

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

# «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



## ТЕЛЕКОНТРОЛЬ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ ЛЕКЦИЯ №6 «Импульсные методы модуляции»

Лектор:  
доцент каф. ЭАФУ ФТИ  
Горюнов А.Г.

Томск 2013 г.

# План лекции

- Введение
- Амплитудно-импульсная модуляция
- Широтно-импульсная модуляция
- Фазоимпульсная модуляция
- Частотно-импульсная модуляция
- Кодоимпульсная модуляция
- Дельта-модуляция
- Разностно-дискретная модуляция
- Лямда-дельта модуляция
- Многократные методы модуляции

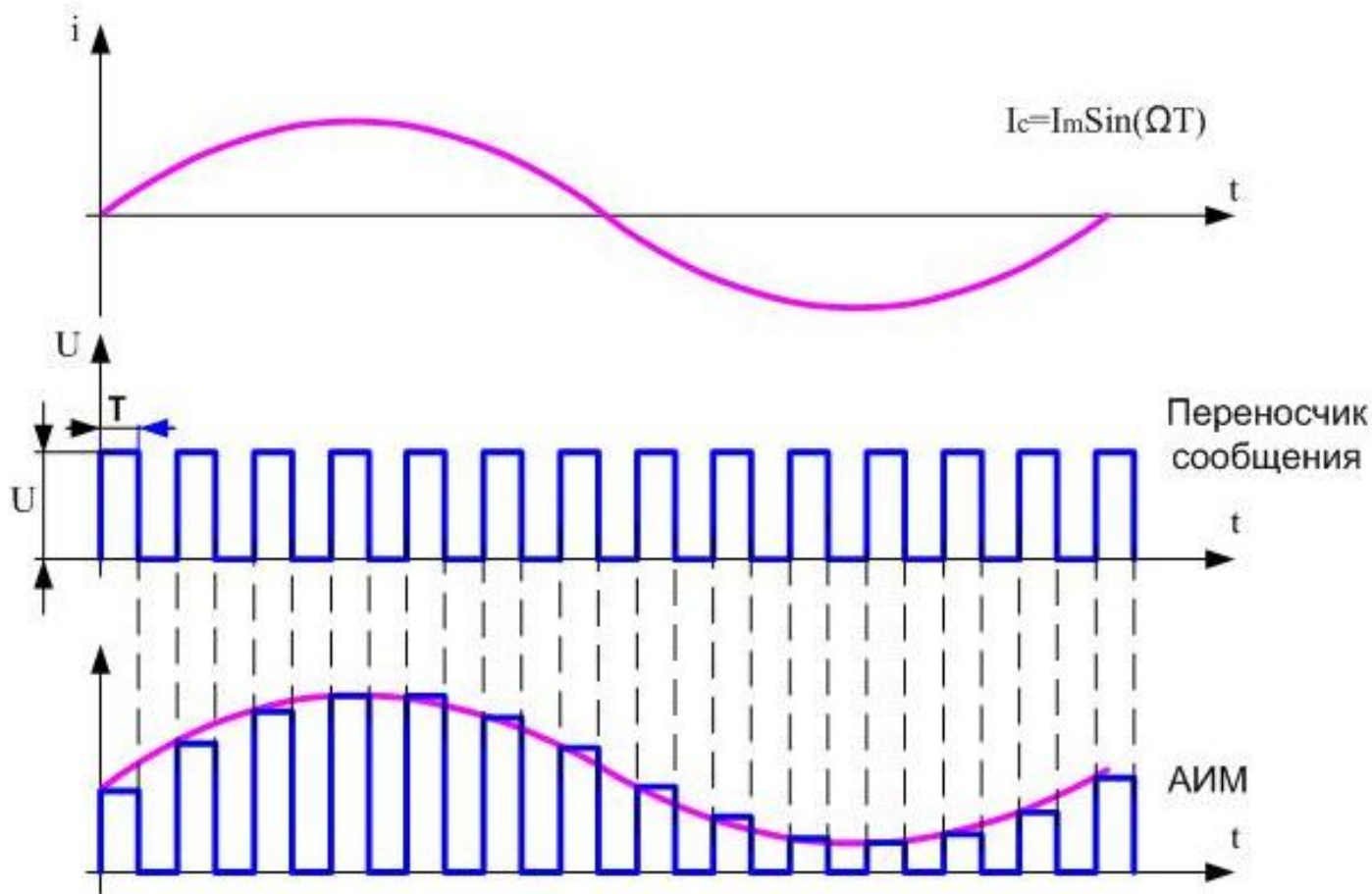
# 6.1. Введение

В импульсной модуляции переносчиком сообщения является серия импульсов, характеризуемая рядом параметров: амплитудой, длительностью, положением во времени, числом импульсов и т.д.

