементы	провода
 гальванический элемент	 лампочка	 кнопка	 соединение проводов
	 звонок	 ключ	 клеммы
 батарея элементов	 резистор	 реостат	 пересечение проводов
	 нагревательный элемент	 предохранитель	

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Предохранитель плавкий		Гальванический элемент	
Резистор		Конденсатор	
Диод полупроводниковый		Катушка индуктивности	
Стабилитрон		Лампа	
Транзистор		Корпус	
Выключатель		Соединение разъемное	
Прибор измерительный		Соединение неразъемное	

Электрическая цепь включает *активные* и *пассивные* элементы.

Активные элементы цепи – это различные источники электрической энергии.

Пассивные элементы – это те, которые способны рассеивать или запасать энергию в виде магнитных и электрических полей.

Пассивные элементы не вносят энергию в систему.

Основные параметры цепи

Параметры – это количественные характеристики элементов электрической цепи.

Параметры активных элементов:

- ЭДС и внутреннее сопротивление источника.

Параметры пассивных элементов:

- сопротивление, ёмкость и индуктивность.

Элементы, составляющие электрическую цепь, могут быть **линейными** и **нелинейными**.

Линейными электрическими цепями называются такие, которые состоят из линейных элементов.

Линейные элементы цепи - это элементы, параметры которых (R , L , C , M) не изменяются под действием протекающих токов и приложенных напряжений, т.е. не зависят от величин или направлений токов и напряжений в цепи.

В таких цепях переменные величины токов и напряжений будут связаны между собой *линейными уравнениями*.

Электрические цепи

Нелинейными электрическими цепями называются цепи, составленные из нелинейных элементов.

Параметры нелинейных элементов являются функциями токов или напряжений, действующих в цепи, т.е. зависят от их величин.

Нелинейными элементами цепей являются:

- электронные лампы (полупроводниковые приборы), работающие на нелинейном участке ВАХ;
- вентили, трансформаторы, и т.д.

В импульсной технике для формирования сигналов широко применяются линейные цепи:

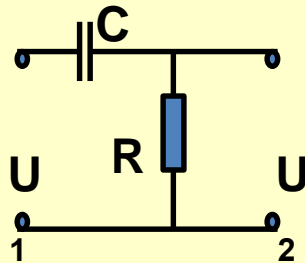
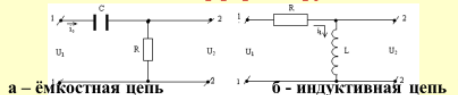
- *дифференцирующие и интегрирующие**.

Дифференцирующие цепи

Дифференцирующие цепи – это цепи, у которых электрическая величина на выходе пропорциональна производной по времени от входной величины.

Диф. цепи служат для дифференцирования видеоимпульсов и позволяют производить следующие преобразования:
- **укорочение** длительности импульсов (τ_n) и формирование остроконечных импульсов, служащих для запуска и синхронизации различных устройств;
- **получение производной** по времени от сложных функций в ЭВМ, измерительной аппаратуре, в системах автоспроваждения и авторегулирования.

Основные виды дифференцирующих цепей:

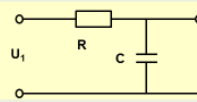


Интегрирующие цепи

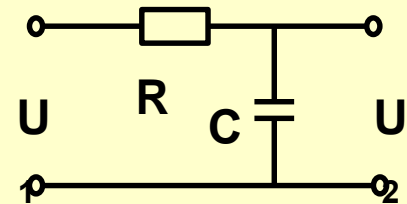
Интегрирующими называются цепи, у которых электрическая величина на выходе $f(t)$ пропорциональна интегралу по времени от входной величины $f_1(t)$, т.е.

$$f_2(t) = K \int_0^t f_1(t) dt$$

На практике чаще всего применяют **интегрирующие цепи**, напряжение на выходе которых пропорционально интегралу по времени от входного напряжения.



Наиболее распространена ёмкостная интегрирующая цепь RC, применяющаяся часто как сглаживающий фильтр в выпрямительных устройствах.



Дифференцирующие цепи

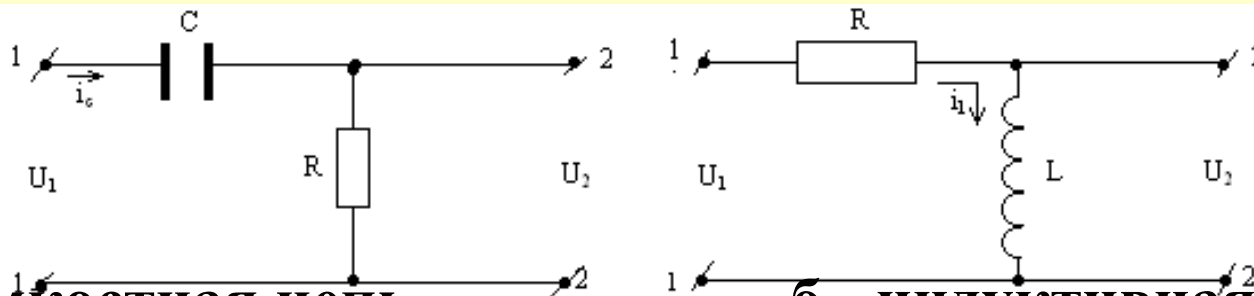
Дифференцирующие цепи – это цепи, у которых электрическая величина на выходе пропорциональна производной по времени от входной величины.

Диф. цепи - служат для дифференцирования видеоимпульсов.

Используются для:

- укорочения длительности импульсов ($\tau_{и}$);
- формирования остроконечных импульсов, служащих для запуска и синхронизации РТУ;
- получения производной по времени от сложных функций в ЭВМ, измерительной аппаратуре, в САУ (системах автосопровождения и авторегулирования).

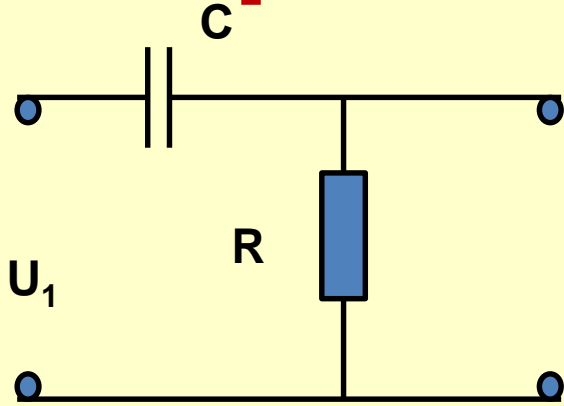
Основные виды дифференцирующих цепей:



а – ёмкостная цепь

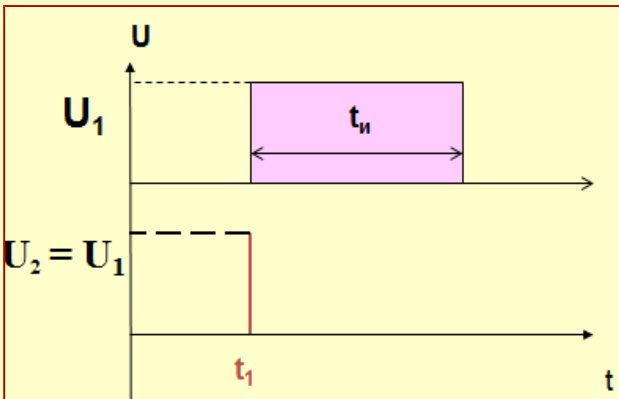
б - индуктивная цепь

Принцип действия ёмкостной диф. цепи



1. В исходном состоянии ($t < t_1$) до воздействия входного импульса ($U_1 = 0$) в цепи нет запасов электрической энергии, следовательно, **напряжения на элементах равны нулю:**

$$U_c = U_{c0} = 0; \quad i_c = 0; \quad U_2 = 0.$$



2. В момент времени t_1 на вход цепи скачком поступает напряжение U_1 . Так как напряжение на конденсаторе не может измениться мгновенно, то напряжение U_1 в этот момент времени t_1 окажется приложенным к сопротивлению R .

