

Лекция 5

Тема: Формирование сигналов с импульсной модуляцией

- Учебные вопросы:
- 1. Параметры и спектр сигнала при импульсной модуляции.
- 2. Структурные схемы и классификация импульсных модуляторов.
- 3. Внутриимпульсная частотная модуляция.

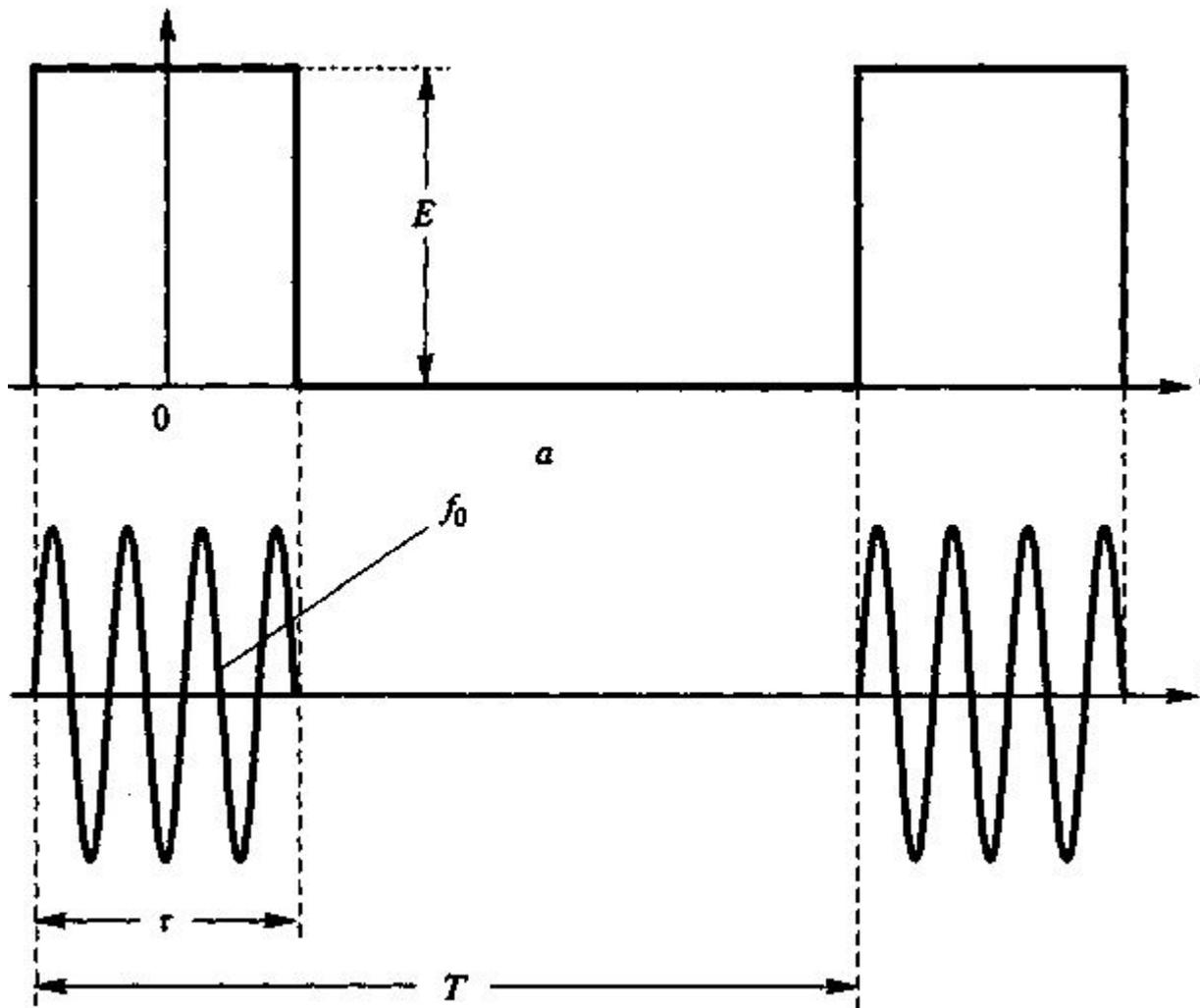
Литература

- 1. Ворона В. А. Радиопередающие устройства. Основы теории и расчета: учеб. пособие для вузов - М. : Горячая линия - Телеком, 2007. - 384 с.
- 2. Куликов Г. В. Радиовещательные приёмники : учеб. пособие для вузов / Г. В. Куликов, А. А. Парамонов - М. : Горячая линия - Телеком, 2011. - 120 с.
- 3. Ситников В.А. - Ростов н/Д : РАС ЮРГУЭС, 2009. - 196 с. Устройства приема и обработки сигналов : крат. текст лекций для студ. всех форм обучения МТФ по спец. "БРА" и "САСКТ".

1-й вопрос: Параметры и спектр сигнала при импульсной модуляции

1. Излучаемый ИМ сигнал.
2. Параметры ИМ сигнала.
3. Виды импульсной модуляции.
4. Спектр сигнала при импульсной модуляции.
5. Пример линейчатого спектра.
6. Пример центральной части спектра периодической последовательности радиоимпульсов.

Излучаемый ИМ сигнал



Параметры ИМ сигнала

При ИМ сигнал определяют следующие параметры: τ - длительность импульса; T - период повторения импульсов; $q = (T - \tau) / \tau$ - скважность; f_0 - частота несущей; $P_{\text{и}}$ - мощность сигнала в импульсе; $P_{\text{ср}} = P_{\text{и}} (\tau / T)$ - средняя мощность сигнала; $\Delta f_{\text{сп}}$ - ширина спектра излучаемого сигнала; вид модуляции импульсов. Раскроем содержание последнего параметра. Импульсы, модулирующие несущую частотой f_0 , могут быть в свою очередь сами

Виды импульсной модуляции

Различают:

- амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ),
- широтно-импульсную модуляцию (ШИМ),
- время-импульсную модуляцию (ВИМ),
- кодово-импульсную модуляцию (КИМ),
- внутриимпульсную модуляцию ,
- частотно-импульсную модуляцию,
- фазово-импульсную модуляцию.