**Импульсная модуляция** – изменение какого-либо параметра серии импульсов под действием сообщения.

## 6.2. Амплитудно-импульсная модуляция <sup>4</sup>

Переносчиком сообщения в амплитудно-импульсной модуляции (АИМ) является серия прямоугольных импульсов. Под воздействием мгновенных значений сообщения (тока или напряжения) амплитуда импульсов переносчика изменяется, как показано на рисунке 6.1.



$U$  – амплитуда  
«несущей»  
(переносчика  
сообщения),

$\tau$  – длительность  
импульсов  
«несущей».

Рисунок 6.1 Временная диаграмма амплитудно-импульсной модуляции

Выражение для амплитуды модулированных импульсов можно записать следующим образом:

$$U_M = U \cdot (1 + m_A \cdot \sin(\Omega t)) \quad (6.1)$$

$U_M$  – амплитуда модулированных импульсов;  $U$  – амплитуда немодулированных импульсов;  
 $m_A$  – глубина модуляции при АИМ;  $\Omega$  – угловая частота сообщения

Импульсы, модулированные по амплитуде, обладают спектром, отличающимся от немодулированной последовательности тем, что вокруг каждой составляющей спектра немодулированной последовательности появляются боковые частоты  $f_k \pm f_{\text{сообщ}}$

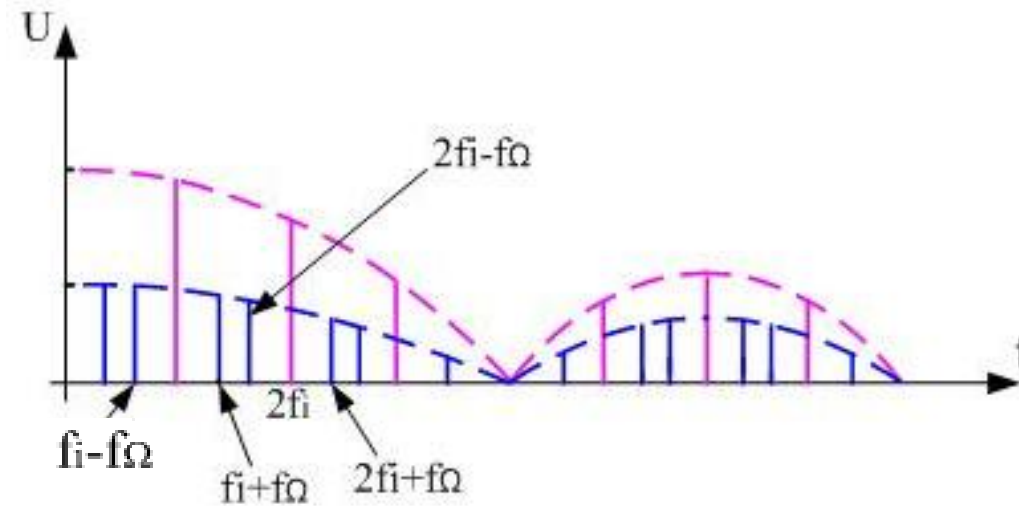


Рисунок 6.2 Спектр частот амплитудно-импульсной модуляции

Ширина полосы  $\Delta F$  частот определяется практически длительностью импульсов и слабо зависит от модулирующей частоты, т.е.

$$\Delta F = \mu / \tau \quad (6.2)$$

$\tau$  – длительность импульсов;  
 $\mu$  – коэффициент формы.

**АИМ обладает теми же недостатками и достоинствами, что и АМ.**

В телемеханике АИМ применяется только как промежуточный вид модуляции, например, в системе АИМ-ЧМ

## 6.3. Широтно-импульсная модуляция

6

При **широтно-импульсной модуляции** (ШИМ) под действием мгновенных значений сообщения изменяется длительность или ширина импульсов переносчика (см. рисунок 6.3), расширяясь при увеличении мгновенного значения сообщения и сужаясь при его уменьшении (за счёт положения заднего фронта импульса). Частота и амплитуда импульсов при ШИМ не изменяются.

