

## Контрольная работа №2

### Задача 2 (7 0 0)

Рассчитать и построить цепочечные и мостовой фильтры.

\*

Исходные данные

Цепочечный фильтр **ВЧ**      Мостовой фильтр **ВЧ**

Номинальное характеристическое сопротивление

цепочечного фильтра  $R_1 = 1.6$  кОм;

мостового фильтра  $R_2 = 0.5$  кОм.

Предельная частота

цепочечного фильтра  $f_{c1} = 2.5$  кГц;

мостового фильтра  $f_{c2} = 6.4$  кГц.

Отношение частот среза и бесконечно большого затухания

$$\frac{f_c}{f_\infty} \text{ или } \frac{f_\infty}{f_c} = 1,15$$

В задаче требуется выполнить следующее:

начертить возможные схемы заданных цепочечных фильтров типов  $k$ - и  $m$  Г-образного полувзена, П- и Т-образных звеньев, схему мостового фильтра;

рассчитать частотные характеристики затухания и сопротивления фильтров в полосе пропускания и задерживания, а также построить по данным расчета графики; проанализировать полученные характеристики и отметить их особенности для различных фильтров;

написать выражения для определения частот среза (полосы пропускания) цепочечных и мостового фильтров и пояснить, как ими пользоваться на практике.

1) Схемы фильтров.

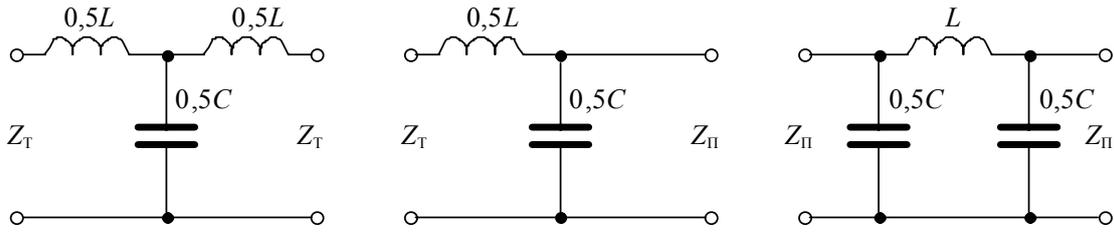


Рис. 1. Фильтр нижних частот типа  $k$ .

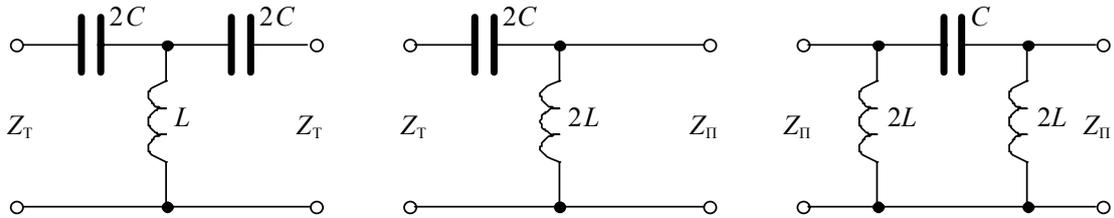


Рис. 2. Фильтр верхних частот типа  $k$ .

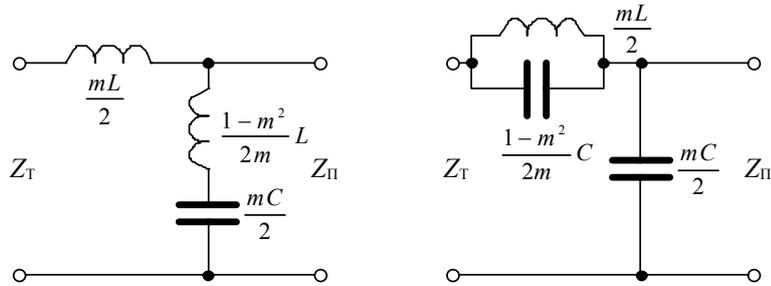


Рис. 3. Фильтр нижних частот типа  $m$  Г-образного полузвена.

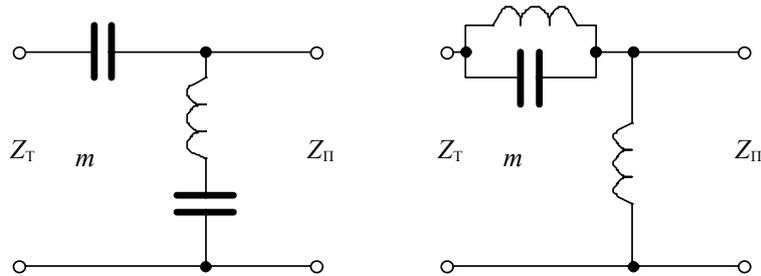


Рис. 4. Фильтр верхних частот типа  $m$  Г-образного полузвена.

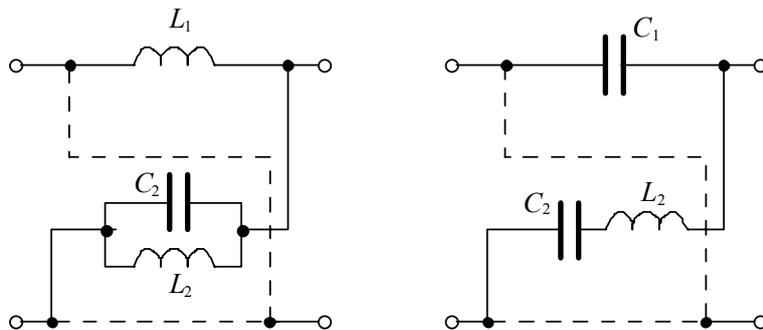


Рис. 5. Мостовой фильтр а) нижних частот б) верхних частот.

