

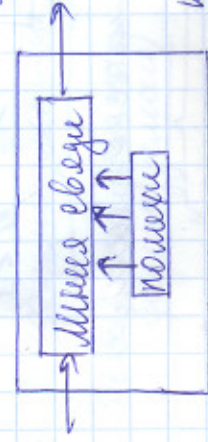
Введение. Предмет изучения. Основные определения.

Радиоэлектроника - наука о генерации, передаче, приеме и обработке информации на основе электрических процессов.

Предмет изучения:

- 1) Сигнал
- 2) Канал
- 3) Радиосистема

Канал - совокупность технических средств, необходимых для приема и передачи информации по линии связи.



Естественная линия связи - открытое пространство.

Искусственная линия связи - кабель, шина данных.

Радиосистема - совокупность технических средств, предназначенных для генерации, обработки, приема и передачи электрических сигналов.



радиомодуль; РБ - радиоблок (настраиваемый), РУ - радиопередатчик.

$S_2(t)$ - выходной сигнал, $S_1(t)$ - входной сигнал

$$S_2(t) = \mathcal{F}[S_1(t)] \equiv \frac{S_1(t)}{F} \rightarrow S_2(t)$$

$$S_2(t) = S_1(t - t_{\text{заг}}) \rightarrow S_2(t)$$

- задержка сигнала

$$S_2(t) = k S_1(t) \rightarrow S_2(t)$$

- масштабирование (амплитудное)
 $k > 1$ усиление
 $k < 1$ ослабление

$$S_2(t) = \mu S_1(t) \rightarrow S_2(t)$$

$\mu < 1$ ослабление

$$S_2(t) = \int S_1(t) dt \rightarrow S_2(t)$$

интегрирование

$$S_2(t) = \frac{dS_1(t)}{dt} \rightarrow S_2(t)$$

дифференцирование

$$S_2(t) = S_1(t) \cdot t \rightarrow S_2(t)$$

умножение на время

$$S_2(t) = S_1(t) \cdot f(t) \rightarrow S_2(t)$$

умножение на функцию

СИГНАЛЫ

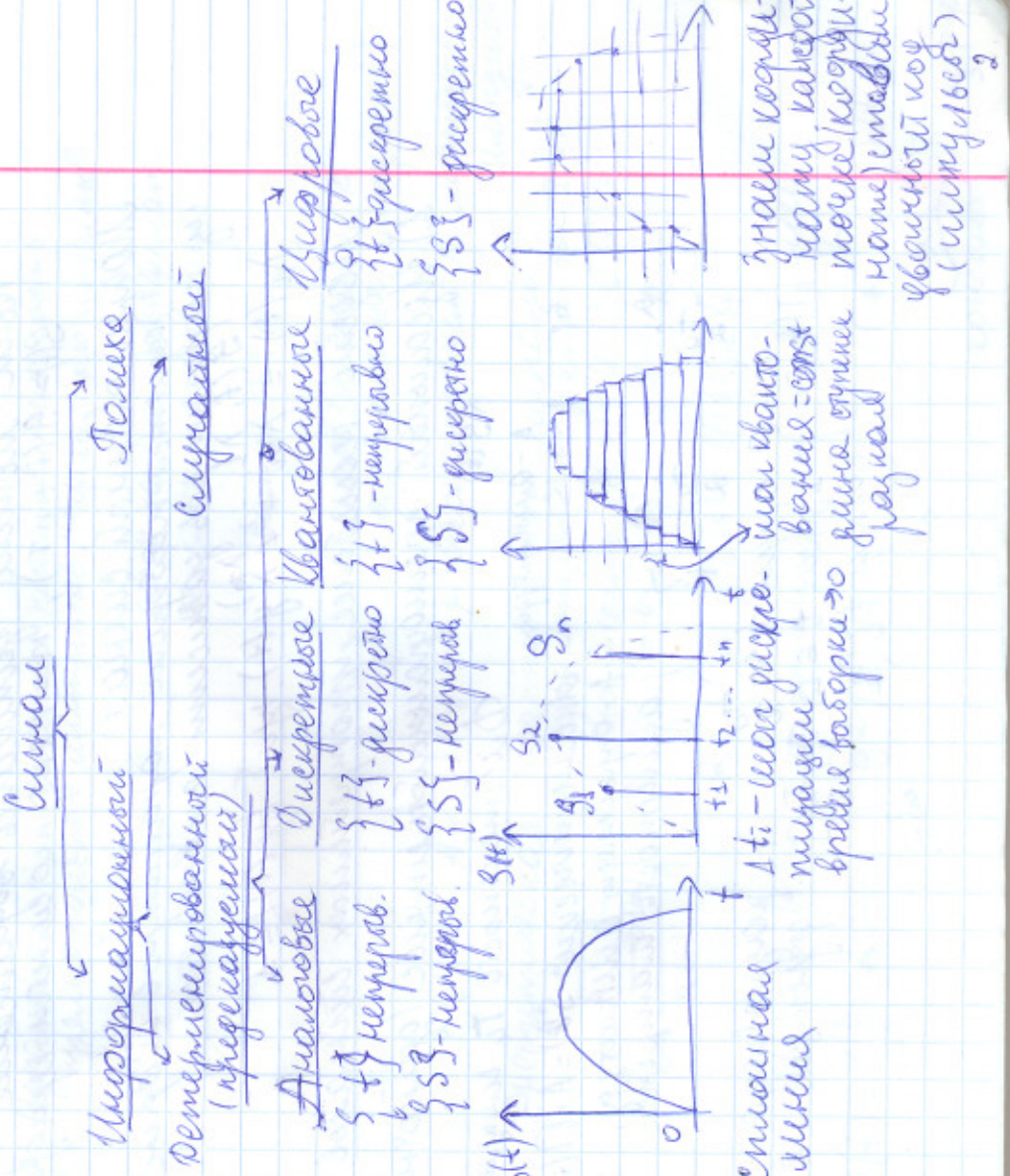
Сигнал - материальный носитель информации, может быть преобразован в электрический сигнал.