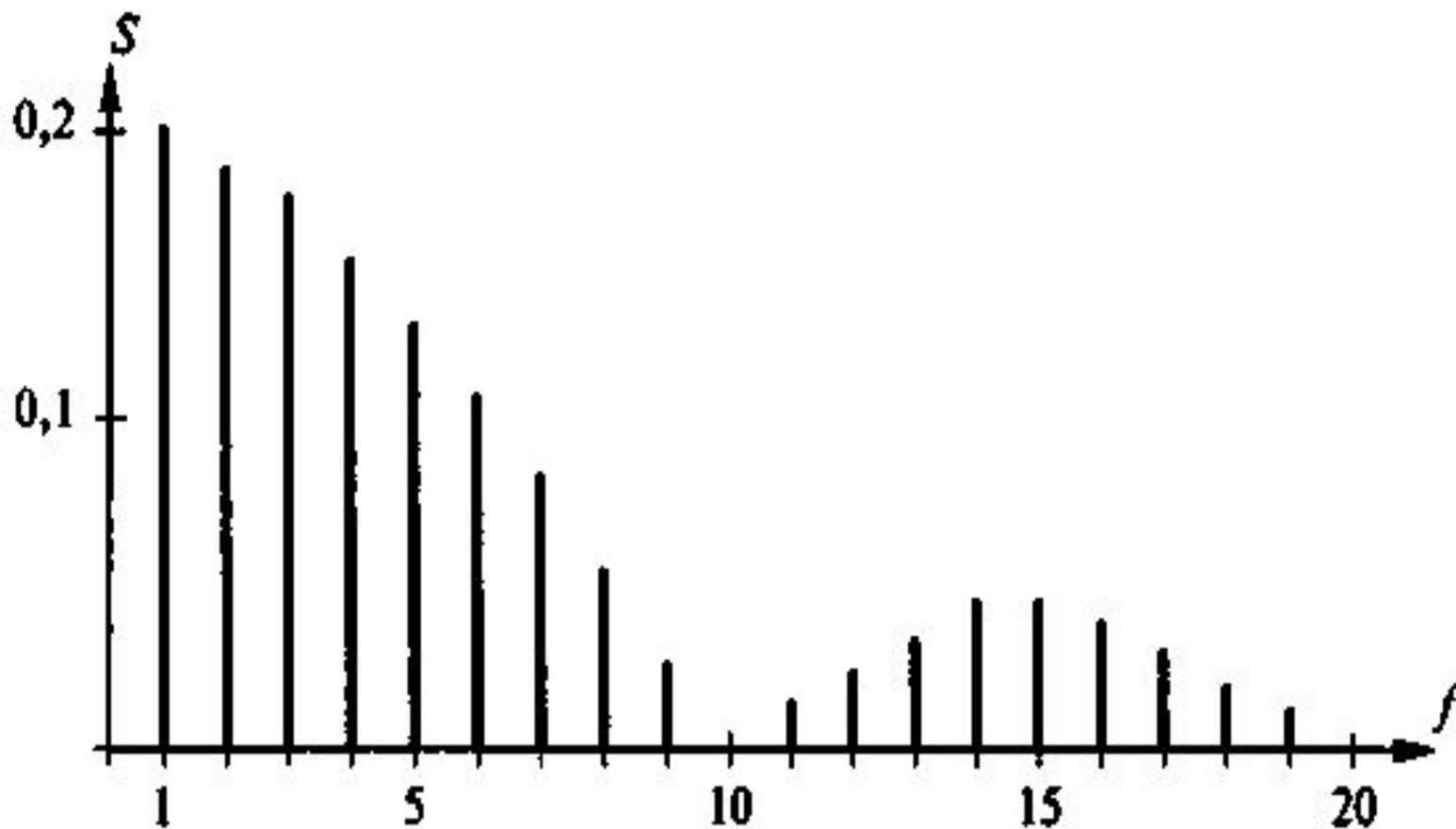
Спектр сигнала при импульсной модуляции

- **Спектр сигнала при ИМ определяется в два этапа. На первом этапе** определяется спектр периодической последовательности импульсов, модулирующих несущую; **на втором этапе** - спектр промодулированной импульсами несущей. При периодической последовательности прямоугольных импульсов спектр можно получить, разложив функцию в ряд Фурье. В результате получим для амплитуд составляющих в этом спектре, следующих через интервалы $\Omega = 2\pi/T$ или $F = 1/T$:

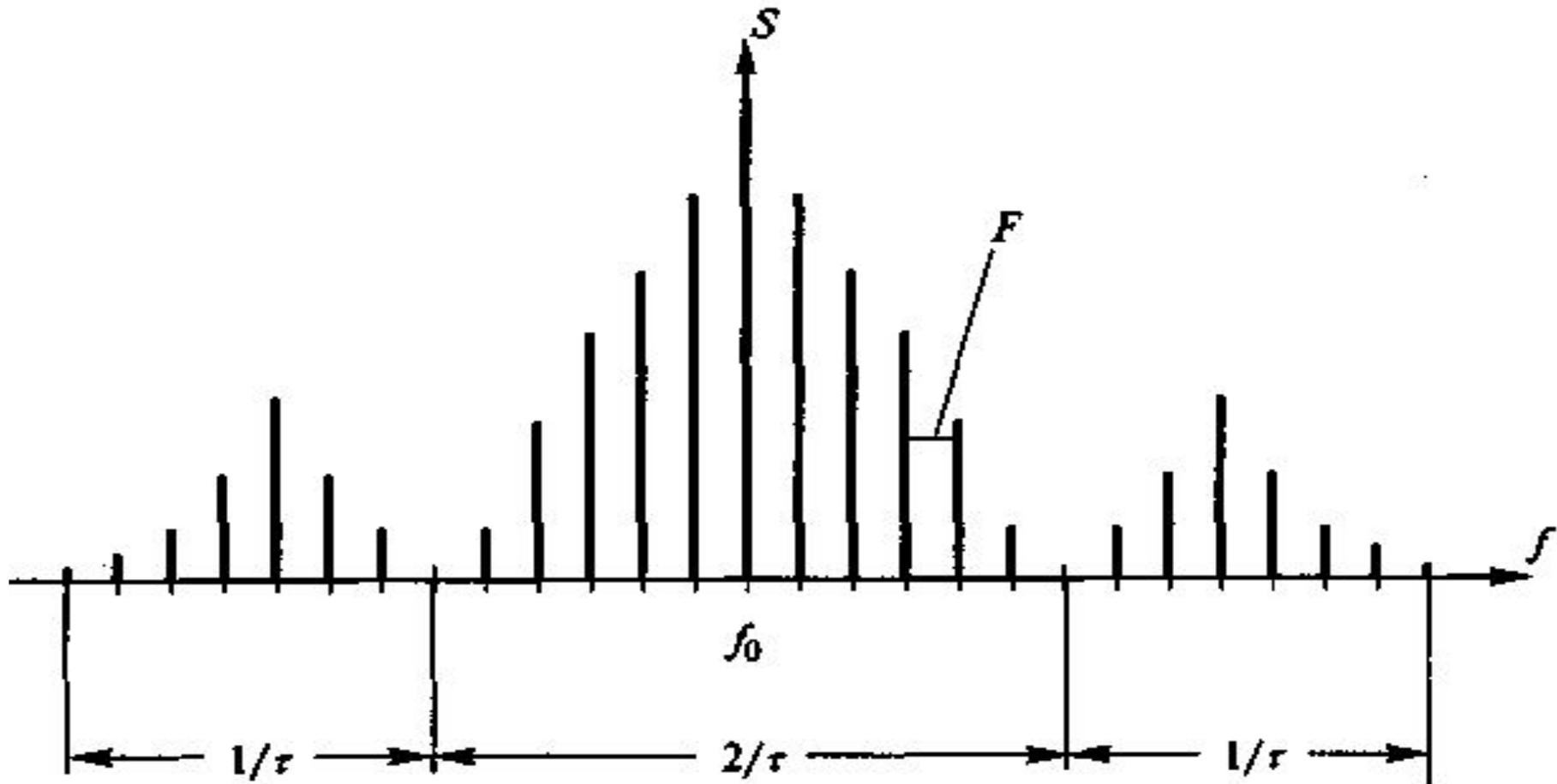
$$A_k = \frac{2E}{\pi k} \left| \sin \left(\pi k \frac{\tau}{T} \right) \right| = \frac{2E}{\pi k} \left| \sin (0,5k\tau\Omega) \right|$$

- где E - амплитуда импульса; k - целое положительное число.

Пример линейчатого спектра



Пример центральной части спектра
периодической последовательности
радиоимпульсов



2-й вопрос: Структурные схемы и классификация импульсных модуляторов

1. Обобщённая структурная схема импульсного модулятора.
2. Особенность излучения импульсных радиопередатчиков.
3. Пример расчёта мощности источника электропитания импульсного радиопередатчика.
4. Классификация импульсных модуляторов.
5. Импульсный модулятор жёсткого типа с ёмкостным накопительным элементом.
6. Эквивалентная схема ИМ жёсткого типа с ёмкостным накопительным элементом.
7. Принцип действия ИМ мягкого типа с искусственной линией.

Обобщённая структурная схема импульсного модулятора



Особенность излучения импульсных радиопередатчиков

- Радиопередатчики в импульсе могут излучать очень большую мощность - в десятки и даже сотни мега- ватт. Поскольку, однако, эти импульсы излучаются с большой скважностью q , то, используя принцип накопления энергии паузе между импульсами, мощность первичного источника можно понизить в то же число q раз.

- Мощность первичного источника постоянного тока:
$$P_0 = \frac{P_{\text{имп}}}{\eta_z (1 + q)}$$

- где $P_{\text{имп}}$ - мощность СВЧ генератора в

Пример расчёта мощности источника электропитания импульсного радиопередатчика

Пусть мощность СВЧ радиопередатчика в импульсе $P_{1\text{имп}} = 1$ МВт, скважность $q = 1000$, $\eta = 50\%$.

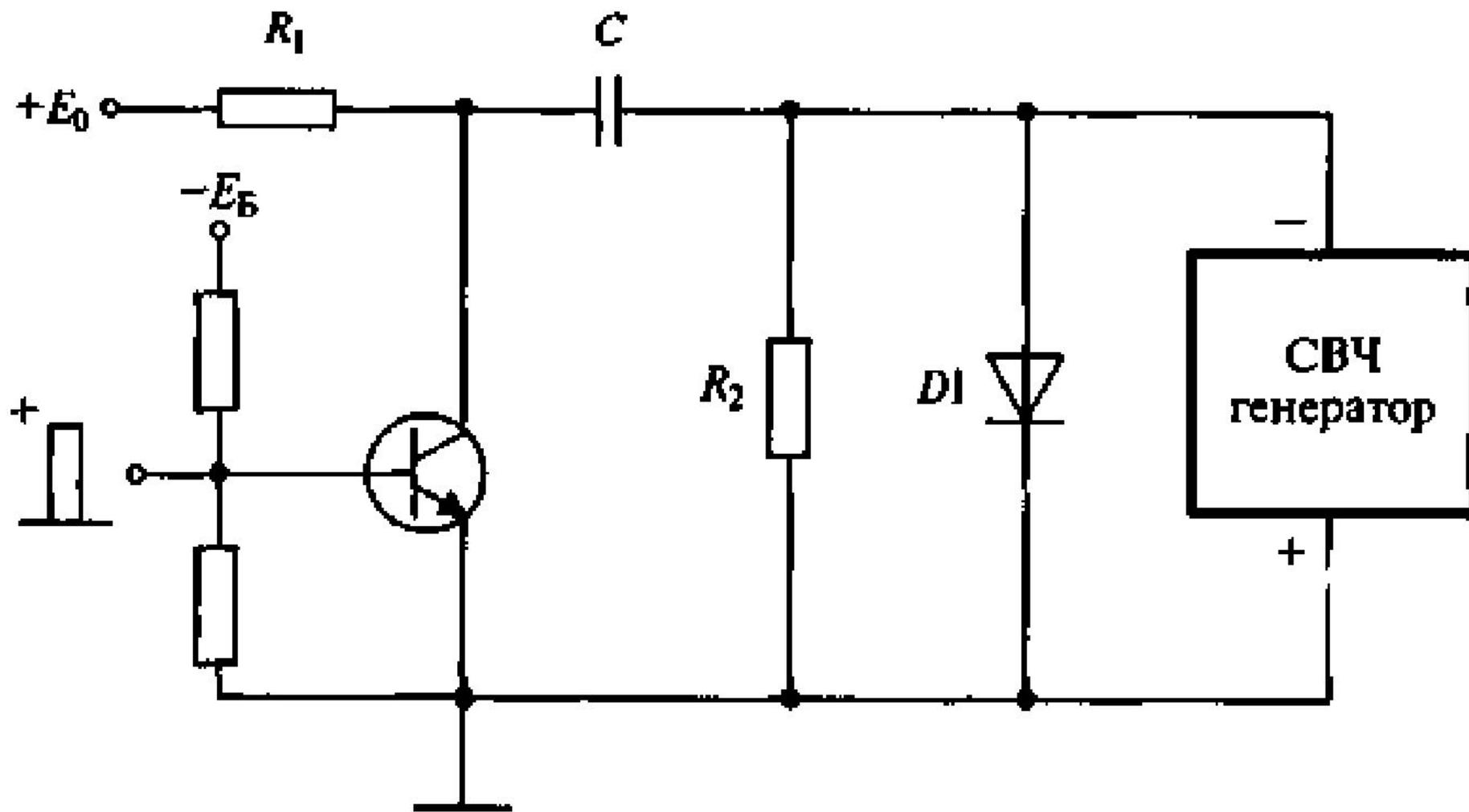
Тогда, согласно формуле $P_0 = \frac{P_{1\text{имп}}}{\eta_e (1 + q)}$

