ВЫСОКОЧАСТОТНЫЕ КАНАЛЫ УТЕЧКИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДИСКРЕТНО-КВАНТОВАННОМ ПРЕОБРАЗОВАНИИ

М.М.БАРАНОВСКИЙ, А.Г.ФИЛИППОВИЧ

(Оперативно-аналитический центр при Президенте Республики Беларусь)

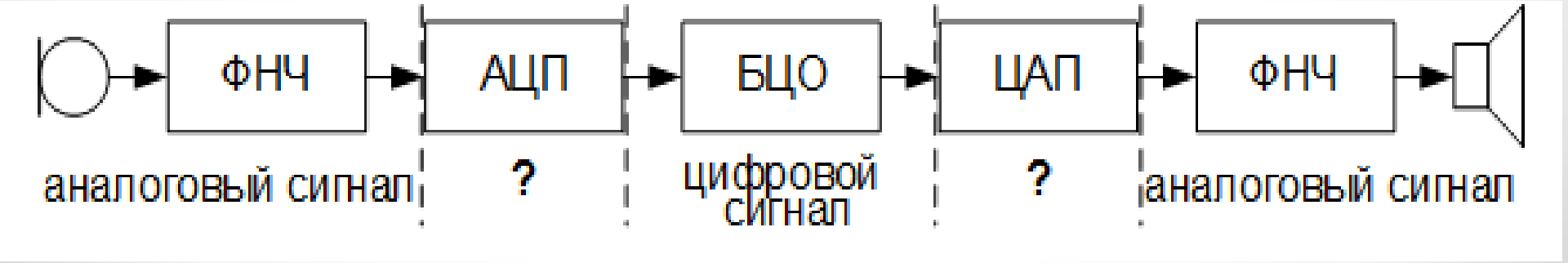
В.К.ЖЕЛЕЗНЯК, С.В.ЛАВРОВ

(Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой»)

ВВЕДЕНИЕ

Преобразование аналоговых речевых сигналов в цифровые и их обратное преобразование из цифровой формы в исходный сигнал генерируют новые каналы утечки речевой информации.

Используемые в настоящее время подходы к оценке защищенности каналов утечки речевых сигналов при их преобразовании в цифровую форму сводятся к раздельной оценке аналогово речевого сигнала и речевого сигнала, представленного в цифровой форме при его передаче по линиям связи.



СПЕКТР ДИСКРЕТНО СИГНАЛА

$$s(t)=\frac{A\tau_{и}}{T_{д}}+\frac{m_a A\tau_{и}\sin\omega_c t}{T_{д}}+\frac{2A}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\sin\frac{n\pi\tau_{и}}{T_{д}}\cos 2\pi nF_{д}t+$$

$$+\frac{m_a A}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\sin\frac{n\pi\tau_{и}}{T_{д}}\sin\left(2\pi nF_{д}\pm\omega_c\right)t.$$

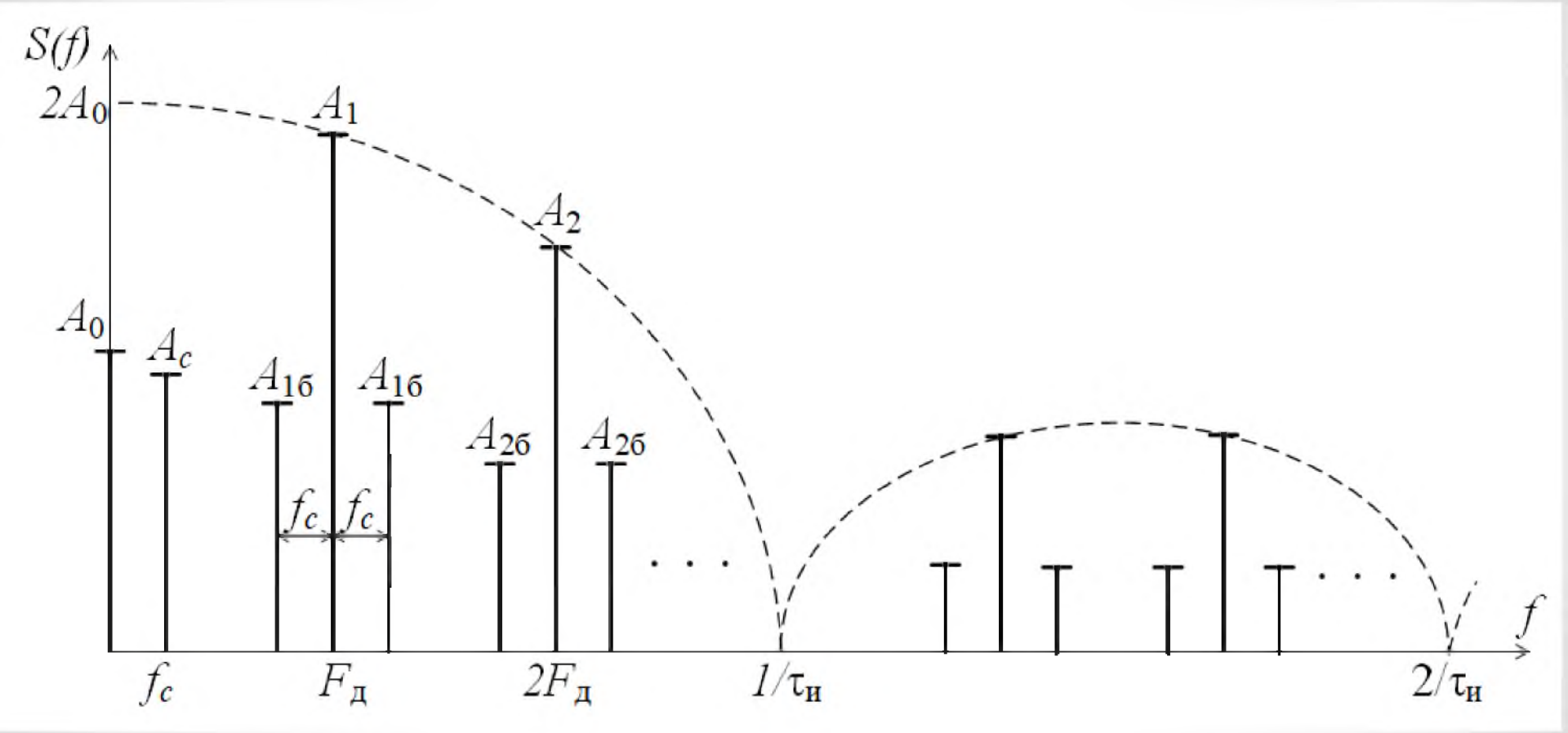
$A_0=\frac{A\tau_{и}}{T_{д}}$ – постоянная составляющая

$A_c=\frac{m_a A\tau_{и}}{T_{д}}\sin\omega_c t$ – исходный модулирующий сигнал

$A_n=\frac{2A}{\pi n}\sin\frac{n\pi\tau_{и}}{T_{д}}\cos 2\pi nF_{д}t$ – гармоники частоты дискр-и

$A_{nб}=\frac{m_a A}{\pi n}\sin\frac{n\pi\tau_{и}}{T_{д}}\sin\left(2\pi nF_{д}\pm\omega_c\right)t$ – боковые составляющие