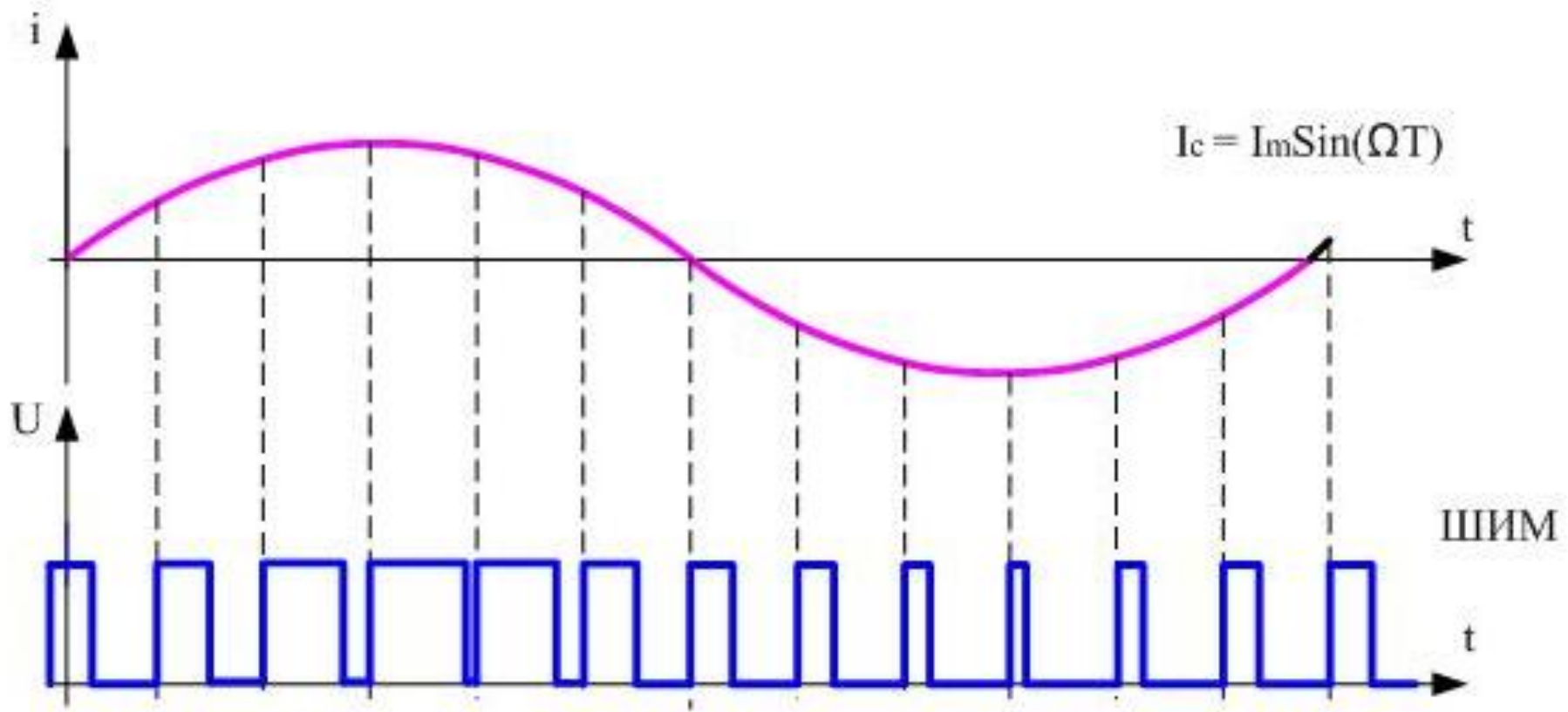


Рисунок 6.3 Временная диаграмма широтно-импульсной модуляции

Полоса частот ШИМ определяется выражением:

$$\Delta F = \frac{1}{\tau_{\min}} \quad (6.3)$$

где  $\tau_{\min}$  – минимальная длительность импульсов ШИМ.

Спектр частот ШИМ аналогичен спектру АИМ с той лишь разницей, что при ШИМ вокруг каждой гармоники «несущей» имеется не две, а несколько пар боковых частот.

Помехоустойчивость ШИМ значительно выше помехоустойчивости АИМ.

