

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ТЕЛЕКОНТРОЛЬ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ

ЛЕКЦИЯ №5

«Частотная и фазовая модуляции»

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

Томск 2013 г.

План лекции

- ☐ Частотная модуляция
- ☐ Частотная манипуляция
- ☐ Демодуляция частотно-модулируемых сигналов
- ☐ Фазовая модуляция
- ☐ Сравнение методов непрерывной модуляции
- ☐ Фазовая манипуляция
- ☐ Преимущества и недостатки фазовой манипуляции по сравнению с частотной манипуляцией
- ☐ Относительная фазовая манипуляция
- ☐ Двукратная непрерывная модуляция

5.1. Частотная модуляция

При **частотной модуляции** (ЧМ) мгновенные значения сигнала сообщения (тока или напряжения) изменяют частоту переносчика («несущей»), оставляя неизменной его амплитуду:

$$\omega = \omega_0 + m_{\text{ч}} \Omega \cos(\Omega t) \quad (5.1)$$

$m_{\text{ч}} = \Delta\omega / \Omega$ – коэффициент частотного отклонения, или глубина частотной модуляции;

$\Delta\omega$ – девиация угловой частоты, или максимальное отклонение частоты переносчика (в одну сторону) от исходного значения;

ω_0 – среднее значение угловой частоты переносчика.

Относительное изменение частоты несущей вызванное сообщением называется **девиацией**.

Девиация частоты зависит от амплитуды модулирующего сообщения. При увеличении амплитуды сообщения частота переносчика ω_0 возрастает, при уменьшении (отрицательная полуволна сообщения) – снижается.

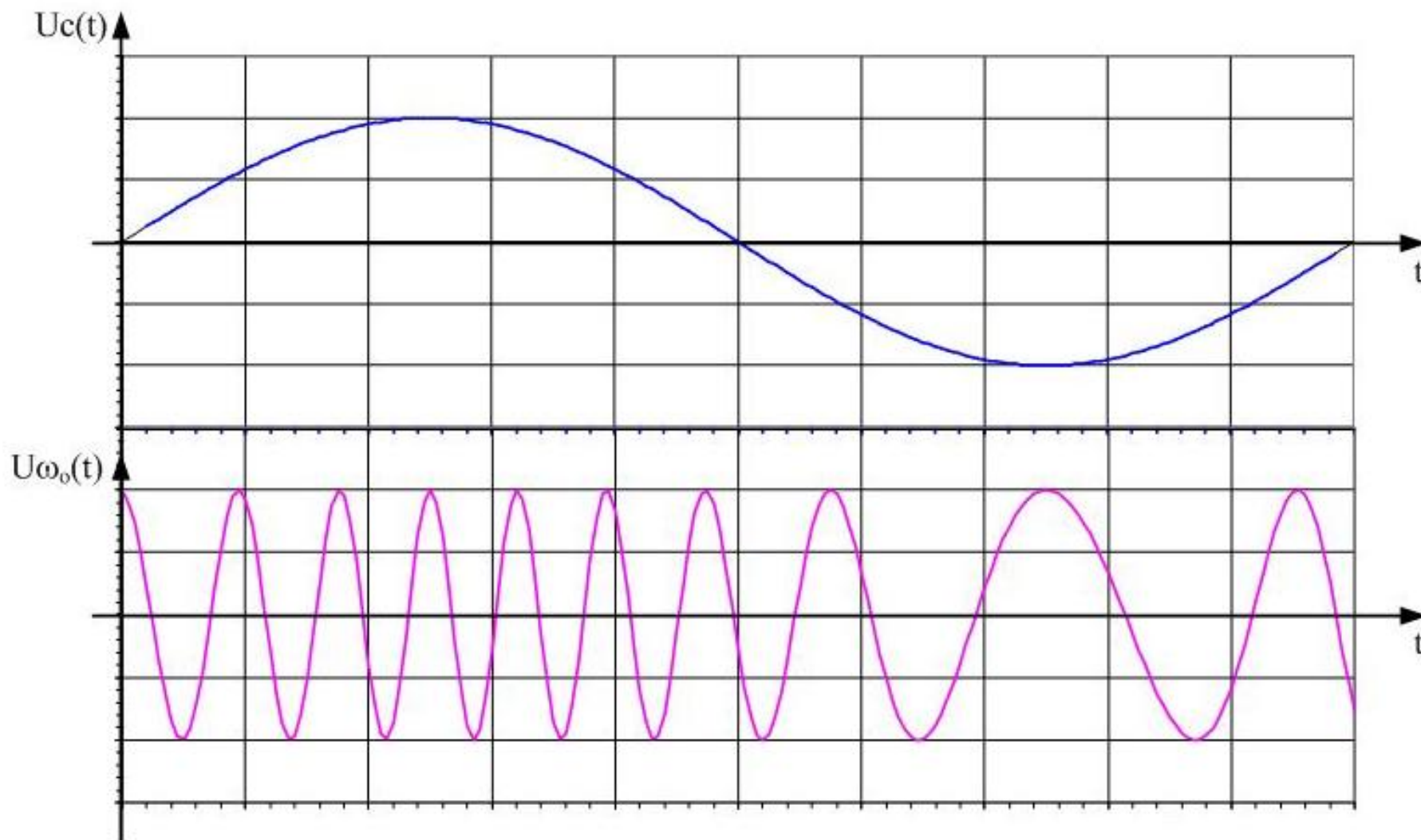


Рисунок 5.1 Временная диаграмма частотной модуляции

Девияция частоты и индекс модуляции связаны соотношением:

$$F_{\text{дев}} = m_{\text{ч}} \cdot F_{\Omega} \quad (5.2)$$

Полагая, что начальная фаза равна нулю (при $t = 0$), можно записать уравнение сигнала при частотной модуляции:

$$U_{\text{чмс}}(t) = U_{\omega_0} \cdot \cos \left[\left(\omega_0 + m_{\text{ч}} \cdot \sin(\Omega t) \right) t \right] \quad (5.3)$$

5.1.1. Спектр частот при частотной модуляции

Спектр частот при ЧМ бесконечно велик, и для точного воспроизведения передаваемого сообщения нужна бесконечно большая ширина полосы.

