

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 1

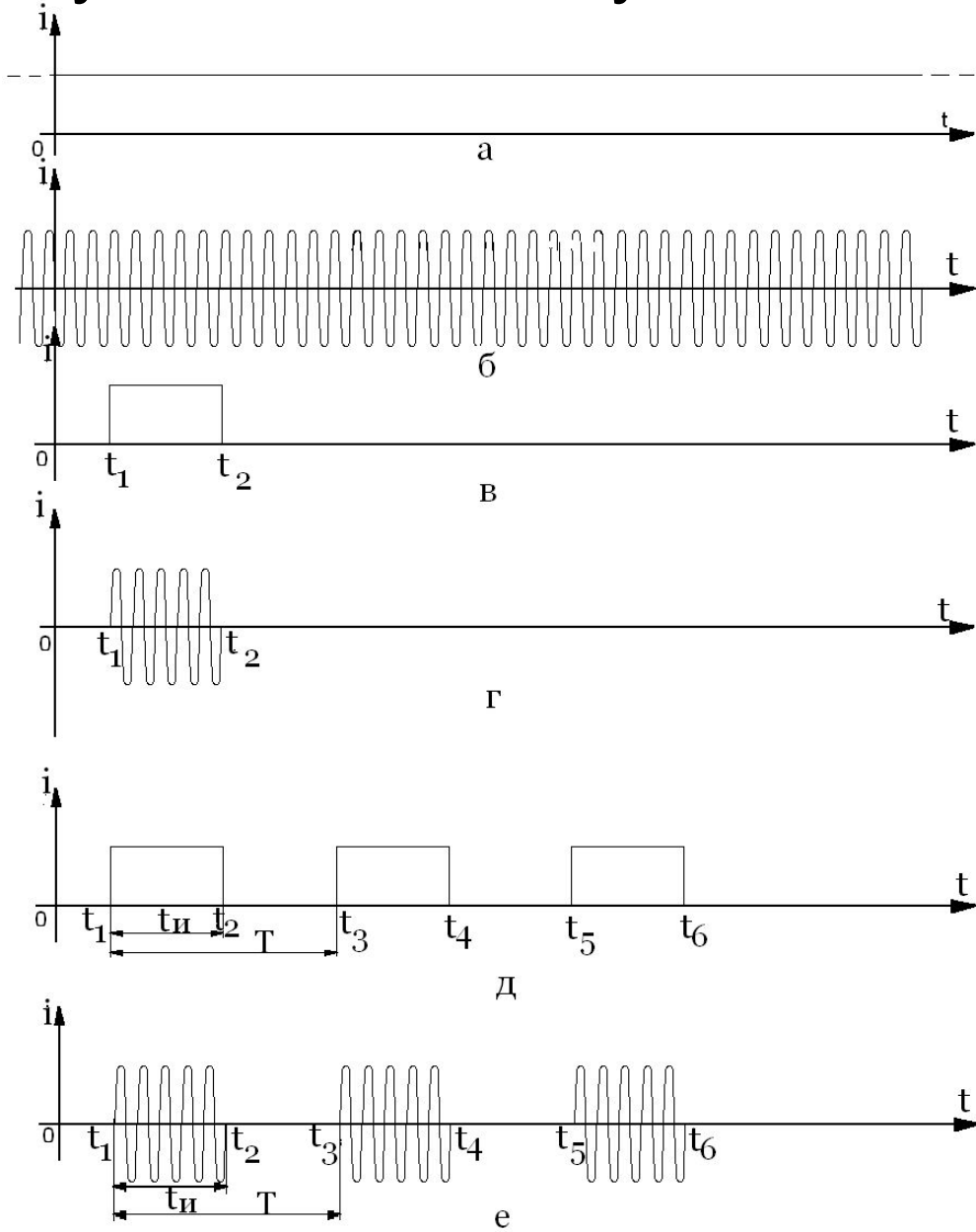


Рис. 7.1

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 2

Форма переносчика	Модулируемые параметры	Число модулируемых параметров
Рис. 7.1 а	Сила тока, полярность тока	2
Рис. 7.1 б	Амплитуда колебаний, частота колебаний, фаза колебаний	3
Рис. 7.1 в	Амплитуда импульса, длительность импульса, полярность импульса	3
Рис. 7.1 г	Амплитуда импульса гармонического колебания, длительность импульса гармонического колебания, частота колебаний в импульсе, фаза колебаний в импульсе	4
Рис. 7.1 д	Амплитуда импульсов, длительность импульсов, длительность интервалов между импульсами, полярность импульсов, фаза импульсов	6
Рис. 7.1 е	Амплитуда импульсов, длительность импульсов, длительность интервалов между импульсами, полярность импульсов, фаза импульсов, частота и фаза гармонического колебания в импульсах	7

