

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)
«МАИ»

Кафедра теоретической радиотехники

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
«Исследование частотно-модулированных радиосигналов»

Утверждено на заседании кафедры 405
31 августа 2006 г.
протокол № 1

Москва, 2006 г.

Цель работы

Исследование радиосигналов с частотной модуляцией (ЧМ), сравнение тонально модулированных по частоте радиосигналов и их спектров при различных индексах угловой модуляции, экспериментальное измерение модуляционной характеристики, наблюдение амплитудно-частотно-модулированных (АМ-ЧМ) сигналов.

Краткие теоретические сведения

Структурная схема частотного модулятора на генераторе, управляемом напряжением (ГУН), показана на рис. 1.

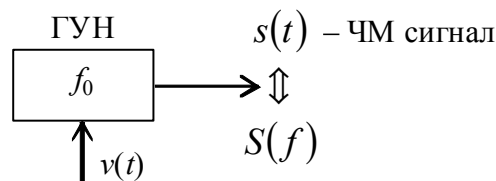


Рис.1. Частотный модулятор.

Управляющее напряжение $v(t)$ является модулирующим гармоническим сигналом звуковой частоты:

$$v(t) = V \cdot \cos(2\pi F t), \quad (1)$$

где V – амплитуда модулирующего сигнала, F – частота модулирующего сигнала.

Частотный модулятор функционирует таким образом, что мгновенная частота ГУН (рис. 2) пропорциональна модулирующему сигналу в каждый момент времени:

$$f(t) = f_0 + k \cdot v(t) = f_0 + k \cdot V \cdot \cos(2\pi F t) = f_0 + f_d \cdot \cos(2\pi F t), \quad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности с размерностью [Гц/В], $f_d = k \cdot V$ – девиация частоты.

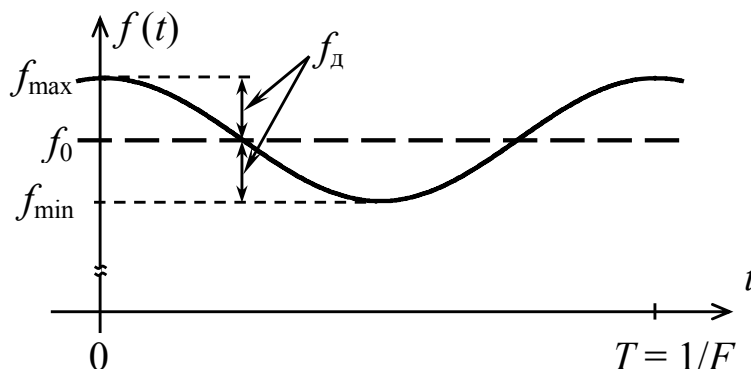


Рис. 2. Временная диаграмма мгновенной частоты.

Мгновенная полная фаза ГУН определяется выражением:

$$\Psi(t) = 2\pi \int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau = 2\pi \int_0^t f(\tau) dt + \theta_0 = 2\pi f_0 t + m \cdot \sin(2\pi F t) + \theta_0, \quad (3)$$

где $\theta_0 = \Psi(0)$; $m = \frac{k \cdot V}{F} = \frac{f_d}{F}$ – индекс угловой модуляции. Он соответствует амплитуде мгновенной фазы радиосигнала и имеет размерность [рад].

Сигнал на выходе ГУН представляет собой ЧМ радиосигнал, мгновенная полная фаза которого изменяется по закону $\Psi(t)$:

$$s(t) = A \cdot \cos \Psi(t) = A \cdot \cos [2\pi f_0 t + m \cdot \sin(2\pi F t) + \theta_0], \quad (4)$$

где A – амплитуда радиосигнала.

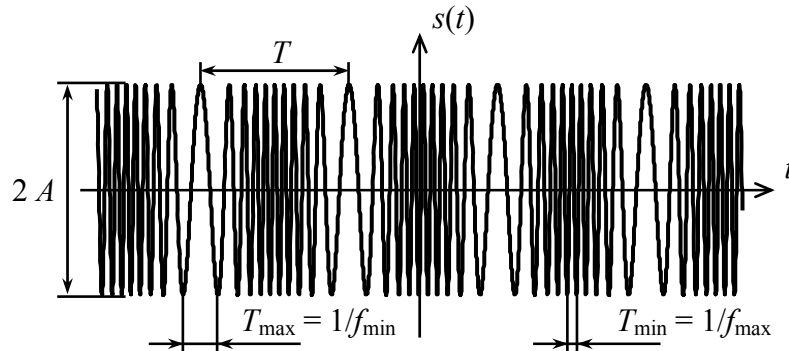


Рис. 3. График частотно-модулированного радиосигнала.

