

Расчёт и изучение характеристик фильтра Кауэра

1. Цели работы

- освоить расчёт и моделирование фильтра гармоник (фильтр Кауэра);
- оценить влияние «паразитных» элементов на АЧХ фильтра.

При работе радиопередатчика в диапазоне частот для перехода с одной частоты на другую приходится перестраивать цепи связи, в частности, цепи связи с нагрузкой (антенной). Чтобы исключить процедуру настройки цепей связи, которая требует определённого времени и квалификации оператора, в качестве цепей связи используют неперестраиваемые фильтры гармоник, которые в ограниченном диапазоне частот пропускают в нагрузку сигнал основной частоты (первую гармонику) и подавляют вторую и более высокие гармоники сигнала до допустимых по нормам значений. Обычно в качестве фильтров гармоник используются фильтры нижних частот Кауэра, Баттерворта или Чебышева. На рис. 1 в качестве примера изображён фильтр Кауэра шестого порядка.

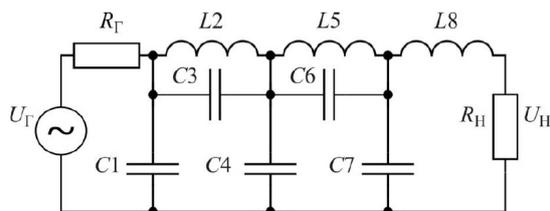


Рис.1. Схема фильтра Кауэра 6 порядка

Как правило, фильтр рассчитывают для случая, когда сопротивление генератора и нагрузки равны друг другу: $R_Г = R_Н$. В этом случае на нагрузке выделяется напряжение $U_Н$ равное половине напряжения генератора $U_Г$.

Частотные характеристики фильтра оценивают с помощью функции рабочего затухания $A(\omega) = 20 \lg 1/|T(j\omega)|$ (рис. 2, а) или обратной ей функции передачи $|T(j\omega)| = 2|U_Н(\omega)/U_Г|$. Резонансные частоты контуров $L2, C3$ и $L5, C6$ фильтра Кауэра отмечены на рисунке частотами f_2 и f_4 .

Полоса задерживания, в которой фильтр обеспечивает гарантированное значение затухания $A_З$ начинается с частоты $f_З$.

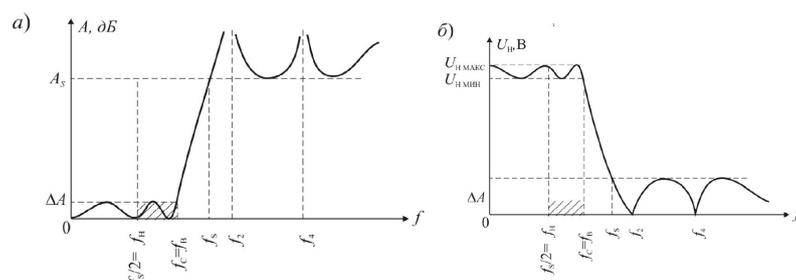


Рис. 2. АЧХ фильтра гармоник

Гарантированное затухание в полосе задерживания определяется по соотношению:

$$A_s = 20 \lg \frac{U_{H \text{ МАКС}}}{U_s} \quad (1)$$

При работе передатчика в диапазоне частот от $f_s/2=f_H$ до $f_{CP}=f_B$ сигнал основной частоты (первая гармоника) без изменений будет передан в нагрузку, а вторая и все более высокие гармоники его сигнала будут ослаблены до уровня A_s .

Частота среза $f_{CP} = f_B$ в фильтрах Кауэра определяется по уровню ΔA (рис. 2, а) или по уровню напряжения $U_{H \text{ МИН}}$ (рис. 2, б). Таким образом, коэффициент перекрытия по частоте определяется по соотношению:

$$\gamma = \frac{f_B}{f_H} = \frac{f_{CP}}{f_s/2} = \frac{2f_{CP}}{f_s} < 2 \quad (2)$$

Причём γ тем ближе к двум, чем больше порядок фильтра. Однако с увеличением порядка фильтра, с ростом числа индуктивностей, увеличиваются потери энергии сигнала, уменьшается КПД фильтра.

Ожидаемый вид характеристики изображён на рис. 2, б.