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 3

$$y(t) = f[t, a_1, \dots, a_i(t), \dots, a_l]$$

Форм. 7.1

$$y^*(t) = f[t, a_1^*, \dots, a_i^*(t), \dots, a_l^*]$$

Форм. 7.2

$$a_i(t) = A[x(t)]$$

Форм. 7.3

$$B_i = A_i^{-1}$$

Форм. 7.4

$$x^*(t) = B_i[a_i^*(t)]$$

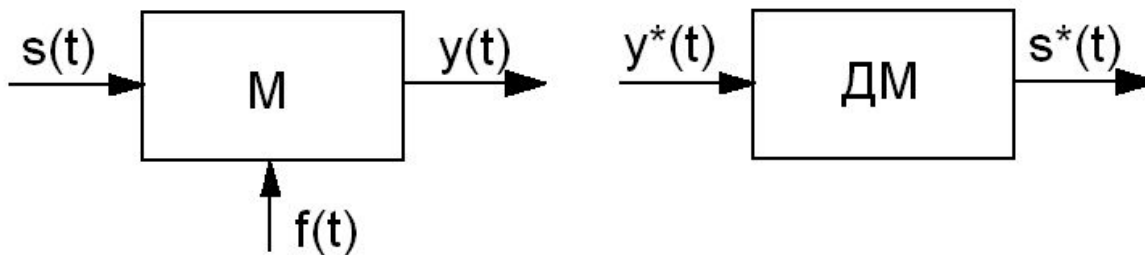


Рис. 7.2

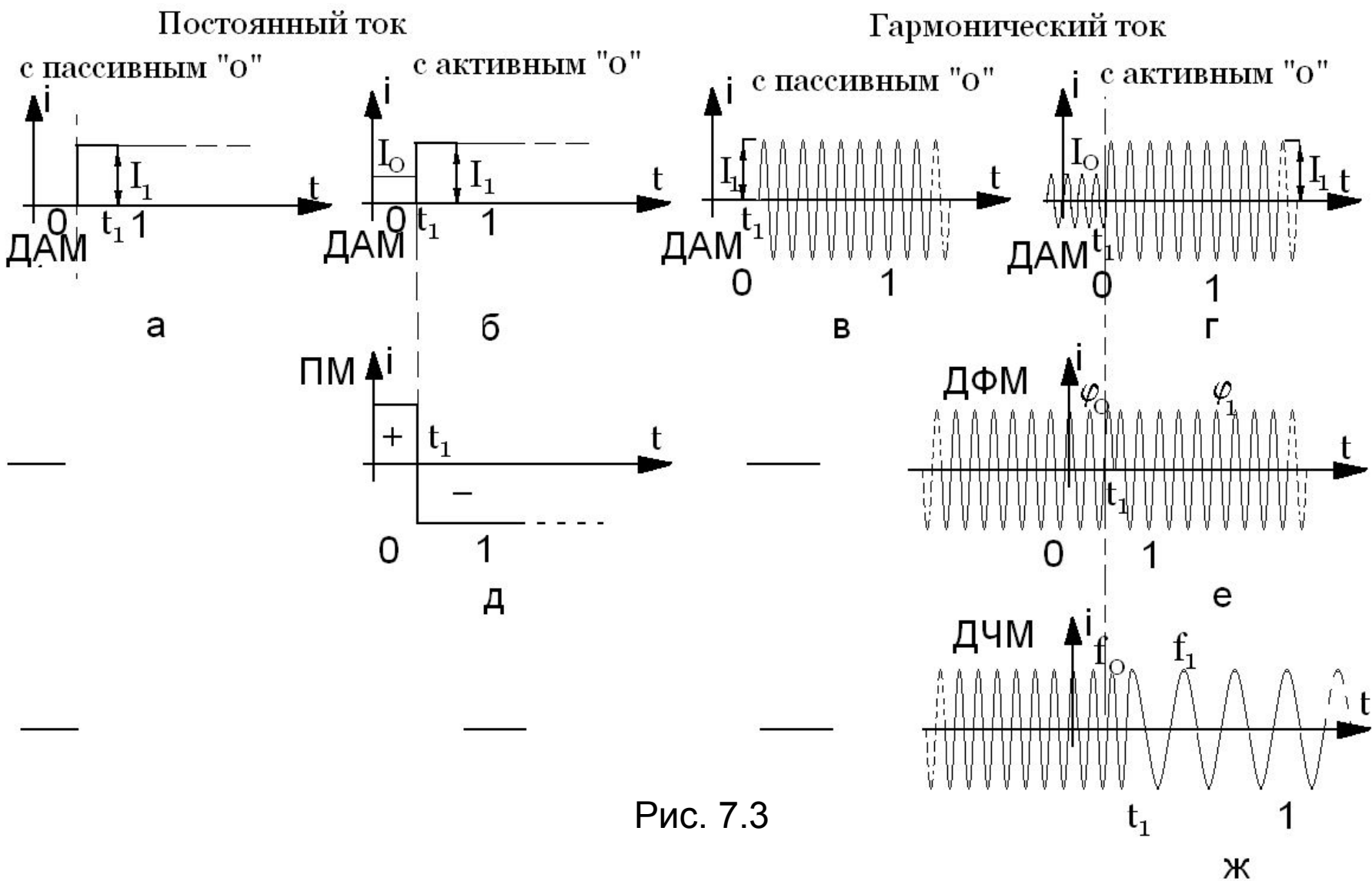


Рис. 7.3

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 5

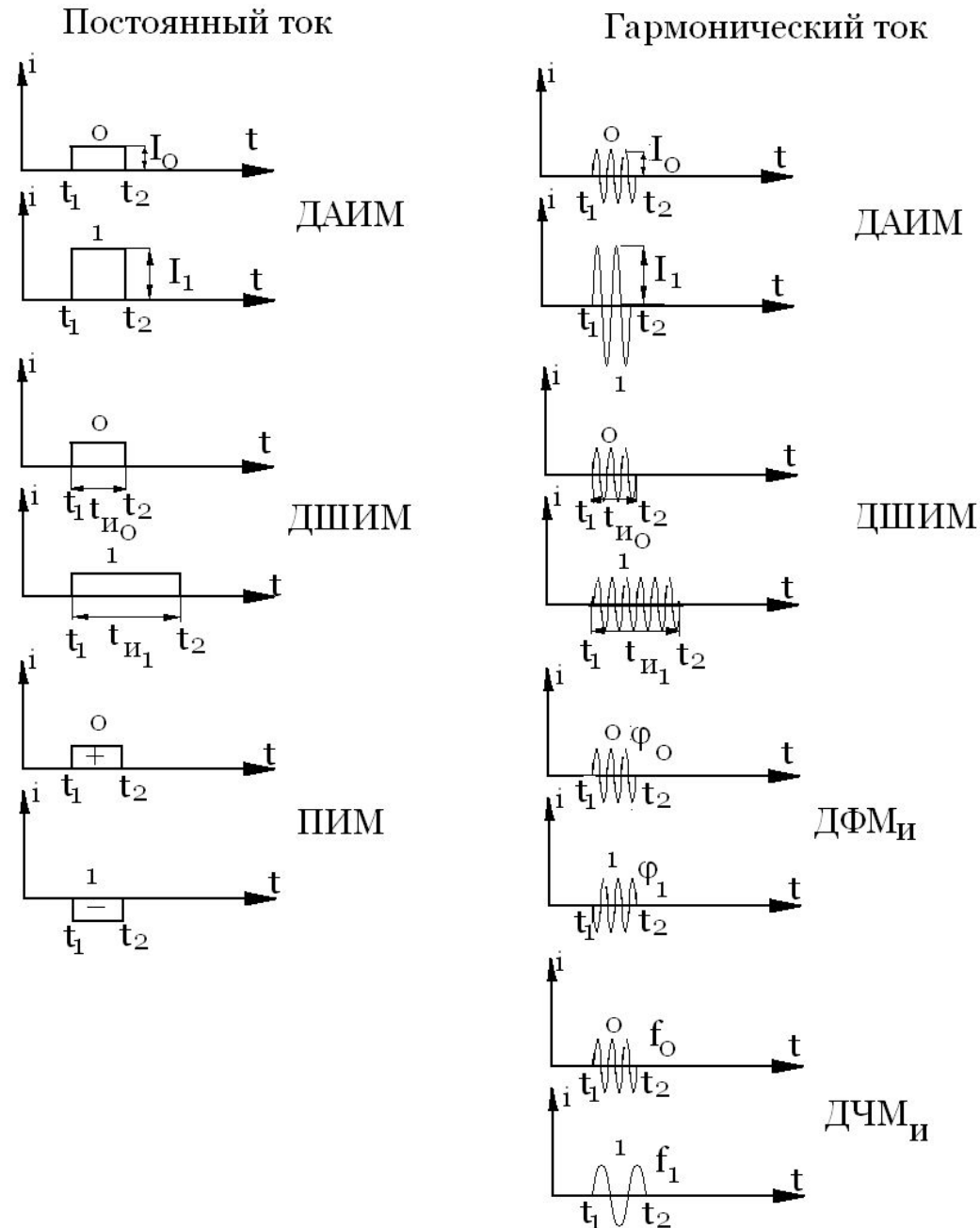


Рис. 7.4

Постоянный ток

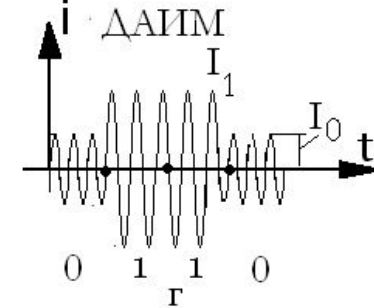
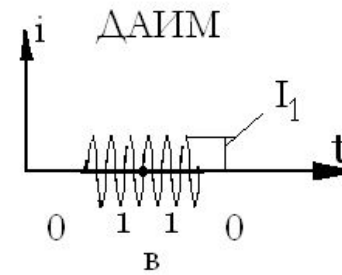
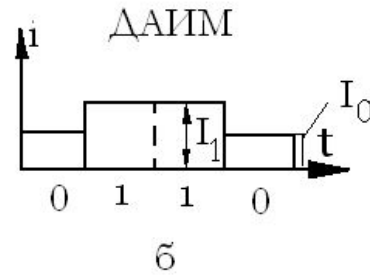
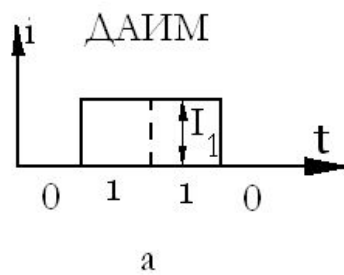
Гармонический ток

С пассивным «0»