Электромагнитный сигнал:

$$S(t) = U(t), I(t), E, H$$

$S(t)$ - модель сигнала как функции времени, должна быть функцией непрерывной

классификация сигналов:



любой сигнал непрерывный, и сигнал начинается с нуля

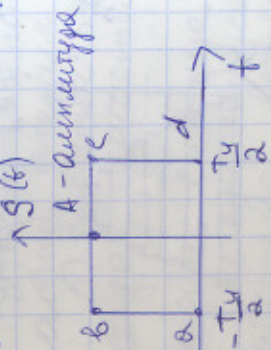


прямой сигнал
если можем замкнуть вращение
 $S(t) = S(t + nT)$, $n = 1, 2, \dots$, то сигнал периодичен

модулированный сигнал
задается набором параметров, и один параметр зависит от времени
 $S(t, \lambda_1, \dots, \lambda_n)$
 $y(t) = \lambda_0 + \lambda_1 y(t)$ при $|y(t)| \leq 1$

чем наиболее употребительных сигналов:
реальный прямоугольный импульс (оригинал)

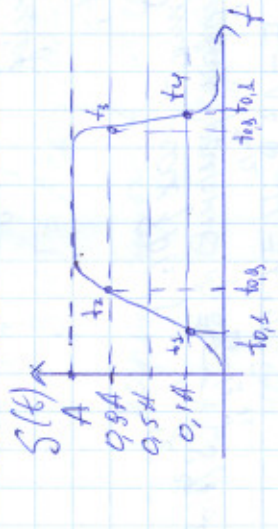
Длительность T_u импульса
амплитуда
диапазон частот: $S(f) = A \cdot \Pi(f)$
А - амплитуда импульса
ширина импульса



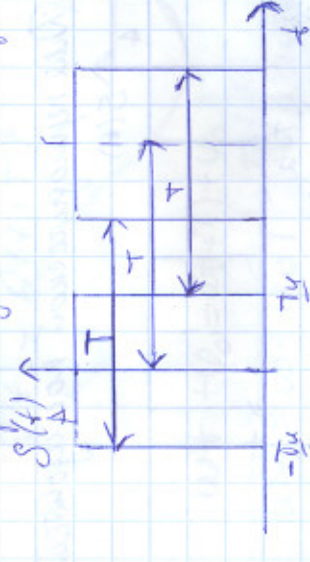
равномерная
функция
 $\gamma(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < -\frac{T_u}{2} \\ 1, & \text{при } t \in [-\frac{T_u}{2}, \frac{T_u}{2}] \\ 0, & \text{при } t > \frac{T_u}{2} \end{cases}$

ав - фронт, ве - вершина, ск - спуск (стар), ад - основание
Для идеального импульса $t_{об} = t_{ср} = 0$
(для боковых точек пересечения с осью абсцисс)

1) Показатели уровня сигнала
Сигнальные уровни
 $t_{об} - t_{ср} = t_{об} = t_2 - t_1$
 $t_3 - t_2$ - Тармина; $t_4 - t_3 = t_{ср}$
 $t_4 = t_4 - t_1$



2) ~~Идеальный~~ прямоугольный импульс
прямой импульс (идеальный импульс)
Выбор начала координат не имеет значения
Связность: $q = \frac{T}{T_u}$
(переход от импульсов к непрерывным)



$S(t) = A \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Pi(t - nT)$ - бесконечное число прямоугольных импульсов