Неравномерность затухания в полосе пропускания рассчитывается по формуле

$$\Delta A = 20 \lg \frac{U_{H \text{ МАКС}}}{U_{H \text{ МИН}}}, \text{ дБ} \quad (3)$$

Задание

Выполняется при подготовке:

1. Частоту среза и сопротивление нагрузки – из табл. 1, нормированные значения элементов фильтра выписать из табл. 2.

Таблица 1

Частота среза и сопротивление нагрузки

| | | | | | | |
|-----------------------------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|
| №№ заданий | 1...5 | 6...10 | 11...15 | 16...20 | 21...24 | 25...28 |
| Частота среза f_{CP} , МГц | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 |
| Сопротивление нагрузки R_H , Ом | 50 | 75 | 50 | 75 | 50 | 75 |

Значения элементов фильтра

| № задания | Схема по рис. № | Нормированные величины элементов | | | | | | | |
|-----------|-----------------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 | α_5 | α_6 | α_7 | α_8 |
| 1 | а | 0,153 | 0,677 | 0,490 | 0,920 | 0,517 | 1,080 | 0,632 | 0,511 |
| 2 | г | 0,349 | 0,870 | 0,203 | 1,040 | 0,443 | 0,899 | 0,012 | |
| 3 | а | 0,270 | 0,815 | 0,284 | 1,020 | 0,770 | 0,536 | 0,797 | 0,505 |
| 4 | в | 0,546 | 0,987 | 0,324 | 1,170 | 0,447 | 1,419 | 0,107 | |
| 5 | б | 0,153 | 0,677 | 0,490 | 0,920 | 0,517 | 1,080 | 0,632 | 0,511 |
| 6 | в | 0,349 | 0,870 | 0,203 | 1,040 | 0,443 | 0,899 | 0,012 | |
| 7 | в | 0,626 | 1,110 | 0,192 | 1,270 | 0,712 | 0,653 | 0,349 | |
| 8 | в | 0,680 | 1,187 | 0,115 | 1,373 | 0,921 | 0,345 | 0,507 | |
| 9 | в | 0,861 | 1,216 | 0,145 | 1,498 | 0,919 | 0,434 | 0,653 | |
| 10 | в | 1,144 | 1,153 | 0,202 | 1,670 | 0,834 | 0,599 | 0,875 | |
| 11 | в | 1,202 | 1,224 | 0,124 | 1,823 | 1,006 | 0,348 | 1,024 | |
| 12 | а | 0,515 | 1,067 | 0,257 | 1,210 | 0,990 | 0,481 | 1,070 | 0,736 |
| 13 | а | 0,646 | 1,110 | 0,299 | 1,227 | 0,990 | 0,565 | 1,125 | 0,897 |
| 14 | а | 0,730 | 1,230 | 0,188 | 1,375 | 1,213 | 0,340 | 1,237 | 0,889 |
| 15 | а | 0,847 | 1,116 | 0,354 | 1,229 | 0,967 | 0,663 | 1,145 | 1,138 |
| 16 | а | 0,944 | 1,242 | 0,230 | 1,399 | 1,211 | 0,408 | 1,256 | 1,146 |
| 17 | б | 0,270 | 0,815 | 0,284 | 1,020 | 0,770 | 0,536 | 0,797 | 0,505 |
| 18 | б | 0,515 | 1,067 | 0,257 | 1,210 | 0,990 | 0,481 | 1,070 | 0,736 |
| 19 | б | 0,646 | 1,110 | 0,299 | 1,227 | 0,990 | 0,565 | 1,125 | 0,897 |
| 20 | б | 0,730 | 1,230 | 0,188 | 1,375 | 1,213 | 0,340 | 1,237 | 0,889 |
| 21 | б | 0,847 | 1,116 | 0,354 | 1,229 | 0,967 | 0,663 | 1,145 | 1,138 |
| 22 | б | 0,944 | 1,242 | 0,230 | 1,399 | 1,211 | 0,408 | 1,256 | 1,146 |
| 23 | г | 0,546 | 0,987 | 0,324 | 1,170 | 0,447 | 1,419 | 0,107 | |
| 24 | г | 0,626 | 1,110 | 0,192 | 1,270 | 0,712 | 0,653 | 0,349 | |
| 25 | г | 0,680 | 1,187 | 0,115 | 1,373 | 0,921 | 0,345 | 0,507 | |
| 26 | г | 0,861 | 1,216 | 0,145 | 1,498 | 0,919 | 0,434 | 0,653 | |
| 27 | г | 1,144 | 1,153 | 0,202 | 1,670 | 0,834 | 0,599 | 0,875 | |
| 28 | г | 1,202 | 1,224 | 0,124 | 1,823 | 1,006 | 0,348 | 1,024 | |