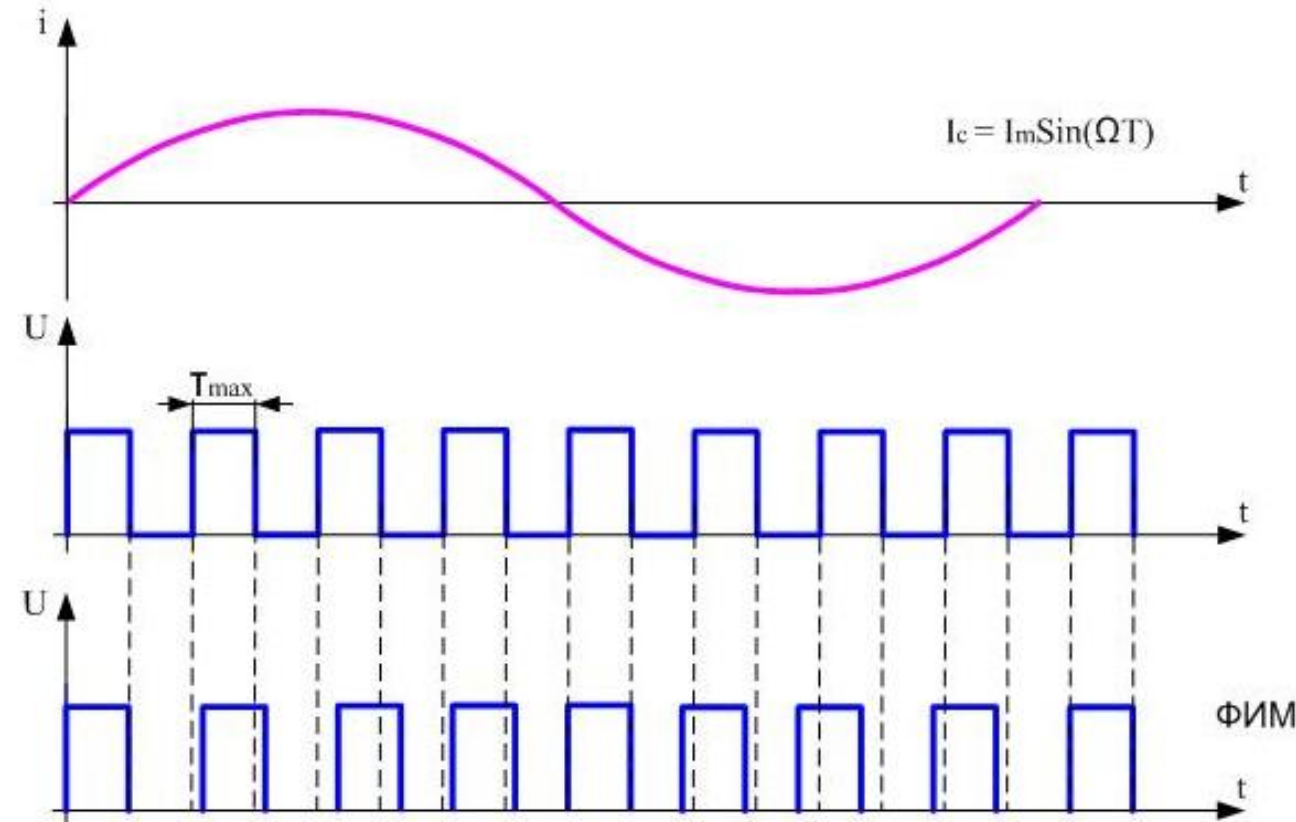
## 6.4. Фазоимпульсная модуляция

Широтно-импульсная модуляция и **фазоимпульсная модуляция** (ФИМ) объединяются общим понятием – времяимпульсная модуляция (ВИМ).

При ФИМ в зависимости от мгновенного значения сообщения: импульс сдвигается вправо на  $\Delta t$  при увеличении мгновенного значения и влево на  $\Delta t$  – при его уменьшении.

При синусоидальном сообщении сдвиг, или девиация, импульса определяется выражением (см. рисунок 6.4):

$$\Delta\tau = \Delta\tau_{\max} \sin(\Omega t) \quad (6.4)$$



Полоса частот при ФИМ определяется длительностью импульса, которая в процессе модуляции не изменяется.

Рисунок 6.4 Временная диаграмма фазоимпульсной модуляции



## 6.5. Частотно-импульсная модуляция

В случае **частотно-импульсной модуляции** (ЧИМ) при увеличении мгновенного значения сообщения частота импульсов возрастает, а при уменьшении — снижается (см. рисунок 6.5). При этом длительность импульсов остаётся постоянной.