Однако боковые частоты высших порядков имеют ничтожную интенсивность и ими можно пренебречь.

Полоса частот при ЧМ может быть приближённо определена из выражения:

$$\Delta F_{\text{ЧМ}} = 2F_{\Omega_{\text{max}}} \cdot (m_{\text{ч}} + 1) = 2 \cdot (F_{\Omega_{\text{max}}} + F_{\text{дев}}) \quad (5.4)$$

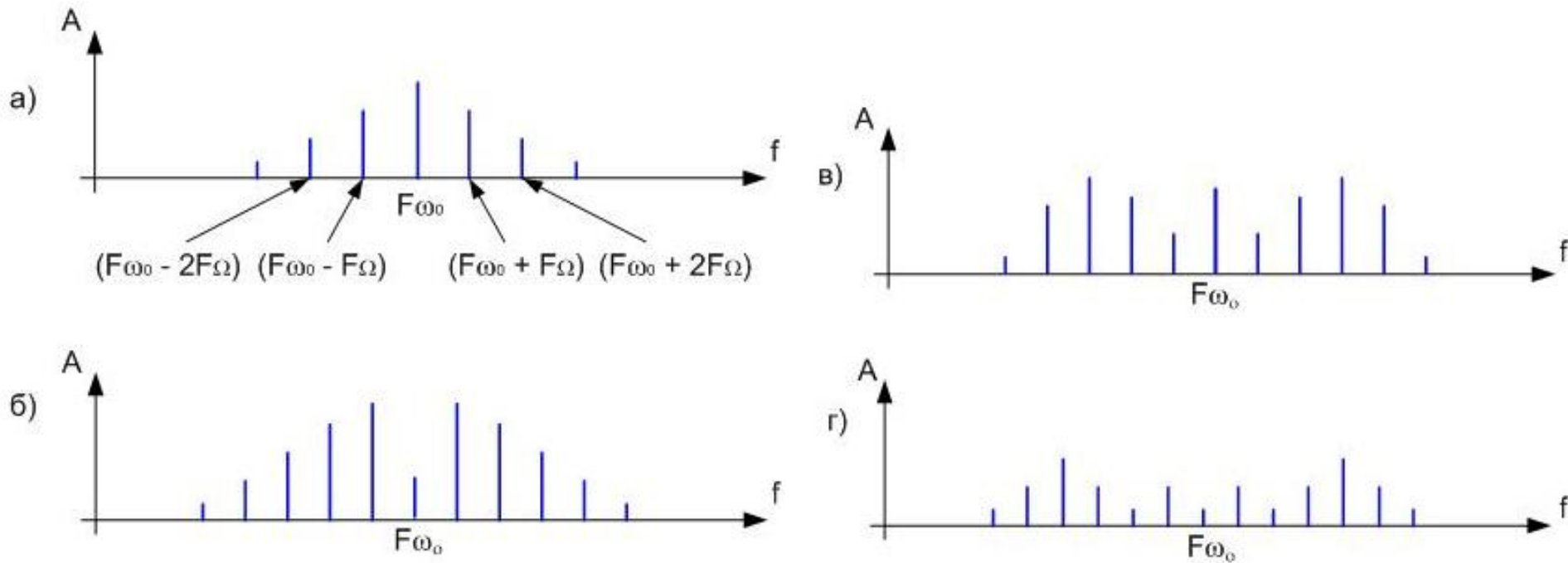


Рисунок 5.2 Спектр частот при частотной модуляции:

- а – спектр частот ЧМ при $m_q = 1$;
- б – спектр частот ЧМ при $m_q = 2,5$;
- в – спектр частот ЧМ при $m_q = 4$;
- г – спектр частот ЧМ при $m_q = 5$.

В телеизмерениях оптимальное значение $m_{\text{ч}}$ зависит от требуемой точности передачи:

- ТИ с $\delta = 1\%$ $\rightarrow$ оптимальный индекс ЧМ $m_{\text{ч}}^{\text{опт}} = 5$.
- ТИ с $\delta = 0.1\%$ $\rightarrow$ оптимальный индекс ЧМ $m_{\text{ч}}^{\text{опт}} = 15$.

5.1.2. Достоинства частотной модуляции

1. Глубина модуляции может быть очень большой.
2. Большая помехоустойчивость.

5.1.3. Реализация частотной модуляции

Существуют прямые и косвенные методы реализации частотной модуляции. Наиболее распространённым косвенным методом является использование фазового модулятора для изменения фазы колебаний по закону частотной модуляции.

1. При прямых методах частота генератора изменяется путём изменения индуктивности катушки или ёмкости конденсатора, подключаемых параллельно катушке или конденсатору колебательного контура генератора. Прямые методы, несмотря на простоту, не могут обеспечить достаточной стабильности частоты генератора.
2. Модуляторы, выполненные с помощью косвенных методов, обеспечивают значительно большую стабильность частоты генератора. Это обусловлено тем, что частота модуляции осуществляется в одном из промежуточных звеньев схемы, а не в звеньях, непосредственно связанных с контуром генератора. Однако такие модуляторы оказываются значительно более сложными.