СПЕКТР ДИСКРЕТНО СИГНАЛА

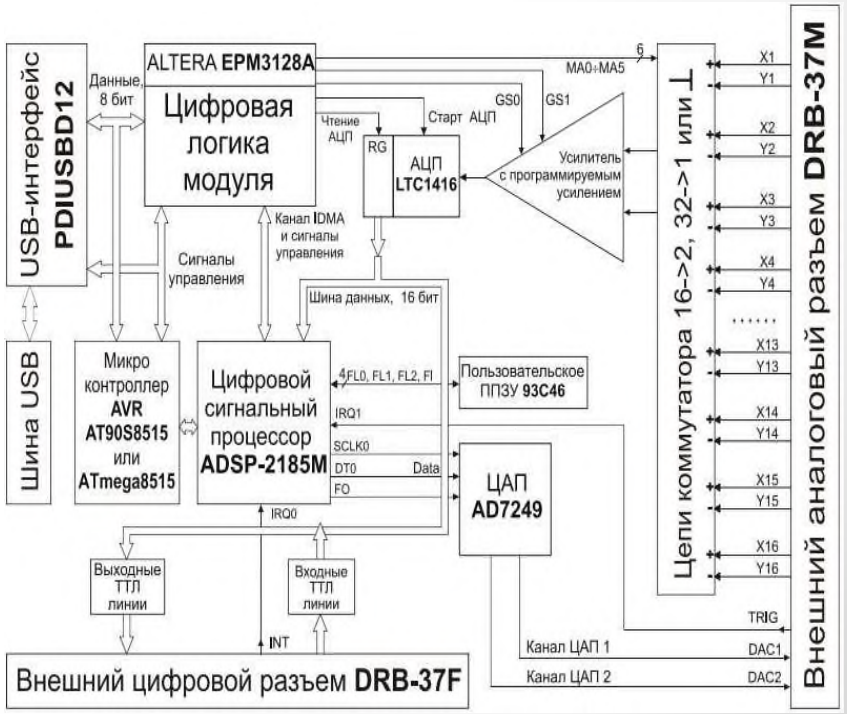


ЭКСПЕРИМЕНТ № 1 (ЦАП)

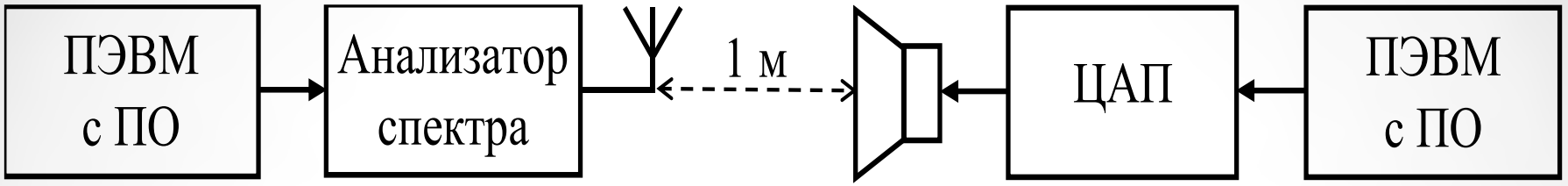
Характеристики модуля L-CARD E14-440

ЦАП	
Количество выходов	2
Разрядность	12 бит
Максимальная частота дискретизации	62,5 кГц
Диапазон напряжения	От -5 до +5 В
Время установления	8 мкс
АЦП	
Количество каналов	32
Разрядность АЦП	14 бит
Диапазон измерений напряжения	От -10 до +10 В
Максимальная частота преобразования	400 кГц
Цифровые входы и выходы	
Количество входов	16
Количество выходов	16
Тип логики	TTL
Суммарное потребление мощности	0,5 Вт
Питание - от шины USB	
Потребляемый ток	До 400 мА
Габариты - 140 x 96 x 30 мм. **Масса** - не более 0,2 кг	





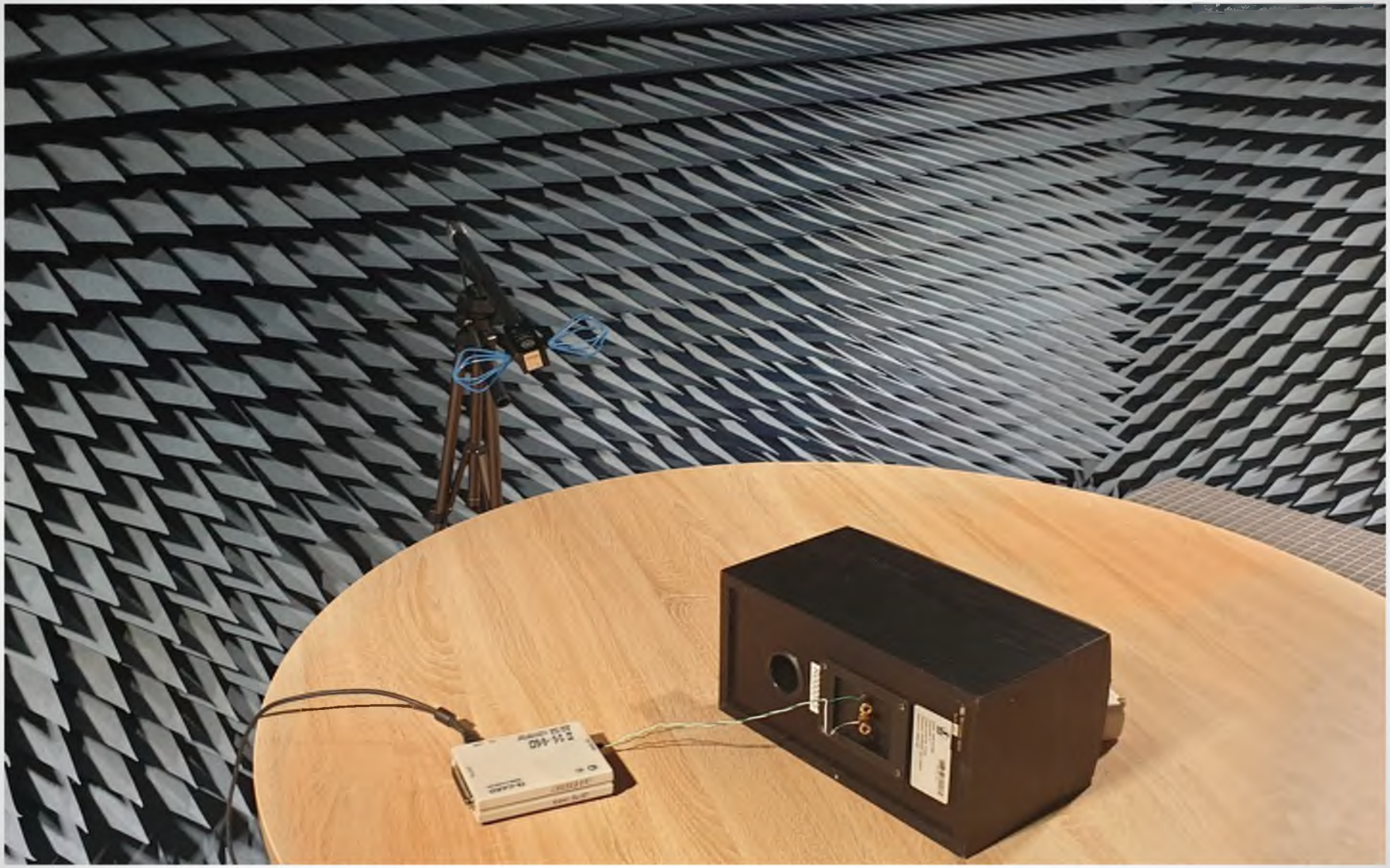
ЭКСПЕРИМЕНТ № 1 (ЦАП)



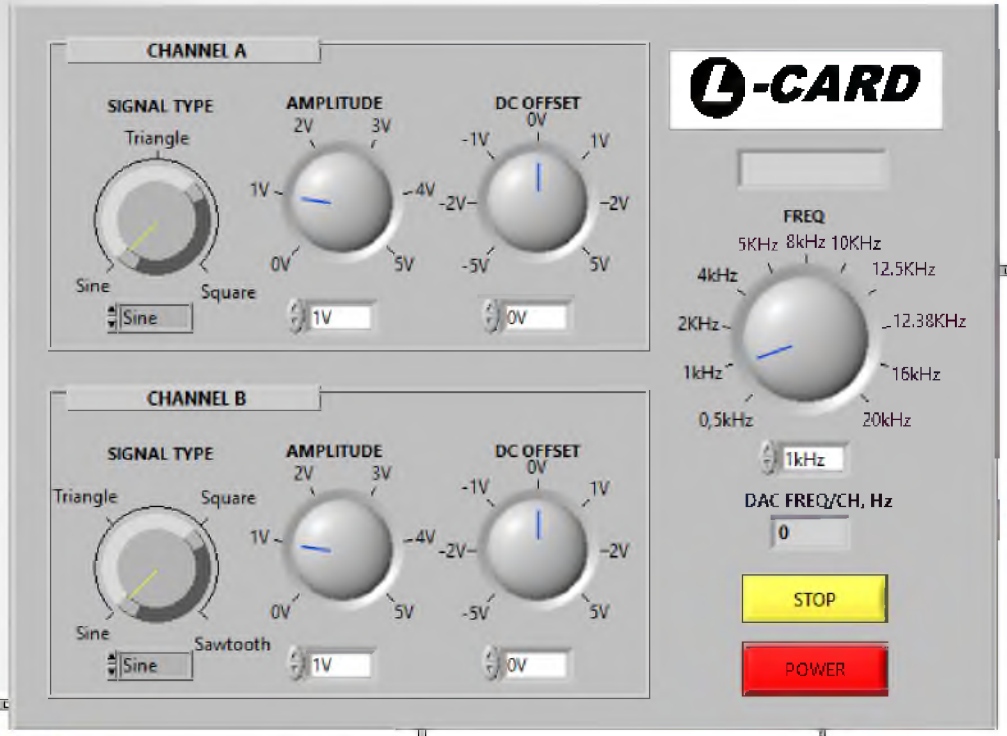
Состав измерительного стенда:

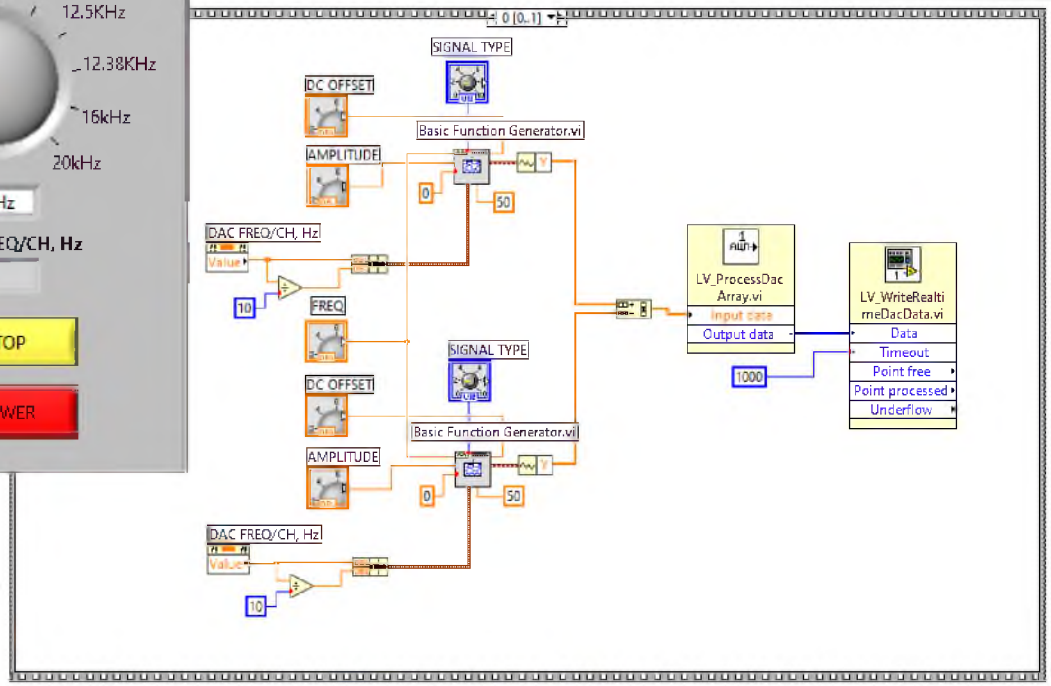
- модуль АЦП/ЦАП LCard E14-440;
- пассивная акустическая колонка (нагрузка ЦАП);
- ПЭВМ с ПО синтеза измерительных сигналов;
- ПЭВМ с ПО анализа сигналов в радиочастотном спектре;
- анализатор спектра Keysight N9010A (10 Гц – 13,6 ГГц);
- набор измерительных антенн (дипольная АИ 4-1 (100 Гц – 2 МГц), биконическая НБА-02 (9 кГц – 2,5 ГГЦ), рамочная SAS-565L (20 Гц – 1 МГц), рамочная НРА-02 (9 кГц – 30 МГц)).

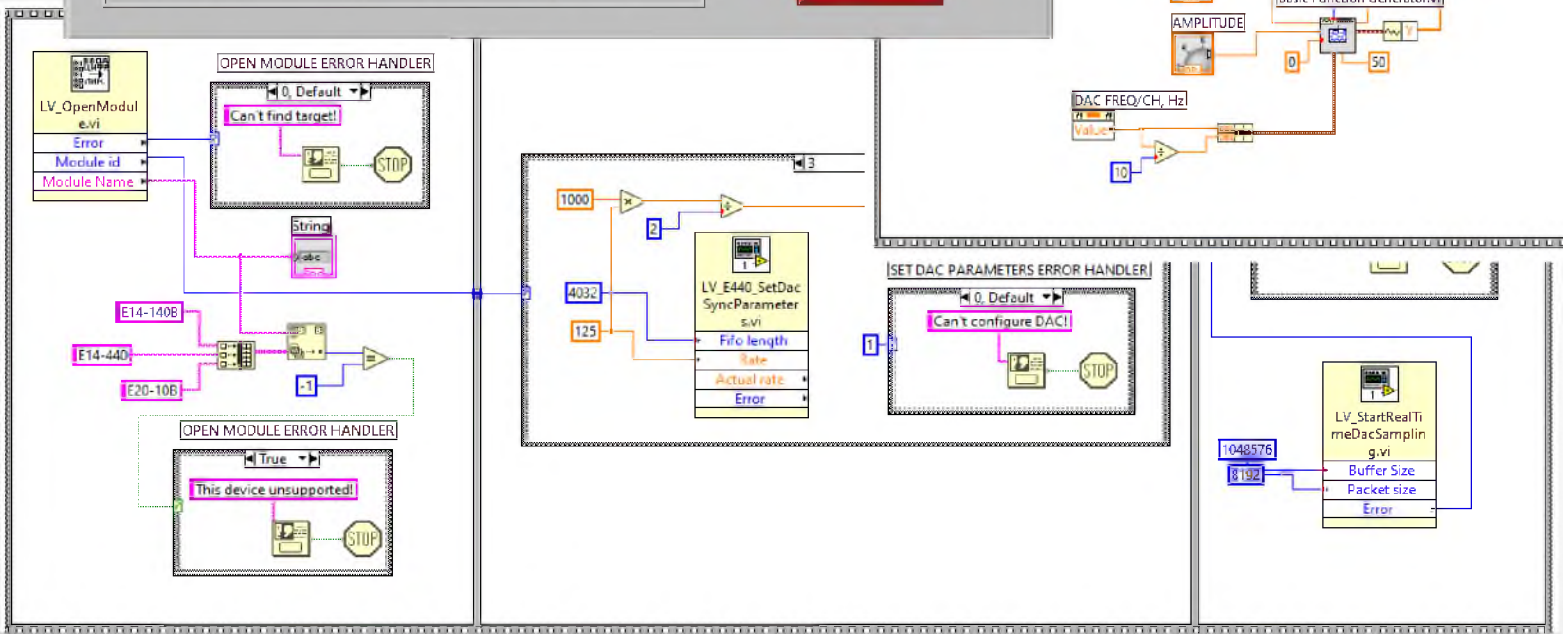
Пример расположения средств измерений и модуля ЦАП