требуемая мощность первичного источника постоянного тока: $P_0 = 2$ кВт.

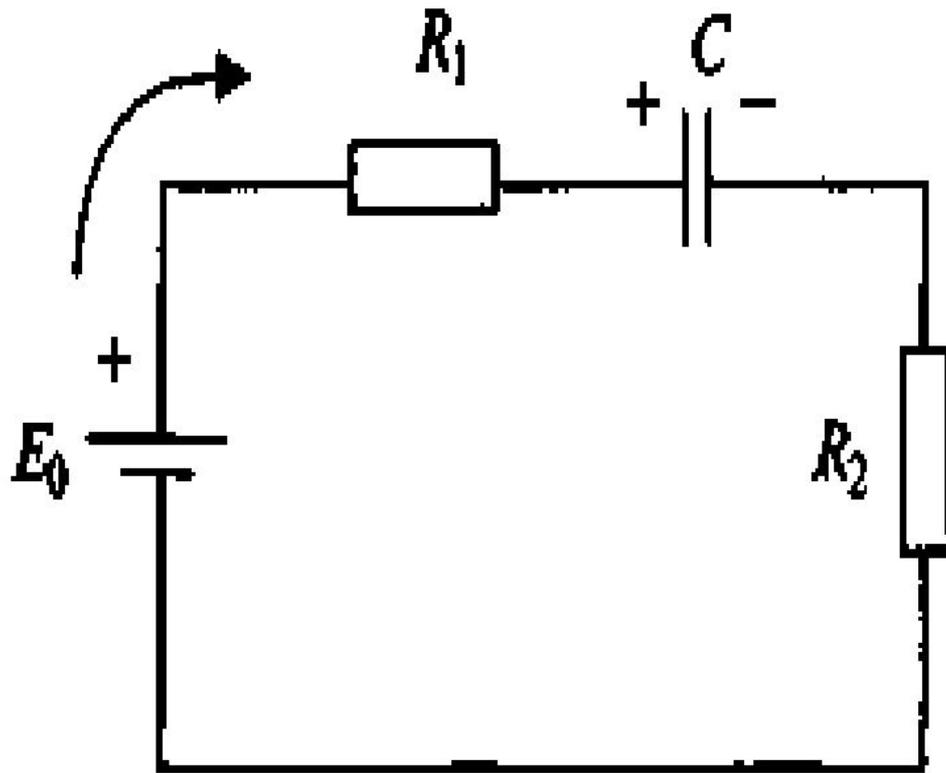
Классификация импульсных модуляторов

Классификация импульсных модуляторов осуществляется по двум признакам: типу накопительного элемента и виду коммутирующего устройства. **Возможны три типа накопительных элементов:** ёмкостного, индуктивного и смешанного вида. **Коммутирующие устройства** подразделяются: на **жёсткого типа** (электровакуумные лампы и высоко-вольтные транзисторы) и **мягкого типа** (тиратроны и тиристоры - кремниевые управляемые вентили). В импульсных модуляторах жёсткого типа длительность сформированного импульса определяется длительностью входного импульса. В импульсных модуляторах мягкого типа входной импульс определяет только начало формируемого импульса, длительность

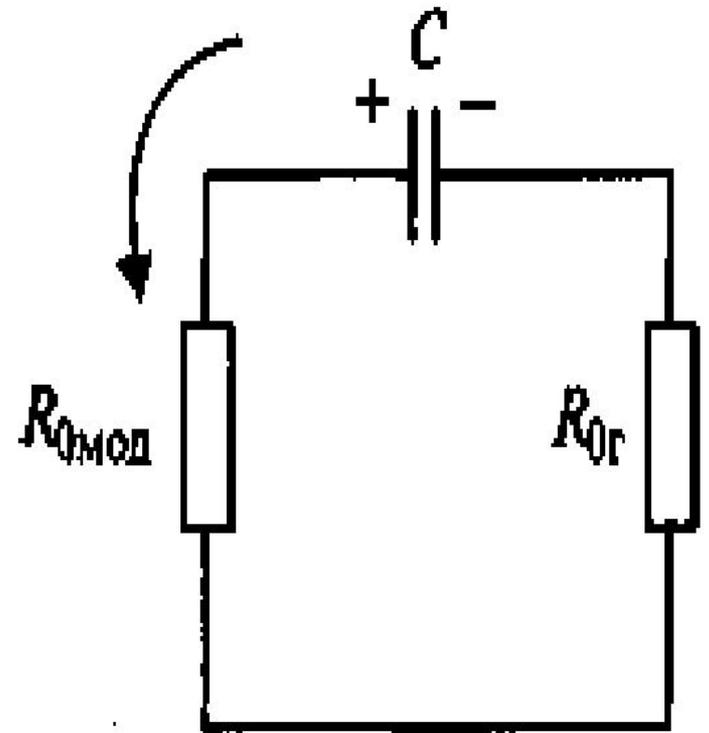
Импульсный модулятор жёсткого типа с ёмкостным накопительным элементом