5.2. Частотная манипуляция

При частотной манипуляции «несущая» принимает только два значения. Пример спектра частот при ЧМ манипуляции представлен на рисунке 5.3.

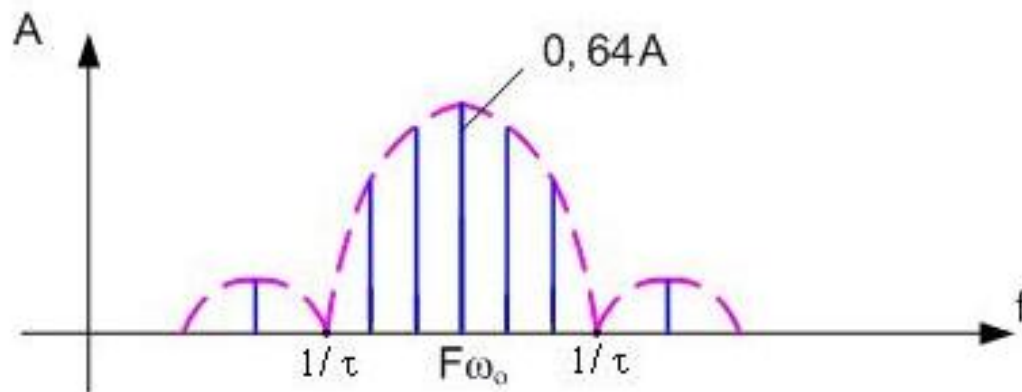


Рисунок 5.3 Спектр частот при ЧМ манипуляции при $m_q = 1$

Ширина полосы частот канала связи, при передаче, определяется допустимым временем установления сигнала на выходе входного фильтра приёмника и девиацией частоты.

Однако искажения, вносимые входным фильтром при ЧМ несколько больше, чем при АМ. Поэтому для ЧМ – манипуляции, считая, что $\Delta F / (2F_{\text{дев}}) = 1.4$

$$\Delta F_{q_{\min}} = (1,7 \div 3) / \tau \quad (5.5)$$

5.3. Демодуляция частотно-модулируемых сигналов

Для демодуляции ЧМ, колебания превращают сначала в колебания, модулированные по фазе или по амплитуде, из которых затем выделяется передаваемое сообщение.

Поэтому различают частотно-амплитудные или частотно-фазовые (либо просто фазовые) детекторы. В телемеханике в большинстве случаев применяют частотно-амплитудные детекторы.

Простейший частотно-амплитудный детектор состоит из обычного колебательного контура (рассмотренного относительно основной частоты приходящего сигнала) и амплитудного детектора (см. рисунок 5.4 и 5.5).

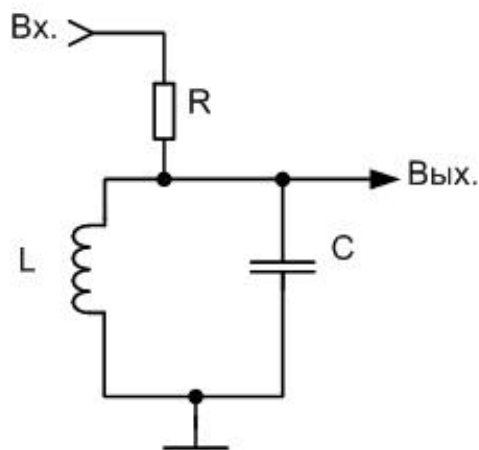


Рисунок 5.4 Простейший частотно-амплитудный детектор

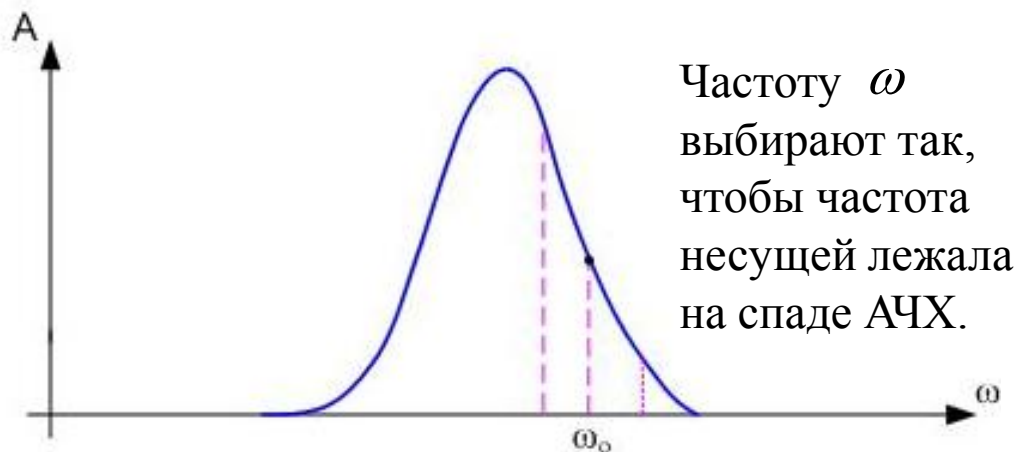


Рисунок 5.5 Амплитудно-частотная характеристика

Более совершенным частотно-амплитудным детектором является частотный дискриминатор (балансный детектор), выполняемый с двумя вторичными расстроенными контурами (см. рисунок 5.6).