Энергетическая характеристика сигнала
R - ресурс, через который происходит ток I(t)
Мощность: $P(t) = U(t) \cdot I(t) = R \cdot I^2(t) = U^2(t)/R$



$R = 1 \Omega$; $S(t) = U(t) \cdot I(t)$

$P(t) = S^2(t)$ - скорость изменения энергии
 $P(t) = \frac{dE}{dt} \rightarrow E(t) = \int_{-\infty}^t S^2(t) dt = \int_0^t S^2(t) dt + \int_{-\infty}^0 S^2(t) dt$
интеграл
константа

$\int_{-\infty}^{\infty} S^2(t) dt$ - мгновенная энергия
 $E = \int_{-\infty}^{\infty} S^2(t) dt$ - полная энергия
 и сигнал периодический и амплитуда $\rightarrow \infty$,
 иррелевантно. Тогда введем
 среднюю мощность за период:

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S^2(t) dt;$$

мгновенная мощность: $P_{\text{мгн}} = \max \{ P(t) \}$
 для произвольного интервала времени $P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S^2(t) dt$

$$P(t) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dE}{dt};$$

↑
 амплитудный периодический сигнал

Для периодического сигнала



Полная эквивалентная мощность (ср), максимальная энергия сигнала

гармонический сигнал

гармонический сигнал - сигнал, модель которого описывается гармонической функцией ($\cos$ или $\sin$)
 эквивалентная мощность гармонического сигнала
 мгновенная мощность гармонического сигнала
 элементарная функция

Получаем спектр сигнала в виде
 - элементарных функций...



квадратурная форма

- 1) $S(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t$
- 2) Тригонометрическое тождество

$$S(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

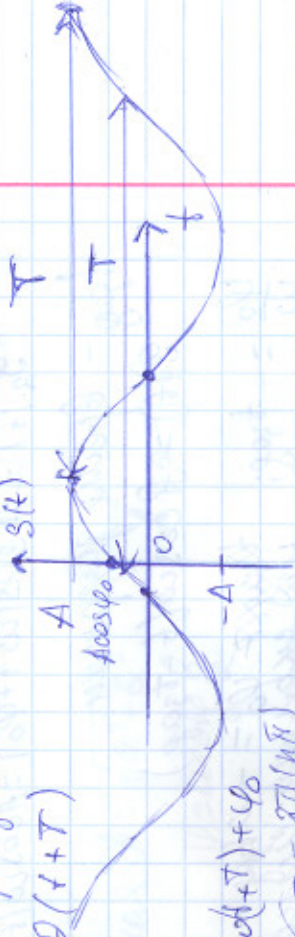
параметры A, ω, φ - количество задано

$\omega t + \varphi_0 = 0$ - начальная фаза

$\frac{dO}{dt} = \omega [\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi}]$ - скорость изменения текущей фазы.

Для периодического сигнала:

$$O(t) = O(t+T)$$



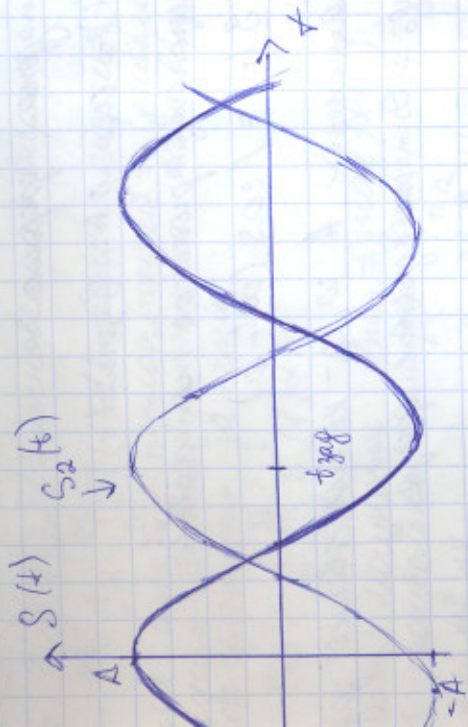
$$\omega t + \varphi_0 = \omega(t+T) + \varphi_0$$

$$\omega T = \omega t + \omega T = 2\pi(n\pi) - \text{фазовый уклон}$$

$$\cos \omega t = \cos(\omega t + 2\pi); \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f, \text{ где } f - \text{мгновенная частота}$$

$$\omega = 2\pi f - \text{круговая (или угловая) частота} \quad \left[\frac{\text{рад}}{\text{сек}} \right] \quad \left[\frac{1}{\text{с}} = \text{Гц} \right]$$

$$O(t-T) = \omega(t+T) + \varphi_0$$



$$S_1(t) = A \cos \omega t$$

$$S_2(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0) = A \cos \omega(t + \frac{\varphi_0}{\omega})$$