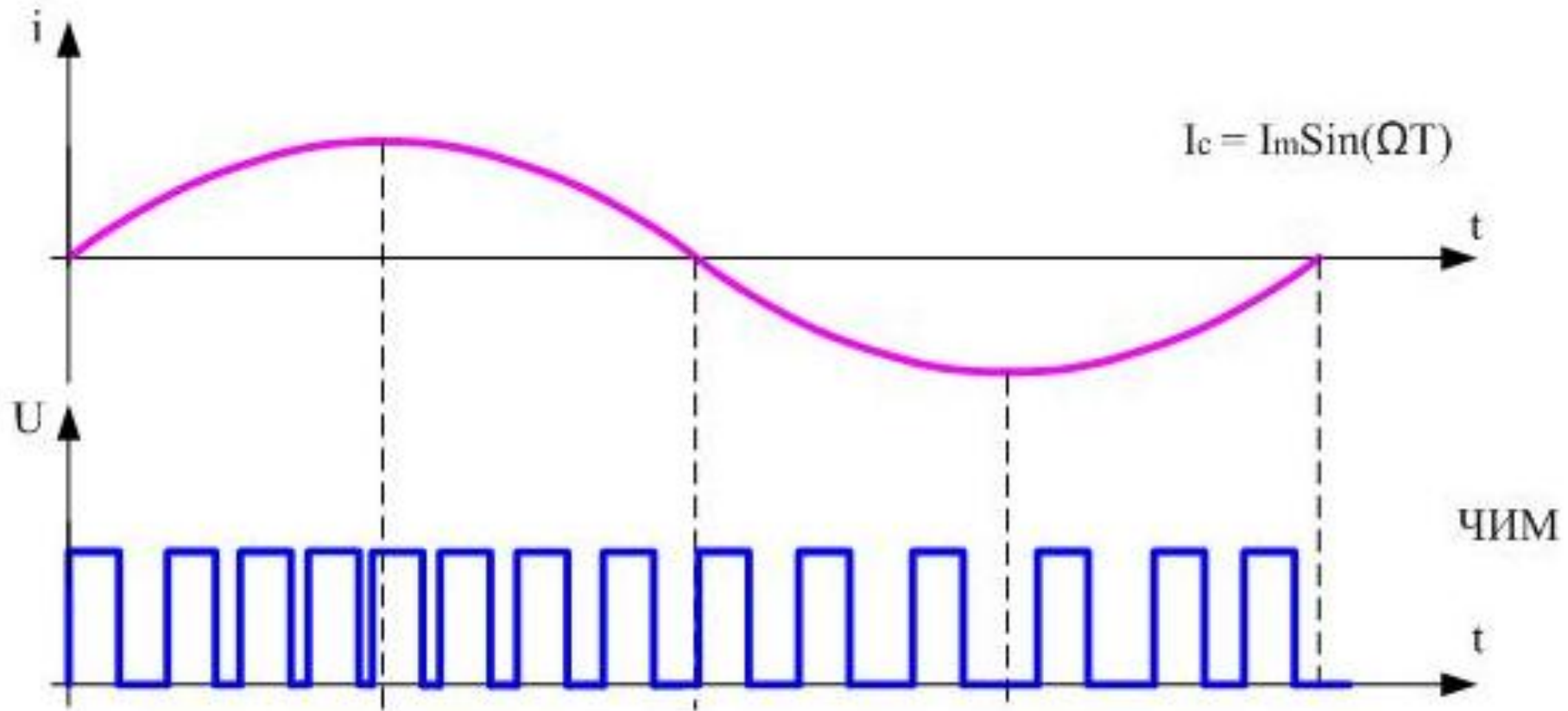


Рисунок 6.5 Временная диаграмма частотно-импульсной модуляции

## 6.6. Кодоимпульсная модуляция

Сообщение при **кодоимпульсной модуляции** (КИМ) квантуется по времени и уровню (см. рисунок 6.6). Полученные значения передаются в дискретные моменты времени .

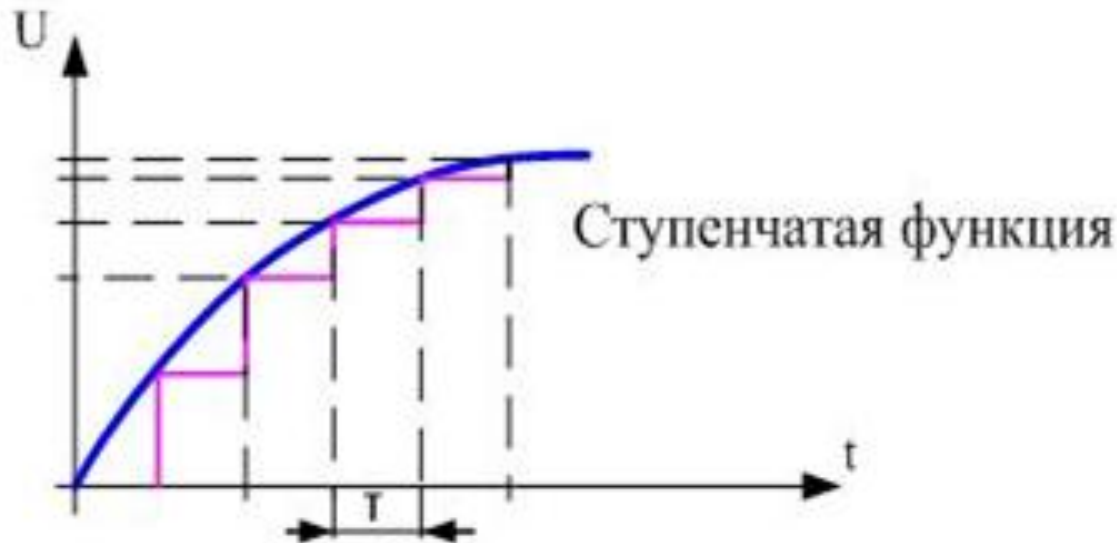


Рисунок 6.6 Временная диаграмма кодоимпульсной модуляции

Полоса частот в КИМ определяется длительностью импульса ( $\tau$ ):

$$\Delta F = \frac{1}{\tau} \quad (6.5)$$

## 6.7. Дельта-модуляция

Эффективным способом преобразования сигналов в цифровую форму является **дельта-модуляция** ( $\Delta$ -модуляция). Преимущество  $\Delta$ -модуляции в реализуемой точности при заданной частоте дискретизации и особенно в простоте реализации.