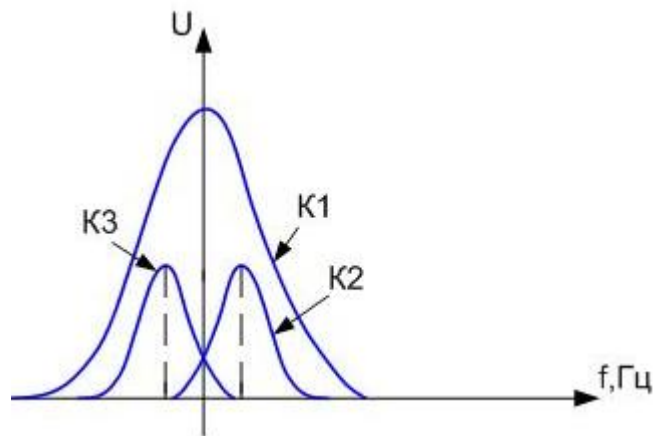


Рисунок 5.6 Амплитудно-частотная характеристика

Если, например, модулированные по частоте колебания, подаваемые на вход, лежат в полосе 1100-1000Гц, то контур K1 (см. рисунок 5.7) настраивается на частоту 1050Гц, контур K2 – на частоту 1100Гц и контур K3 – на частоту 1000Гц (см. рисунок 5.8). Контур K1 является широкополосным, пропускающим частоты, на которые настраиваются контуры K2 и K3.

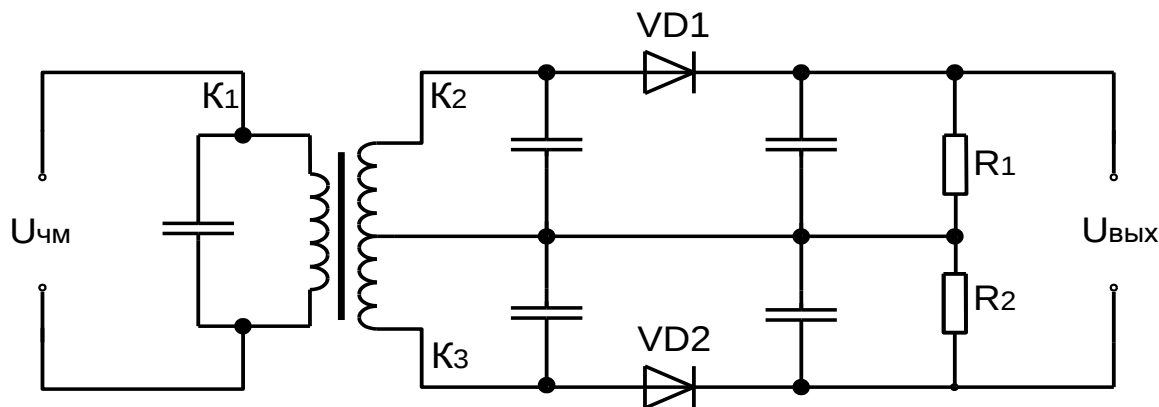


Рисунок 5.7 Балансный детектор

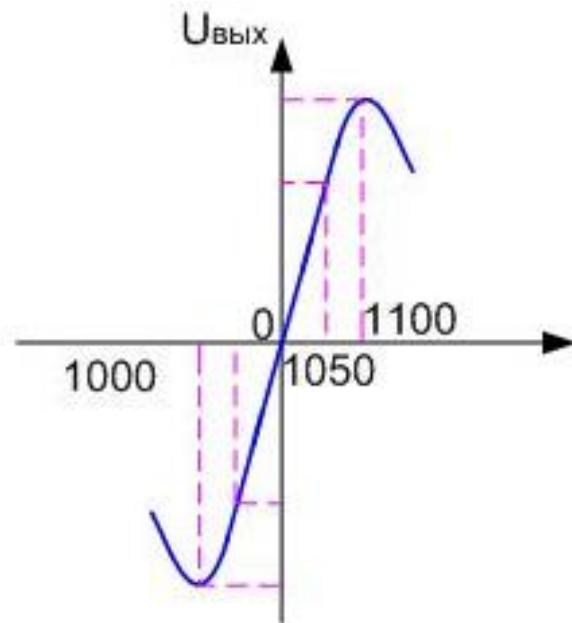


Рисунок 5.8

5.3.1. Сравнение амплитудной модуляции и частотной модуляции

1. Техническая реализация АМ проще, чем ЧМ;
2. Полоса частот при АМ значительно меньше, чем при ЧМ;
3. Помехоустойчивость ЧМ значительно выше АМ (т.к. помехи воздействуют в первую очередь на амплитуду сигнала).

5.4. Фазовая модуляция

При **фазовой модуляции** (ФМ) передаваемое сообщение изменяет значение фазы несущей. Таким образом, фаза «несущей» изменяется пропорционально мгновенным значениям тока или напряжения модулируемого сообщения (см. рисунок 5.9):

$$\varphi = \Delta\varphi \cdot \sin(\Omega t) \quad (5.6)$$

При увеличении значений тока и напряжения (сообщения) частоты Ω возникает опережение по фазе $\Delta\varphi \cdot \sin(\Omega t)$

где $\Delta\varphi$ – максимальный сдвиг по фазе или девиация фазы.