$t_{\text{раз}}$ - время разгрома.

$$S(t) = A \cos \omega(t - t_{\text{раз}})$$

$\frac{\varphi_0}{\omega} = -t_{\text{раз}}$; $\varphi_0 = -\omega t_{\text{раз}}$ - показываем, что есть нуль сдвиг по времени.

$$S(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0) = A \cos \varphi_0 \cdot \cos \omega t - A \sin \varphi_0 \sin \omega t$$

$$\begin{cases} a = A \cos \varphi_0 \\ b = -A \sin \varphi_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A = \sqrt{a^2 + b^2} \\ \varphi_0 = -\arctan \frac{b}{a} \end{cases}$$

Комплексная группа значений комплексных соотношений емкостей

$$S(t) = S(t) + j \hat{S}(t) = A \cos(\omega t + \varphi) + j A \sin(\omega t + \varphi) =$$

$$\text{Формула Эйлера: } e^{jx} = \cos x + j \sin x //$$

$$A e^{j(\omega t + \varphi)} = A e^{j\varphi} \cdot e^{j\omega t} = \bar{A} e^{j\omega t}$$

$$S(t) = \bar{A} e^{j\omega t}, \text{ где } \bar{A} = A e^{j\varphi} - \text{Комплексная амплитуда, от времени не зависит}$$

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t - \text{единичное гармоническое колебание}$$

$$\bar{A} = A e^{j\varphi} = A \cos \varphi + j A \sin \varphi =$$

$$= a - j b // \begin{cases} a = A \cos \varphi \\ b = A \sin \varphi \end{cases}$$

Комплексная через квадратурные

$$\bar{A} = a - j b \quad / \quad A = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\bar{A}^* = a + j b \quad / \quad \varphi = \arctan \frac{\text{Im } \bar{A}}{\text{Re } \bar{A}}$$

1. Квадратурная a, b	$A = \sqrt{a^2 + b^2}$ $\varphi = \arctan \frac{b}{a}$	$\bar{A} = a - j b$
$a = A \cos \varphi$ $b = -A \sin \varphi$	2. Прямые и обратные A, φ	$\bar{A} = A e^{j\varphi}$
$a = \text{Re } \bar{A}$ $b = -\text{Im } \bar{A}^*$	$A = \sqrt{\bar{A} \cdot \bar{A}^*}$ $\varphi = \arctan \frac{\text{Im } \bar{A}}{\text{Re } \bar{A}}$	3. Комплексная $\bar{A}$

$$= \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} S^2(t) dt; \quad P_{cp} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} S^2(t) dt$$

за период

за произвольной момент времени

мгновенной сигнал



$$\bar{S}(t) = A \cos[\omega(t)] + A \sin[\omega(t)]$$

$$P_{cp} = \frac{1}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) dt =$$

$$= \frac{A^2}{2T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} [1 + \underbrace{\cos 2(\omega t + \varphi)}_{=0}] dt =$$

$$= \frac{A^2}{2} = A_{eff}^2$$

$A_{eff} = A_{действ} = A_{ск} = \frac{A}{\sqrt{2}}$; $A_{ск}$ - среднеквадратичная
эффективное преобразование гармонического сигнала

$F[\bar{S}(t)]$ будет линейным, если:

Аддитивность $F[\bar{S}_1(t) + \bar{S}_2(t)] = F[\bar{S}_1(t)] + F[\bar{S}_2(t)]$

Однородность $F[\mu \cdot \bar{S}(t)] = \mu F[\bar{S}(t)]$

рассмотрим 2 сигнала одинаковой частоты.

$$\bar{S}_1(t) = \bar{A}_1 e^{j\omega t} = \bar{A}_1 e^{j\varphi_1} \cdot e^{j\omega t};$$

$$\bar{S}_2(t) = \bar{A}_2 e^{j\omega t} = \bar{A}_2 e^{j\varphi_2} \cdot e^{j\omega t}, \quad \text{Пусть } A_1 < A_2$$

проверим свойства:

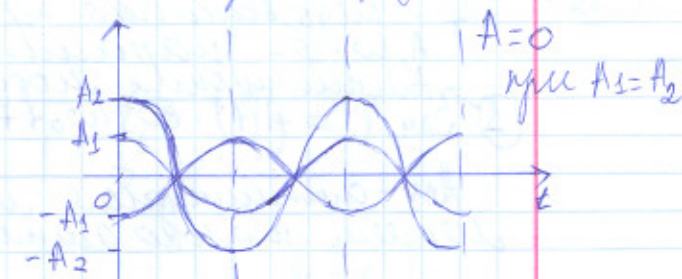
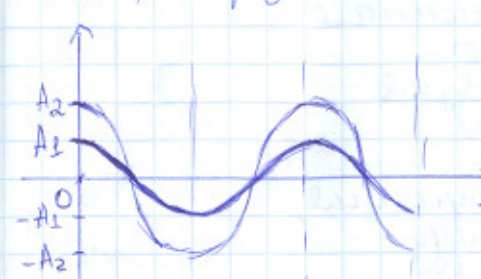
$$1) \bar{S}(t) = \bar{S}_1(t) + \bar{S}_2(t);$$

$$e^{j\omega t} = \bar{A}_1 e^{j\omega t} + \bar{A}_2 e^{j\omega t}; \quad A e^{j\varphi} = A_1 e^{j\varphi_1} + A_2 e^{j\varphi_2}$$