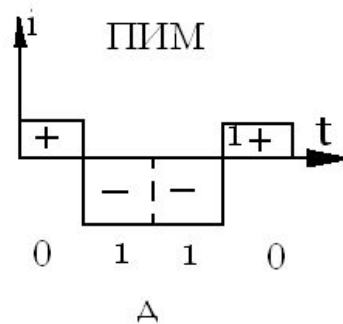
С активным «0»

С пассивным «0»

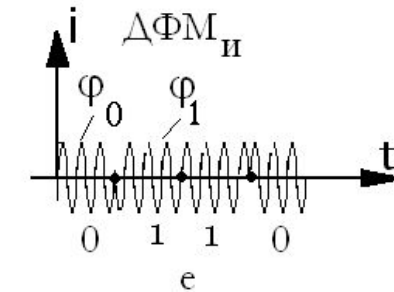
С активным «0»



—



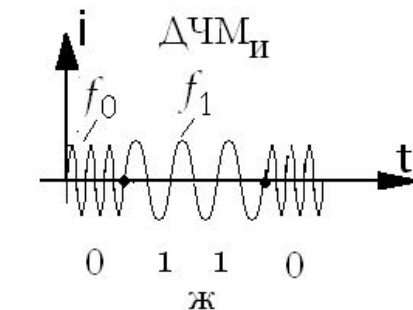
—



—

—

—



$$Q = \frac{T}{t_u} = 1$$

Рис. 7.5

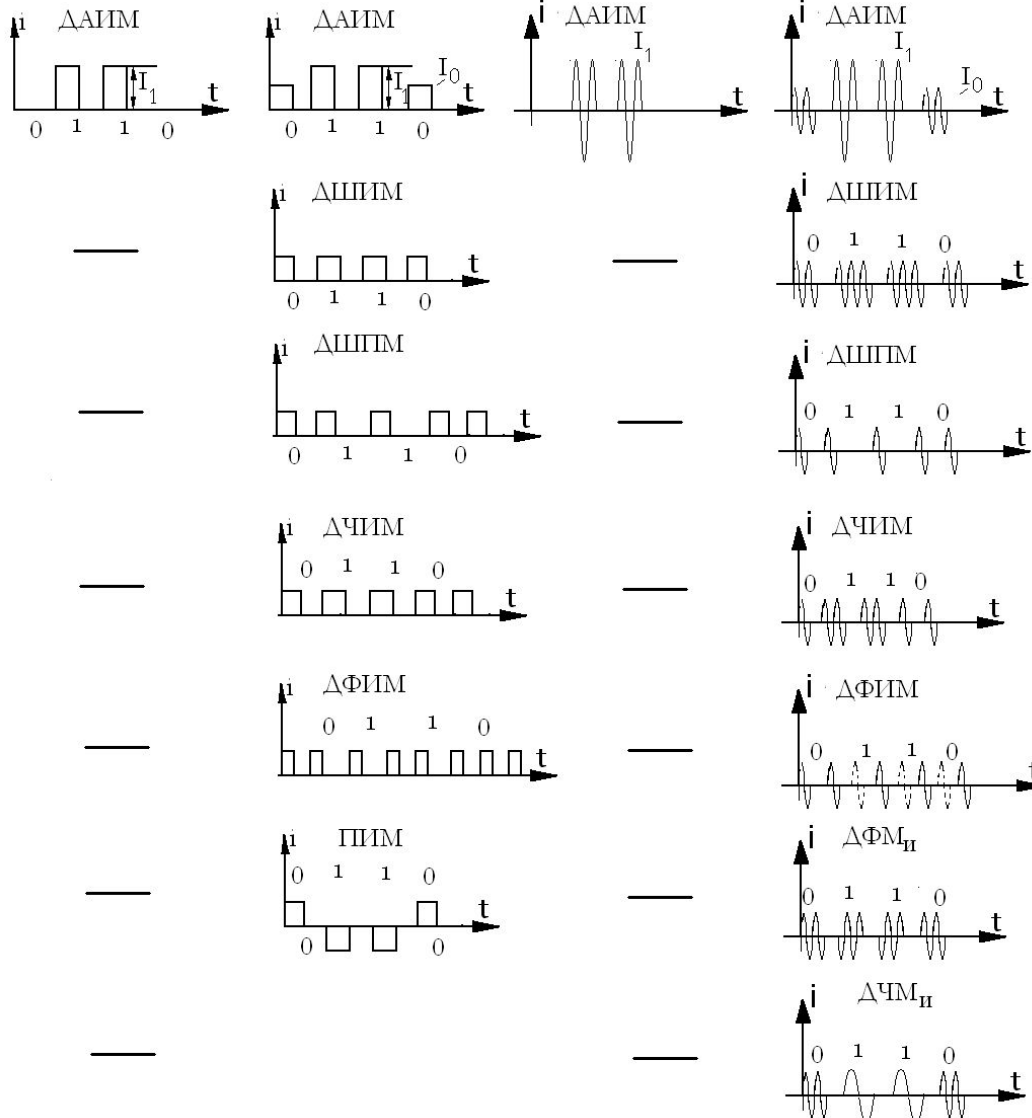
## Постоянный ток

## Гармонический ток

С пассивным «0»

С активным «0»

С пассивным «0»