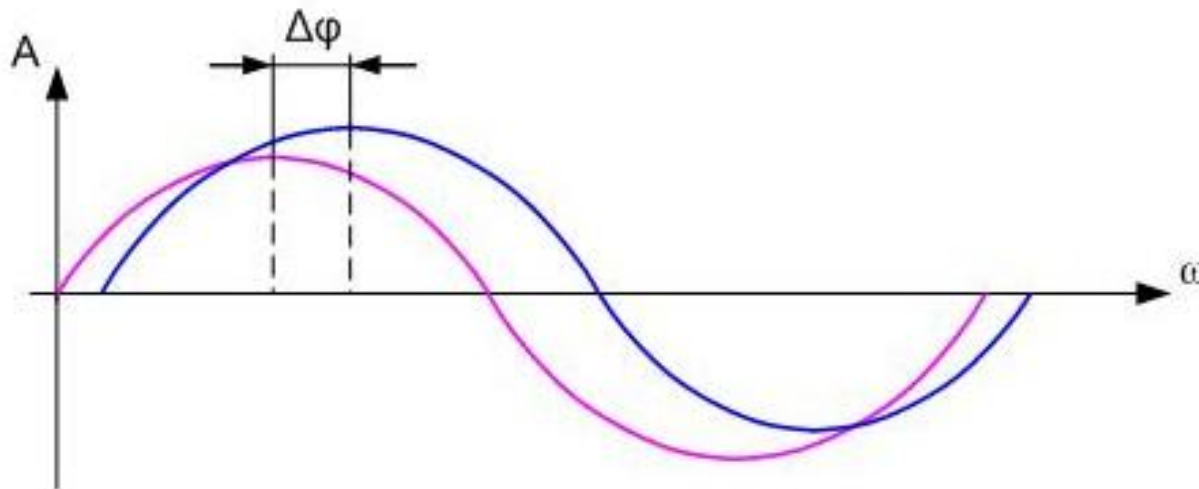


Рисунок 5.9 Фазовая модуляция:

$\Delta\varphi$ – девиация фазы.

Значение ФМ – колебания:

$$U_{\text{фмс}}(t) = U_{\omega_0} \cdot \cos(\omega_0 t + m_{\phi} \cdot \sin(\Omega t)) \quad (5.7)$$

– аналогично $U_{\text{чмс}}$ с той лишь разницей, что при ФМ индекс модуляции:

$$m_{\phi} = \Delta\varphi \quad (5.8)$$

При ФМ изменяется не только фаза, но и мгновенная частота «несущей». Точно также при ЧМ изменяется и фаза несущей. Таким образом, ФМ и ЧМ в какой-то мере аналогичны и отличаются друг от друга методами осуществления.

ФМ и ЧМ связаны, поэтому они могут быть объединены как **угловая модуляция**:

$$\Delta\omega = \Omega \cdot \Delta\varphi \quad (5.9)$$

– девиация угловой частоты.

5.4.1. Полоса частот фазо-модулируемого сигнала

Полоса частот при ФМ модуляции определяется выражением:

$$\Delta F_{\phi} = 2 \cdot F_{\Omega} \cdot (m_{\phi} + 1) \quad (5.10)$$

Так как при ЧМ индекс модуляции согласно $m_{\omega} = \Delta\omega / \Omega$ уменьшается с увеличением частоты сообщения, а при ФМ он не зависит от неё ($m_{\phi} = \Delta\phi$), то ширина полосы частот при ФМ оказывается больше, чем при ЧМ.

При $m \ll 1 \rightarrow$ спектр частот ЧМ и ФМ состоит из несущей и двух боковых полос как при АМ с ДБП.

При $m \gg 1 \rightarrow$ спектр частот ФМ схож со спектром при ЧМ с той лишь разницей, что при ФМ боковые частоты не зависят от частоты сообщения, тогда как при ЧМ амплитуда этих частот уменьшается с увеличением частоты сообщения.

Модулятор для ФМ аналогичны модуляторам для ЧМ.