Выберем любую точку за точку отсчета, пусть $\varphi_1 = 0$

a) $\varphi_2 = 0$, синфазный сигнал

b) $\varphi_2 = \pi$, противофазный сигнал



$$2) \bar{S}(t) = \mu \bar{S}_1(t); \quad A e^{j\varphi} = \mu A_1 e^{j\varphi_1}, \text{ умножение/деление}$$

$$3) \text{ задержка во времени } \bar{S}(t) = \bar{S}_1(t - t_{заг})$$

$$\bar{A} e^{j\omega t} = \bar{A}_1 e^{j\omega(t - t_{заг})} = \underbrace{\bar{A}_1 e^{j\omega t}}_{\bar{S}_1(t)} \cdot e^{-j\omega t_{заг}}$$

Для того чтобы получить задержку во времени, надо его домножить на $e^{-j\omega t_{заг}}$

$$\bar{S}(t) = \bar{S}_1(t) \cdot e^{-j\omega t_{заг}}$$

4) Дифференцирование

$$\bar{S}(t) = \frac{d}{dt} [\bar{S}_1(t)] \rightarrow j\omega \bar{S}_1(t)$$

$$\bar{S}(t) = \frac{d}{dt} [\underbrace{A_1 e^{j\varphi}}_{\text{от } t \text{ не зависит}} e^{j\omega t}] = j\omega \bar{S}_1(t)$$

5) Интегрирование

$$\bar{S}(t) = \int \bar{S}_1(t) dt \rightarrow \bar{S}(t) = \frac{1}{j\omega} \bar{S}_1(t)$$

В-операции:

$$\frac{d}{dt} \leftrightarrow j\omega \Rightarrow \frac{d^n}{dt^n} \leftrightarrow (j\omega)^n$$

$$\int dt \leftrightarrow \frac{1}{j\omega}$$

модулированной волны

$$s(t) = S(t, A, \omega, \varphi)$$

независимая переменная ω, φ - параметры модуляции

$$u(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

- амплитудная модуляция, или только амплитуду.

$$u(t) = A_0 + \Delta A \cdot y(t) = A_0 [1 + m y(t)]$$

$m \leq 1$ - управляющее воздействие

$m = \frac{\Delta A}{A_0}$ - индекс амплитудной модуляции

$$u(t) = A_0 [1 + m y(t)] \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

вещное колебание

1) Числовая модуляция

$$u(t) = \cos(\Omega t + \varphi); \quad \Omega < \omega_0 \leftarrow \text{радиостоя}$$

звуковая частота $\varphi = 0$

$$207\gamma < \Omega < 20\pi\gamma$$

$$u(t) = A_0 [1 + m \cos \Omega t] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad \varphi_0 = 0$$

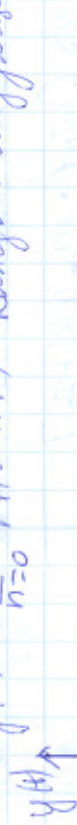
наложено 3 колебания



2) Манчестерская (манипуляция)

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \Pi(t - nT)$$

кановый элемент шириной T на $\frac{1}{T}$



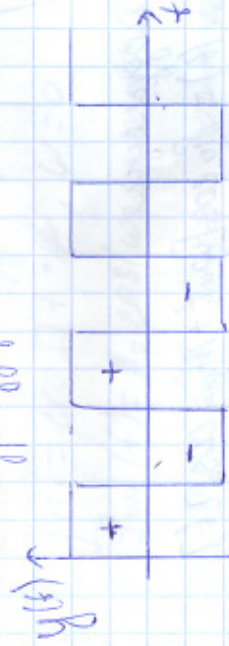
$p=2$



$m=1$
 $\varphi=2$



манч-код



радиостоя
зачем

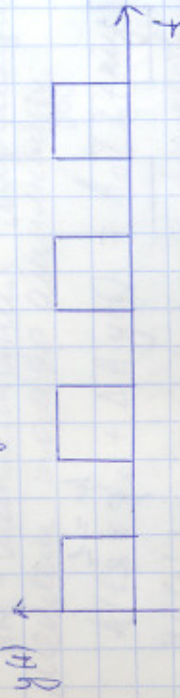
2) Фазовая модуляция

$$S_{FM}(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] = A_0 \cos[\omega_0 t + \Delta\varphi y(t) + \varphi_0] =$$