2) Рассчитаем частотные характеристики затухания и сопротивления фильтров в полосе пропускания и задерживания, а также построим по данным расчета графики

\*

**ФНЧ типа  $k$**  (рис. 1).

*Частотные характеристики сопротивления.*

$$Z_T = R\sqrt{1-\Omega^2} \quad Z_{II} = \frac{R}{\sqrt{1-\Omega^2}} \quad \Omega = \frac{f}{f_c}$$

$Z_T, \text{кОм}$                       акт                       $f_c$                        $j$

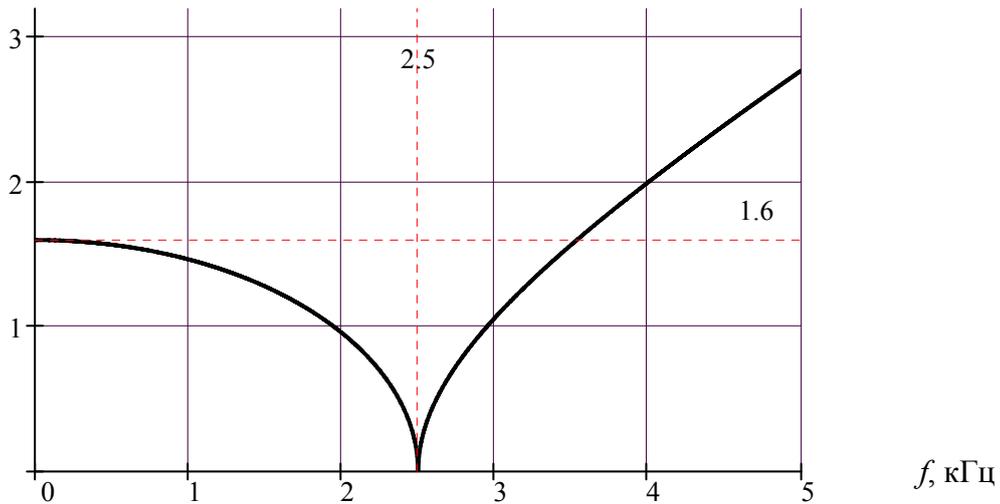


Рис. 6. Частотная характеристика сопротивления  $T$ -фильтра

$Z_{II}, \text{кОм}$                       акт                       $f_c$                        $j$

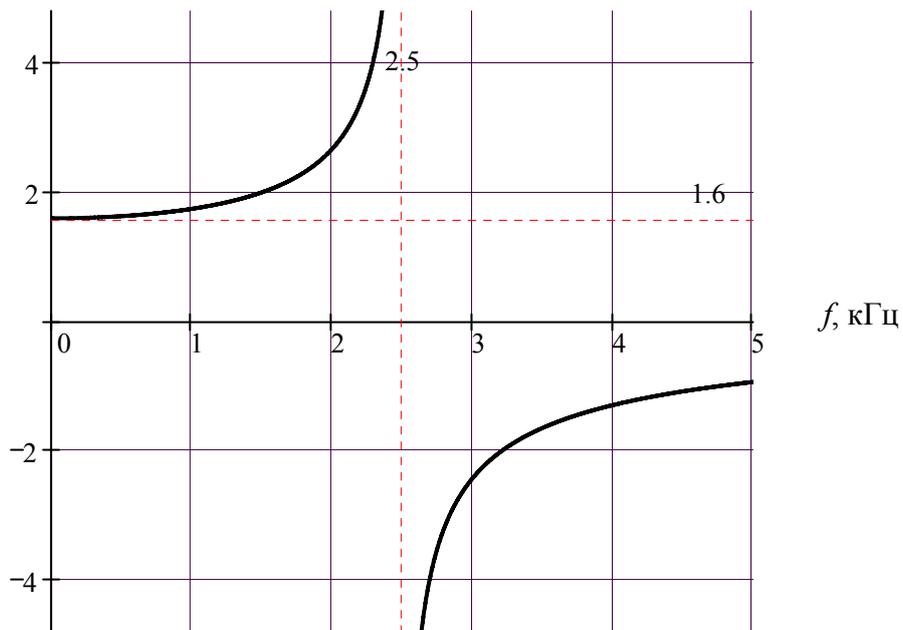


Рис. 7. Частотная характеристика сопротивления  $II$ -фильтра

Частотные характеристики затухания.

Затухание в полосе пропускания ( $f < f_c$ )  $a = 0$ ,

Затухание в полосе задерживания ( $f > f_c$ )  $ch\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{f}{f_c}$ .