5.5. Сравнение методов непрерывной модуляции

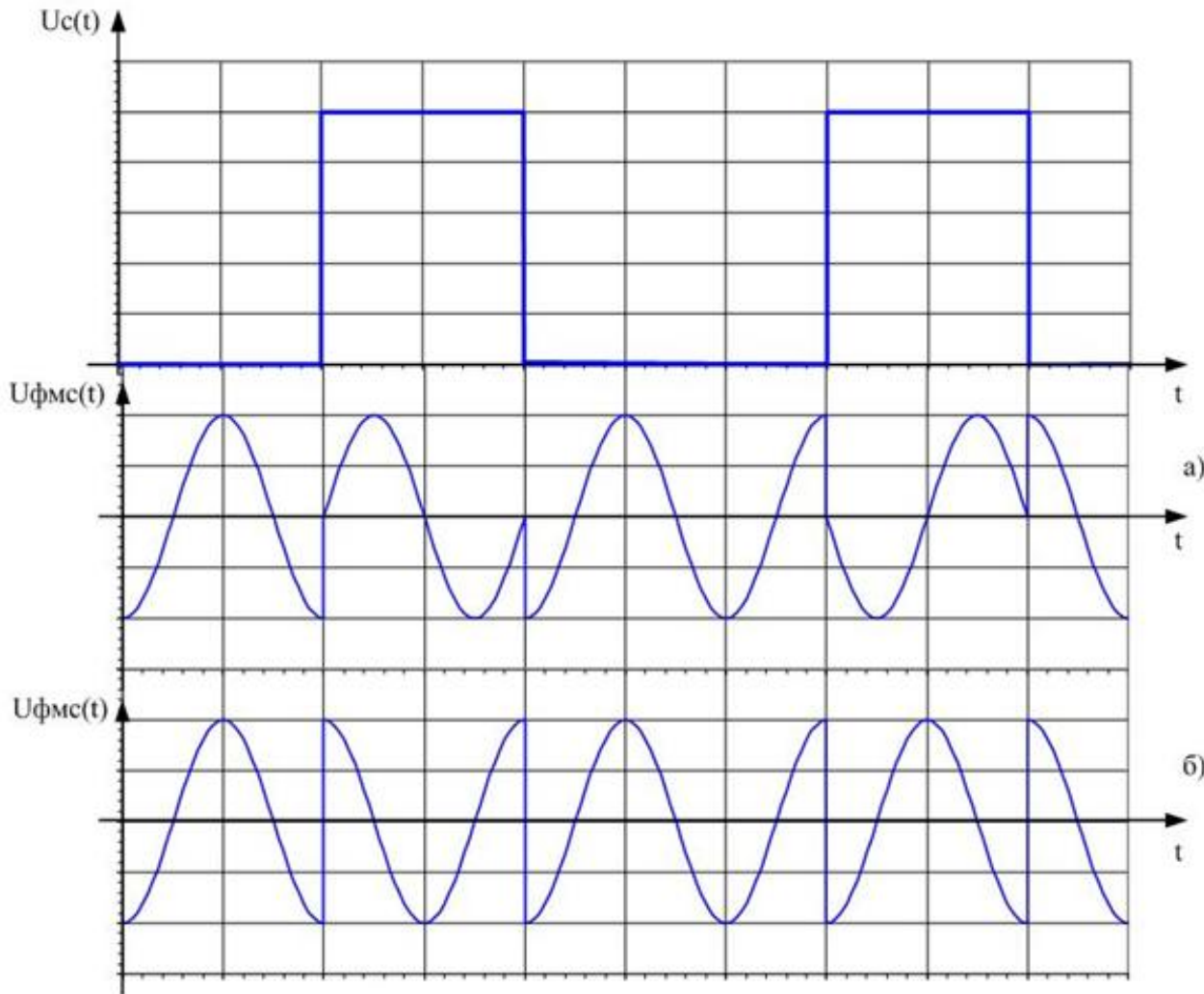
17

Таблица 5.1 Сравнение методов непрерывной модуляции

метод модуляции	полоса частот	приём	примечания
АМ	2ω	детектор огибающей или устройство с квадратичной передаточной характеристикой	простой и дешёвый метод, при передаче несущей теряется часть энергии, используется в радиовещании
ЧМ	$\gg \omega$	частотный дискриминатор	система с расширением полосы частот, используется в наземной и спутниковой микроволновой связи
ФМ	$\gg \omega$	устройство с нелинейной передаточной характеристикой	похожие на ЧМ свойства, более сложный приём

5.6. Фазовая манипуляция

Фазовая манипуляция или **абсолютная фазовая модуляция** (АФМ) является частным случаем фазовой модуляции при модулирующем сигнале в виде импульсов (см. рисунок 5.10).



а – фазовая манипуляция
при $\Delta\varphi = 90^\circ$

б – фазовая манипуляция
при $\Delta\varphi = 180^\circ$

Рисунок 5.10 Временная диаграмма фазовой манипуляции:

5.6.1. Спектр частот при фазовой манипуляции

Спектр частот при фазовой манипуляции представлен на рисунке 5.11. Если сдвиг фаз $\Delta\varphi = 180^\circ$, то при скважности импульса равной 2 нет несущей.

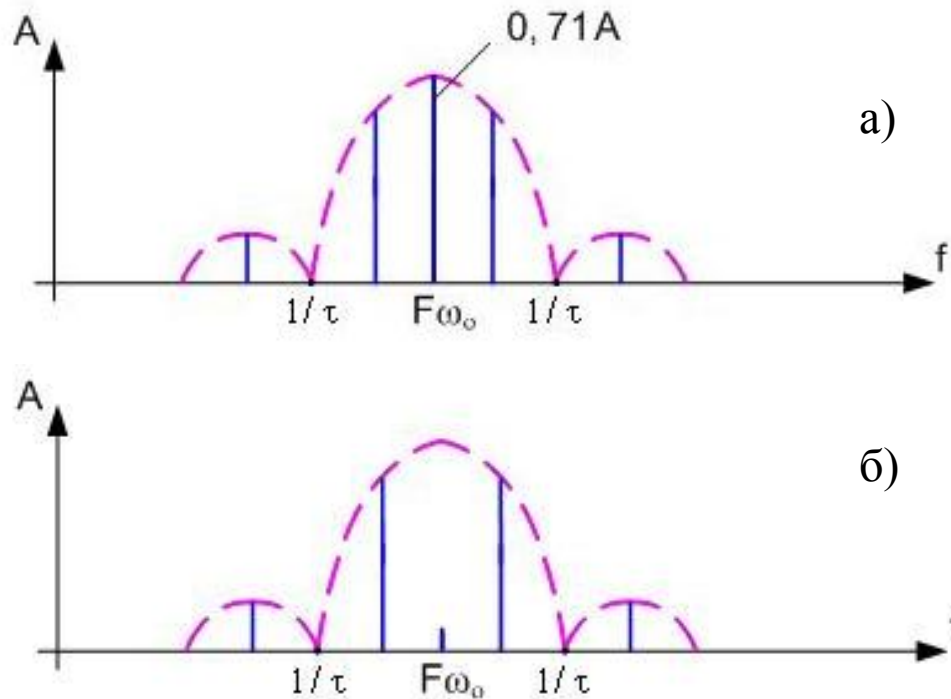


Рисунок 5.11 Спектр частот при фазовой манипуляции:

а – спектр частот при $\Delta\varphi = 90^\circ$

б – спектр частот при $\Delta\varphi = 180^\circ$

5.6.2. Реализация фазовой манипуляции

Фазовая манипуляция может быть осуществлена с помощью кольцевого модулятора, представленного на рисунке 5.12.