ЧМ сигнал с тональной модуляцией может быть представлен бесконечным рядом:

$$s(t) = A \cdot \sum_{n=-\infty}^{\infty} |J_n(m)| \cdot \cos[2\pi(f_0 + n \cdot F)t + \varphi_n], \quad (5)$$

где $J_n(m)$ – значение функции Бесселя первого рода n -го порядка, определенное для индекса угловой модуляции m ЧМ колебания (рис. 4).

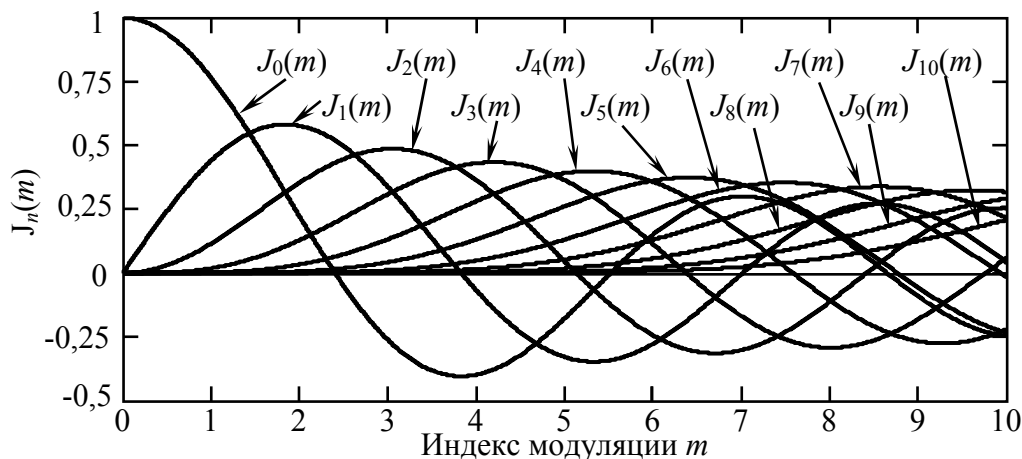


Рис. 4. Графики функций Бесселя.

Спектр ЧМ сигнала определяется выражением

$$\begin{aligned} S(f) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{A \cdot |J_n(m)|}{2} \cdot e^{j\varphi_n} \cdot \delta(f - f_0 - n \cdot F) = \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{S_n}{2} \cdot e^{j\varphi_n} \cdot \delta(f - f_0 - n \cdot F), f > 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где $S_n = A \cdot |J_n(m)|$ – амплитудные коэффициенты ряда Фурье.

На рис. 5 изображён односторонний амплитудный спектр ЧМ сигнала.