В данном случае осуществляется передача лишь двух дискретных сигналов, которыми передаётся только знак приращения функции (см. рисунок). Если нет приращения, то передаётся 0. Число уровней квантования – любое. Шаг приращения – 1 квант.

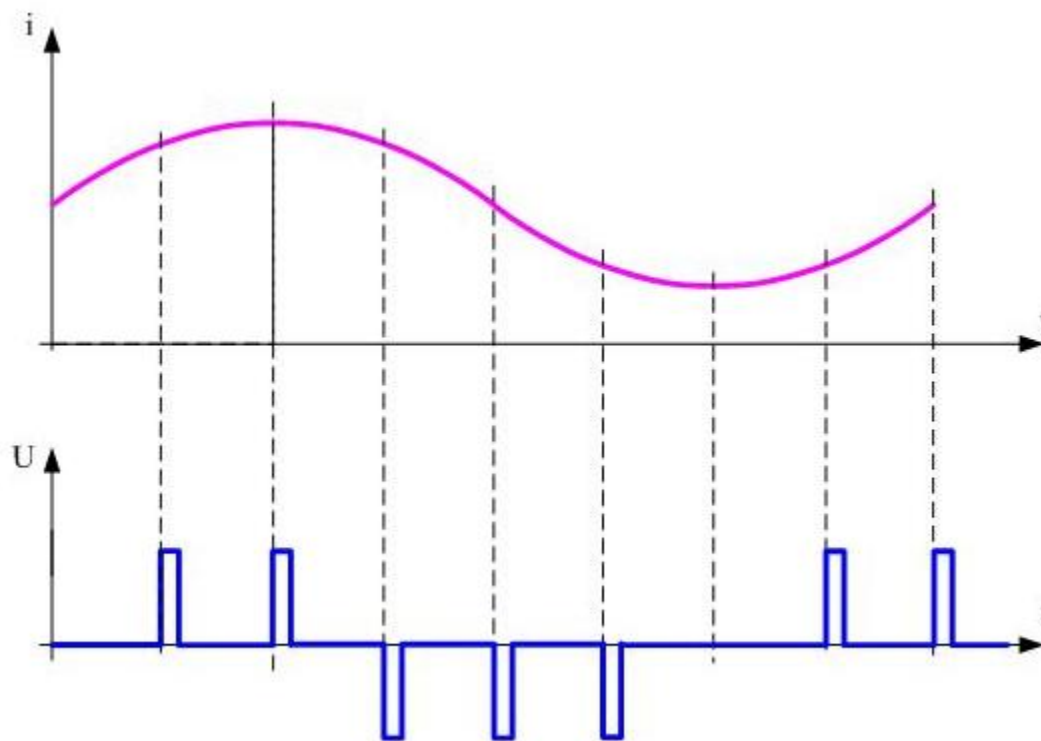


Рисунок 6.7 Временная диаграмма дельта-модуляции

**Особенности:**

постоянный такт квантования, приращение на 1 импульс равно одному кванту.

**Недостатки.**

Если скорость изменения сигнала высока, может произойти динамическая ошибка. Следовательно, необходимо подбирать частоту квантования под скорость изменения сигнала.

Помехи создают потери, которые восстановить невозможно.

# 6.8. Разностно-дискретная модуляция

Принцип формирования **разностно-дискретной модуляции** (РДМ) проиллюстрирован на рисунке 6.8.