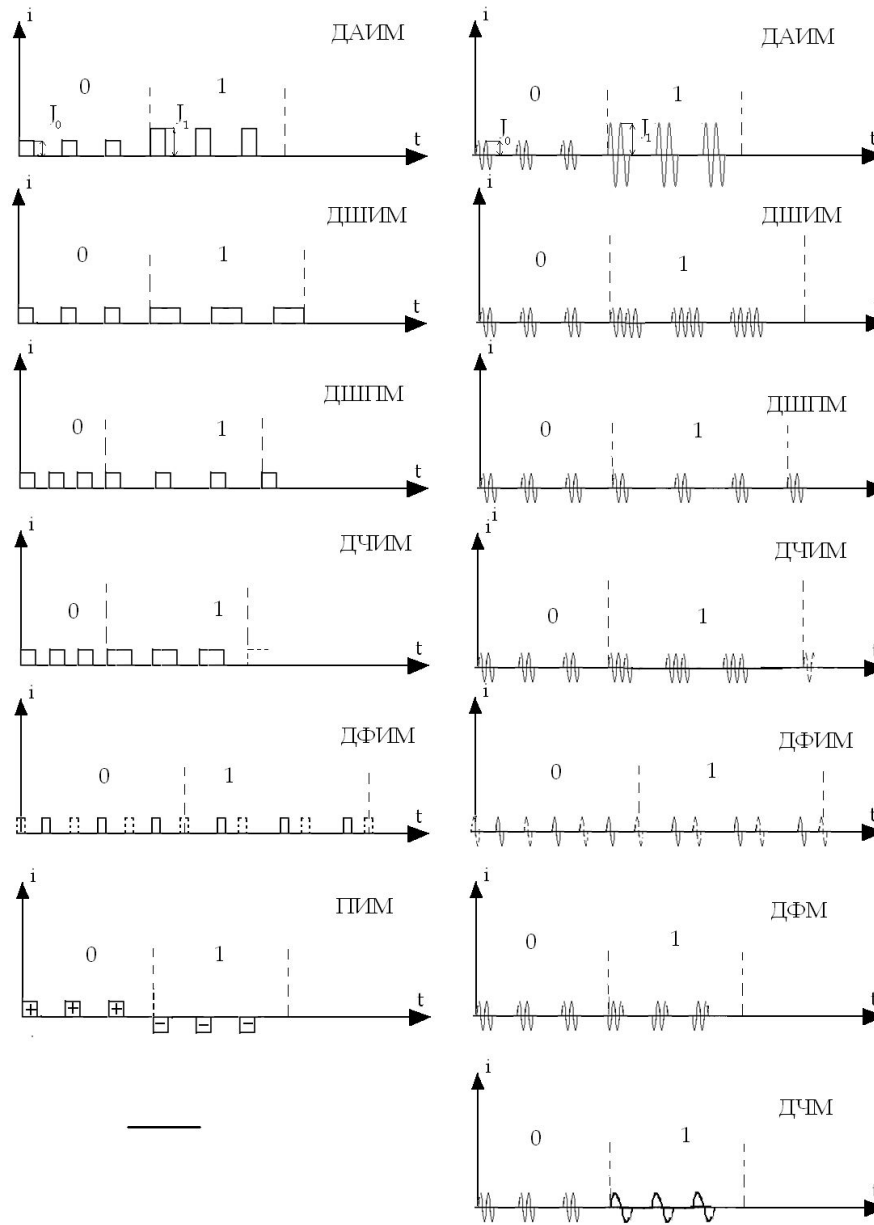
$$Q = \frac{T}{t_u} > 1$$

Рис. 7.6

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 8

Постоянный ток с активным "0" Переменный ток



$\lambda > 1, 01$

Рис. 7.7



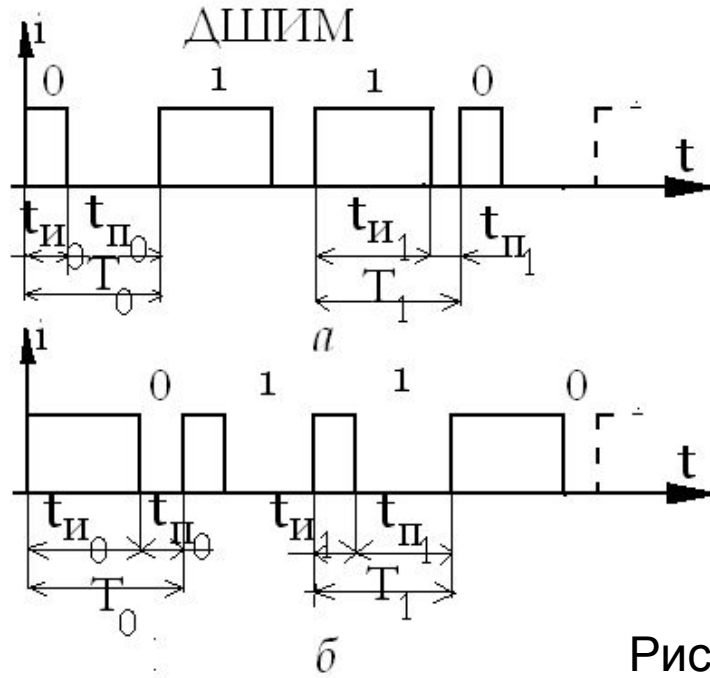
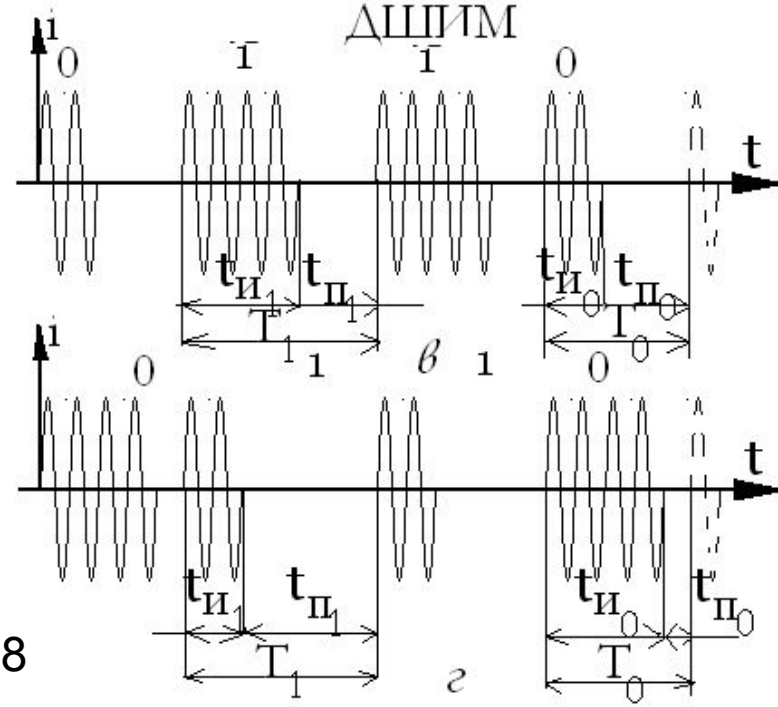


Рис. 7.8



ΔШПМ

ΔШПМ

$$t_u = \text{var}, t_n = \text{const}, T = t_u + t_n = \text{var} \quad t_u = \text{const}, t_n = \text{var}, T = t_u + t_n = \text{var}$$

Форм. 7.5

К рисунку 7.6

Форм. 7.6

$$t_u = \text{var}, t_n = \text{var}, T = t_u + t_n = \text{const} \quad t_u = \text{var}, t_n = \text{var}, T = t_u + t_n = \text{const}$$

Форм. 7.7

К рисунку 7.8

Форм. 7.8

ДАМ, ДАИМ	$m=2, \quad k_{10} = \frac{I_1}{I_0} = 2 \div 3$
ДШИМ, ДШПМ	$m = 2 \div 3 \quad k_{10} = \frac{t_{u1}}{t_{u0}} \quad k_{21} = \frac{t_{u2}}{t_{u1}} \quad k_{10} = k_{21} = 2 \div 3$
ПМ, ПИМ	$m=2$ (положительные и отрицательные полярности)
ДФМ, ДФМи	$m \leq 4$ , в диапазоне 0-360 равномерно
ДЧМ	$m \leq 12$ в интервале полосы $\Delta F$

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 11

$$M_1 = \prod_N m_i$$

Форм. 7.9

$$M_2 = \left( \prod_N m_i \right)^n = \prod_N m_i^n$$

Форм. 7.10

$$M_1 = m^N$$

Форм. 7.11

$$M_1 = (m^N)^n \quad \text{Форм. 7.12}$$

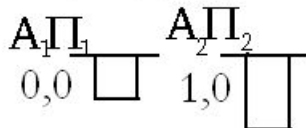
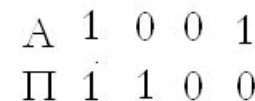
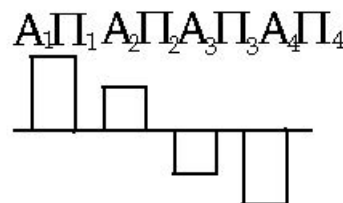
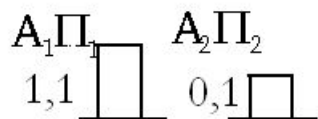
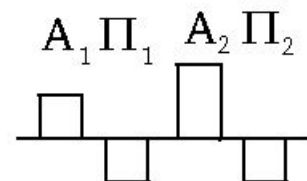
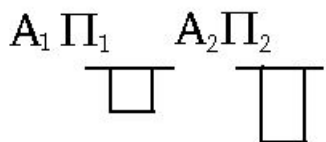
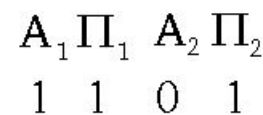
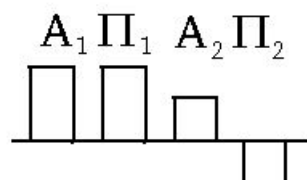
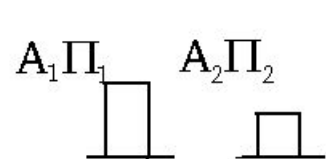