$$= A_0 \cos[\omega_0 t + m_{\varphi} y(t) + \varphi_0]$$

m_{φ} - индекс фазовой модуляции; $m = \Delta\varphi \neq \pi$

1) Модулирующая



$$\varphi = 2\pi$$

$$m = \pi$$

$$\varphi_0 = 0$$



2) Модулирующая

$$y = \cos \Omega t; S_{FM}(t) = A_0 \cos[\omega_0 t + m_{\varphi} \cos \Omega t]$$

3) Частотная модуляция

$$S_{FM}(t) = A_0 \cos[\omega(t) \cdot t + \varphi_0]$$

$$\omega(t) = \int_{-\infty}^t \omega(\tau) d\tau = \int_{-\infty}^t [\omega_0 + \Delta\omega y(\tau)] d\tau =$$

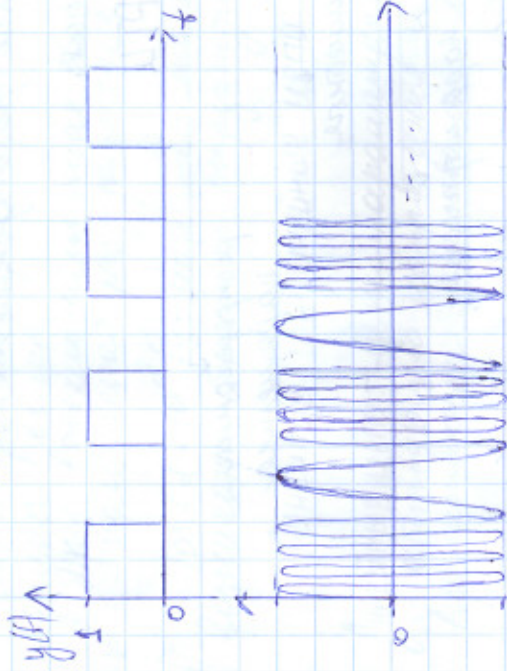
$$= \int_0^t [\omega_0 + \Delta\omega y(\tau)] d\tau = \int_0^t [\omega_0 + \Delta\omega y(\tau)] d\tau +$$

$$+ \int_{-\infty}^0 [\omega_0 + \Delta\omega y(\tau)] d\tau = \omega_0 t + \Delta\omega \int_0^t y(\tau) d\tau + \varphi_0$$

$$S_{FM} = A_0 \cos(\omega_0 t + \Delta\omega \int_0^t y(\tau) d\tau + \varphi_0)$$

$\Delta\omega$ - девиация частоты

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \Pi(t - nT) \quad \text{Сквадровая } \varphi = \frac{T}{2} = 2$$



1) Модулирующая

$$y(t) = \cos \Omega t + \varphi; \varphi = 0$$

$$S_{FM}(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + m_{FM} \Omega t); \varphi_0 = 0$$

$m_{FM} = \frac{\Delta\omega}{\Omega}$ - индекс частотной модуляции

$$S_{FM}(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + m_{FM} y(t) + \varphi_0); \varphi_0 = 0$$

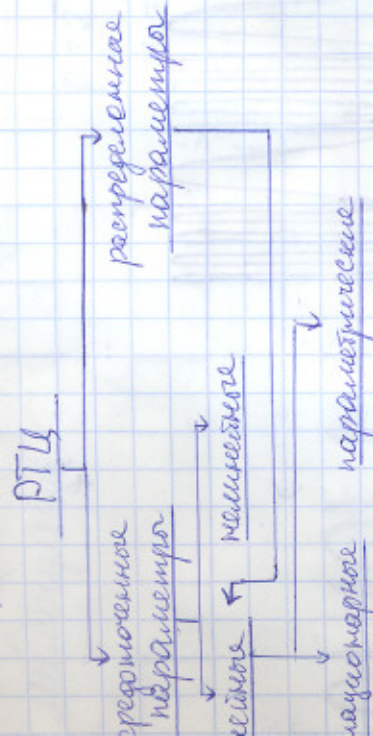
$$S_{FM}(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + m_{FM} \cos \Omega t)$$

$S_{FM}(t)$ и $S_{PM}(t)$ имеют одинаковый вид с отличием в m_{FM} и m_{PM} в $\cos$ и $\sin$, поэтому их объединяют в один без-умовно модулирующий

ОБЫ ПОВРНИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

ОТЕХНИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ - СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ, ОБРАЗУЮЩИХ ПУТЬ ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ТОКА.