ПО синтеза измерительных сигналов





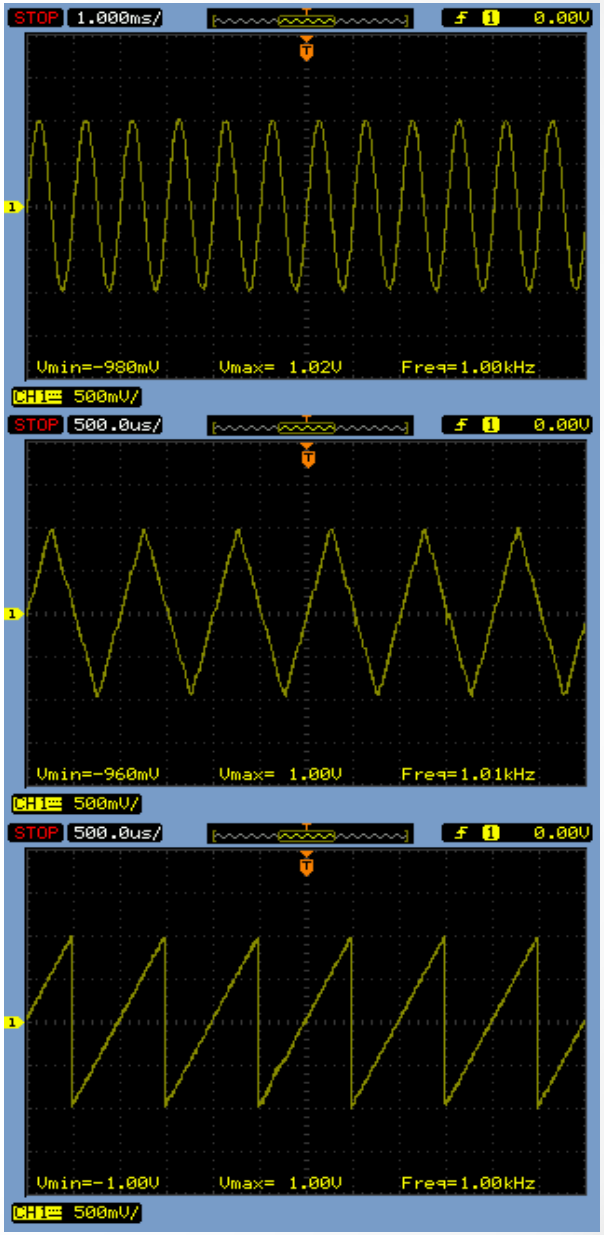


Измерительные (тестовые) сигналы

[redacted]

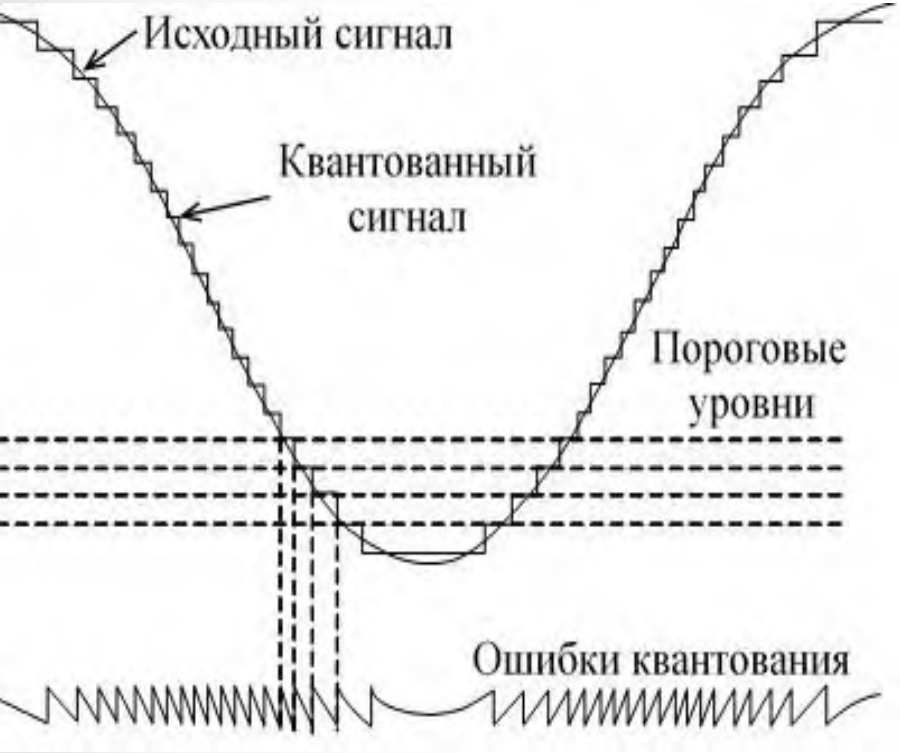
[redacted]

[redacted]