Эквивалентная схема ИМ жёсткого типа с ёмкостным накопительным элементом

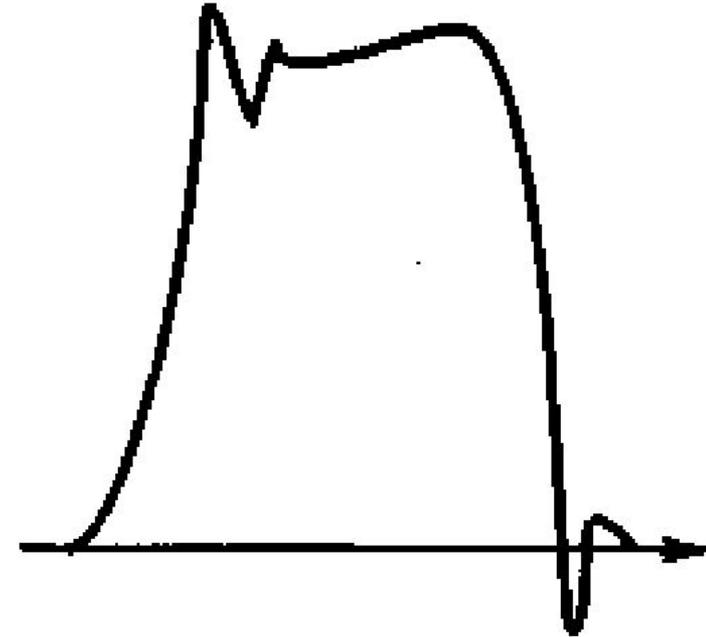
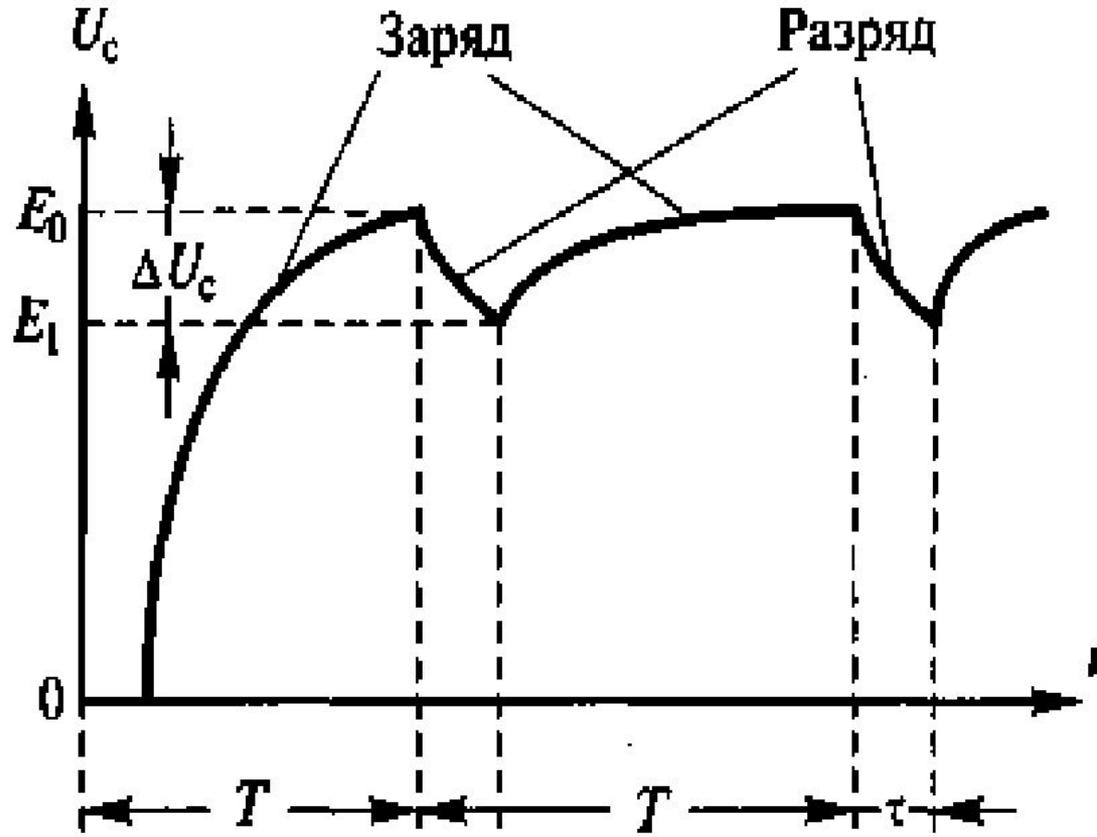


а



б

Графики, отображающие процесс заряда и разряда конденсатора в ИМ жёсткого типа с ёмкостным накопительным элементом



Фазы работы ИМ жёсткого типа

- **1-я фаза.** Ключ - высоковольтный транзистор - закрыт за счёт отрицательного напряжения, поданного на базу; протекает процесс заряда высоковольтного конденсатора C по экспоненциальному закону:

$$U_C = E_0 \left(1 - e^{-t/T_{зар}} \right)$$

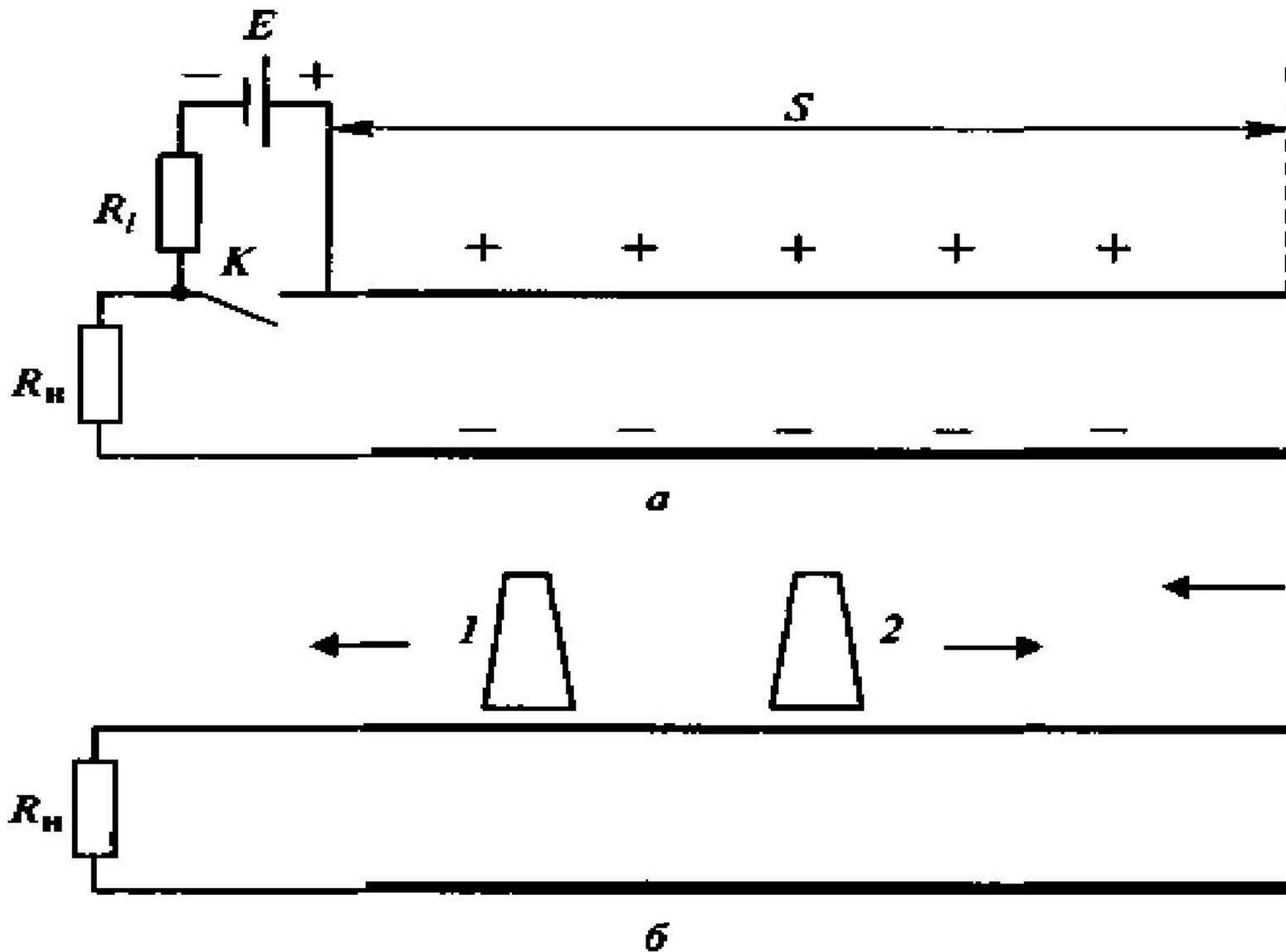
- где $T_{зар} = (R_1 + R_2)C$ - постоянная времени цепи заряда; E_0 - напряжение источника питания; $t < T$ - текущее время.

- **2-я фаза.** По истечении времени T - периода повторения импульсов - на вход схемы приходит импульс положительной полярности, открывающий транзисторный ключ, вследствие чего к СВЧ генератору прикладывается положительное напряжение E_0 , до которого успел зарядиться конденсатор. Начинается разряд конденсатора через транзистор и СВЧ генератор по закону:

$$U_C = E_0 e^{-t/T_з}$$

- где $T_з = (R_{мод} + R_{ог})C$ - постоянная времени цепи разряда, где $R_{мод}$, $R_{ог}$ - сопротивления ключа и генератора по постоянному току.
- Время разряда определяется длительностью импульса t , после чего ключ закрывается и вновь повторяется 1-я фаза процесса - заряд конденсатора.

Принцип действия ИМ мягкого типа с искусственной линией



Принцип действия ИМ мягкого типа

- Принцип действия данного модулятора основан на формировании импульса прямоугольной формы с помощью длинной или искусственной линии. Пусть линия длиной S с волновым сопротивлением ρ при разомкнутом ключе K заряжена до напряжения E . После замыкания ключа на сопротивление нагрузки $R_H = \rho$ начнется разряд линии. При этом в линии образуется две волны, одна из которых с амплитудой $U_{H1} = 0,5E$ со скоростью V начнет двигаться влево (1-я волна); другая волна той же амплитуды с той же скоростью (2-я волна) - вправо. **Первая волна**, достигнув сопротивления $R_H = \rho$, будет им поглощена, образуя импульс амплитудой $U_{H1} = 0,5E$ и длительностью $t_3 = S/V$.
- **Вторая волна**, достигнув разомкнутого конца линии, полностью от него отразится, поскольку в этом случае коэффициент отражения $\Gamma = 1$. После отражения, начав двигаться влево, вторая волна, как и первая, достигнув с задержкой на время t_3 сопротивления нагрузки $R_H = \rho$, также будет им поглощена, вновь сформировав импульс амплитудой $U_{H1} = 0,5E$ и длительностью t_3 . Таким образом, за счет обеих волн на нагрузке $R_H = \rho$ будет сформирован импульс амплитудой $U_{H1} = 0,5E$ и длительностью $t = 2t_3 = 2S/V$.

3-й вопрос: Внутримпульсная частотная модуляция

1. Внутримпульсная частотная модуляция.
2. ЛЧМ сигнал.
3. Структурная схема РПДУ ИМ и ЧМ с синхронизацией ИМ и ЧМ.
4. Синхронизация процессов ИМ и ЧМ.
5. Выводы.