$$U_c = 0; \quad i_c = 0; \quad U_2 = U_1.$$

Принцип действия ёмкостной диф. цепи

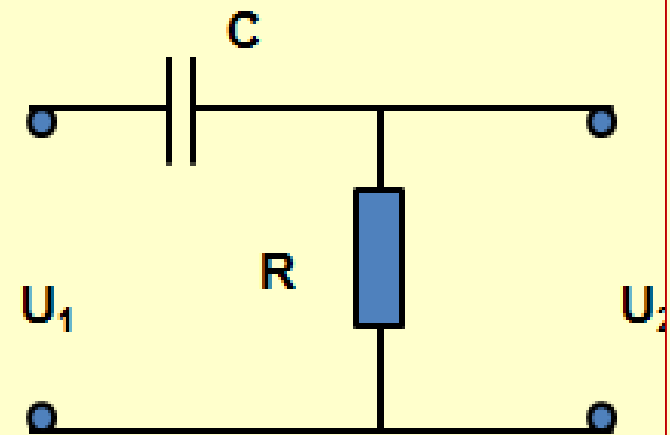
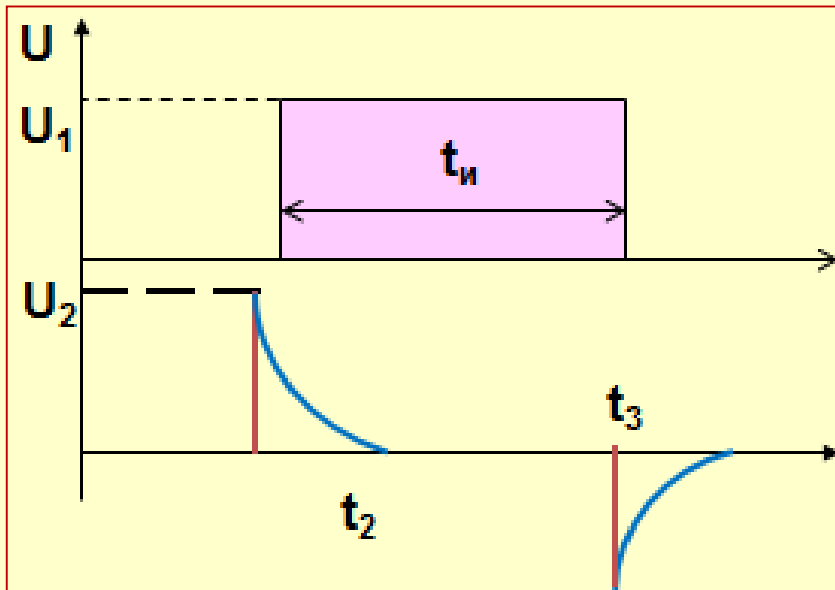
3. В момент t_2 по мере заряда ёмкости C напряжение U_c

изменяется от нулевого значения по экспоненциальному закону, а напряжение на выходе по форме соответствует закону изменения тока заряда ёмкости.

При соблюдении неравенства $t_{ин} \gg RC$ заряд ёмкости закончится через время $t \geq (3 \div 5)RC$ и напряжение на выходе в момент времени t_2 достигнет нулевого значения.

Произведение параметров цепи R и C называется *постоянной времени* цепи $\tau = RC$.

При этом $u_2 = 0$; $u_1 = E$; $u_c = E$; $i_c = 0$

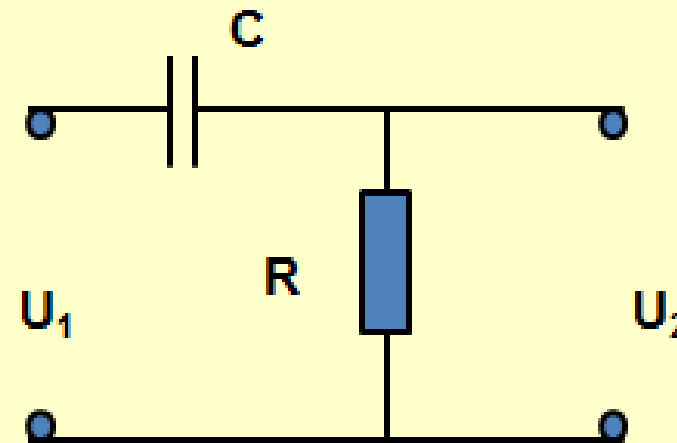
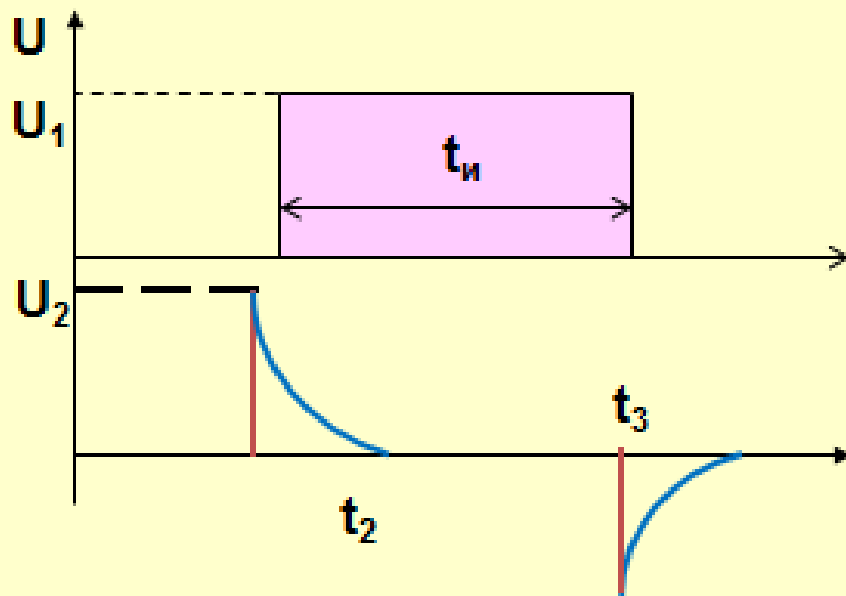


Принцип действия ёмкостной диф. цепи

4. В момент t_3 напряжение на входе скачком уменьшится до нуля, конденсатор C , заряженный до напряжения на выходе $u_c(t_3) = E$, становится источником напряжения.

Так как внутреннее сопротивление источника R_0 по условию равно нулю, то в момент t_3 напряжение на выходе $U_2 = -U_1$.

В этот же момент t_3 ток разряда скачком достигает величины $i_c = -U_c/R = -U_1/R$ и по мере разряда ёмкости C убывает по экспоненциальному закону до нуля, имея направление противоположное первоначальному.



Вывод:

Для Дифференцирующей цепи:

- амплитуда выходного напряжения (U_{2m}) не зависит от значений параметров цепи R и C ,
- длительность импульсов ($\tau_{и}$) на выходе определяется величиной *постоянной времени цепи*, $\tau_{и} = RC$.

Чем меньше значение R и C :

- тем быстрее заканчиваются переходные процессы заряда и разряда ёмкости,
- тем короче импульс на выходе цепи.

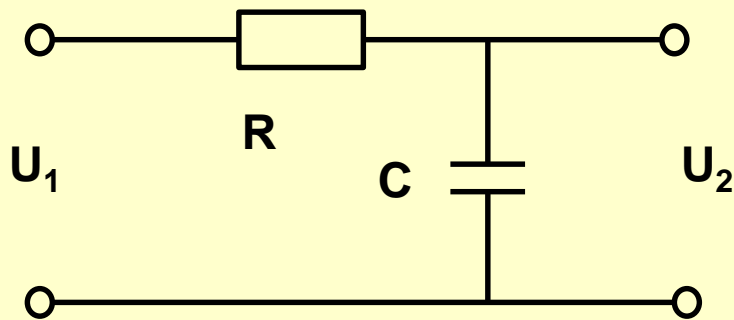


$$t_{и} \gg RC$$

Интегрирующие цепи

Интегрирующими называются цепи, у которых электрическая величина на выходе $f(t)$ пропорциональна интегралу по времени от входной величины $f_1(t)$, (напряжения) т.е.

$$f_2(t) = K \int_0^t f_1(t) dt$$



Наиболее распространена ёмкостная интегрирующая цепь RC, применяющаяся часто как сглаживающий фильтр в выпрямительных устройствах.

Интегрирующие цепи

Интегрирующие цепи применяются:

- для формирования импульсов пилообразного напряжения;
- для увеличения длительности импульсов;
- для фильтрации переменной составляющей напряжения;
- для селекции импульсов по длительности.

Интегрирующие цепи применяются:

- в вычислительных системах, устройствах САУ (автосопровождения, авторегулирования) и схемах синхронизации;
- для формирования пилообразных напряжений, используемых:
 - в схемах генераторов напряжений развёртки,
 - в сравнивающих устройствах,
 - в схемах временной задержки импульсов.