Рис. 7.9

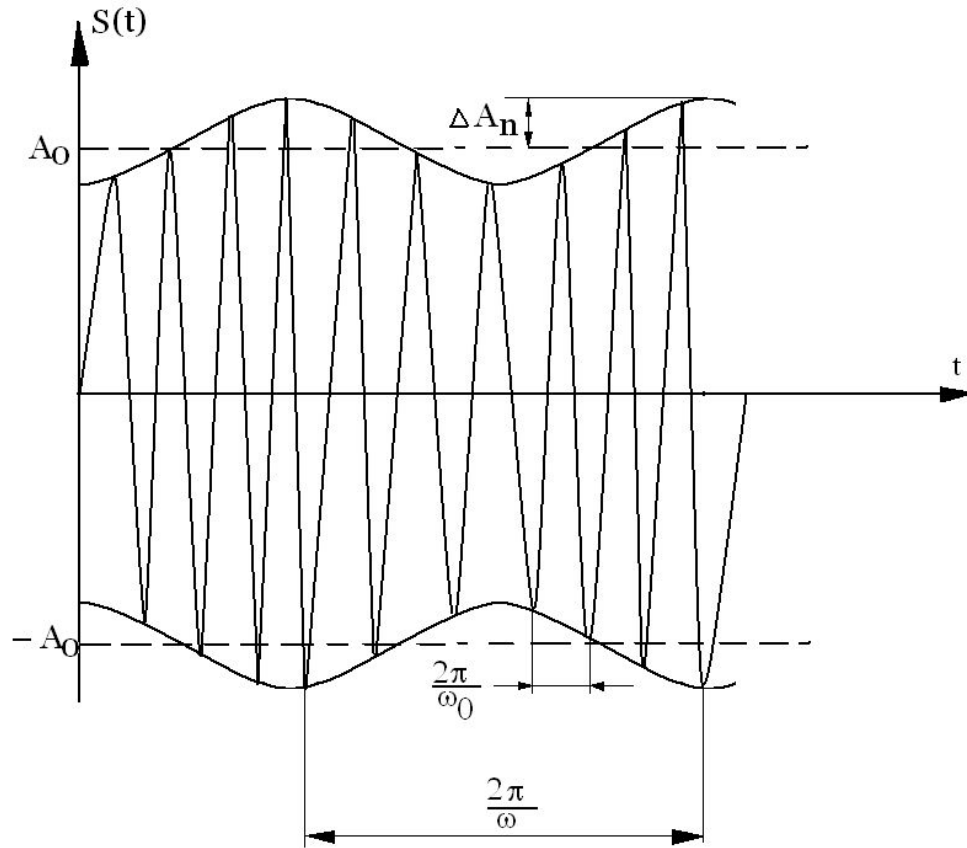


Рис. 7.10

$$s(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \theta_0)$$

Форм. 7.13

$$b(t) = B_0(t) \cos(\Omega t + \gamma).$$

Форм. 7.14

$$A(t) = A_0 + k_{AM} \cdot b(t) = A_0 + \Delta A_m \cos(\Omega t + \gamma)$$

Форм. 7.15

$$s(t) = A_0 [1 + M \cos(\Omega t + \gamma)] \cos(\omega_0 t + \theta_0)$$

Форм. 7.16

$$A_{\min} = A_0 (1 - M)$$

Форм. 7.17

$$A_{\max} = A_0 (1 + M).$$

Форм. 7.18

$$A(t) = A_0 [1 + M \cos(\Omega t + \gamma)]$$

Форм. 7.19

$$s(t) = A_0 [\cos(\omega_0 t + \theta_0) + M \cos(\Omega t + \gamma) \cos(\omega_0 t + \theta_0)]$$

Форм. 7.20

$$M \cos(\Omega t + \gamma) \cos(\omega_0 t + \theta_0) = (M/2) \cos [(\omega_0 + \Omega) t + (\theta_0 + \gamma)] + \\ + (M/2) \cos [(\omega_0 - \Omega) t + (\theta_0 - \gamma)]$$

Форм. 7.21

$$s(t) = A_0 [\cos(\omega_0 t + \theta_0) + (MA_0/2 \cos[(\omega_0 + \Omega)t + (\theta_0 + \gamma)] + (MA_0/2 \cos[(\omega_0 - \Omega)t + (\theta_0 - \gamma)])]$$

Форм. 7.22

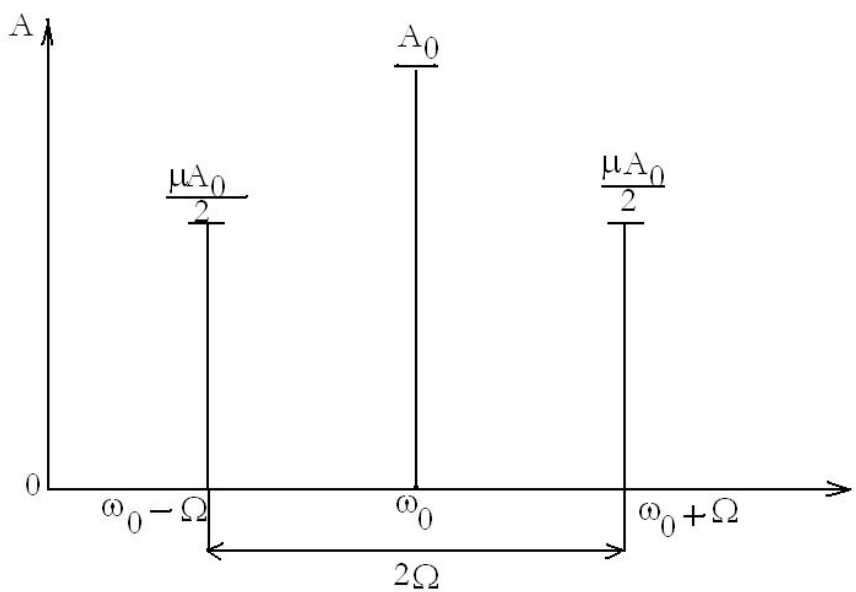


Рис. 7.11

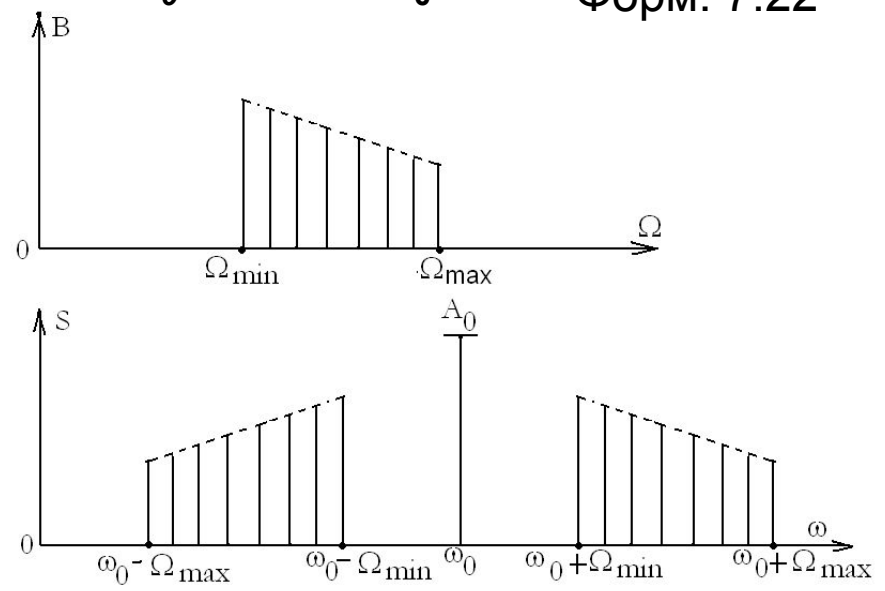


Рис. 7.12

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} A(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \theta_0) e^{-j\omega t} dt =$$

$$\frac{1}{2} j\theta_0 e^{-j\theta_0} SA \left( \frac{\omega - \omega_0}{2} \right) + \frac{1}{2} SA(\omega + \omega_0).$$