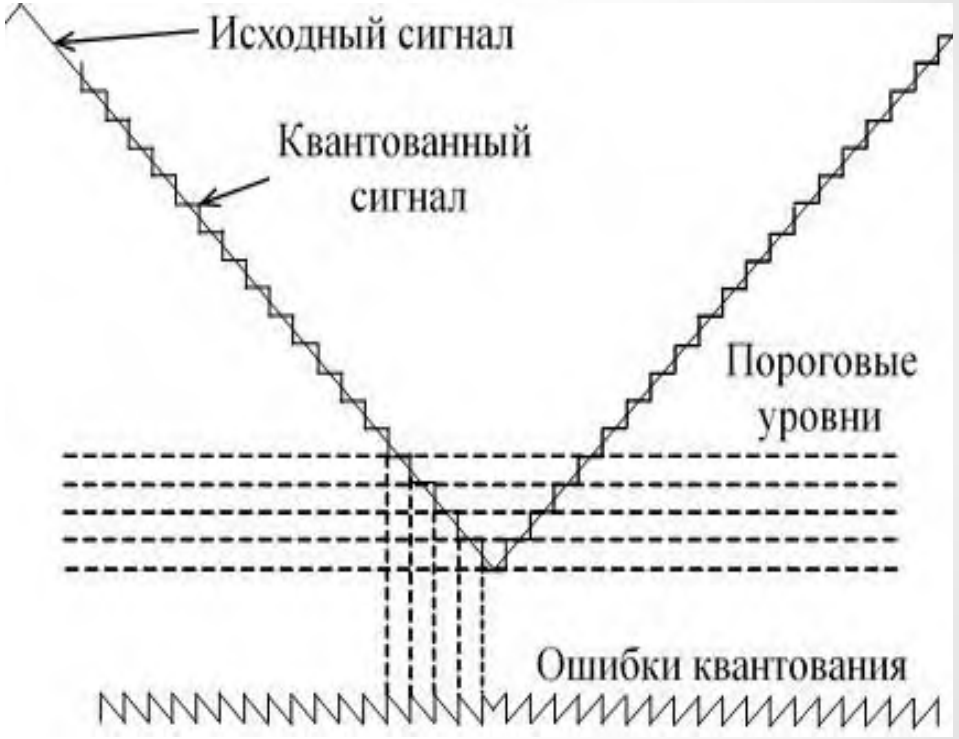


Сравнение сигналов синусоидальной и треугольной формы

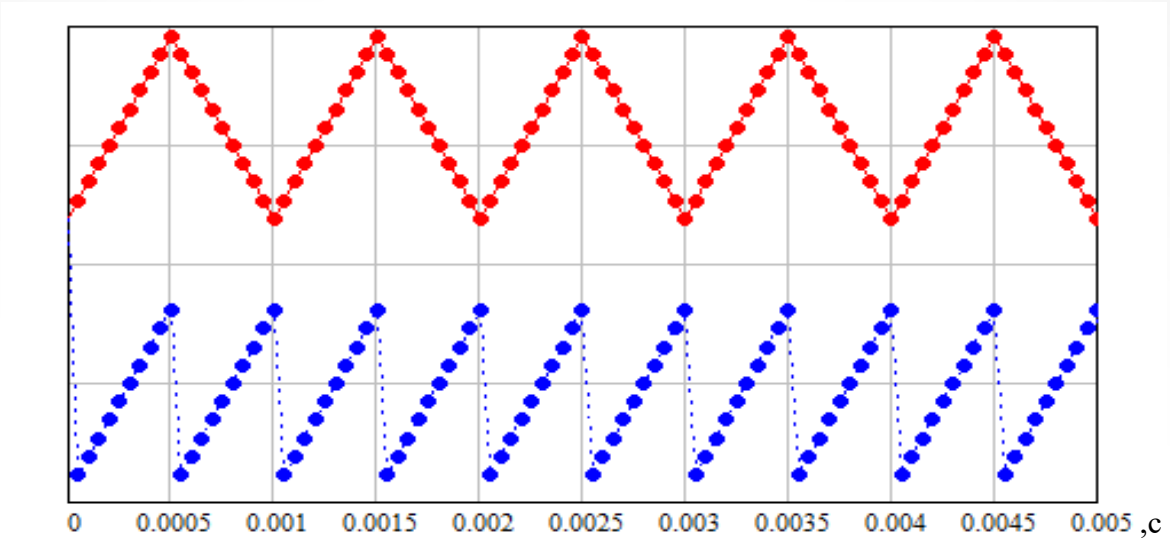
синусоидальный

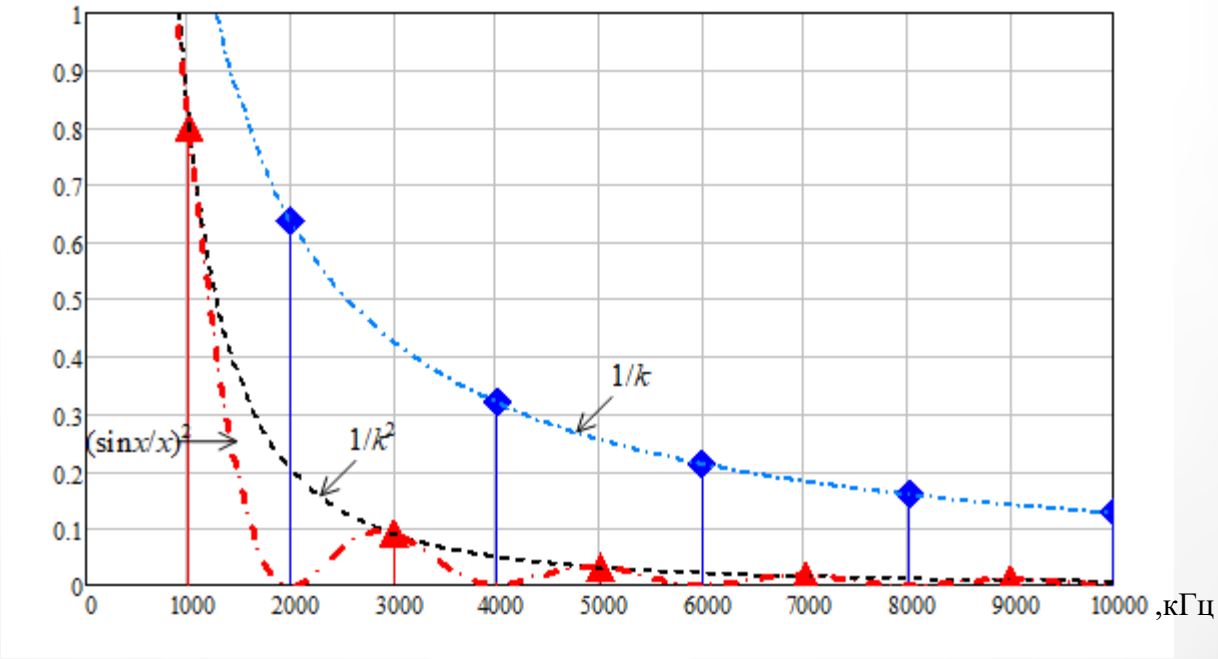


треугольный

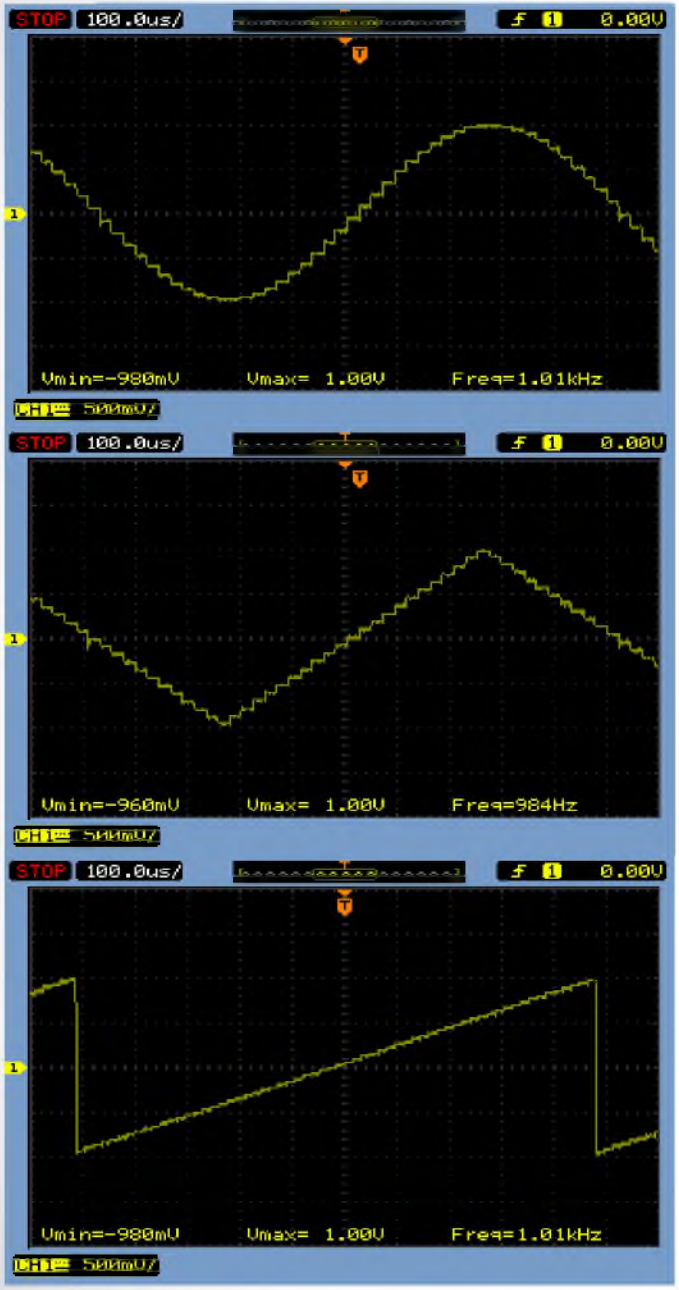


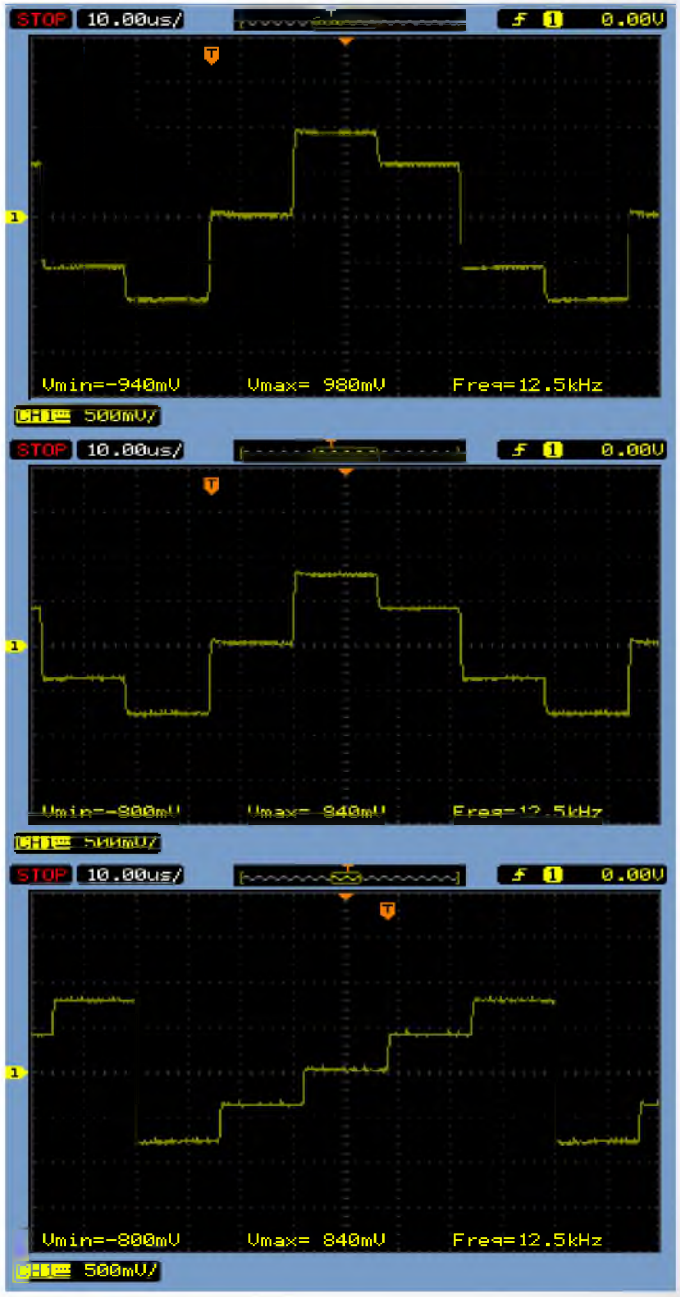
Сравнение сигналов треугольной и пилообразной формы