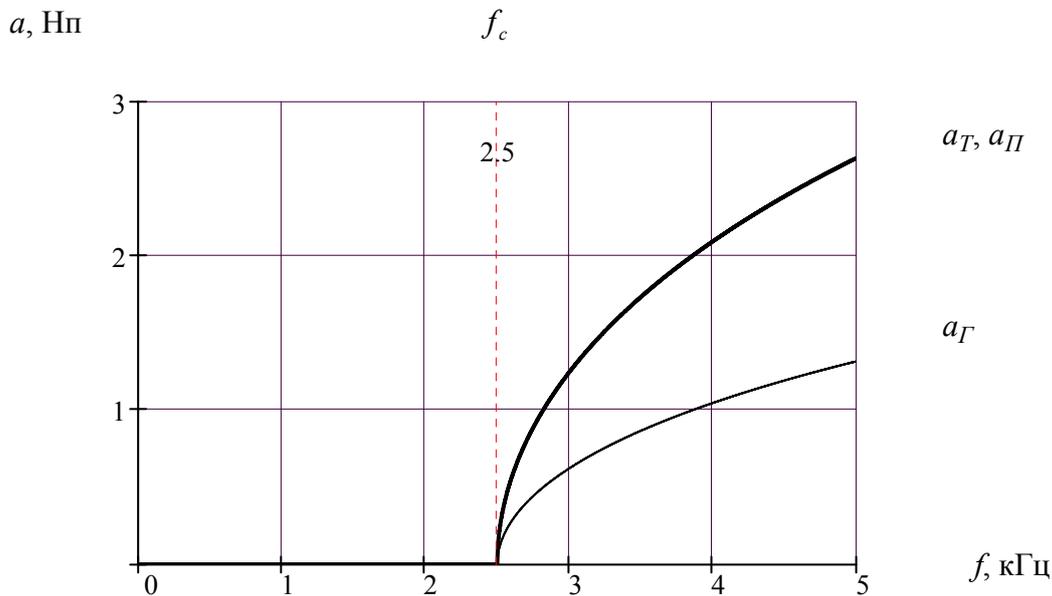


Рис. 8. Частотная характеристика затухания.

Характеристические сопротивления звеньев очень сильно изменяются с частотой. В полосе пропускания характеристические сопротивления активны. В полосе задерживания они становятся реактивными, поэтому невозможно подобрать нагрузочное сопротивление так, чтобы во всей полосе рабочих частот оно было равно характеристическому сопротивлению.

В полосе частот от нуля до частоты, равной половине частоты среза, характеристическое сопротивление меняется не очень сильно:

для  $T$ -образного звена оно изменяется от  $R$  до  $0,865R$ ,

для  $\Pi$ -образного от  $R$  до  $1,16R$ .

Поэтому нагрузочное сопротивление для  $T$ -образного звена надо брать несколько меньше  $R$ , а для  $\Pi$ -образного звена несколько больше.

\*

ФВЧ типа  $k$  (рис. 2).

Частотные характеристики сопротивления.

$$Z_T = \frac{R\sqrt{\Omega^2 - 1}}{\Omega} \quad Z_{II} = \frac{R\Omega}{\sqrt{\Omega^2 - 1}} \quad \Omega = \frac{f}{f_c}$$

$Z_T$ , кОм

$j$

$f_c$

акт

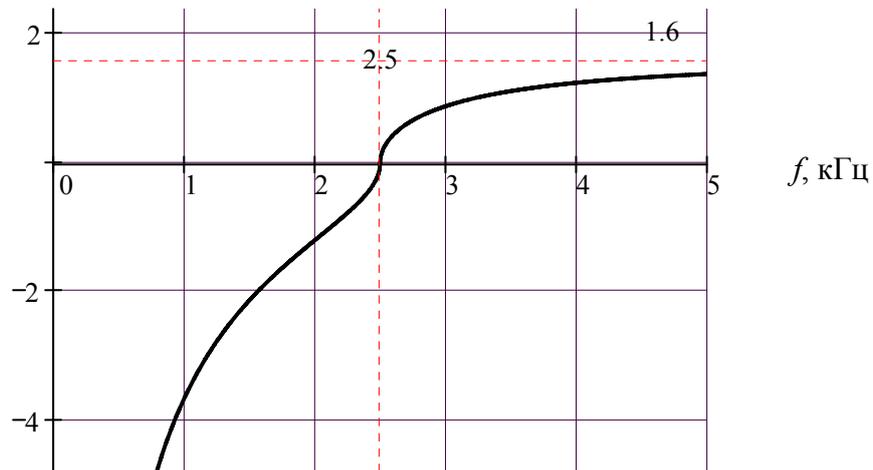


Рис. 9. Частотная характеристика сопротивления  $T$ -фильтра

$Z_{II}$ , кОм

$j$

$f_c$

акт

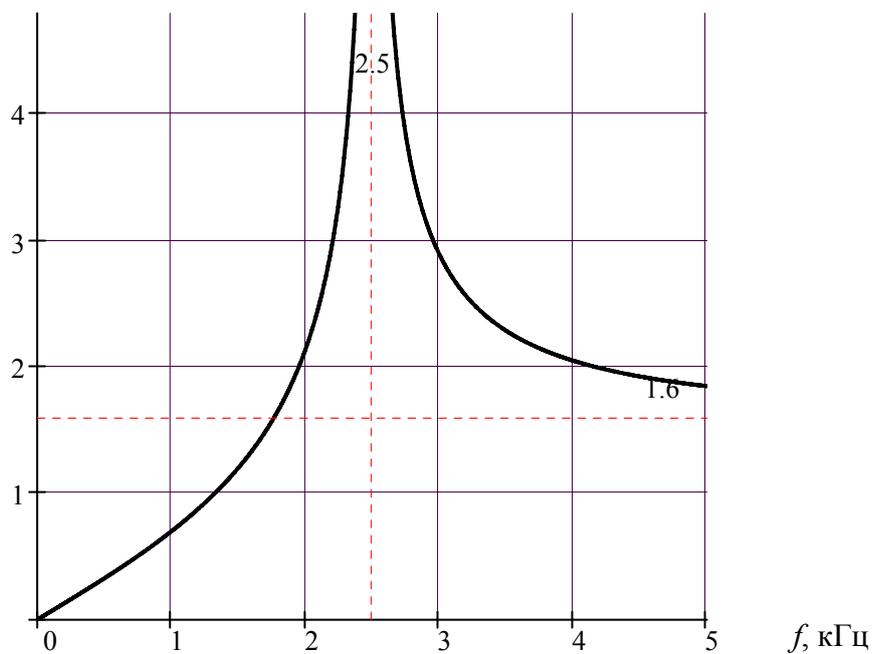


Рис. 10. Частотная характеристика сопротивления  $\Pi$ -фильтра

Частотные характеристики затухания.

Затухание в полосе пропускания ( $f > f_c$ )  $a = 0$ ,

Затухание в полосе задерживания ( $f < f_c$ )  $ch\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{f_c}{f}$ .