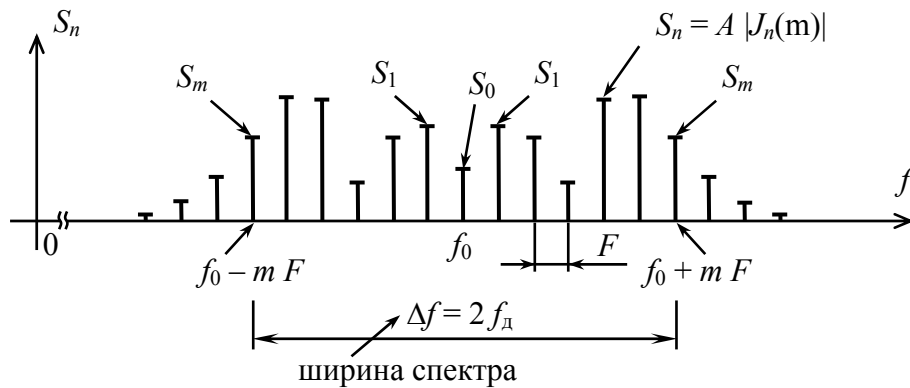
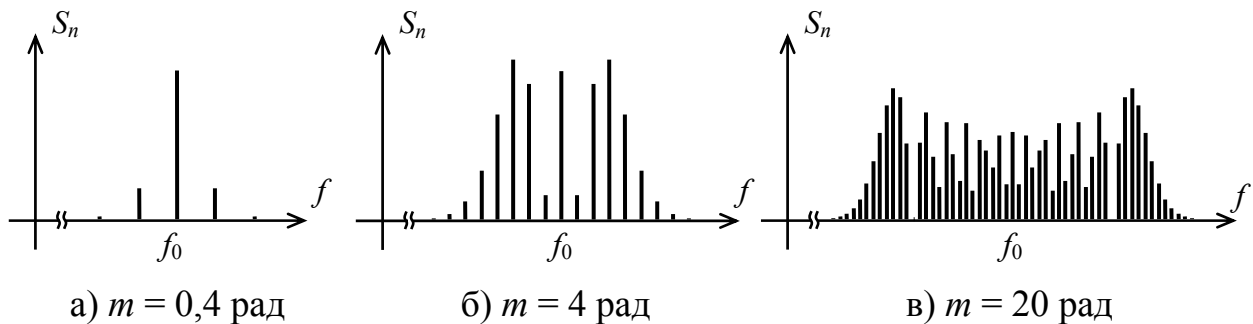


Рис. 5. Односторонний амплитудный спектр ЧМ радиосигнала.

Из рисунка видно, что амплитудный спектр ЧМ сигнала обладает свойством четной симметрии относительно несущей частоты f_0 . Эффективная ширина спектра ЧМ сигнала $\Delta f = 2mF$ приблизительно равна удвоенной величине девиации частоты. Характерной особенностью спектра ЧМ сигнала является существенная зависимость его формы от индекса угловой модуляции. С увеличением индекса угловой модуляции число составляющих в спектре увеличивается, а амплитуда центральной составляющей изменяется. При этом различают ЧМ сигналы при малых ($m < 1$ рад), средних ($1 \text{ рад} < m < 10$ рад) и больших ($m > 10$ рад) индексах угловой модуляции m (рис. 6).



а) $m = 0,4$ рад

б) $m = 4$ рад

в) $m = 20$ рад

Рис. 6. Спектры ЧМ радиосигналов при малом (а), среднем (б) и большом (в) индексе угловой модуляции.

АМ-ЧМ радиосигнал можно получить одновременным изменением во времени в соответствии с законом модулирующего сигнала мгновенной амплитуды $A(t)$ и мгновенной полной фазы $\Psi(t)$:

$$s(t) = A(t) \cdot \cos \Psi(t). \quad (7)$$

Пример одностороннего амплитудного спектра АМ-ЧМ сигнала изображен на рис. 7. Из рисунка видно, что спектр АМ-ЧМ сигнала не обладает свойством четной симметрии относительно несущей частоты.

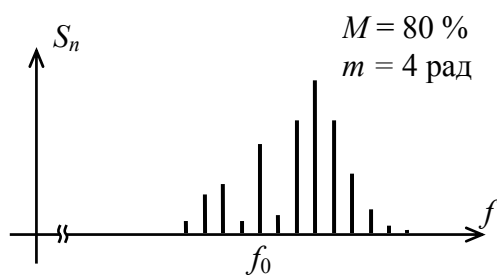


Рис. 7. Спектр АМ-ЧМ радиосигнала при гармоническом модулирующем сигнале. M – коэффициент амплитудной модуляции, m – индекс угловой модуляции.

Задание для подготовки к лабораторной работе

Для заданных в таблице 1 параметров и несущей частоты $f_0 = 100$ кГц рассчитать девиацию частоты $f_d = m \cdot F$ и изобразить временную диаграмму мгновенной частоты $f(t)$. Изобразить график ЧМ сигнала $s(t)$ при условии $\theta_0 = 0$. Рассчитать амплитуды центральной и 10 боковых гармоник спектра ЧМ сигнала ($S_n, n = 0 \dots 10$). При этом можно воспользоваться либо графиками функций Бесселя, приведенными в отчете, либо математическим пакетом Mathcad¹. Построить график одностороннего амплитудного спектра S_n ЧМ сигнала. Определить по графику соотношение амплитуд центральной и первых двух боковых гармоник.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$A, В$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$m, рад$	2,4	2,6	3,1	3,8	4,5	4,7	5,1	5,5	6,1	7
$F, Гц$	2000	1850	1700	1550	1250	1100	950	800	650	500

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Наблюдение ЧМ сигнала и его спектра.