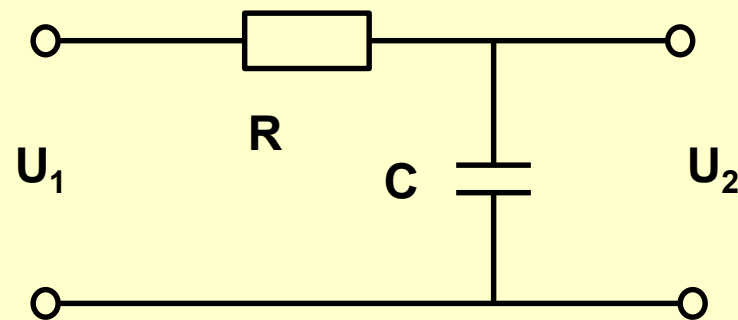
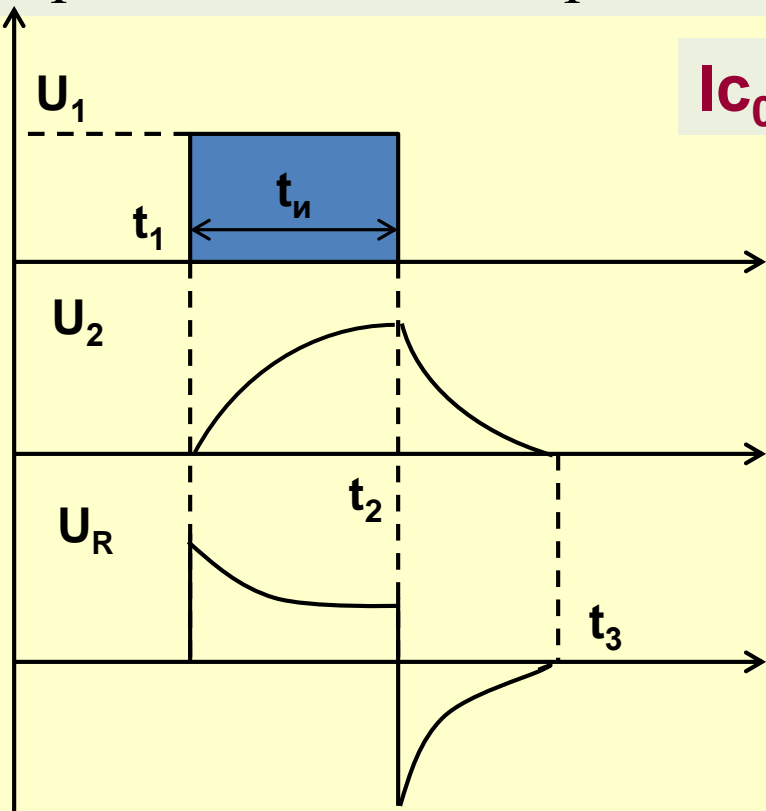
Принцип работы интегрирующей цепи

На вход схемы поступает напряжение импульса прямоугольной формы $u_{\text{вх}} = u_1(t)$.

В момент t_1 на вход цепи подаётся скачком напряжение U_1 .

Так как напряжение на ёмкости C не может измениться скачком ($U_{C0} = 0$), то в момент $t=t_1$ всё напряжение E окажется приложенным к сопротивлению R , и начальный ток в цепи будет:

$$I_{C0} = U_1/R$$



Принцип работы интегрирующей цепи

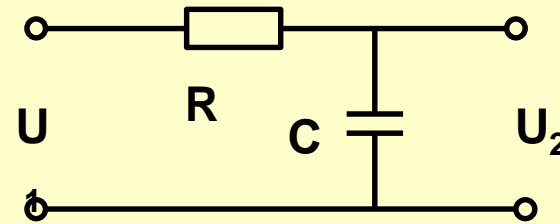
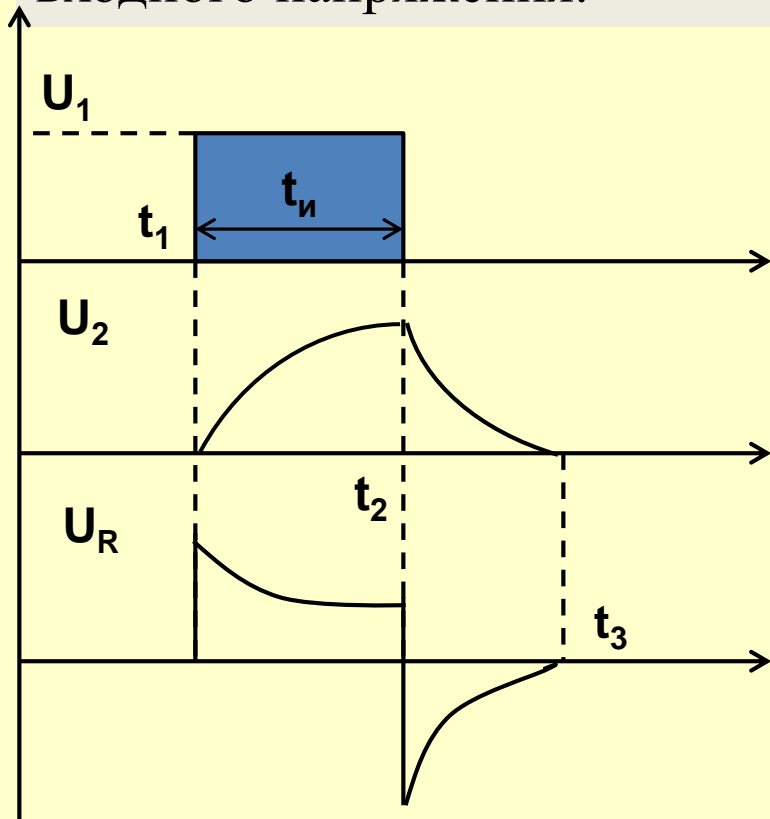
Далее происходит заряд ёмкости C по экспоненциальному закону.

При условии, что постоянная времени цепи $RC \gg t_{и}$,

за время действия импульса ёмкость C не успеет зарядиться до величины

U_1 и процесс заряда прекратится в момент t_2 по окончании действия

входного напряжения.



В момент $t_1 = t_2$ напряжение на входе уменьшается скачком до нуля и ёмкость C , заряженная до величины $U_2 < U_1$, начинает разряжаться по экспоненциальному закону.

Вывод:

Таким образом:

Интегрирующая цепь RC даёт на выходе:

- экспоненциально изменяющиеся напряжения фронта и среза импульсов U_2 с амплитудой $U_2 \ll U_1$ при $RC = \tau \gg \tau_{и1}$.

Чем сильнее неравенство: $\tau / \tau_{и1} \gg 1$, тем точнее интегрирование и тем ближе к линейному закон изменения напряжения U_2 .

Закон изменения U_2 на входе цепи имеет некоторую ошибку интегрирования, зависящую от величины параметров цепи R и C .

Чем больше величина $\tau = RC$, тем меньше отклонение от линейного закона, тем точнее интегрирование входного напряжения, но меньше напряжение на выходе по амплитуде.



Вопрос 3

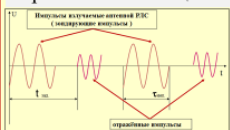
Методы определения дальности

Методы определения дальности

- 1) частотный (с непрерывным излучением);
- 2) фазовый (с непрерывным излучением);
- 3) частотно-импульсный;
- 4) импульсный.

Импульс

Сущность импульсного метода заключается: - в измерении времени отраженными от цели импульсами



Для измерения $t_{зад}$ с высокой точностью необходимо сравнивать в процессе измерения. Способ сравнения - период эталонных электромагнитных колебаний относительная стабильность которого довольно

Импульсный метод определения дальности.

Период колебаний кварцевого генератора $T_{кв}$ соответствует времени запаздывания сигнала, отражённого от цели на расстоянии $D=1000m$.

В этом случае $T_{кв} = \frac{2D}{c} = \frac{2}{299792458} = 6,67 \cdot 10^{-9} s$ и частота кварцевого генератора $f_{кв} = \frac{1}{T_{кв}} = 149878 \pm 4 Hz$, $f_{кв} = 150 kHz$.

Целое число периодов кварцевого генератора даёт возможность измерить дальность до цели с точностью до 1 км. Такая точность явно низкая. Для более точного измерения необходимо обеспечить измерение времени задержки в пределах $T_{кв}$. Для этой цели в качестве устройства управления фазой колебаний кварцевого генератора в приемнике применяется

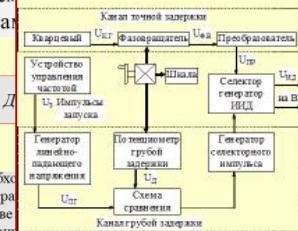
Фазовый инвертирующий элемент $\phi_{ф.и.} = \frac{\pi}{2}$, где колебаний будет.