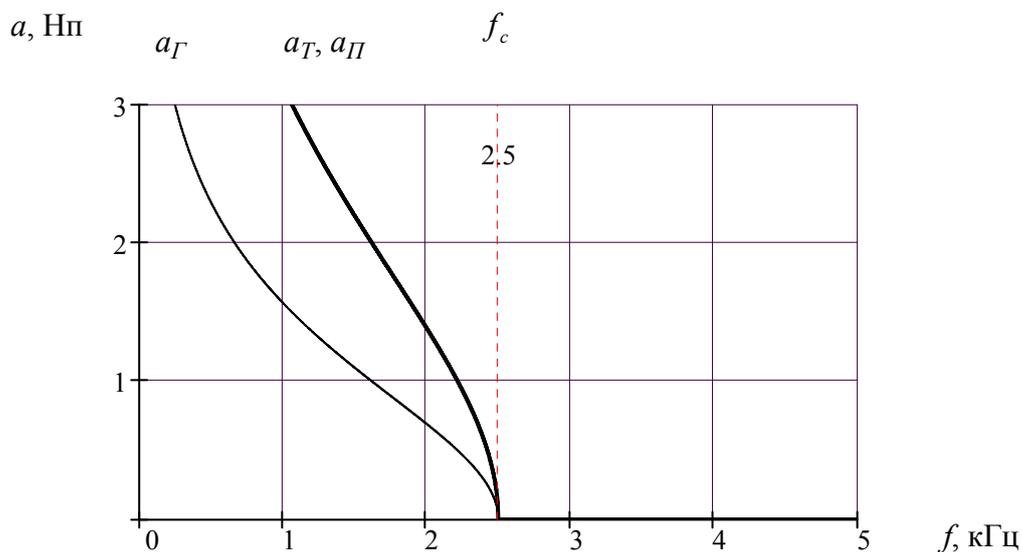


Рис. 11. Частотная характеристика затухания.

Характеристические сопротивления звеньев очень сильно изменяются с частотой. В полосе пропускания характеристические сопротивления активны. В полосе задерживания они становятся реактивными, поэтому невозможно подобрать нагрузочное сопротивление так, чтобы во всей полосе рабочих частот оно было равно характеристическому сопротивлению.

Поэтому нагрузочное сопротивление для  $T$ -образного звена надо брать несколько меньше  $R$ , а для  $\Pi$ -образного звена несколько больше.

\*

ФНЧ типа  $m$  Г-образного полувена (рис. 3).

Частотные характеристики сопротивления.

$$Z_{Tm} = \frac{R \cdot \Omega_\infty^2 \cdot \sqrt{1 - \Omega^2}}{\Omega_\infty^2 - \Omega^2} \quad Z_{IIm} = \frac{R(\Omega_\infty^2 - \Omega^2)}{\Omega_\infty^2 \cdot \sqrt{1 - \Omega^2}} \quad \Omega = \frac{f}{f_c} \quad \Omega_\infty = \frac{f_\infty}{f_c} > 1$$

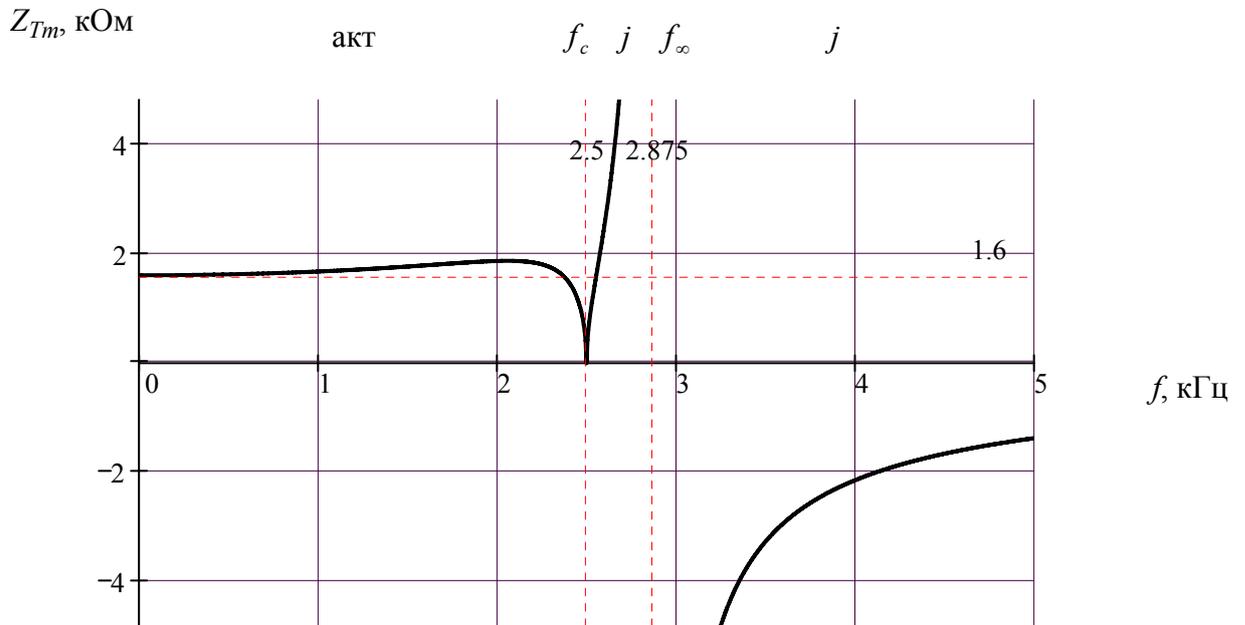


Рис. 12. Частотная характеристика сопротивления  $Z_{Tm}$  фильтра типа  $m$  Г-образного полувена.