Форм. 7.23

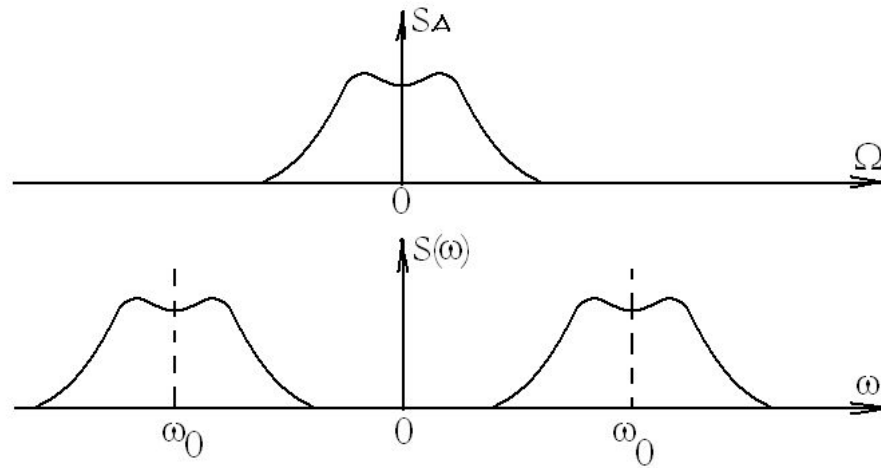


Рис. 7.13

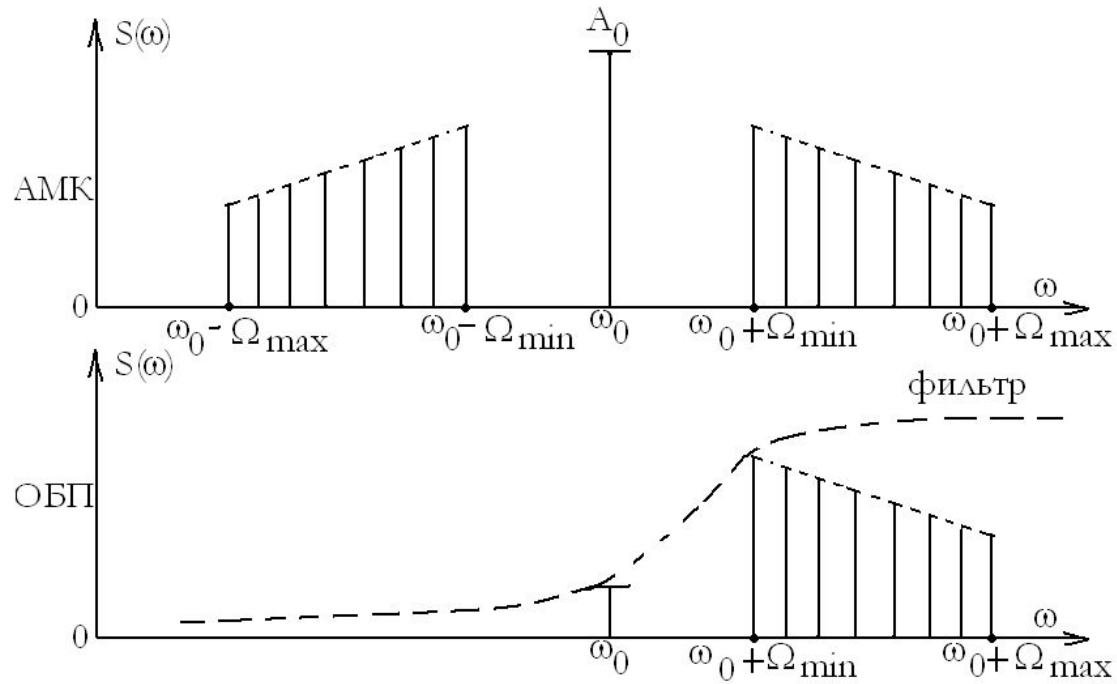


Рис. 7.14

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 16

$$s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \theta_0) = A_0 \cos \psi(t)$$

Форм. 7.24

$$\psi(t_2) - \psi(t_1) = (\omega_0 t_2 + \theta_0) - (\omega_0 t_1 + \theta_0) = \omega_0 (t_2 - t_1)$$

Форм. 7.25

$$\frac{\psi(t_2) - \psi(t_1)}{t_2 - t_1} = \omega_0$$

Форм. 7.26

$$\psi(t_2) - \psi(t_1) = \int_{-\infty}^{\infty} \omega(t) dt,$$

Форм. 7.27

$$\frac{d\psi(t)}{dt} = \omega(t)$$

Форм. 7.28

$$\psi(t) = \int_0^t \omega(t) dt + \theta_0$$

Форм. 7.29

$$\psi(t) = \omega_0(t) + \theta(t) + \theta_0$$

Форм. 7.30



# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 17

$$s(t) = A_0 \cos [\omega_\delta t + \theta(t) + \theta_0]$$

Форм. 7.31

$$\omega(t) = \omega_0 + \omega_\delta \cos \Omega t$$

Форм. 7.32

$$\psi(t) = \int_0^t (\omega_0 + \omega_\delta \cos \Omega t) dt + \theta_0 = \omega_0 t + \frac{\omega_\delta}{\Omega} \sin \Omega t + \theta_0$$

Форм. 7.33

$$s(t) = A_0 \cos [\omega_0 t + \frac{\omega_\delta}{\Omega} \sin \Omega t + \theta_0]$$

Форм. 7.34

$$= m \quad \theta_{max} = \frac{\omega_\delta}{\Omega}$$

Форм. 7.35

$$s(t) = A_0 \cos [\omega_0 t + \theta_{max} \sin \Omega t + \theta_0]$$

Форм. 7.36

$$\frac{d}{dt} (\omega_0 t + \theta_{max} \sin \Omega t + \theta_0) = \omega_0 + \theta_{max} \Omega \cos \Omega t$$

Форм. 7.37

$$\theta_{max} \Omega = \omega_\delta$$

Форм. 7.38

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 18

$$s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t)$$

Форм. 7.39

$$s(t) = A_0 \cos(m \sin \Omega t) \cos \omega_0 t - A_0 \sin(m \sin \Omega t) \sin \omega_0 t$$

Форм. 7.40

$$\begin{aligned} \sin(m \sin \Omega t) = & 2J_1(m) \sin \Omega t + \\ & + 2J_3(m) \sin 3\Omega t + 2J_5(m) \sin 5\Omega t + \dots \end{aligned}$$

Форм. 7.41

$$\begin{aligned} \cos(m \sin \Omega t) = & J_0(m) + 2J_2(m) \cos 2\Omega t + \\ & + 2J_4(m) \cos 4\Omega t + \dots \end{aligned}$$

Форм. 7.42

$$\begin{aligned} s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t) = & A_0 \{ J_0(m) \\ & \cos \omega_0 t + \\ & + J_1(m) [\cos(\omega_0 + \Omega)t - \cos(\omega_0 - \Omega)t] + \\ & + J_2(m) [\cos(\omega_0 + 2\Omega)t - \cos(\omega_0 - 2\Omega)t] + \\ & + J_3(m) [\cos(\omega_0 + 3\Omega)t - \cos(\omega_0 - 3\Omega)t] + \dots \} \end{aligned}$$