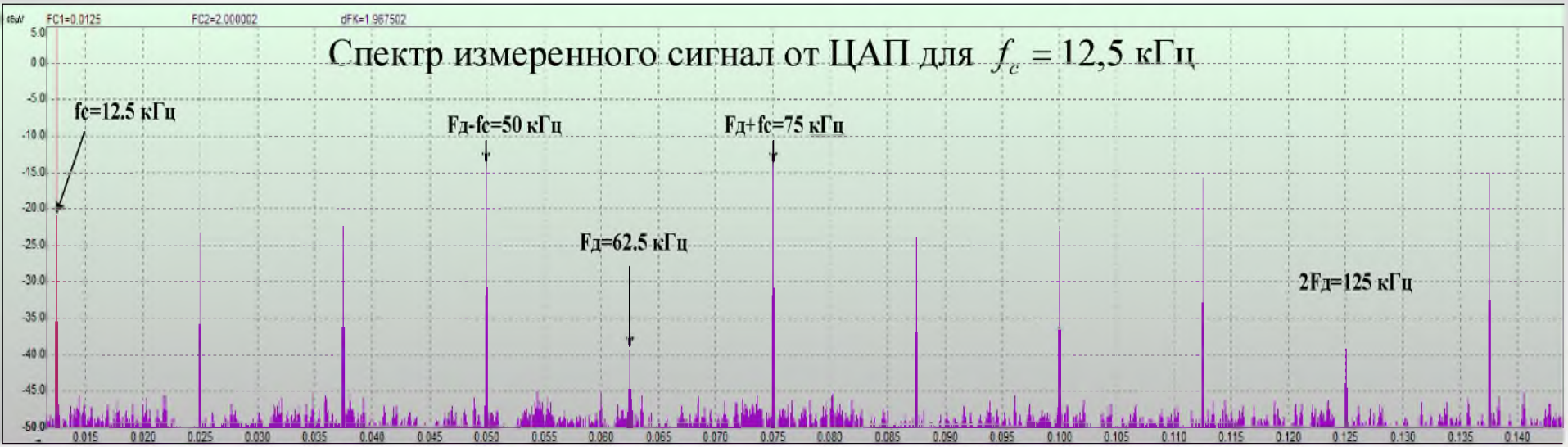


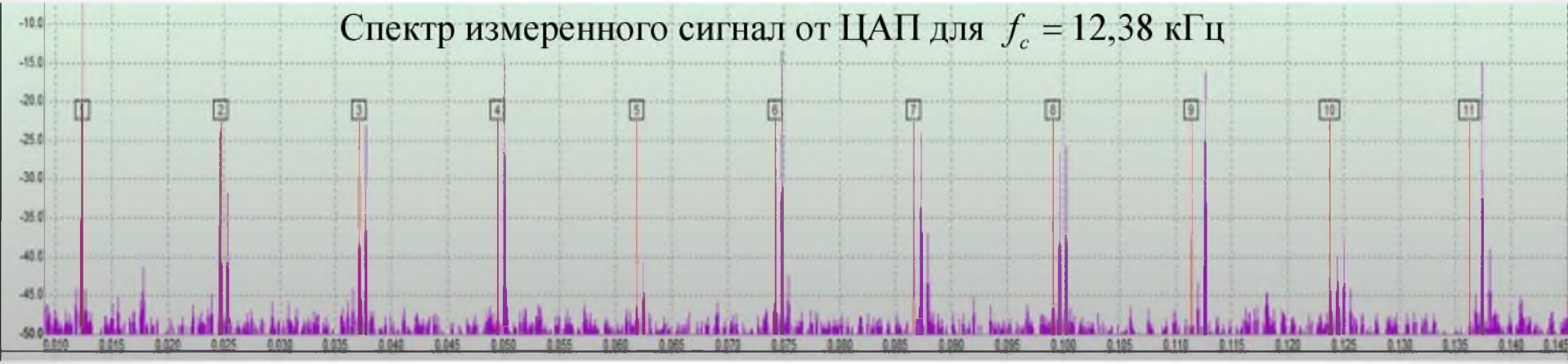
Изменение формы сигнала на выходе ЦАП



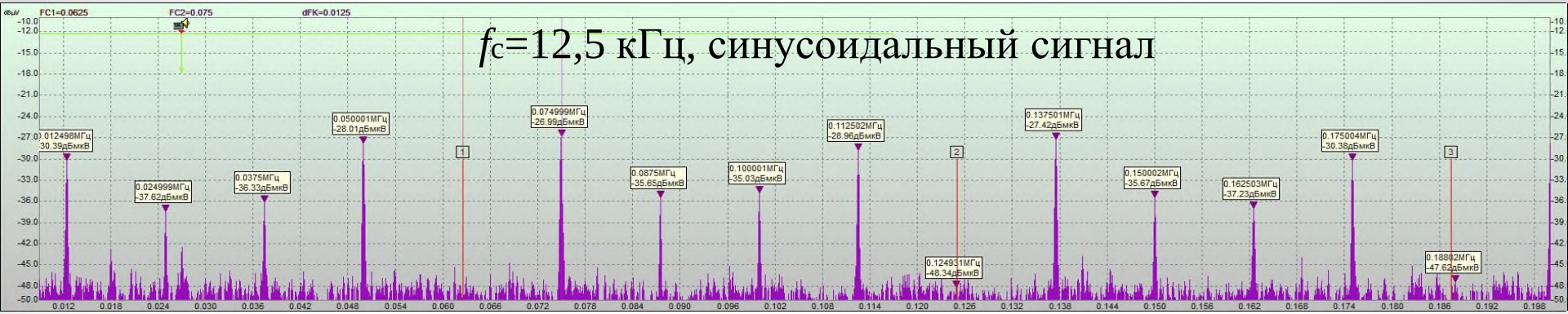


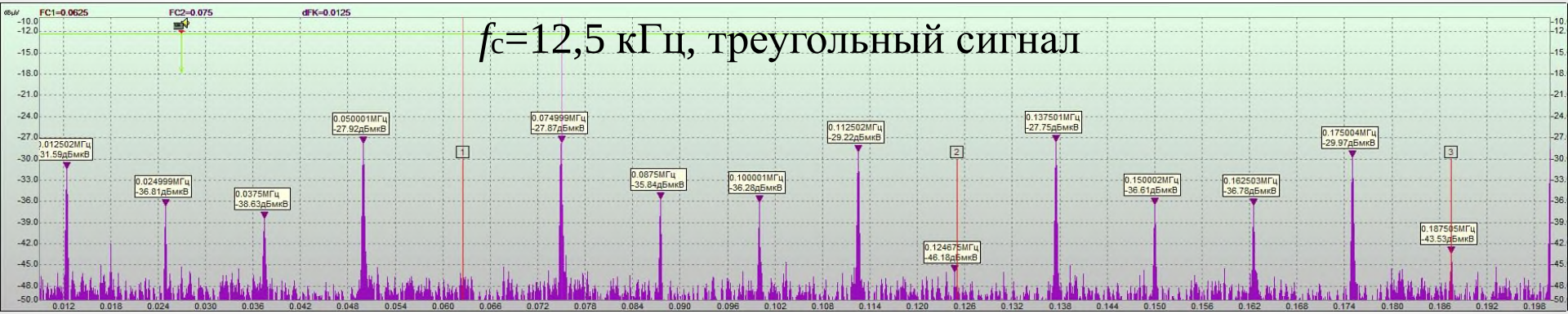
Результаты измерений (ЦАП)