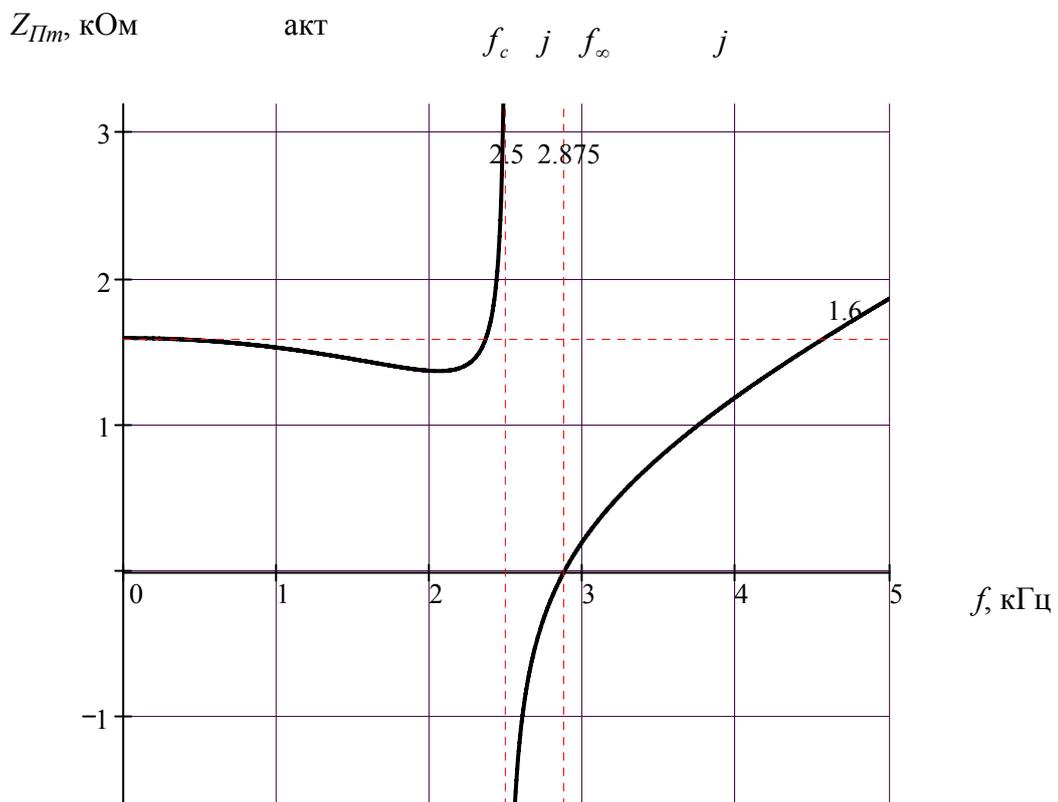


Рис. 13. Частотная характеристика сопротивления  $Z_{IIm}$  фильтра типа  $m$  Г-образного полувена.

Частотные характеристики затухания.

Затухание в полосе пропускания  $(0 < f < f_c)$   $a = 0$ ,

Затухание в полосе задерживания  $(f_c < f < f_\infty)$   $ch\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m \cdot \Omega}{\sqrt{1 - \Omega^2(1 - m^2)}}$ ,

Затухание в полосе задерживания  $(f_\infty < f)$   $sh\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2(1 - m^2) - 1}}$ ,

где  $m = \sqrt{1 - \frac{1}{\Omega_\infty^2}}$

$a$ , Нп

$f_c$   $f_\infty$

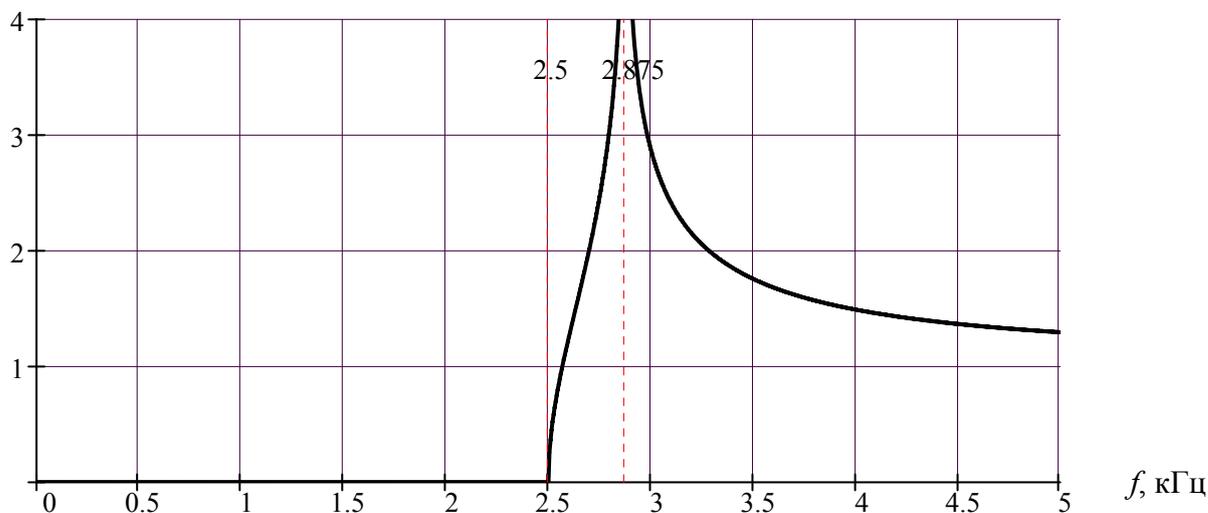


Рис. 14. Частотная характеристика затухания.