Такой образом величина с задержкой $t_{зад} = n \cdot T_{кв}$ $0 \leq t_{зад} \leq T_{кв}$

Исчисление времени задержки имеет два возможных варианта:

Следовательно время является длительностью импульса $t_{зад}$, поэтому оно

Для точной фазовой селекции в приемнике выделителя. Для выделителя, который изменяет



Система измерения дальности.

Система измерения дальности. Упрощенный вариант



Принцип работы.

В каждом периоде повторения происходит запуск генератора напряжения $U_{г}$ и его сравнения с импульсом дальности $U_{д}$ пропорционально дальности.

В момент сравнения вырабатывается селекторный импульс $U_{с}$, а время задержки $n \cdot T_{кв}$, т.е. $t_{зад}$. Это будет гарантировать выделение единственного импульса $t_{зад}$.

Временное положение стробов, осуществляющих селекцию также определяется этим импульсом.

Достоинства импульсного метода

Достоинства ИМ:

- визуальное наблюдение цели в виде отметки на экране электронно-лучевой трубки;
- возможность размещения передатчика и приёмника на одной РЛС;
- работа передатчика и приёмника РЛС с использованием одной антенны.

Недостатки импульсного метода:

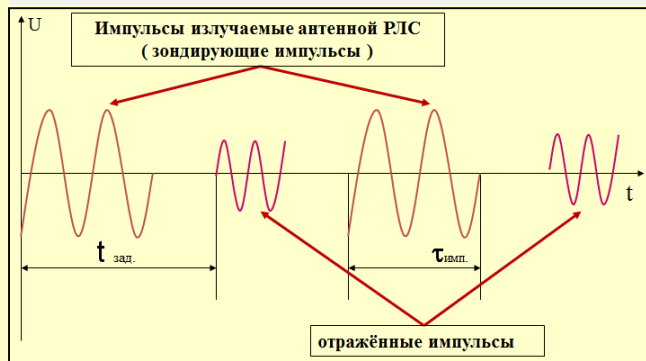
- большая **пиковая мощность излучения**, создающая опасность **пробоя** на выходе передатчика и антенно-волноводного тракта;
- широкая **полоса пропускания** приёмника, необходимая для неискажённого усиления импульсных сигналов и снижающая **помехоустойчивость**, и **дальность действия РЛС**;
- наличие **«мёртвой» зоны**, делающей невозможным обнаружение и определение координат целей вблизи станции;
- трудность **разделения сигналов**, отражённых от неподвижных и движущихся целей, требующая применения в импульсных РЛС специальных **систем селекции движущихся целей** (систем СДЦ).

Методы определения дальности

- 1) частотный (с непрерывным излучением);
- 2) фазовый (с непрерывным излучением);
- 3) частотно-импульсный;
- 4) импульсный.

Импульсный метод

Сущность **импульсного метода** определения дальности до цели заключается: - в измерении времени между зондирующими и отраженными от цели импульсами (эхо-сигналами).



$$D = \frac{C \cdot t_{\text{ЗАП}}}{2}$$

$$t_{\text{ЗАП}} = \frac{2D}{C},$$

Для измерения $t_{\text{ЗАП}}$ с высокой точностью необходимо выбрать эталон, с которым она будет сравниваться в процессе измерения. Способ сравнения - косвенный.

Для измерения времени задержки в качестве эталона в РЛС используется:

- период эталонных электромагнитных колебаний кварцевого генератора $U_{\text{КГ}}(t) = U_{\text{КГ}} \cdot \sin \omega_{\text{КГ}} \cdot t$,
относительная стабильность которого довольно высока $\approx 5 \cdot 10^{-7}$.

Импульсный метод определения дальности

Период колебаний кварцевого генератора $T_{КВГ}$ соответствует времени запаздывания сигнала, отражённого от цели на расстоянии $D_0=1000\text{м}$.

В этом случае $T_{КВГ} = \frac{2D_0}{C} = \frac{2}{299756 \pm 16} = 6,67 \text{ мкс}$, и частота кварцевого генератора $f_{КВГ} = (149878 \pm 8)\text{Гц}$. $f_{КВГ} = 150\text{кГц}$.

Целое число периодов кварцевого генератора даёт возможность измерить дальность до цели с точностью до 1 км. Такая точность явно низкая.

Для более точного измерения необходимо обеспечить измерение времени задержки и в пределах $T_{КВГ}$. Для этой цели в качестве устройства управления фазой колебаний кварцевого генератора в пределах периода целесообразно применить фазовращатель, в котором угол поворота ротора $\alpha_{ФВ}$ соответствует величине изменения фазы колебаний кварцевого генератора $\alpha_{ФВ} = \varphi$, где $0 \leq \varphi \leq 2\pi$, т.е. на выходе фазовращателя напряжение колебаний будет иметь вид:

$$U_{ФВ}(t) = U_{КГ} \cdot \sin(\omega_{КГ} \cdot t + \varphi).$$

Таким образом, измерение времени задержки можно осуществить в соответствии с зависимостью:

$$t_{Зад} = n \cdot T_{КВГ} + t'_{Зад}, \text{ где } n\text{-число периодов колебаний,}$$

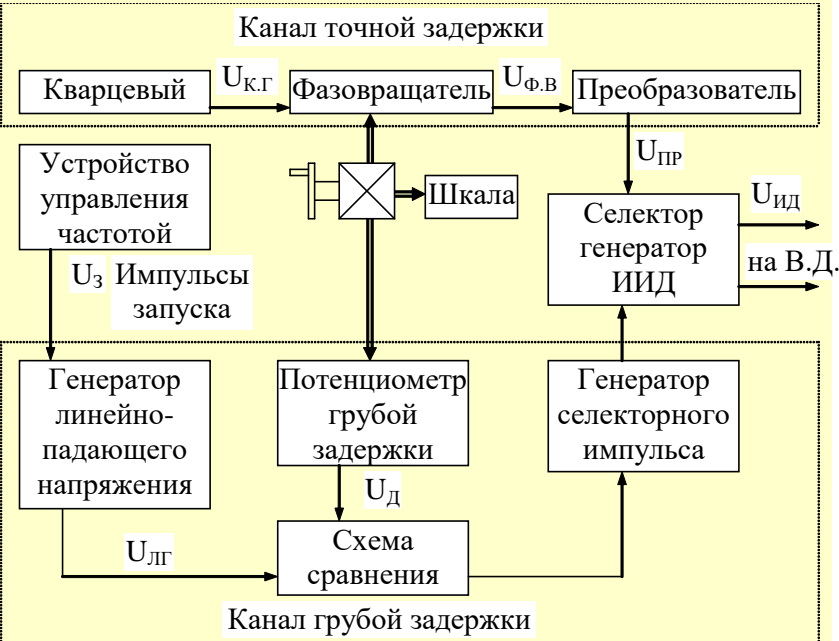
$$0 \leq t'_{Зад} \leq T_{КВГ}.$$

В отсчёте времени $t_{Зад}$ в структурной схеме измерения дальности необходимо иметь два канала: канал грубой задержки, обеспечивающий измерение целого числа периодов $n \cdot T_{КВГ}$ и канал точной задержки для измерения

$$t'_{Зад} = \frac{\varphi}{2\pi \cdot T_{КВГ}}.$$

Следовательно, устройство временной задержки при данном способе измерения является двухканальным. Результат измерения обычно фиксируется импульсом напряжения. Его временное положение характеризует величину $t_{Зад}$, поэтому он называется измерительным импульсом дальности (ИИД).