1.1. Собрать схему подключения приборов и измерительного стенда для наблюдения частотно-модулированного сигнала и его спектра в соответствии с рис. 8. В качестве источника сигнала используется генератор низкой частоты (ГНЧ, выход II). Рекомендуется при этом использовать синхронизацию ГНЧ (выход I) и осциллографа.

¹ Функция Mathcad $J_n(n, m)$ позволяет рассчитывать значение функции Бесселя 1-го рода n -го порядка для значения индекса модуляции m .

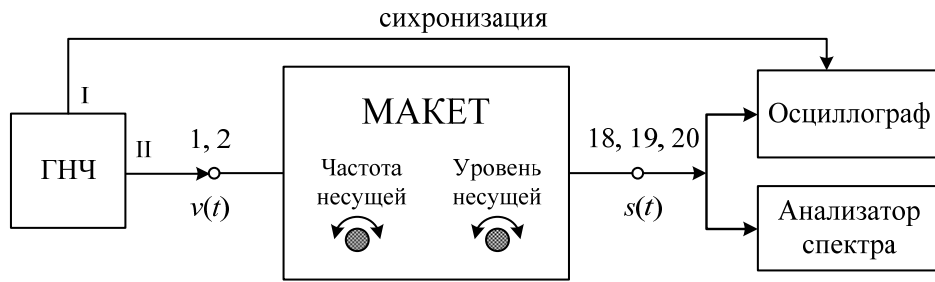


Рис. 8. Схема подключения приборов и измерительного стенда для наблюдения ЧМ сигналов.

1.2. Установить на ГНЧ значение частоты гармонического сигнала F в диапазоне от 500 Гц до 5 кГц и амплитуду сигнала V порядка нескольких вольт. Пронаблюдать осциллограмму и спектрограмму ЧМ сигнала. С целью удобства наблюдения ЧМ сигнала и его спектра можно изменять параметры управляющего гармонического напряжения на выходе ГНЧ. Для изменения параметров несущего сигнала воспользуйтесь ручками «Частота несущей» и «Уровень несущей».

2. Исследование спектра ЧМ сигнала на выходе ГУН при малом индексе угловой модуляции.

2.1. Уменьшая амплитуду сигнала V на выходе ГНЧ и наблюдая спектрограмму на анализаторе спектра, добиться уменьшения числа гармоник спектра ЧМ сигнала до трех наиболее мощных.

2.2. Пронаблюдать осциллограмму модулирующего сигнала на выходе ГНЧ (клеммы 1, 2) и занести ее в отчет. Занести в отчет спектрограмму ЧМ сигнала. Измерить амплитуду центральной S_0 и боковой S_1 гармоник спектра. Вычислить отношение S_1/S_0 . Определить по графику в отчете индекс угловой модуляции m , найдя отношение S_1/S_0 .

3. Исследование спектра ЧМ сигнала на выходе ГУН при среднем индексе угловой модуляции.

3.1. Установить на ГНЧ значение частоты модулирующего сигнала F в соответствии с вариантом (таблица 1). Увеличив амплитуду сигнала V на выходе ГНЧ, добиться значения индекса угловой модуляции m в соответствии с вариантом (таблица 1), наблюдая и анализируя при этом спектрограмму ЧМ сигнала. Спектрограмма ЧМ сигнала в результате должна иметь тоже соотношение амплитуд центральной и первых двух боковых гармоник, что и рассчитанный теоретический спектр.

3.2. Пронаблюдать осциллограмму модулирующего сигнала на выходе ГНЧ (клеммы 1, 2) и занести ее в отчет. Занести в отчет спектрограмму ЧМ сигнала. Уточнить значение индекса угловой модуляции m можно с помощью графика функций Бесселя, приведенного в отчете.