МАССИФИКАЦИЯ:



$$S(t, x) = A_0 \cos(\omega t - kx) = A_0 \cos \omega (t - \frac{k}{\omega} x) =$$

$$= A_0 \cos \omega (t - \frac{x}{v})$$

$$x - \text{длина волны}; \frac{k}{\omega} = \frac{1}{v}; [U] = [V], v = \frac{\lambda}{T}$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} - \text{волновое число}; \frac{x}{v} = t_{\text{пр}} = \text{const}$$

определяется средой

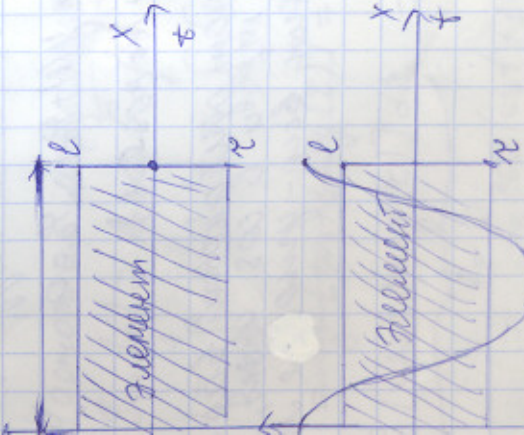
$$D: \lambda \ll \lambda, \tau \ll T$$

$U = U_0$; квазиэлектронность. свойства распространения в вакууме - это.

$$D: \lambda \ll \lambda, \tau \ll T$$

равное напряжение в обоих направлениях. Нельзя поворачивать свойства распространения.

свойства (активность, сопротивление) распространения



Пример: искусственные линии связи, воздушная среда

$0 < f < 10^8 \text{ Гц}$ - уровни квазиэлектронности, геометрические размеры много меньше длины волны.

При высоких частотах свойства переходят в к. называется распространение паразитное.

$10^8 < f < 10^{15} \text{ Гц}$ - радио меньше есть элементов, воздушная среда становится сложной.

ЛИНЕЙНЫЕ И НЕЛИНЕЙНЫЕ ЦЕПИ

Линейные цепи - цепи, параметры которых не зависят от действующего напряжения и протекающего тока. Альтернативнее представляется математическим дифференциальным уравнением.

Нелинейные цепи - цепи, параметры которых зависят от действующих напряжений и протекающих токов. Альтернативнее представляется математическим дифференциальным уравнением. Параметры: R, L, C . Проводимость, емкость - нормальная, резонанс, работа. Часто используются нелинейные элементы.

Идеальные элементы цепи:

Пассивные: R, L, C
Активные: E, I (генератор)

① Омическое сопротивление R

Сопротивление протекающему току, тепловые процессы, закон кристаллического сопротивления.

R - [Ом] описывается ВАХ

$I \uparrow$

$$I = \frac{U}{R}; G = \frac{1}{R} = \frac{1}{R} - \text{проводимость}$$

R - линейный элемент, диссипативный (рассеивает мощность)

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} > 0$$

U



Активность L

ВХ/Выверно-Внутренняя характеристика

$L = \varphi \delta$; $\varphi = LI$

L -коэффициент пропорциональности между током и магнитным потоком



он Фарадея $\mathcal{E}_L = - \frac{d\Phi}{dt}$ (ЗДС самоиндукции)

$= L \frac{dI}{dt}$; $I_L = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t U_L(\tau) d\tau$

$I(t) = U_L(t) \cdot I_L(t) = L I(t) \cdot \frac{dI(t)}{dt} = \frac{d}{dt} [L \frac{I^2(t)}{2}]$

ψ - энергия электромагнитного поля

$\psi_L(t) = \frac{d}{dt} [W_H(t)]$, $W_H(t) = W_H(T)$

$W_H(t) = W_H(t+T)$

средняя мощность: $P_{op} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) I(t) dt = 0$

реактивной элемент запасает энергию

индуктивный элемент (и.к. индуктивный элемент)

Эмкось C

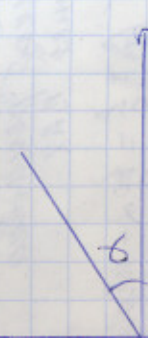
$\frac{1}{C}$, $[F]$ ВХ/Выверно-Внутренняя характеристика

$q = cu$; $q = \int i dt$ индуктивный элемент

$I_C = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt}$

$U_C = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t I(\tau) d\tau$

элемент реактивный



$I(t) = U(t) \cdot I(t) = CU(t) \frac{dU(t)}{dt} = \frac{d}{dt} [C \frac{U^2(t)}{2}]$