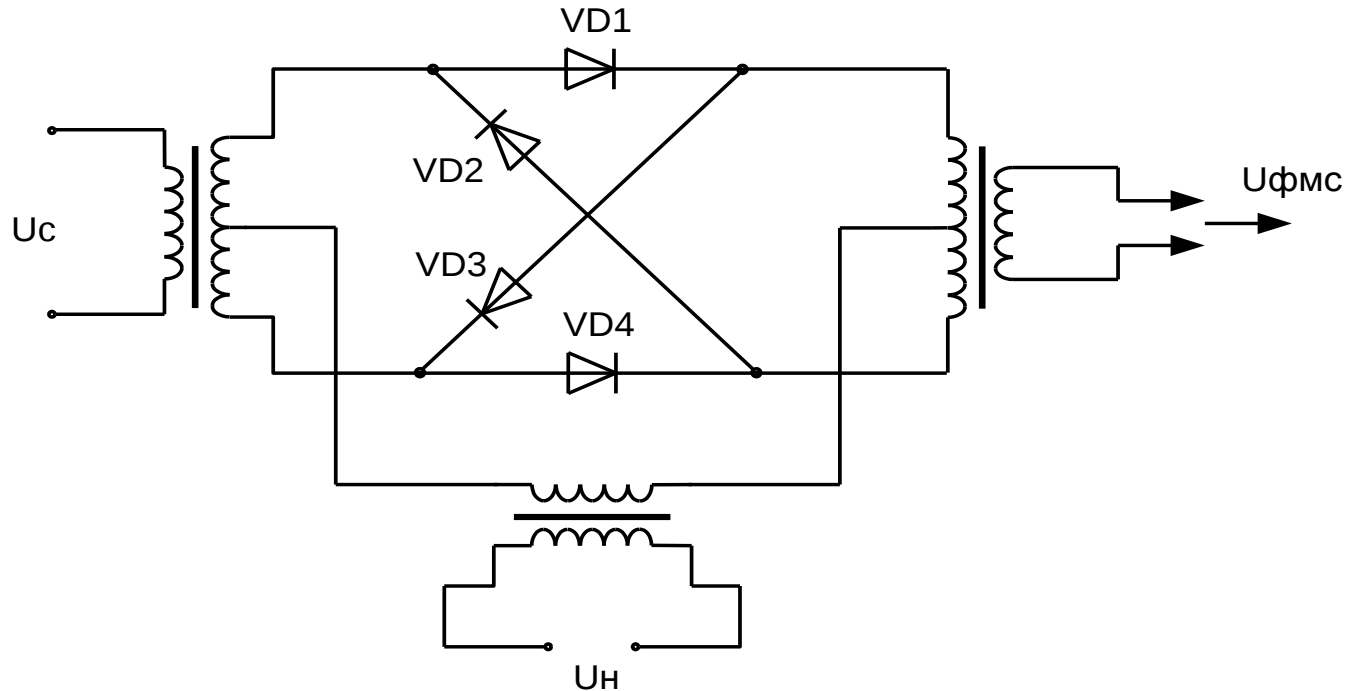


Рисунок 5.12 Кольцевой модулятор ФМ при $\Delta\varphi = 180^\circ$

5.6.3. Детектирование сигналов фазовой манипуляции

Для детектирования сигнала с фазовой манипуляцией служит фазовый детектор, основанный на так называемом кольцевом преобразовании частоты (см. рисунок 5.13).

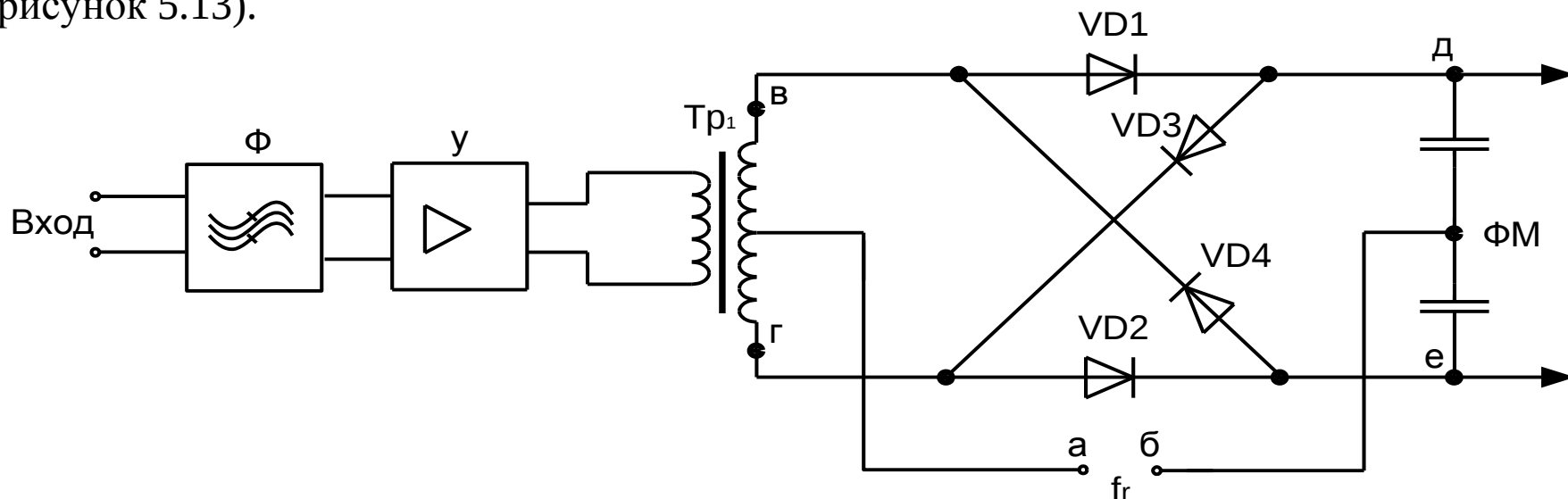


Рисунок 5.13 Демодулятор сигналов фазовой манипуляции

На вход поступают импульсы, модулированные по фазе, а на зажимы «а» и «б» подаётся переменный ток местного генератора f_r с частотой несущей. На выходе включены конденсаторы. При поступлении на вход сигнала в фазе с сигналом местного генератора приёмника открываются диоды VD1, VD2 при положительной полуволне и диоды VD3, VD4 – при отрицательной. В обоих случаях ток протекает через конденсаторы от зажима «д» к «е» и на выходе снимаются выпрямленные положительные импульсы. При поступлении сигнала с линии в противофазе с сигналом местного генератора ток сначала протекает через диоды VD3, VD4 при положительных полуволнах и через диоды VD1, VD2 – при отрицательных, что вызывает прохождение тока от зажима «е» к «д». Соответствующим образом на выходе снимаются выпрямленные отрицательные импульсы.