При надлежащем подборе  $m$  можно добиться того, что характеристическое сопротивление  $Z_{II_m}$  в полосе пропускания мало отличается от номинального характеристического сопротивления  $R$ . Для зависимости характеристического сопротивления  $Z_{II_m}$  характерно следующее, при  $m = 0,59$  оно отклоняется всего на 5% от  $R$  в полосе частот от нуля до  $0,88f_c$ , что дает возможность избавиться от основного недостатка, присущего фильтру типа  $k$ . Однако фильтр типа  $m$  имеет тот недостаток, что при большом затухании на частотах, близких к частоте среза, он обладает сравнительно малым затуханием на отдаленных частотах. Поэтому цепочечный фильтр естественно составлять из более простых звеньев типа  $k$ , обеспечивающих достаточное собственное затухание в полосе задерживания, а в начале и конце фильтра присоединять полузвенья типа  $m$ , которые имеют те же граничные частоты и должны обеспечить большое затухание на частотах, близких к частоте среза. Они согласуются, с одной стороны, с  $T$ -образными звеньями фильтра типа  $k$  с помощью характеристического сопротивления  $Z_{Tm}$ , с другой стороны, с нагрузкой (или с источником) с помощью сопротивления  $Z_{II_m}$ , которое, как указано выше, мало меняется с частотой в полосе пропускания. Таким образом, получается лестничный фильтр, состоящий из согласованных между собой звеньев и полузвеньев, характеристические сопротивления которого на входе и на выходе равны  $Z_{II_m}$  и поэтому мало меняются с частотой. Полузвенья типа  $m$  обеспечивают большое затухание на частотах, близких к граничной частоте, а звенья типа  $k$  достаточное затухание на далеких частотах.



Частотные характеристики затухания.

Затухание в полосе пропускания  $(0 < f < f_\infty)$   $sh\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m}{\sqrt{(1-m^2) - \Omega^2}}$ ,

Затухание в полосе задерживания  $(f_\infty < f < f_c)$   $ch\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m}{\sqrt{\Omega^2 - (1-m^2)}}$ ,

Затухание в полосе задерживания  $(f_c < f)$   $a = 0$ ,

где  $m = \sqrt{1 - \Omega_\infty^2}$

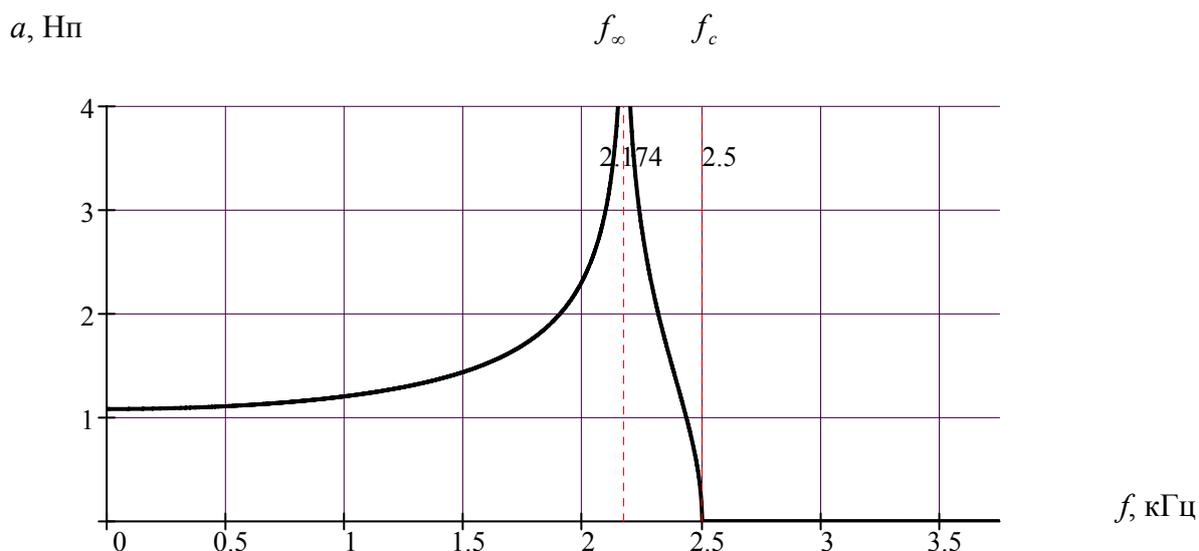


Рис. 17. Частотная характеристика затухания.

При надлежащем подборе  $m$  можно добиться того, что характеристическое сопротивление  $Z_{II_m}$  в полосе пропускания мало отличается от номинального характеристического сопротивления  $R$ . Для зависимости характеристического сопротивления  $Z_{II_m}$  характерно следующее, при  $m = 0,59$  оно отклоняется всего на 5% от  $R$  в полосе частот от нуля до  $0,88f_c$ , что дает возможность избавиться от основного недостатка, присущего фильтру типа  $k$ . Однако фильтр типа  $m$  имеет тот недостаток, что при большом затухании на частотах, близких к частоте среза, он обладает сравнительно малым затуханием на отдаленных частотах. Поэтому цепочечный фильтр естественно составлять из более простых звеньев типа  $k$ , обеспечивающих достаточное собственное затухание в полосе задерживания, а в начале и конце фильтра присоединять полузвенья типа  $m$ , которые имеют те же граничные частоты и должны обеспечить большое затухание на частотах, близких к частоте среза. Они согласуются, с одной стороны, с  $T$ -образными звеньями фильтра типа  $k$  с помощью характеристического сопротивления  $Z_{T_m}$ , с другой стороны, с нагрузкой (или с источником) с помощью сопротивления  $Z_{II_m}$ , которое, как указано выше, мало меняется с частотой в полосе пропускания. Таким образом, получается лестничный фильтр, состоящий из согласованных между собой звеньев и полузвеньев, характеристические сопротивления которого на входе и на выходе равны  $Z_{II_m}$  и поэтому мало меняются с частотой. Полузвенья типа  $m$  обеспечивают большое затухание на частотах, близких к граничной частоте, а звенья типа  $k$  достаточное затухание на далеких частотах.