2. Начертить схему фильтра Кауэра в соответствии с номером задания из табл. 1 по рис. 3 (в любой программе).

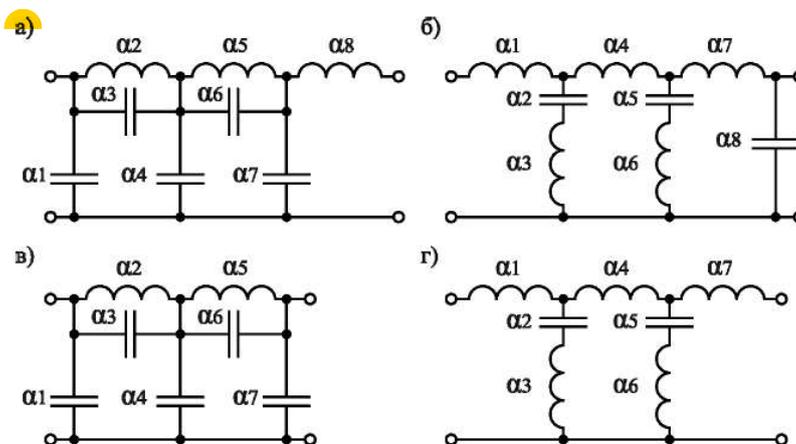


Рис.3. Схемы фильтров Кауэра (фильтров гармоник)

3. Рассчитать денормированные значения индуктивностей и емкостей по формулам:

$$C_i = \frac{\alpha_i}{\omega_{\text{ср}} R}; \quad L_i = \frac{\alpha_i R}{\omega_{\text{ср}}} \quad (4)$$

где

$\omega_{\text{ср}}$ – частота среза фильтра, $\omega_{\text{ср}} = 2\pi f_{\text{ср}}$;

α_i – нормированное значение элемента;

R – сопротивление нагрузки фильтра.

4. Изобразить ожидаемый вид частотной зависимости U_H . (Весь расчёт фильтра и построение ожидаемой частотной зависимости U_H - производить в программе Mathcad).
5. Выполняется в классе в Оркаде.

Изобразить на поле OrCAD рассчитанную схему. Выполнить анализ её частотных характеристик.

По результатам моделирования, используя соотношения (1)–(3), рассчитать значения гарантированного затухания в полосе задерживания A_s (дБ) и ΔA , полосу частот $f_H \dots f_B$, в которой подавление второй гармоники каскада, работающего с отсечкой тока, будет равно гарантированному и коэффициент перекрытия по частоте (рис 2).

Затем, чтобы оценить влияние на характеристики фильтра паразитных параметров элементов, добавить в схемы:

- индуктивности выводов $L_{\text{ВЫВ}} = 20 \text{ нГ}$, включённые последовательно с конденсаторами $C1, C4, C7$ для фильтров, изображённых на рис. 1, а, в;
- собственные ёмкости $C_{\text{ПАР}} = 5 \text{ пФ}$ катушек индуктивностей $L1, L4, L7$ для фильтров, изображённых на рис. 1, б, г.

Промоделировать АЧХ с установленными паразитными элементами и сравнить с исходными АЧХ.

Содержание курсовой работы:

1. Описание фильтра Кауэра (что это за фильтр, в каких случаях применяется).
2. Принципиальная схема фильтра.
3. Расчётные значения денормированных параметров.
4. Прогнозируемый вид частотной характеристики из маткада.
5. Частотные характеристики, построенные в ходе моделирования в Оркаде
6. Принципиальная схема фильтра с паразитными элементами и её частотная характеристика.
7. Выводы по результатам работы.