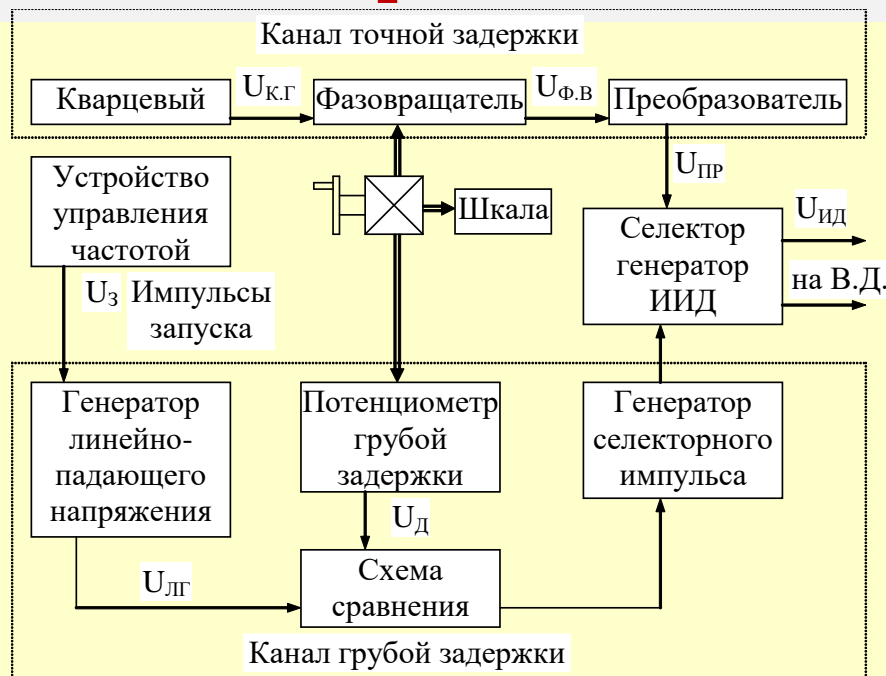
Для точной фиксации временного интервала $t_{Зад}$ необходимо иметь кратковременные импульсы жёстко связанные с фазой колебаний кварцевого генератора на выходе фазовращателя. Их можно получить с помощью преобразователя. Для выделения кратковременных импульсов, временное положение которых изменяется в пределах $T_{КВГ}$, необходимо иметь селектор.



Система измерения дальности.

Система измерения дальности

Упрощенный вариант



Принцип работы.

В каждом периоде повторения происходит запуск генератора линейно-падающего напряжения $U_{лп}$ и его сравнения с импульсом дальности $U_{д}$, которое пропорционально дальности.

В момент сравнения вырабатывается селекторный импульс, длительность которого не должна превышать $T_{кв.г}$, а время задержки $n * T_{кв.г}$, т.е. величину грубой задержки. Это будет гарантировать выделение единственного импульса, фиксирующего значение $t_{зад}$.

Временное положение стробов, осуществляющих селекцию цели по дальности, также определяется этим импульсом.

Достоинства импульсного метода

Достоинства ИМ:

- визуальное наблюдение цели в виде отметки на экране ЭЛТ;
- возможность размещения передатчика и приёмника на одной РЛС;
- работа передатчика и приёмника РЛС с использованием одной антенны.

Недостатки импульсного метода:

- большая **пиковая мощность излучения**, создающая опасность **пробоя** на выходе передатчика и антенно-волноводного тракта;
- широкая **полоса пропускания** приёмника, необходимая для неискажённого усиления импульсных сигналов и снижающая **помехоустойчивость**, и **дальность действия РЛС**;
- наличие **«мёртвой» зоны**, делающей невозможным обнаружение и определение координат целей вблизи станции;
- трудность **разделения сигналов**, отражённых от неподвижных и движущихся целей, требующая применения в импульсных РЛС специальных **систем селекции движущихся целей (систем СДЦ)**.



Вопрос 4

Методы определения угловых координат

Методы определения угловых координат

Радиопеленгация – определение направления на цель, т.е. измерение ее угловых координат – азимута и угла места.

Цель – угол в ЗРК в какой плоскости и плоскость горизонтальной. Различают следующие методы:
- амплитудный;
- фазовый;
- амплитудно-фазовый.
Использование направленного излучения и направленного приема. Различают следующие методы:

Методы определения угловых координат

№ п/п	Методы
1	Метод максимума
2	Метод минимума
3	Метод разности
4	Метод равносигнальной зоны

Метод максимального сигнала

Слайд № 47

Метод пеленгации по максимуму отраженного сигнала



Ю - простота исполнения и широта охвата
- пеленгация по отношению к плоскости пеленгации
- малая точность
- наибольшее отношение амплитуды отраженного сигнала

Метод максимального исполнения и широты охвата

Метод минимального сигнала

Слайд № 48

Метод пеленгации по минимуму отраженного сигнала



Метод более точный отсчет угловой координаты отраженного сигнала

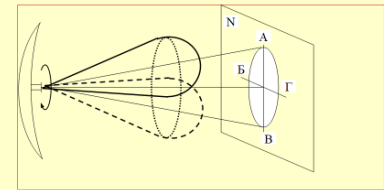
3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)

3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)

3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)

3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)

3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)



Если представить **плоскость**, проходящую через геометрической оси антенны и при вращении вокруг нее, то при любом положении цели сигнал будет одинаковым.

Если цель находится в **плоскости**, проходящей через геометрической оси антенны и при вращении вокруг нее, то при любом положении цели сигнал будет одинаковым.

Если цель из точки, то величина принятого сигнала будет **минимальной** же величина принятого сигнала, когда ось диаграммы направлена в сторону, противоположную направлению на цель.

Если цель из точки, то величина принятого сигнала будет **минимальной** же величина принятого сигнала, когда ось диаграммы направлена в сторону, противоположную направлению на цель.

Сравнение сигналов принятых в верхнем и нижнем положении луча даёт возможность определить **угол места**, а сравнение сигналов при правом и левом положении луча даёт возможность определить **азимут** цели.



Методы определения угловых координат

Радиопеленгация – определение направления на цель, т.е. измерение ее угловых координат – азимута и угла места.

Пеленг – угол между основным направлением и направлением на цель. В ЗРК в качестве основного направления в горизонтальной плоскости используется направление на север, а в вертикальной – плоскость горизонта(вычисляется азимут и угол места).

Различают следующие **методы** радиопеленгации:

- амплитудный;
- фазовый;
- амплитудно – фазовый.

Использование амплитудных методов основано на направленности излучения и приема антенн радиопеленгаторов (диаграмма направленности излучения и приема должны совпадать).

Различают следующие **амплитудные методы** радиопеленгации:

- метод максимума; минимума; метод равносигнальной зоны.

Методы определения угловых координат

№ ПП	Амплитудные Методы	
1	Метод максимального сигнала	
2	Метод минимального сигнала	
3	Метод равносигнальной зоны (сравнения) <ul style="list-style-type: none"> - при коническом методе обзора пространства; - при моноимпульсном методе обзора пространства. 	

Слайд № 47

Метод пеленгации по максимуму отраженного сигнала

Ю **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА:**

- простота определения угловых координат;
- пеленгация осуществляется при наиболее благоприятном отношении сигнал/шум;
- поскольку пеленг отсчитывается в момент максимума сигнала;
- малая точность определения координат, так как вблизи максимума ДНА

небольшие отклонения цели от оси антенны мало сказываются на амплитуде отраженного сигнала.

Слайд № 48

Метод пеленгации по минимуму

Ю **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА:**

- высокая точность пеленгации, так как амплитуда отраженного сигнала в области нулевого приема изменяется более резко с изменением положения антенны;
- сокращение дальности действия станции в момент отсчета пеленга.

Индикатор $\epsilon - Д$

Слайд № 49

РАВНОСИГНАЛЬНЫЙ МЕТОД

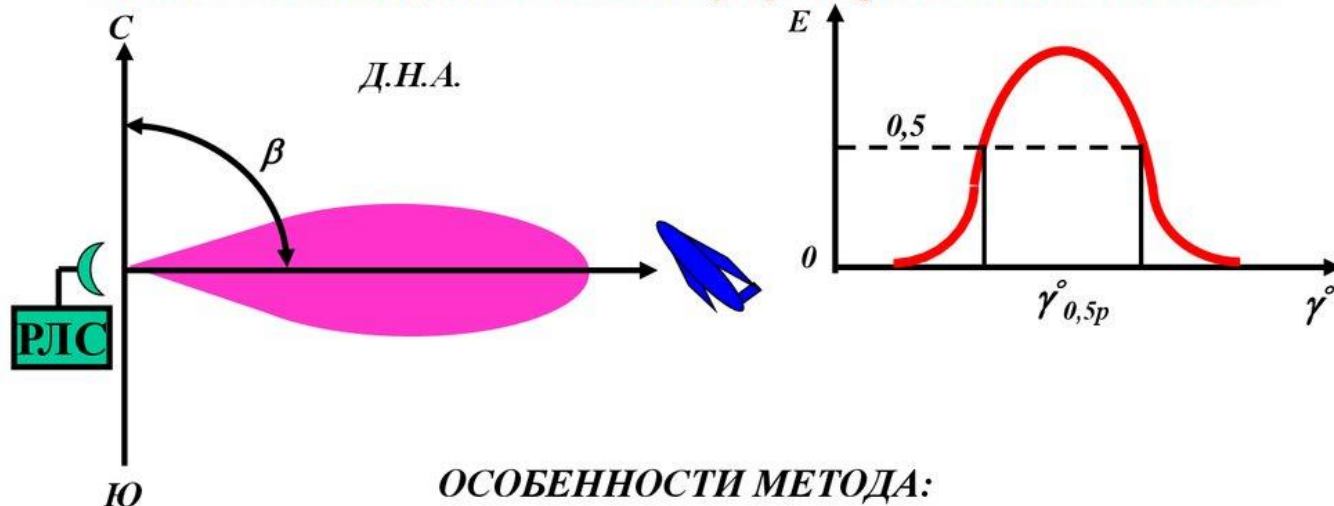
Ю **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА:**

- высокая точность определения координат без значительного уменьшения дальности действия станции;
- меньшая дальность действия
- более сложное антенное устройство.