Внутриимпульсная частотная модуляция

- В радиолокации для получения высокой разрешающей способности и большой дальности применяют сжатие сигнала в радиоприемнике путем внутриимпульсной частотной и фазовой модуляции излучаемого радиопередатчиком сигнала. Одним из таких способов внутриимпульсной модуляции является изменение частоты сигнала по линейному закону:

,

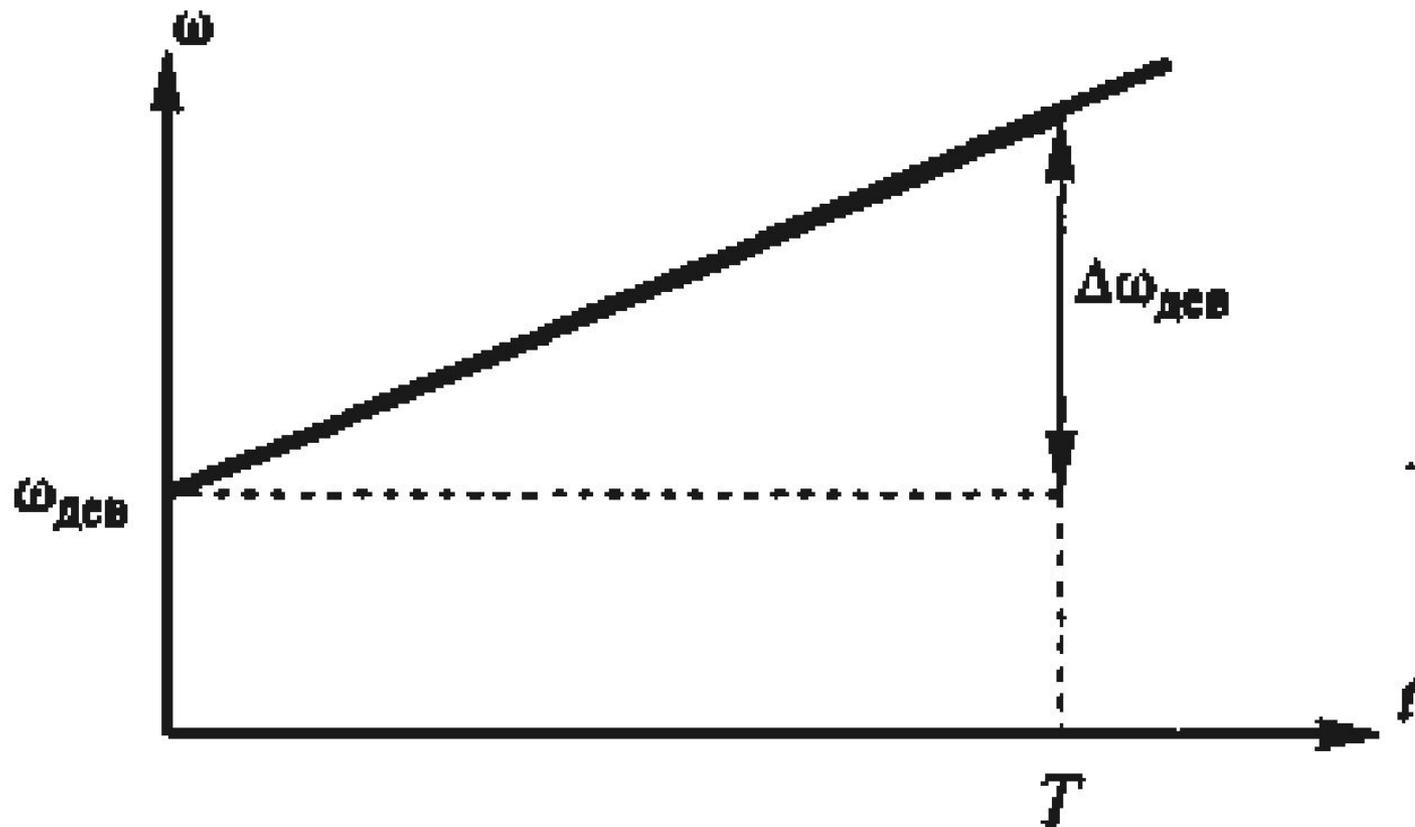
- где $\Delta\omega_{\text{дев}}$ - девиация частоты; T - длительность линейного ЧМ (ЛЧМ) сигнала.

- Параметр $m = \Delta f_{\text{дев}} T$, называемый базой сигнала, показывает, во сколько раз можно сжать по времени ЛЧМ сигнал на приемной стороне радиолинии по сравнению с передающей. Для ЛЧМ сигнала имеем:

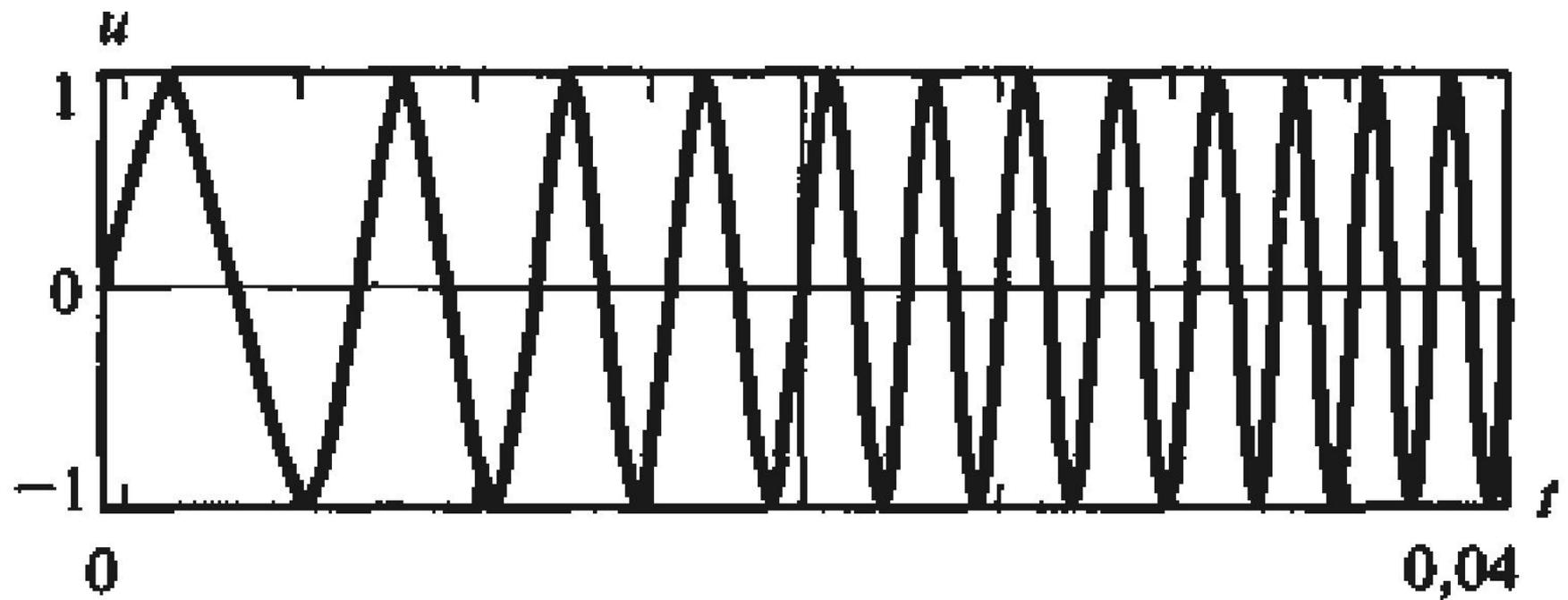
$$u(t) = U_0 \sin\left(\int \omega(t) dt\right) = U_0 \sin\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega_{\text{дев}} t^2}{2T}\right) =$$