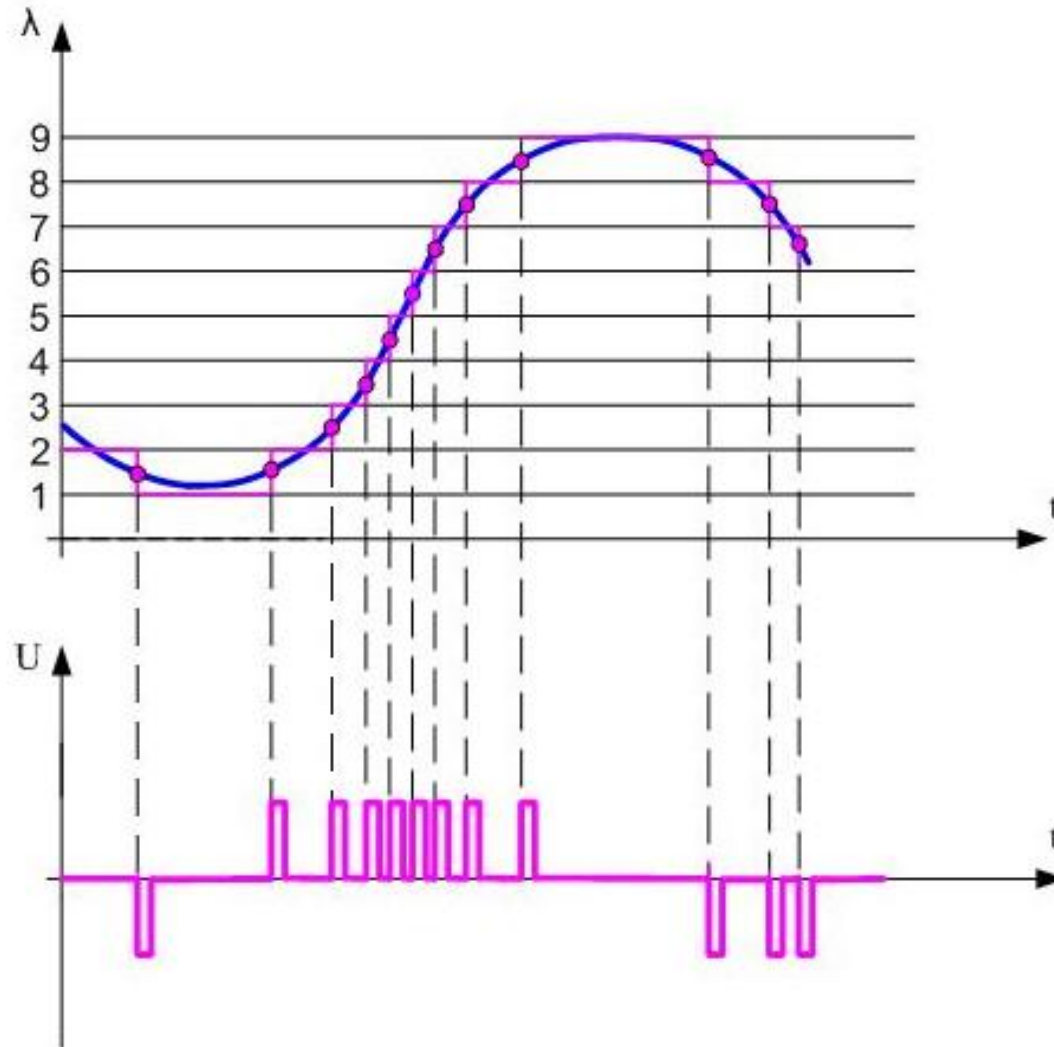


Рисунок 6.8 Временная диаграмма разностно-дискретной модуляции

При переходе на более высокий уровень передаётся сигнал о единичном скачке вверх, а при переходе на более низкий уровень – сигнал о скачке вниз. Если сообщение не изменяет значение, сигнал отсутствует.

### **Преимущества РДМ (по сравнению с $\Delta$ -модуляцией):**

1. Канал связи менее загружен. При медленно изменяющихся сообщениях РДМ–сигналы будут передаваться редко (в отличие от  $\Delta$ -модуляции, где они должны следовать через шаг квантования).
2. Выше помехоустойчивость.

### **Недостаток:**

Так же, как и в  $\Delta$ -модуляции – возможность накопления ошибки (при потерях импульсов).