1. Метод максимального сигнала

Слайд № 47

Метод пеленгации по максимуму отраженного сигнала



ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА:

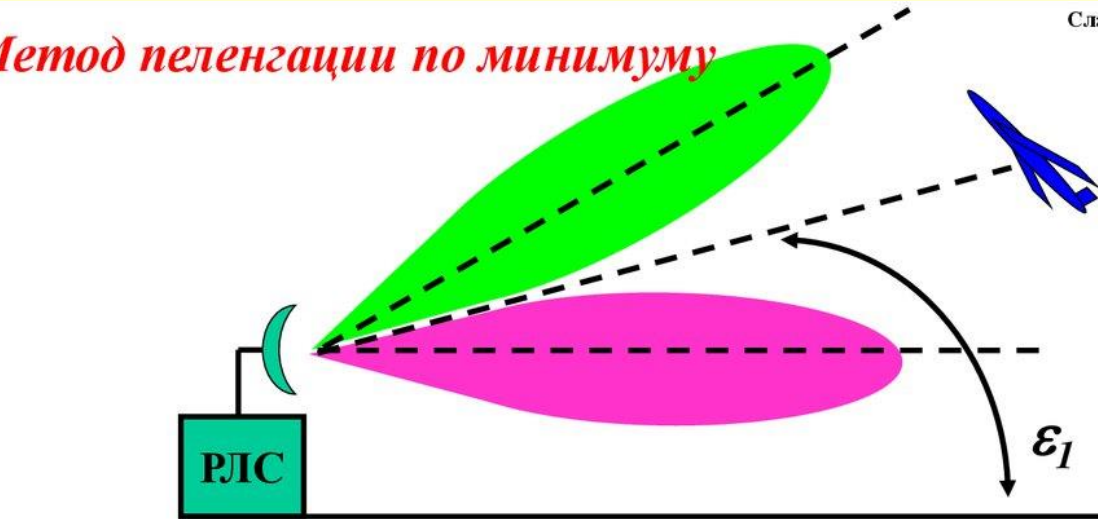
- простота определения угловых координат;
- пеленгация осуществляется при наиболее благоприятном отношении сигнал/шум, поскольку пеленг отсчитывается в момент максимума сигнала;
- малая точность определения координат, так как вблизи максимума ДНА небольшие отклонения цели от оси антенны мало сказываются на амплитуде отраженного сигнала.

Метод максимального сигнала наиболее простой по техническому исполнению и широко используется для РЛС *в режиме поиска*.

2. Метод минимального сигнала

Слайд № 48

Метод пеленгации по минимуму



РЛС

ε_1

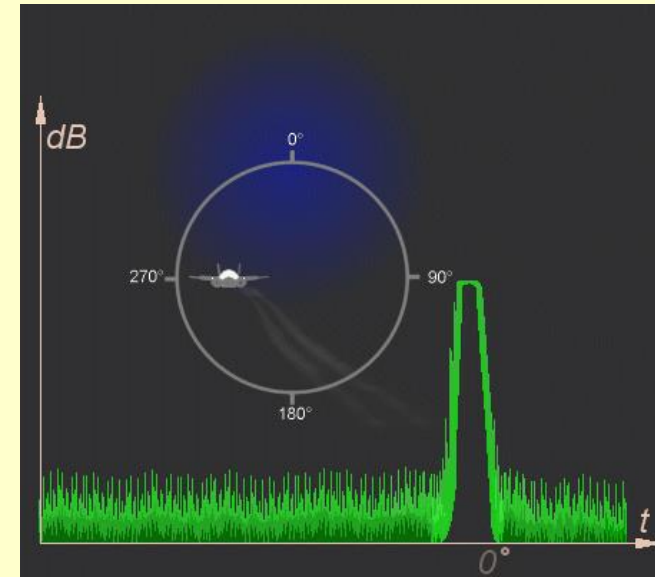
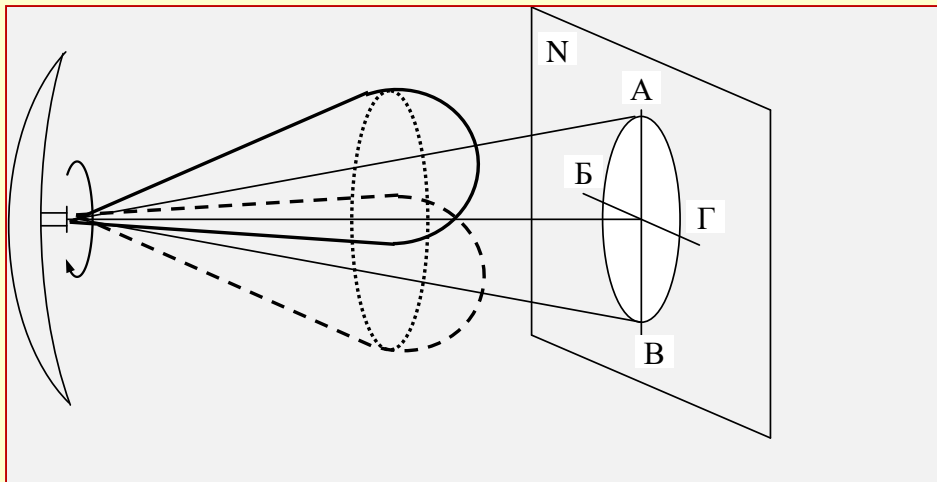
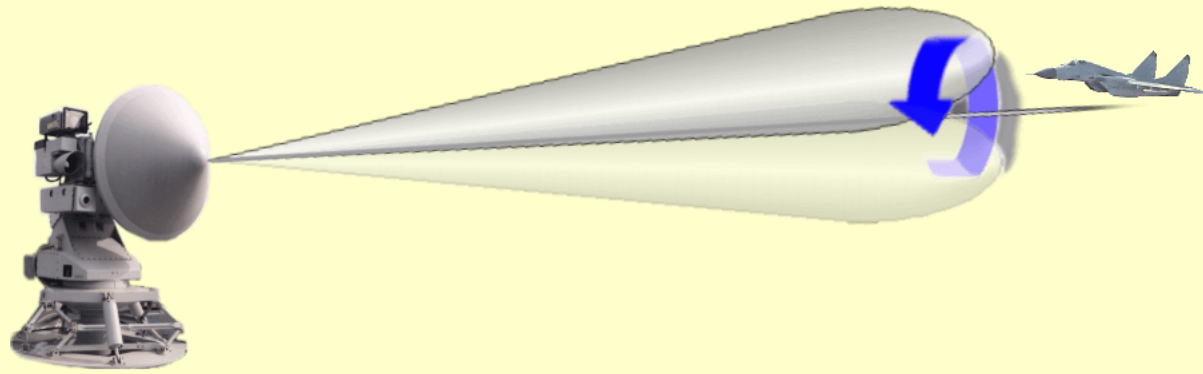
Индикатор ε -Д

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДА:

- высокая точность пеленгации, так как амплитуда отраженного сигнала в области нулевого приема изменяется более резко с изменением положения антенны;
- сокращение дальности действия станции в момент отсчета пеленга.