5.7. Преимущества и недостатки фазовой манипуляции по сравнению с частотной манипуляцией

Преимущества АФМ:

1. Большая скорость передачи в той же полосе частот, что и ЧМ;
2. Такая же помехоустойчивость при меньшей мощности передатчика.

Недостатки АФМ:

Нужна постоянная фаза несущей и опорной частоты при детектировании.
При сдвиге фаз на 180° – наблюдается обратная работа.

5.8. Относительная фазовая манипуляция (фазоразностная модуляция)

23

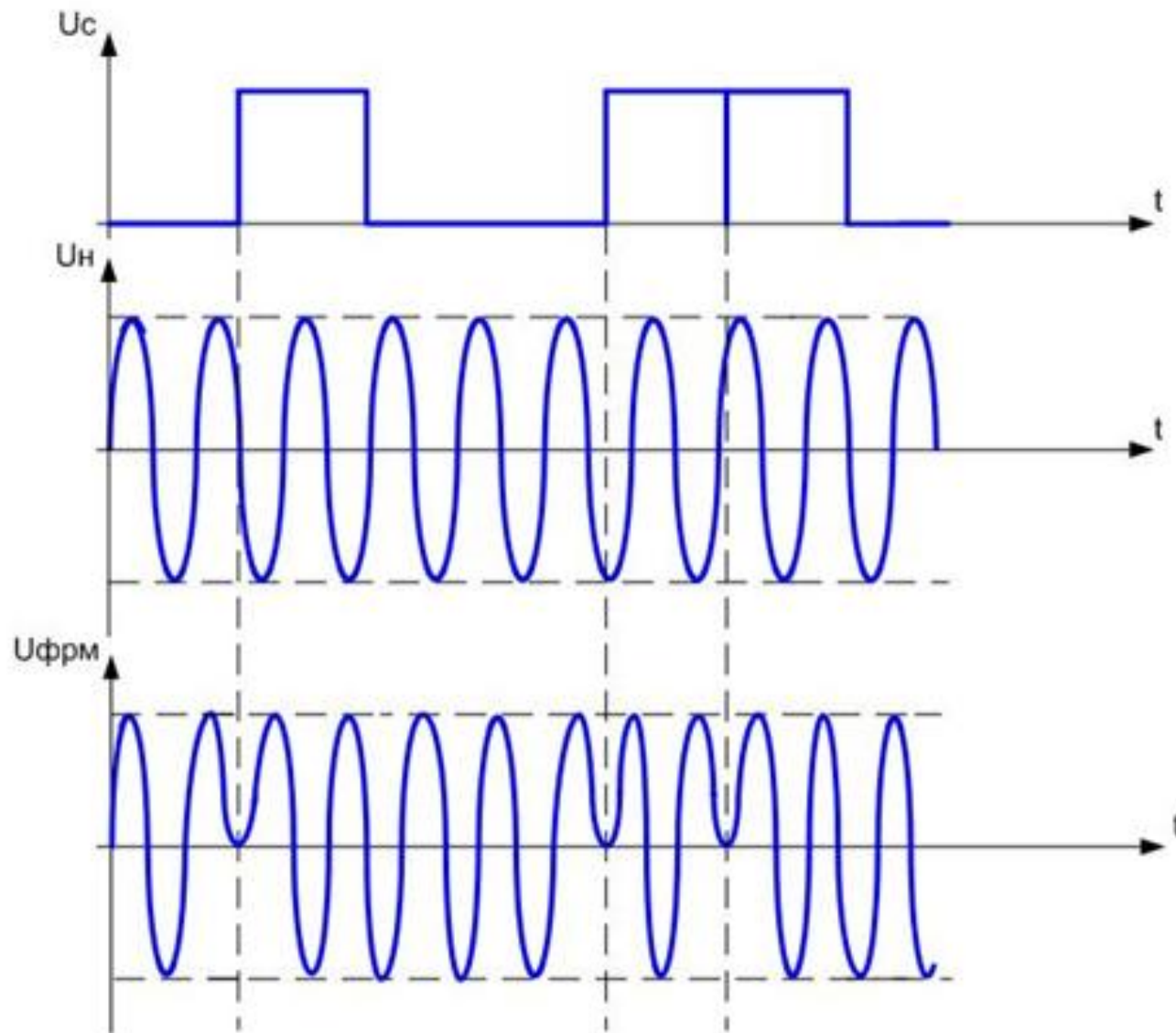


Рисунок 5.14 Временная диаграмма фазоразностной модуляции (ФРМ)

5.9. Двукратная непрерывная модуляция

Для повышения помехоустойчивости передачи амплитудно-модулированное сообщение иногда дополнительно модулируют по частоте. Возникает двойная модуляция АМ – ЧМ. При этом первая «несущая» называется «**поднесущей**».

Для экономии полосы частот применяют ЧМ – АМ. Возможно ЧМ – ЧМ.