4. Исследование спектра ЧМ сигнала на выходе ГУН при большом индексе угловой модуляции.

4.1. Увеличив амплитуду сигнала V на выходе ГНЧ, добиться большого значения индекса угловой модуляции m , наблюдая при этом spectrogramму ЧМ сигнала. Спектр ЧМ сигнала в результате должен иметь большое число гармоник (не менее 20).

4.2. Пронаблюдать осциллограмму модулирующего сигнала на выходе ГНЧ (клеммы 1, 2) и занести ее в отчет. Занести в отчет spectrogramму ЧМ сигнала. Измерить ширину спектра Δf и вычислить индекс угловой модуляции $m = \Delta f / 2F$.

5. Измерение модуляционной характеристики ГУН.

5.1. Установить на ГНЧ значение частоты модулирующего сигнала F в соответствии с вариантом (таблица 1). Изменяя амплитуду сигнала V на выходе ГНЧ, пронaблюдать spectrogramмы на анализаторе спектра. Занести в таблицу отчета значения амплитуды V , при которых наблюдаемые spectrogramмы соответствуют заданным в таблице значениям индекса угловой модуляции m . Spectrogramмы, соответствующие этим значениям имеют характерные особенности:

- при значениях $m = 2,4$ и $m = 5,5$ амплитуда центральной гармоники $S_0 = 0$;
- при значении $m = 3,8$ амплитуда первой боковой гармоники $S_1 = 0$;
- при значениях $m = 1,4$; $m = 3,1$ и $m = 4,7$ амплитуды центральной и первой боковой гармоник равны ($S_0 = S_1$).

Уточнить значение индекса угловой модуляции m можно с помощью графика функций Бесселя, приведенного в отчете.

5.2. По полученным значениям построить модуляционную характеристику, – зависимость индекса угловой модуляции m от амплитуды модулирующего сигнала V .

6. Измерение зависимости индекса угловой модуляции от частоты модулирующего сигнала.

6.1. Установить на ГНЧ амплитуду сигнала V порядка нескольких вольт. Изменяя частоту модулирующего сигнала F на ГНЧ в диапазоне от 500 Гц до 5 кГц, пронaблюдать spectrogramмы на анализаторе спектра. Занести в таблицу отчета значения частоты F , при которых наблюдаемые spectrogramмы соответствуют заданным в таблице значениям индекса угловой модуляции m . Соответствие особенностей spectrogramм ЧМ сигнала и индекса угловой модуляции m описано в п.5.1.

6.2. По полученным значениям построить зависимость индекса угловой модуляции m от частоты модулирующего сигнала F .

7. Наблюдение АМ-ЧМ радиосигнала.

7.1. Собрать схему подключения приборов и измерительного стенда для наблюдения амплитудно-частотно-модулированного сигнала и его спектра в

соответствии с рис. 8. В качестве источника сигнала используется генератор низкой частоты (ГНЧ, выход II). Рекомендуется при этом использовать синхронизацию ГНЧ (выход I) и осциллографа.



Рис. 8. Схема подключения приборов и измерительного стенда для наблюдения АМ-ЧМ сигналов.

7.2. Установить на ГНЧ значение частоты гармонического сигнала F в диапазоне от 500 Гц до 5 кГц и амплитуду сигнала U порядка нескольких вольт. Пронаблюдать осциллограмму и спектрограмму АМ-ЧМ сигнала. При искажении сигнала воспользуйтесь ручками «Уровень ограничения» и «Уровень несущей» для их устранения.

7.3. Занести в отчет полученную осциллограмму и спектрограмму АМ-ЧМ сигнала. Определить по осциллограмме коэффициент амплитудной модуляции M .

8. Сделать выводы по проделанной работе.

В выводах отразить:

1. Влияние управляющего напряжения ГУН $v(t)$ на мгновенную частоту $f(t)$ ЧМ сигнала.
2. Влияние индекса модуляции m на спектр ЧМ сигнала.
3. Влияние амплитуды модулирующего сигнала V на индекс угловой модуляции m .
4. Влияние частоты модулирующего сигнала F на индекс угловой модуляции m .
5. Сравнение спектров АМ сигнала, ЧМ сигнала и АМ-ЧМ сигнала.