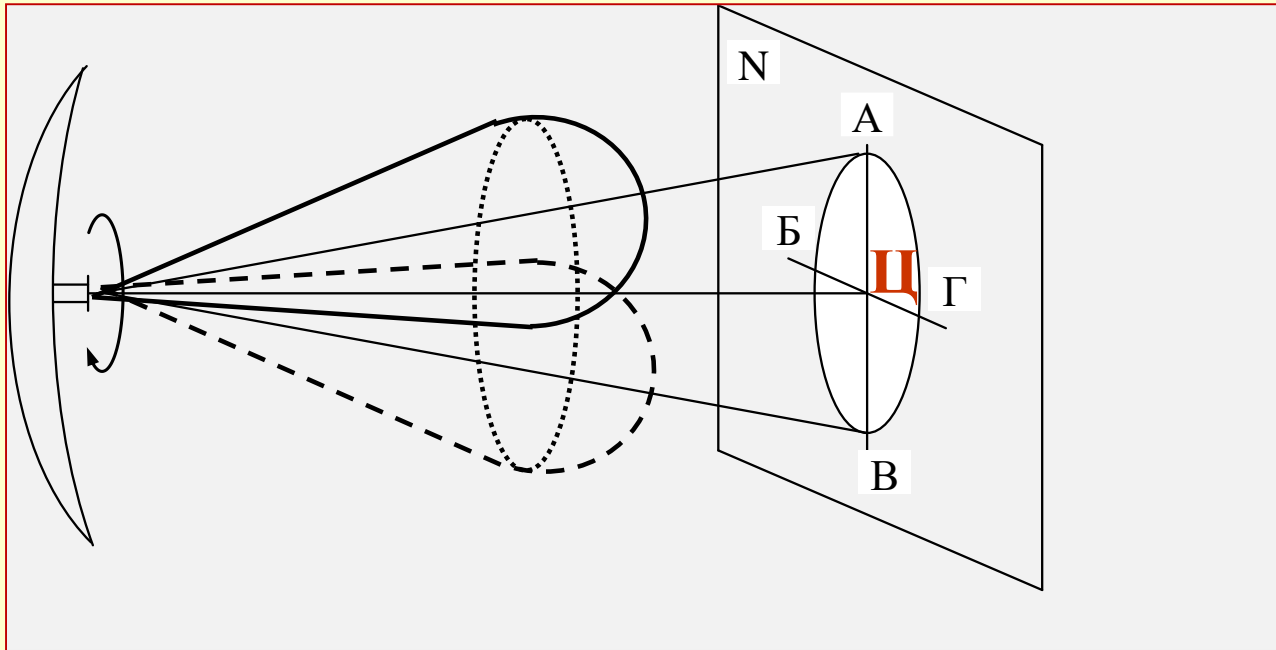
Метод более точный, но техническая реализация сложна, отсчёт угловой координаты цели производится при отсутствии отраженного сигнала от цели.

3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)

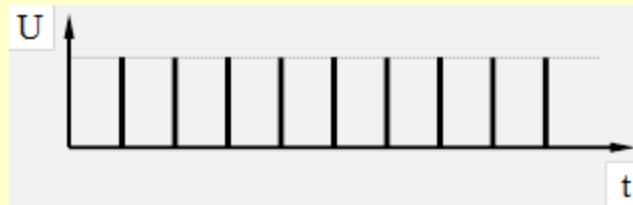


Если представить в пространстве плоскость N (*картинная плоскость*), проходящую через цель и перпендикулярную геометрической оси антенны, то при вращении луча ось ДНА опишет на этой плоскости окружность.

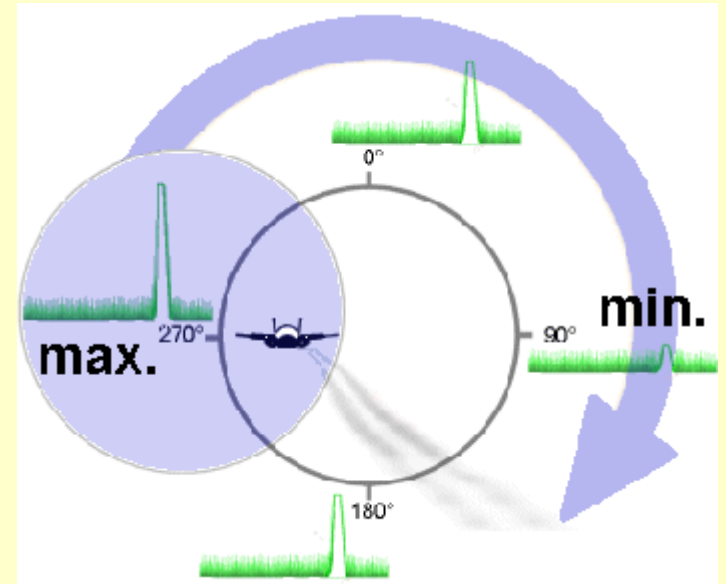
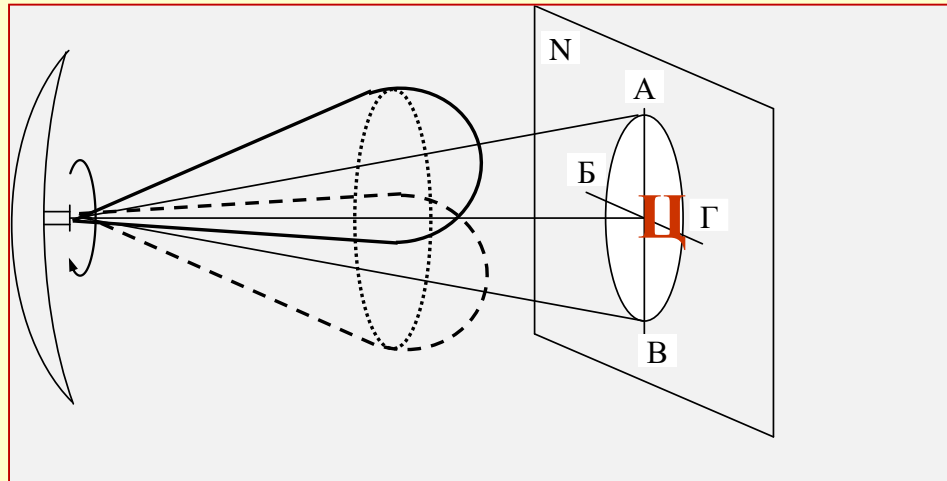
3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)



Если цель находится в точке Ц (на геометрической оси антенны), то при любом положении ДНА импульсы отражённые от цели будут оставаться неизменными.



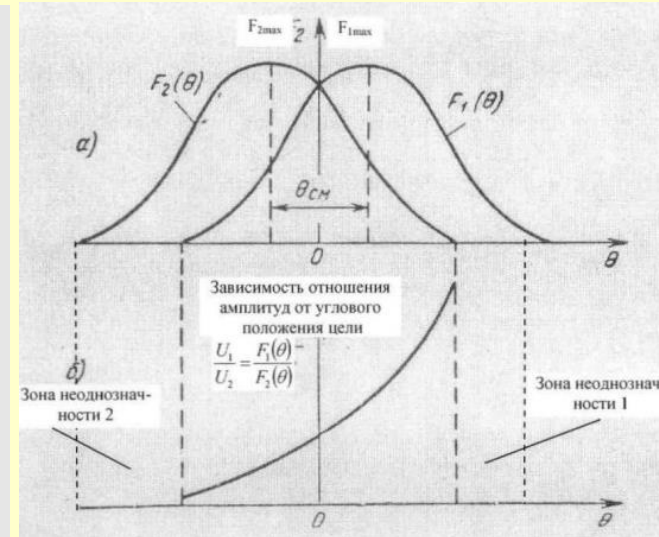
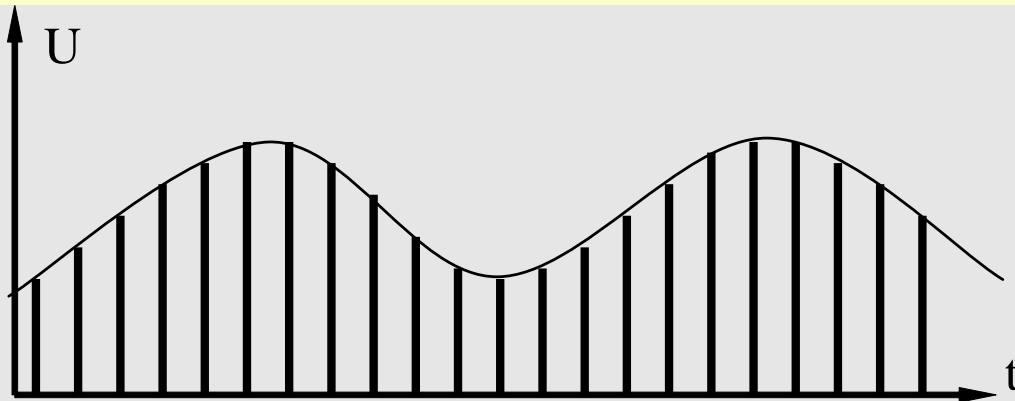
3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)



Если цель из точки Ц сместится, в точку А, то величина принятых станцией отражённых от этой цели импульсов будет **максимальной**. **Минимальная** же величина отражённых импульсов будет тогда, когда ось диаграммы направленности отклонена от оси антенны в сторону, противоположную смещению.