$W_E = C \frac{U_E^2}{2}$ - энергия электрического поля

$P_{op} = \frac{1}{T} \int_0^T U_E(t) I dt = 0$

Потери энергии при передаче энергии

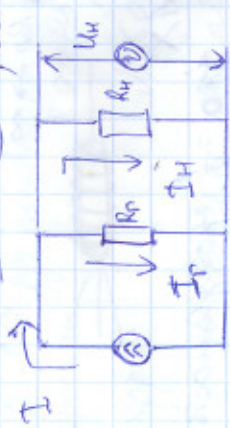
Идеальный элемент цепи - элемент цепи, который обладает только одним типическим свойством (R, L, C) если элемент обладает сразу двумя - он не идеальный, ом-резистивный. Все эти элементы идеальны.

④ Идеальный генератор тока ИГТ

ИГТ - генератор (источник) создающий

через нагрузку ток, не зависящий от типа нагрузки ($I = \text{const}$)

$\rightarrow$ - идеальное поле, если переключить ток, то $U_H = 0$ - "нет"



1-й закон Кирхгофа: $I = I_L + I_H$ сумма токов в узле = 0

$\sum_{k=1}^n I_k = 0$; $I_H = I = \text{const}$

при $0 \leq R_H \leq \infty$ $0 \leq U_H = I R_H < \infty$

$0 \leq P_H = R_H I^2 < \infty$

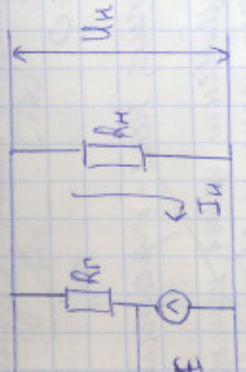
ИГТ - генератор, создающий ток, не зависящий от нагрузки и являющийся бесконечной мощностью.

⑤ Идеальный генератор напряжения ИГН

ИГН является генератором, или источником, создающим на нагрузке напряжение, равное $\mathcal{E}$ (ЗДС), не зависящее от сопротивления нагрузки

$$0 \leq R_n < \infty$$

Сумма падений напряжений на пассивных элементах равна сумме E



$$\sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{Кирхгоф}$$

$$U_R + U_n = I_n \cdot R_n + U_n \Rightarrow R_n = 0$$

$$U_n = E = \text{const} \text{ при } 0 \leq R_n < \infty$$

$$E = I_n R + U_n; R_n = 0; 0 \leq R_n < \infty; 0 \leq R_n \cdot I_n < \infty$$

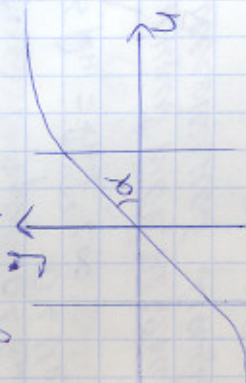
Резистор: $U_n = E = \text{const}; U_n - \text{входное напряжение}$
 $R_n = 0 \quad R_n \rightarrow \infty$

Резистор UPT: $I_n = I = \text{const}$, когда $R_n \rightarrow \infty, R_n \rightarrow 0$

Пассивные элементы:

Резистор R — $\square$ — ВЛХ

$$\text{tg } \alpha = \frac{1}{R} \text{ проводимость}$$



Ограниченная область применения из-за нагрева

Индуктивность L — $\text{—} \text{—} \text{—}$ ВЛХ (векторная)

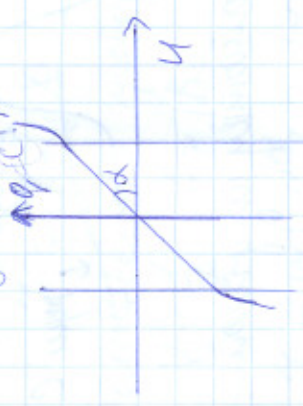
1) $\text{—} \text{—} \text{—}$ Векторная L при $\varphi \neq 0$

2) $\text{—} \text{—} \text{—}$ Фазовая кривая



3. Конденсатор C — $\text{—} \text{—} \text{—}$

При больших C и плавно изменяется



другой конденсатор C изменяется емкостью.

II. Реальная модель — комплексный эквивалент об-в.



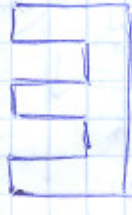
1. Реактора вводят при больших частотах и больших индуктивностях. Возникает паразитный резистор, вызывающий паразитную емкость.

2. Индуктивность L — $\text{—} \text{—} \text{—}$



Роль велико; R_n — сопротивление обмотки, R_n — сопротивление сердечника.

Индукционный сердечник



Индуктивность до 10 Вб

R_n — эквивалентная схема, св-ва будут другие

Если в высококачественный диапазон



Резистор уменьшает добротность и увеличивает емкость