Мостовой ФНЧ (рис. 5 а).

Частотные характеристики сопротивления.  $Z_M = R\sqrt{1-\Omega^2}$        $\Omega = \frac{f}{f_c}$

$Z_M$ , кОм

акт

$f_c$

$j$

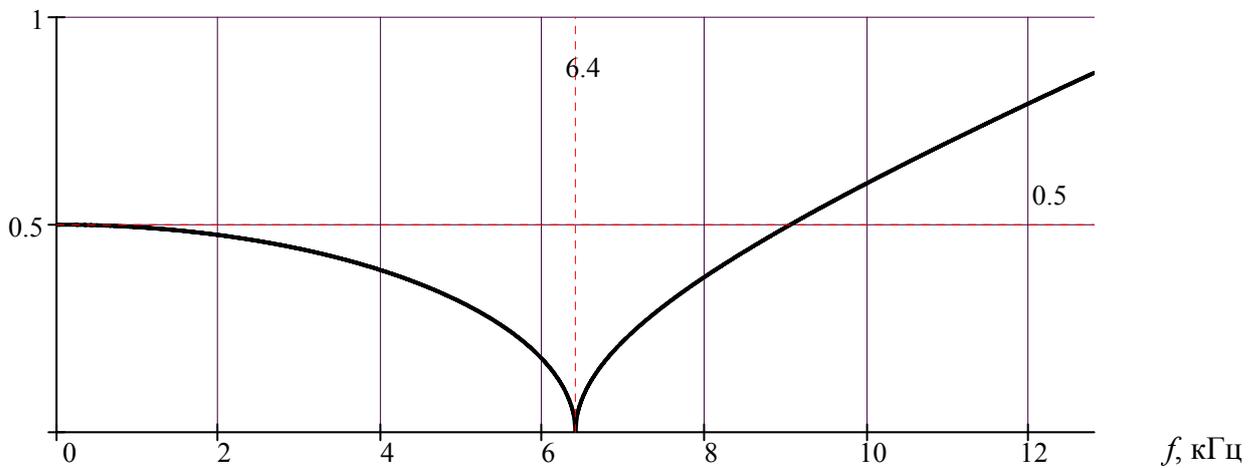


Рис. 18. Частотная характеристика сопротивления мостового фильтра

Частотные характеристики затухания.

Затухание в полосе пропускания       $(0 < f < f_c)$        $a = 0$ ,

Затухание в полосе задерживания       $(f_c < f < f_\infty)$        $cth\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2 - 1}}$

Затухание в полосе задерживания       $(f_\infty < f)$        $th\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m \cdot \Omega}{\sqrt{\Omega^2 - 1}}$

где  $m = \sqrt{1 - \frac{1}{\Omega_\infty^2}}$        $\Omega_\infty = \frac{f_\infty}{f_c} > 1$

$a$ , Нп

$f_c$

$f_\infty$

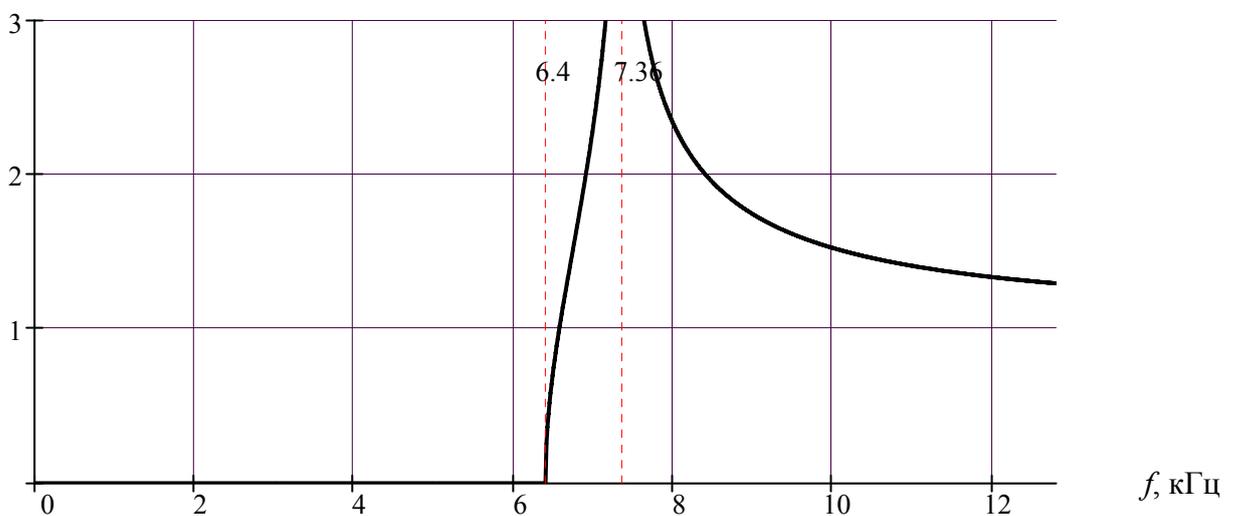


Рис. 19. Частотная характеристика затухания.