$$= U_0 \sin\left[\omega_0 t + \frac{\Delta\omega_{\text{дев}}/\omega_0}{2\omega_0 T} (\omega_0 t)^2\right],$$

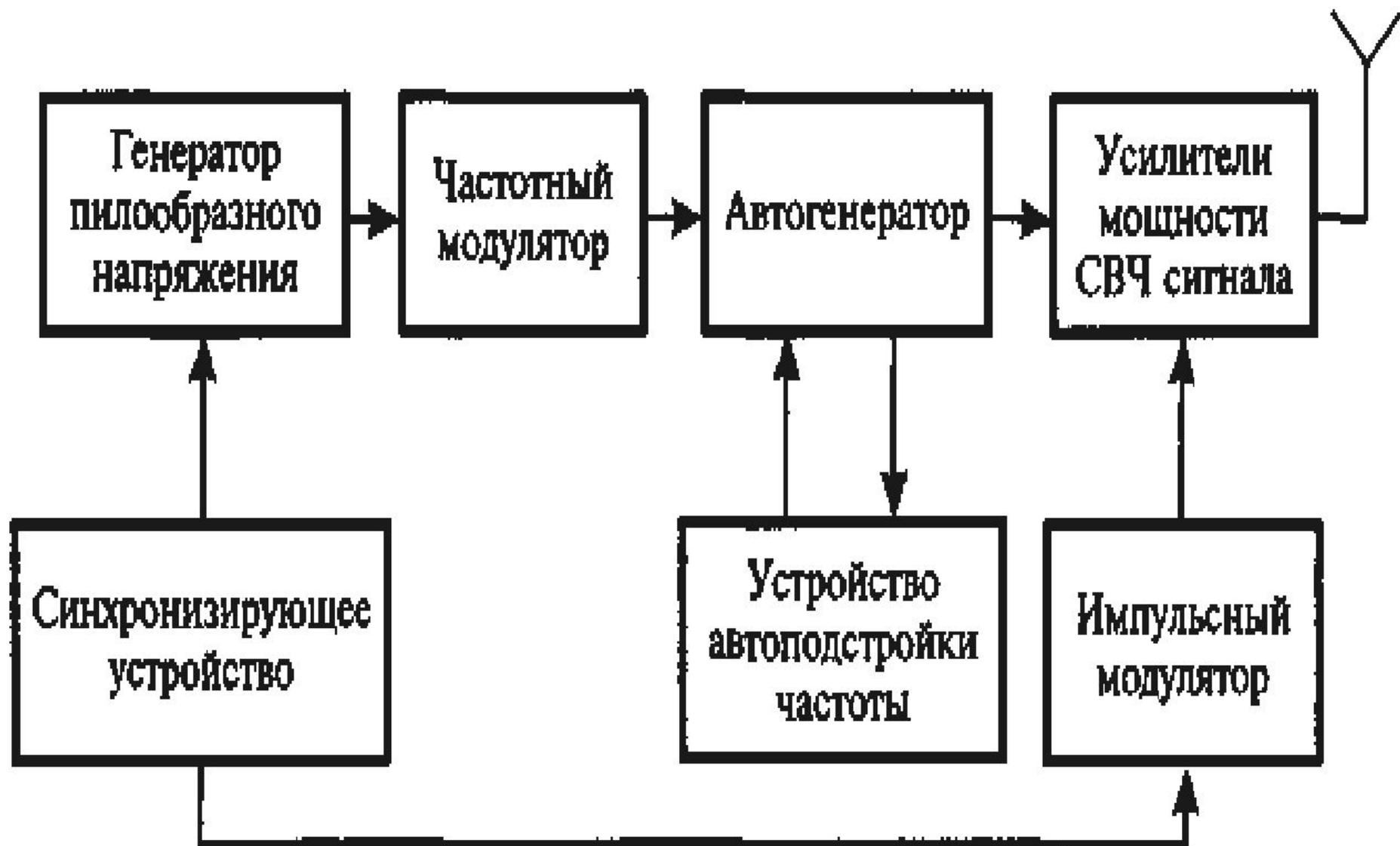
ЛЧМ сигнал



ЛЧМ сигнал



Структурная схема РПДУ ИМ и ЧМ с синхронизацией ИМ и ЧМ



Синхронизация процессов ИМ и ЧМ

В РПДУ процесс ИМ и ЧМ следует синхронизировать. В схеме ЛЧМ сигнал формируется посредством генератора пилообразного напряжения, изменяющего частоту автогенератора по линейному закону. Стабилизация частоты автогенератора осуществляется устройством АПЧ. С помощью синхронизирующего устройства изменение частоты автогенератора начинается в момент подачи импульса на СВЧ усилитель мощности.

Выводы

В радиолокации для получения высокой разрешающей способности и большой дальности применяют сжатие сигнала в радиоприёмнике путём внутриимпульсной частотной и фазовой модуляции излучаемого радиопередатчиком сигнала. Одним из таких способов внутриимпульсной модуляции является изменение частоты сигнала по линейному закону.