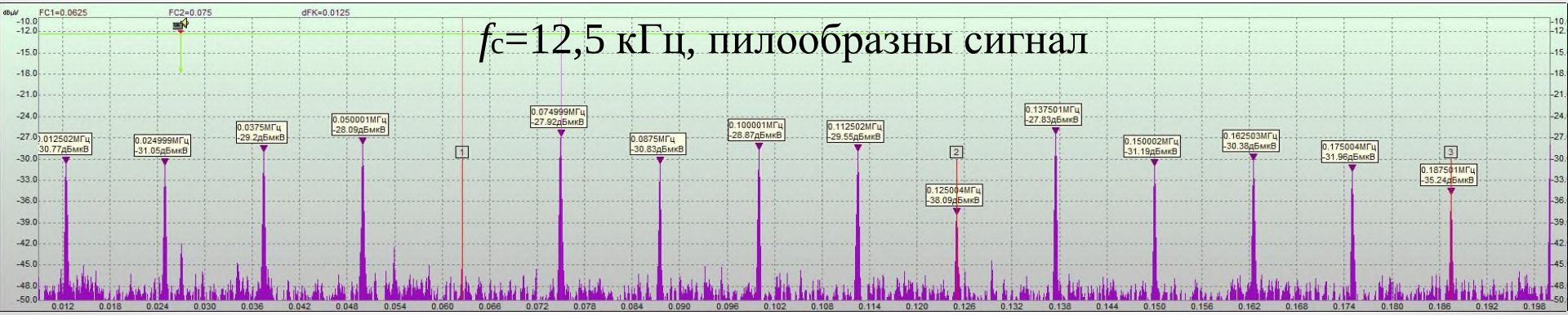




Исследование ПЭМИ ЦАП от формы сигнала



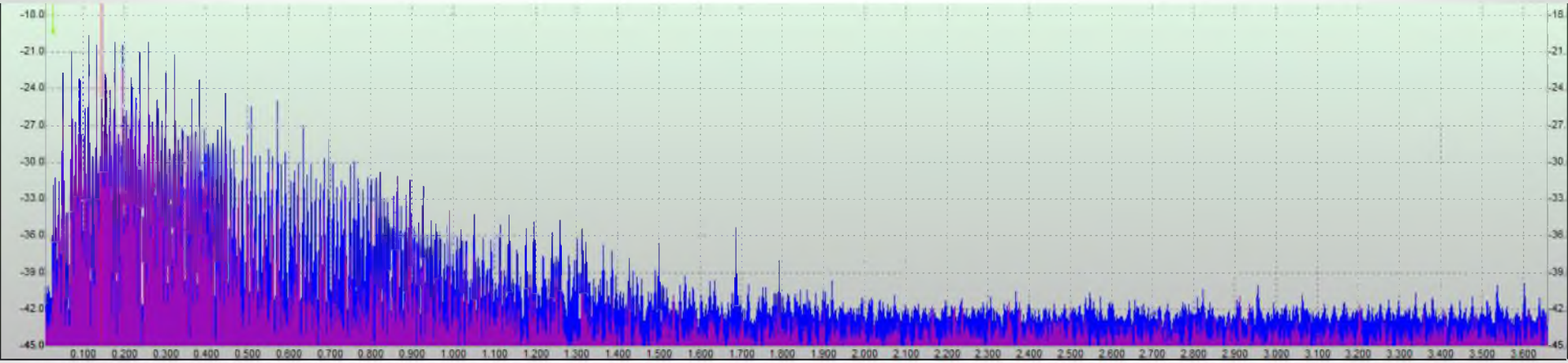


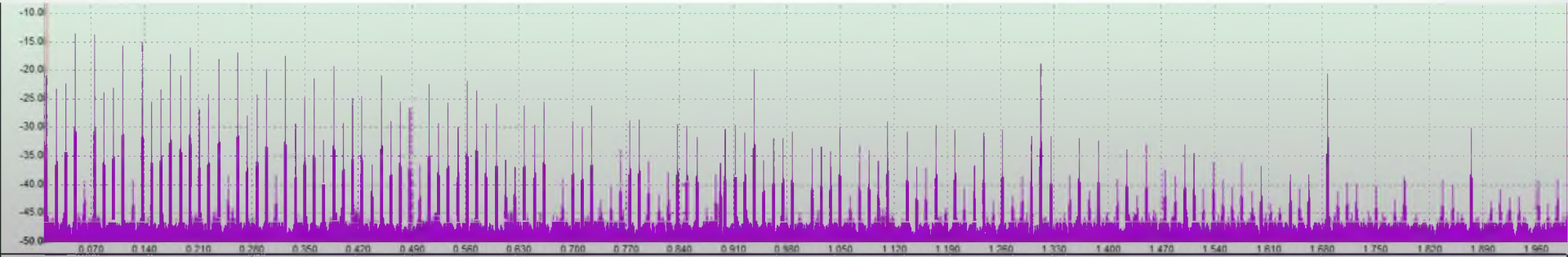


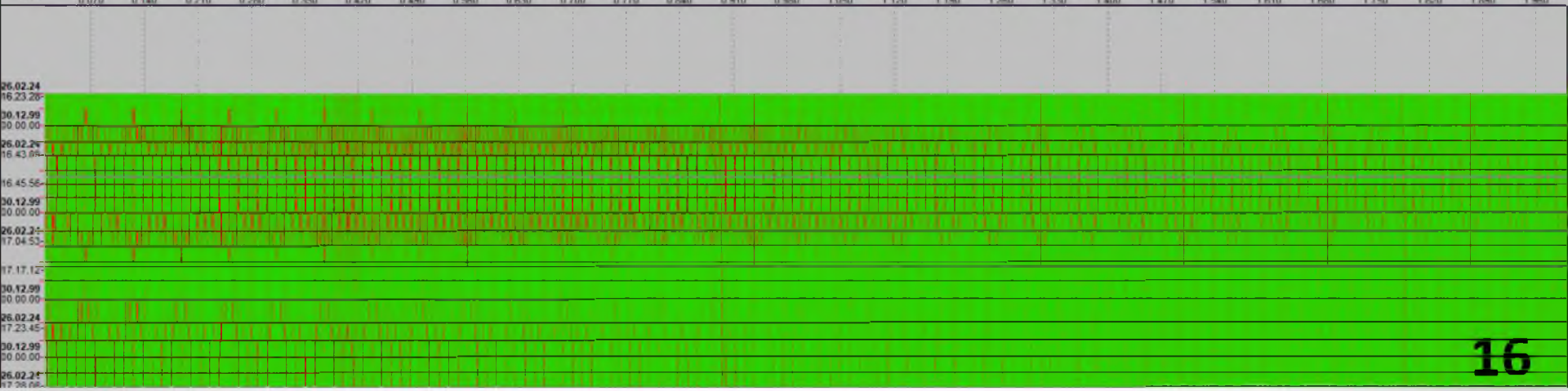
Исследование ПЭМИ ЦАП от частоты сигнала