## 6.9. Лямда-дельта модуляция

**Лямда-дельта модуляция** ( $\lambda$ - $\Delta$ -модуляция) осуществляется на основе  $\Delta$ -модуляции.

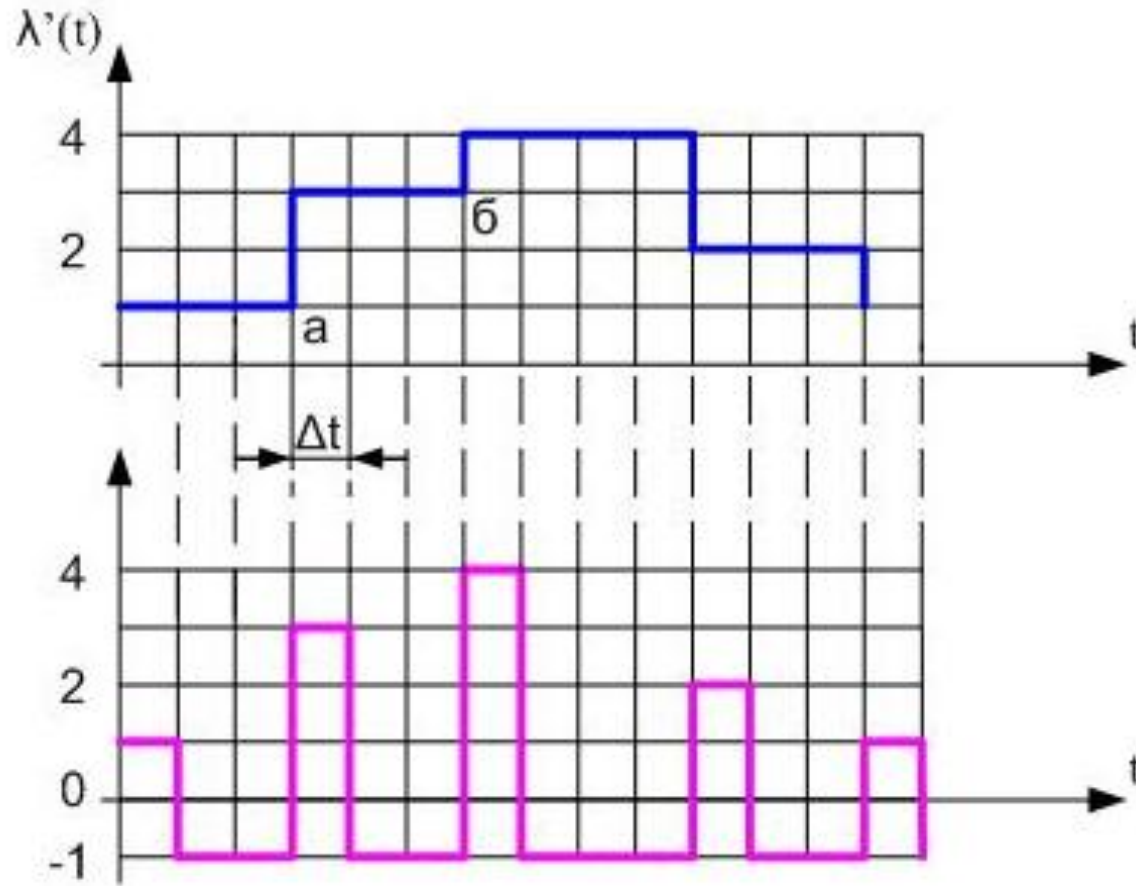


Рисунок 6.9 Временная диаграмма лямда-дельта модуляции

Сначала непрерывная функция  $\lambda(t)$  квантуется по уровню и по времени (возможный результат такого квантования представлен на рисунке 6.9).

Далее квантованная ступенчатая функция передаётся таким образом: значение функции  $\lambda'(t)$  в первом интервале передаётся положительным импульсом с уровнем «1» в течение времени  $\Delta t$  (см. рисунок 6.9). Сообщение о том, что до точки «а» квантованная функция не изменяется, передаётся дополнительным импульсом с отрицательным уровнем «-1». Переход функции на уровень «3» (в точке «а») передаётся импульсом, амплитуда которого равна уровню «3».

Таким образом, передача осуществляется только в моменты изменения состояния функции.

Канал связи занят несколько больше, чем у  $\Delta$ -модуляции, но нет накопления ошибки.



## 6.10. Многократные методы модуляции

Сообщение может быть передано сложным сигналом, образованным несколькими поочерёдными модуляциями. Обычно такой сигнал является результатом двукратной модуляции :

- импульсной, в которой модулируется последовательность импульсов, или импульсная «поднесущая» (первый переносчик);

-непрерывной, в которой модулируется «несущая» (второй переносчик).

При трёхкратных модуляциях первая модуляция – импульсная, вторая и третья – непрерывные.

Иногда применяют двойную модуляцию импульсной «поднесущей»: сначала осуществляют АИМ, которая затем преобразуется в ВИМ или ШИМ, а затем производят непрерывную модуляцию несущей. В результате возникает модуляция АИМ-ВИМ-АМ, АИМ-ШИМ-ЧМ и т.п.

**АИМ – ШИМ - ЧМ**

подподнесущая поднесущая несущая

# 6.11. Вопросы текущего контроля на лекциях по модулю «Модуляция сигналов»

18

## Вариант №1

- 1) Модуляция сигналов. Типы модуляции.
- 2) Непрерывная модуляция сигналов. Типы непрерывной модуляции.
- 3) Амплитудная модуляция, полоса и спектр частот при АМ, АМ с ОБП.
- 4) Демодуляция ЧМ сигналов
- 5) Частотная манипуляция.
- 6) Широтно-импульсная модуляция (ШИМ), полоса и спектр частот ШИМ.
- 7) Сравнение методов модуляции (по помехоустойчивости, по полосе частот и по сложности реализации).

## Вариант №2

- 1) Модуляция сигналов. Виды модуляции.
- 2) Импульсная модуляция сигналов. Типы импульсной модуляции.
- 3) Частотная модуляция, полоса и спектр частот при ЧМ.
- 4) Демодуляция АМ.
- 5) Амплитудная манипуляция.
- 6) Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ), полоса и спектр частот АИМ.
- 7) Сравнение методов модуляции (по помехоустойчивости, по полосе частот и по сложности реализации).