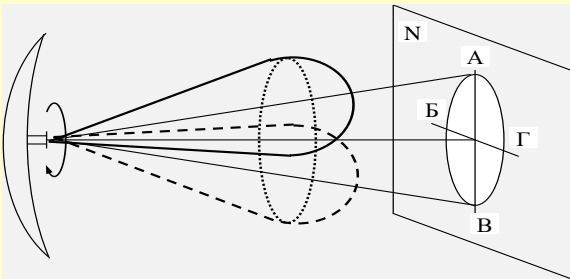
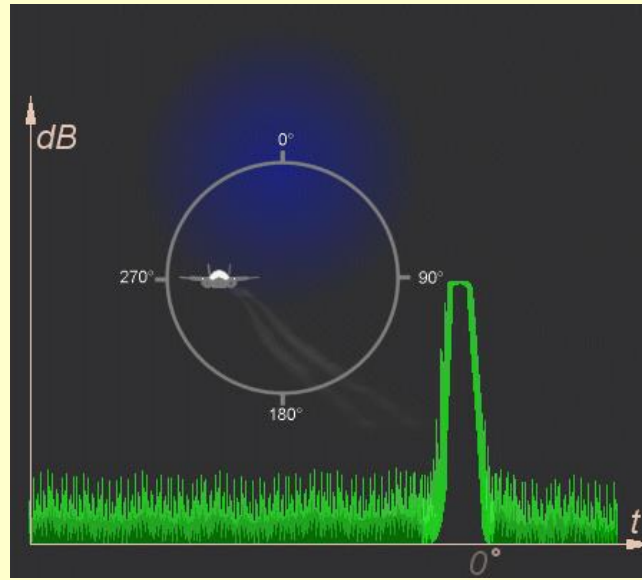
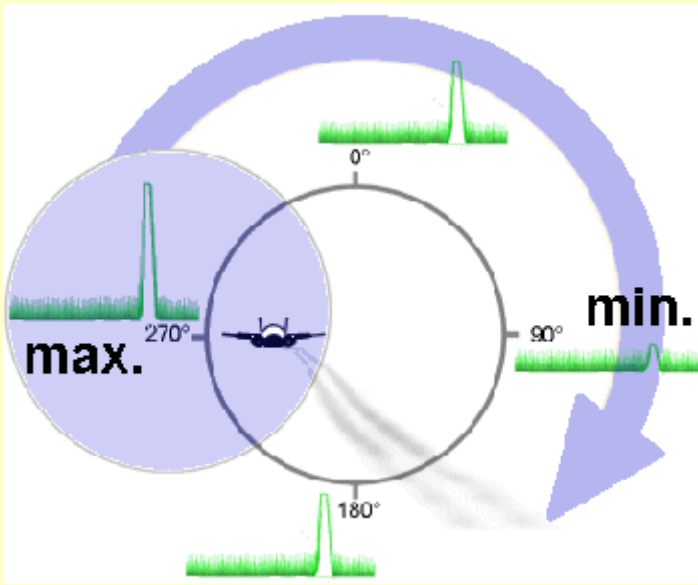
3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)

Таким образом, при вращении диаграммы направленности с постоянной скоростью величина отражённых сигналов периодически изменяется по закону близкому к синусоидальному, т.е. оказывается *промодулированной*.



Амплитуда периодических изменений величин отражённых сигналов в некоторых пределах приблизительно пропорциональна отклонению цели от геометрической оси антенны.

3. Метод равносигнальной зоны (при коническом обзоре пространства)



Сравнение сигналов принятых в верхнем и нижнем положении луча даёт возможность определить **угол места**, а сравнение сигналов при правом и левом положении луча даёт возможность определить **азимут** цели.



Задание на самоподготовку:

Изучить материал занятия
по конспекту и учебному пособию.

Вопросы занятия:

1. Виды электрических импульсов и их параметры.
2. Цепи формирования импульсов.
3. Методы определения дальности.
4. Методы определения угловых координат.



Литература:

1. Учебное пособие
«Основы построения ЗАК»-2013 г.,
стр.69-72, 55-59

4

Конец занятия

Контрольные вопросы

Варианты:

1. Радиолокация. Виды радиолокации, их сущность.
2. Импульсная РЛС, назначение, структура. Назначение элементов.

Контрольные вопросы на зачет:

1. Сущность и виды радиолокации.
2. Радиоволны и их основные свойства, применяемые в РЛ.
3. Импульсный метод радиолокации. Импульсная РЛС.
4. Основные технические характеристики импульсного радиолокатора.
5. Эффективная отражающая поверхность (ЭОП) цели.



Дифференцирующие и Интегрирующие цепи

Эл. схема	Связывающая	Экспр.	Назначение
<p>I диф. цепь</p>	$U_{\text{вых}} = \tau_0 \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$ $\tau_0 = RC - \text{пос. время}$ $\tau_{\text{н}} \gg \tau_0$ $\tau_{\text{н}} \approx (3+5)\tau_0 - \text{с-параметр.}$		<p>назнач:</p> <ol style="list-style-type: none"> Формы \Lambda-имп. для запуска Ускор. имп.
<p>II Интегр. цепь</p>	$U_{\text{вых}} = \frac{1}{\tau_0} \int U_{\text{вх}} \cdot dt$ $\tau_{\text{н}} \ll \tau_0$ <p>Необх. условие</p>		<ol style="list-style-type: none"> Формы \Lambda-имп. Ускор. имп.

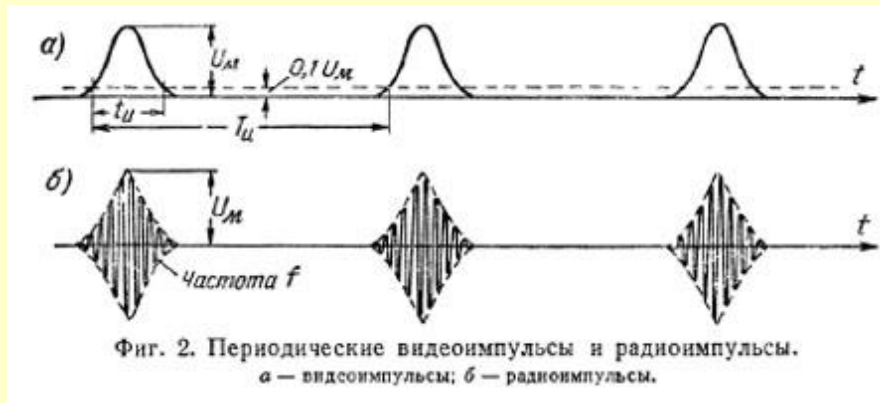
Последовательная RC-цепь

$\tau_{\text{ц}} = RC - \text{ПОСТОЯННАЯ ВРЕМЕНИ ЦЕПИ}$

Вход	Выход
<p>$\tau_{\text{ц}} \ll \tau_{\text{н}}$</p>	<p>$\tau_{\text{ц}} \gg \tau_{\text{н}}$</p>



Виды электрических импульсов



В импульсной технике приходится иметь дело с двумя видами импульсных сигналов. Импульсный сигнал, называемый видеоимпульсом, представляет собой возрастание напряжения или тока от нуля до максимального значения и затем — спадание от максимального значения снова до нуля (фиг. 2, а).

Импульсный сигнал, называемый радиоимпульсом, состоит из нескольких периодов высокочастотных колебаний тока или напряжения (фиг. 2, б).

Радиоимпульсы используются в тех случаях, когда передача импульсных сигналов осуществляется по радио.

Видеоимпульсы находят широкое применение не только в импульсных радиостанциях, но и в многочисленных импульсных устройствах, не требующих передачи сигналов по радио.

Видеоимпульсы характеризуются формой, длительностью t_u максимальной величиной или амплитудой импульса U_M и полярностью. Боковая сторона импульса, характеризующая его нарастание или спад, называется фронтом импульса. Импульс имеет передний и задний фронт. Для определения длительности импульса нужно условиться об уровне отсчета. Можно, например, говорить о длительности импульса на уровне 0,1 от его максимального значения (фиг. 2, а). По полярности видеоимпульсы разделяются на положительные и отрицательные.

Видеоимпульсы в действительности никогда не имеют строгой геометрической формы, но для упрощения задачи рассматривают импульсы прямоугольной, треугольной, трапециевидной или какой-либо иной правильной формы. Радиоимпульсы получаются путем амплитудной модуляции высокочастотных колебаний с помощью видеоимпульсов. Поэтому огибающая радиоимпульса имеет форму, близкую к форме модулирующего видеоимпульса.

Помимо формы, длительности и амплитуды, радиоимпульс характеризуется частотой f своего высокочастотного «заполнения».