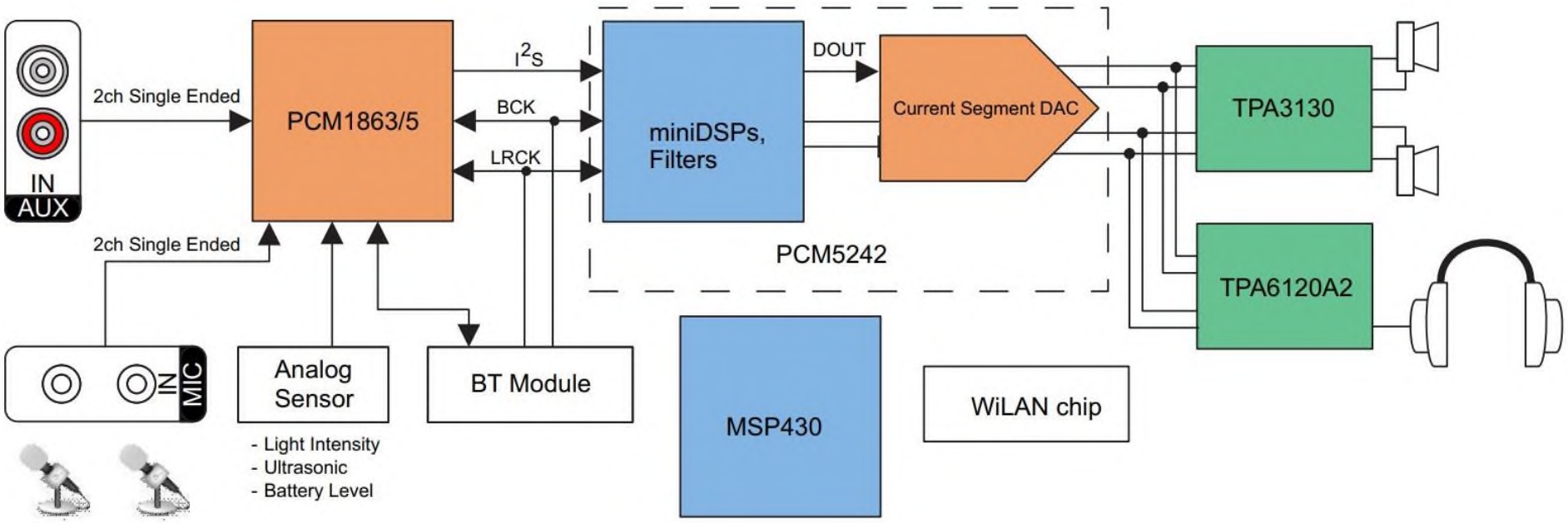
Исследование частотного диапазона ПЭМИ ЦАП







ЭКСПЕРИМЕНТ N (СЗУ студийный монитор)





Частота дискретизации современных СЗУ:
44.1, 48, 96, 192, **384, 768** кГц

ЭКСПЕРИМЕНТ № 2 (СЗУ)



Приведенные частоты измерительного сигнала к субгармоникам частоты дискретизации 348 кГц

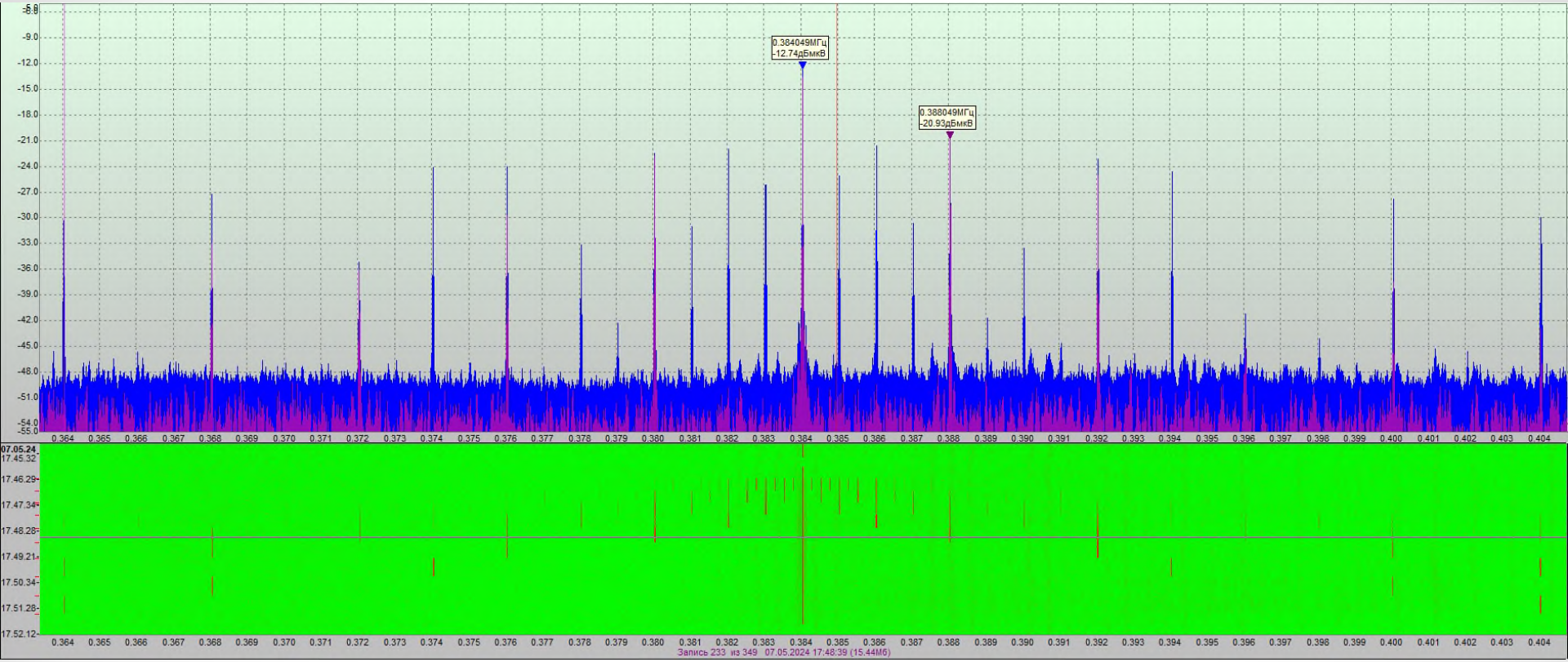
Номер полосы равной разборчивости	Средняя частота и субгармоника 348 кГц, Гц	Число дискретов на период сигнала	Номер полосы равной разборчивости	Средняя частота и субгармоника 348 кГц, Гц	Число дискретов на период сигнала
1	240	1600	11	2000	192
2	480	800	12	2400	160
3	640	600	13	2560	150
4	750	512	14	3000	128
5	960	400	15	3200	120
6	1000	348	16	3840	100
7	1280	300	17	4000	96
8	1500	256	18	4800	80
9	1600	240	19	6000	64
10	1920	200	20	8000	48

Исследование ПЭМИ СЗУ от формы сигнала





Исследование ПЭМИ СЗУ от частоты сигнала



f_c=0.25, 0.5, 1, 2 , **4**, 8, 10, 16, 20 кГц, треугольный сигнал, электрическая антенна

Исследование частотного диапазона ПЭМИ СЗУ



f_C=4 кГц, треугольный сигнал, магнитная антенна



f_C=4 кГц, треугольный сигнал, электрическая антенна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты экспериментальных исследований подтвердили наличие в ЦАП и современных цифровых СЗУ дополнительного канала утечки речевой информации при ее преобразовании в цифровую форму и обратно.

2. Дополнительный канал утечки речевой информации при дискретно-квантованном преобразовании проявляется в виде боковых составляющих частоты дискретизации и их гармоник ($nF_Д \pm mF_c$) в диапазоне частот до 32 $F_Д$.

3. Для повышения достоверности оценки защищенности канала утечки речевых сигналов при дискретно-квантованном преобразовании предложено использование измерительного сигнала треугольной формы. Использование предложенного измерительного сигнала позволяет установить его численную зависимость с численным значением сигнала, принятого в качестве нормированного и сравнить для принятия решения о защищенности речевого сигнала. При этом, оценка защищенности аналогового и дискретно-квантованного речевого сигнала будет производиться по единой методике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Железняк В.К. Математическая модель каналов утечки речевых сигналов при дискретно-квантованном преобразовании / В.К.Железняк, С.В.Лавров, А.Г.Филиппович, М.М. Барановский // Доклады БГУИР. – 2020. – № 18(4).
2. Железняк В.К. Анализ ошибки равномерного квантования периодической импульсной последовательностью треугольной формы в спектральной области / В.К.Железняк [и др.] // Проблемы инфокоммуникаций. – 2022. – № 1(15).
3. Железняк В.К., Синтез измерительного композитного сигнала для оценки защищенности речевых сигналов при дискретно-квантованном преобразовании / В.К.Железняк С.В.Лавров, А.Г.Филиппович, М.М.Барановский // Доклады БГУИР. – 2020. – № 18(6), – С. 81-87.
4. E14-440 Внешний модуль АЦП/ЦАП на шину USB [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.lcard.ru/products/external/e-440.
5. Способ оценки защищенности преобразованного в цифровую форму речевого сигнала: пат. BY 23689 / В.К.Железняк, С.В.Лавров, А.Г.Филиппович, М.М.Барановский. – Опубл. 30.04.2022.
6. Бузов Г.А. Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам / Г.А.Бузов. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2017.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