**Мостовой ФВЧ (рис. 5 б).**

Частотные характеристики сопротивления.  $Z_M = \frac{R\sqrt{\Omega^2 - 1}}{\Omega}$   $\Omega = \frac{f}{f_c}$

$Z_M$ , кОм       $j$        $f_c$       акт

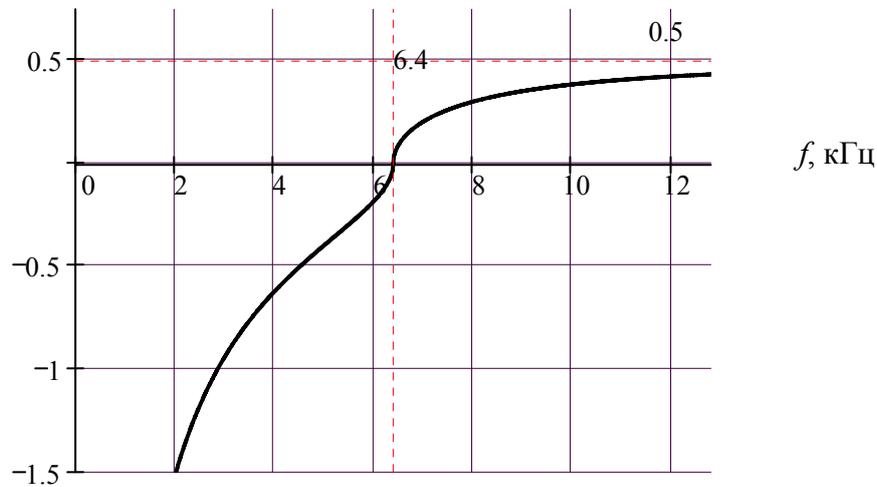


Рис. 20. Частотная характеристика сопротивления мостового фильтра

Частотные характеристики затухания.

Затухание в полосе задерживания ( $0 < f < f_\infty$ )  $th\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m}{\sqrt{1 - \Omega^2}}$

Затухание в полосе задерживания ( $f_\infty < f < f_c$ )  $cth\left(\frac{a}{2}\right) = \frac{m}{\sqrt{1 - \Omega^2}}$

Затухание в полосе пропускания ( $f_c < f$ )  $a = 0$ ,

где  $m = \sqrt{1 - \Omega_\infty^2}$   $\Omega_\infty = \frac{f_\infty}{f_c} < 1$

$a$ , Нп       $f_\infty$        $f_c$

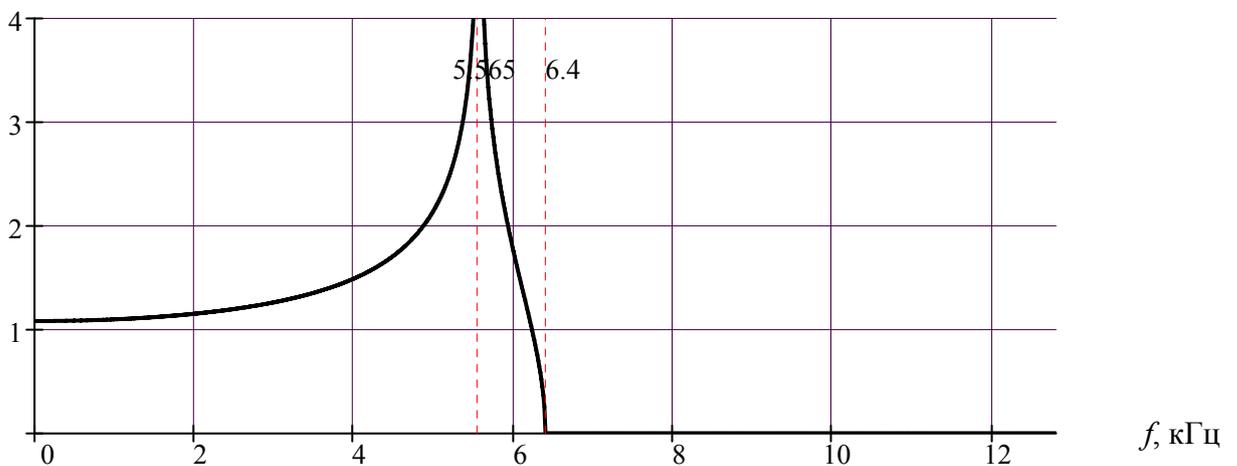


Рис. 21. Частотная характеристика затухания.

Характеристические сопротивления простого мостового фильтра сильно изменяются с частотой. В полосе пропускания характеристические сопротивления активны. В полосе задерживания они становятся реактивными, поэтому невозможно подобрать нагрузочное сопротивление так, чтобы во всей полосе рабочих частот оно было равно характеристическому сопротивлению.

Нагрузочное сопротивление для простого мостового фильтра надо брать несколько меньше  $R$ .

Простой мостовой фильтр имеет тот недостаток, что при большом затухании на частотах, близких к частоте среза, он обладает сравнительно малым затуханием на отдаленных частотах.

Поэтому мостовой фильтр можно дополнить звеньями типа  $k$ , обеспечивающими достаточное собственное затухание в полосе задерживания

3) Выражения для определения частот среза (полосы пропускания) цепочечных и мостового фильтров.

ФНЧ типа  $k$  (рис. 1).

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{2}{\sqrt{LC}}$$

ФВЧ типа  $k$  (рис. 2).

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{2\sqrt{LC}}$$

ФНЧ типа  $m$   $\Gamma$ -образного полувзвена (рис. 3).

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad f_\infty = \frac{f_c}{\sqrt{1-m^2}}$$

ФВЧ типа  $m$   $\Gamma$ -образного полувзвена (рис. 4).

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{2\sqrt{LC}} \quad f_\infty = f_c \sqrt{1-m^2}$$

Мостовой ФНЧ (рис. 5 а).

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad f_\infty = \frac{f_c}{\sqrt{1-m^2}}$$

Мостовой ФВЧ (рис. 5 б).

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{2\sqrt{LC}} \quad f_\infty = f_c \sqrt{1-m^2}$$