Форм. 7.43

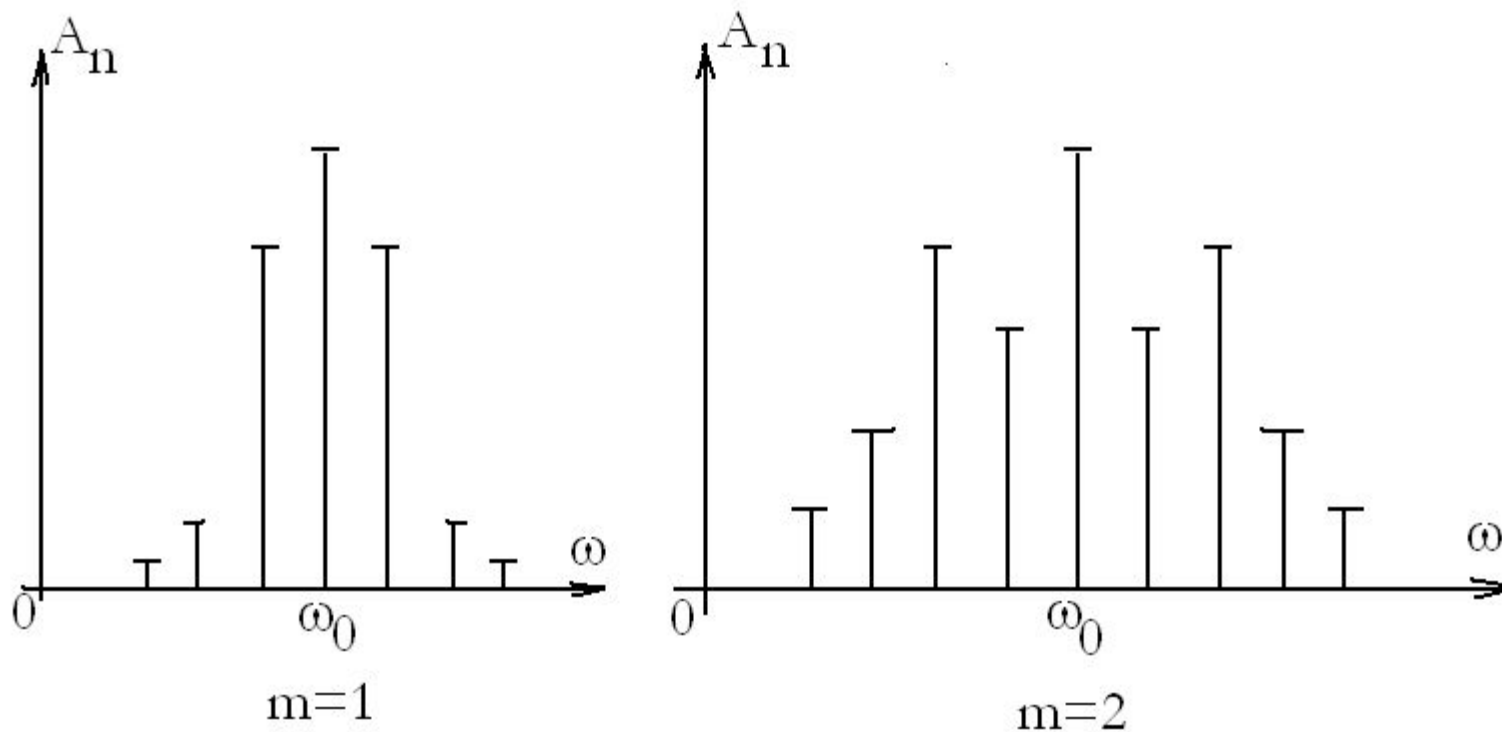


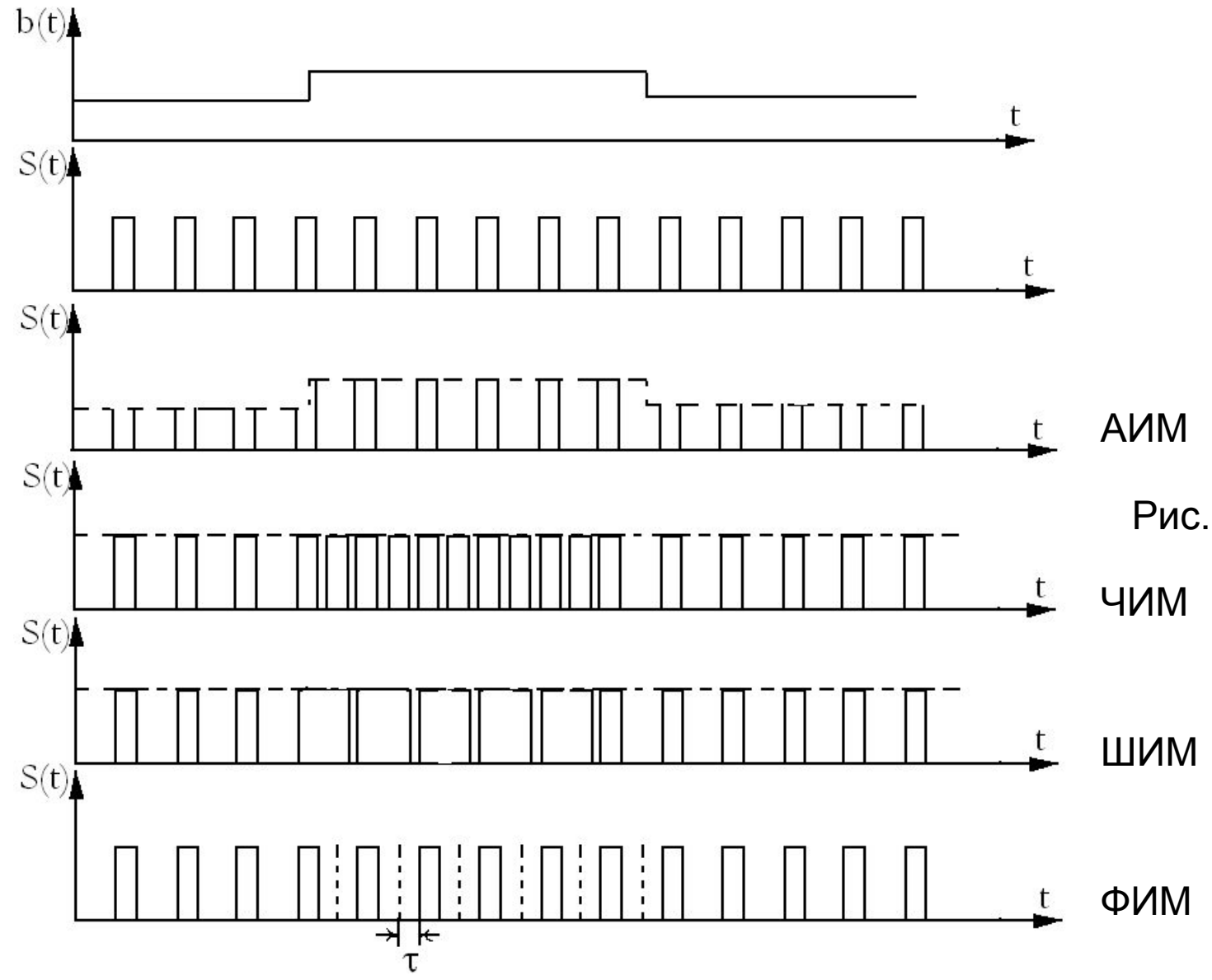
Рис. 7.15

$$2 |n_{\max}| \Omega \approx 2m\Omega$$

Форм. 7.44

$$2 |n_{\max}| \Omega \approx 2\omega_{\delta}$$

Форм. 7.45



АИМ

Рис. 7.16

ЧИМ

ШИМ

ФИМ

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

Фиг. 21

$$A_n = \frac{2E}{\pi n} \sin \frac{\omega_1 T_u}{2}$$

Форм. 7.46

$$s(t) = \frac{1}{2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n e^{jn\omega_1 t} = \frac{1}{2} E \sum_{n=-\infty}^{\infty} A'_n e^{jn\omega_1 t}$$

Форм. 7.47

$$E(t) = E_0 + \Delta E(t)$$

Форм. 7.48

$$s_{\text{АИМ}}(t) = \frac{1}{2} [E_0 + \Delta E(t)] \sum_{n=-\infty}^{\infty} A'_n e^{jn\omega_1 t}$$

Форм. 7.49

$$\Delta E(t) = \Delta E_m \cos(\Omega t + \gamma)$$

Форм. 7.50

$$\Delta E(t) = \frac{1}{2} \Delta E_m [e^{j(\Omega t + \gamma)} + e^{-j(\Omega t + \gamma)}]$$

Форм. 7.51

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

## Фиг. 22

$$s_{АИМ}(t) = \frac{1}{2} E_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} A'_n e^{jn\omega_1 t} +$$

$$+ \frac{1}{4} \Delta E_m \sum_{n=-\infty}^{\infty} A'_n e^{j[(n\omega_1 + \Omega)t + Y]} +$$

$$+ \frac{1}{4} \Delta E_m \sum_{n=-\infty}^{\infty} A'_n e^{j[(n\omega_1 - \Omega)t + Y]}$$

Форм. 7.52

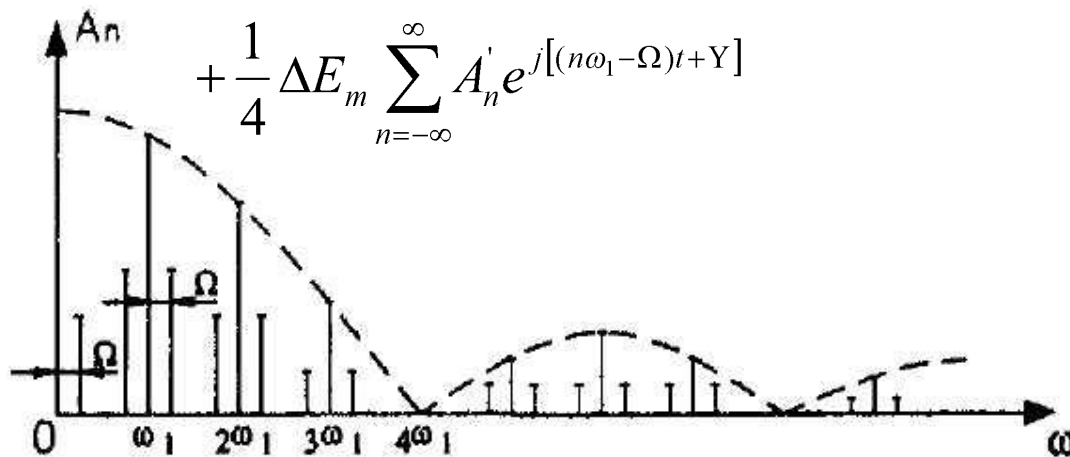


Рис. 7.17

$$\Delta\omega \approx \frac{2\pi}{T_u}$$

Форм. 7.53

$$s(t) = A(t)\cos \psi(t)$$

Форм. 7.54

$$s(t) = A_0 \cos \omega_0 t$$

Форм. 7.55

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

Форм. 7.56

$$A_0 \cos \omega_0 t = A(t) \cos (\omega_0 + \Delta \omega)t$$

Форм. 7.57

$$A(t) = \frac{A_0 \cos \omega_0 t}{\cos (\omega_0 + \Delta \omega)t} =$$

$$= \frac{A_0 \cos \omega_0 t}{\cos \Delta \omega t \cdot \cos \omega_0 t - \sin \Delta \omega t \cdot \sin \omega_0 t} =$$

Форм. 7.58

$$= \frac{A_0}{\cos \Delta \omega t - \sin \Delta \omega t \cdot \operatorname{tg} \omega_0 t}$$

$$A(t) = \sqrt{s^2(t) + s_1^2(t)}$$

Форм. 7.59

# Тема 7. Модуляция и демодуляция.

$$\frac{s_1(t)}{s(t)}$$

$$\omega(t) = \arctg [ \text{Фиг. 24} ]$$

Форм. 7.60

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{\tau - t} d\tau$$

Форм. 7.61

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{\tau - t} d\tau = \sqrt{\cos^2 \omega_0 t \cdot \sin^2 \omega_0 t} = 1$$

Форм. 7.62

$$s(t) = \sum (a_n \cos \omega_n t + b_n \sin \omega_n t)$$

Форм. 7.63

$$s_1(t) = \sum (a_n \sin \omega_n t - b_n \cos \omega_n t)$$

Форм. 7.64

$$s(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} [a(\omega) \cos \omega t + -b(\omega) \sin \omega t] d\omega$$

Форм. 7.65



$$s_1(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [a(\omega) \sin \omega t - b(\omega) \cos \omega t] d\omega$$

Форм. 7.66

$$\dot{S}_1(\omega) = -j \dot{S}(\omega), \quad \omega > 0$$

Форм. 7.67

$$\dot{S}_1(\omega) = j \dot{S}(\omega), \quad \omega < 0$$

Форм. 7.68

$$\frac{d\psi(t)}{d(t)} = \frac{d}{d(t)} \arctg \frac{s_1(t)}{s(t)} = \frac{s(t) \cdot s_1'(t) - s_1(t) \cdot s'(t)}{s^2(t) + s_1^2(t)}$$

Форм. 7.69

$$\psi(t) = \omega_0 t + \theta(t) + \theta_0$$

Форм. 7.70

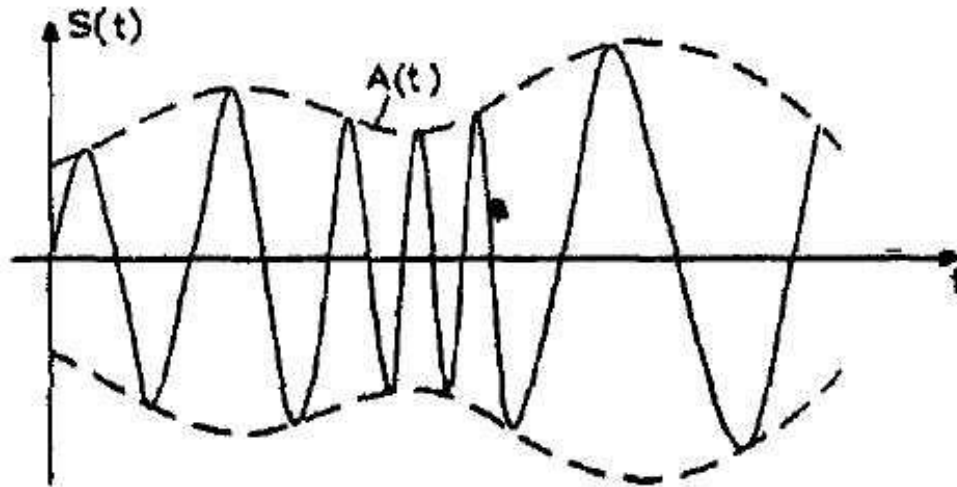


Рис. 7.18

$$Z_s(t) = s(t) + j s_1(t)$$

Форм. 7.71

$$\omega > 0,$$

$$< 0$$

$$Z_s(\omega) = S(\omega) + j S_1(\omega)$$

Форм. 7.72

$$Z_s(\omega) = \begin{cases} 2S(\omega) & \text{при} \\ 0 & \text{при } \omega < 0 \end{cases}$$

Форм. 7.73

$$s(t) = A(t) \cos[\omega_0 t + \theta(t)] = A(t) \cos \psi(t)$$

Форм. 7.74

$$Z_s(t) = A(t) e^{j\omega_0 t} e^{j\psi(t)} = A(t) e^{j[\omega_0 t + \theta(t) + \theta_0]}$$

Форм. 7.75

$$\dot{A}(t) = A(t) e^{j[\theta(t) + \theta_0]}$$

Форм. 7.76