

ОМСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ



Забегайло Ирина Викторовна

УВЕЛИЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕСТРОЙКИ ПОЛОСОВЫХ LC-ФИЛЬТРОВ

Авторы:

**Забегайло Ирина Викторовна,
Яковлев Андрей Николаевич**



АКТУАЛЬНОСТЬ

В современных радиотехнических системах связи, локации и управления, работающих в нижней части СВЧ диапазона, в качестве частотно-избирательных устройств находят применение перестраиваемые полосовые LC-фильтры. Одним из важнейших параметров перестраиваемых полосовых фильтров (ППФ) является коэффициент перестройки, характеризующий способность фильтра изменять частоту настройки. Коэффициент перестройки по частоте существующих ППФ с электронным управлением не превышает 2...3,5 единиц.

В настоящее время вопросам улучшения частотных характеристик ППФ уделено большое внимание. Однако вопросы, связанные с увеличением их коэффициента перестройки освещены недостаточно. Таким образом, исследование возможностей увеличения коэффициента перестройки ППФ является актуальной задачей.

СПОСОБЫ ПЕРЕСТРОЙКИ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ

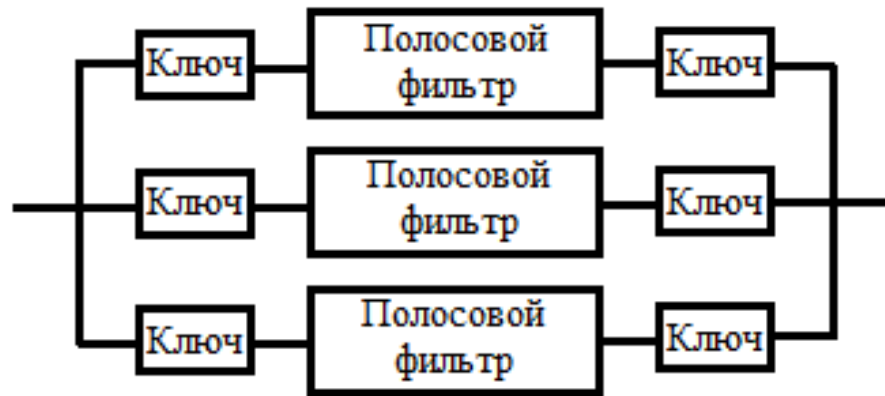


Рисунок 1. Структурная схема ряда коммутируемых полосовых фильтров.

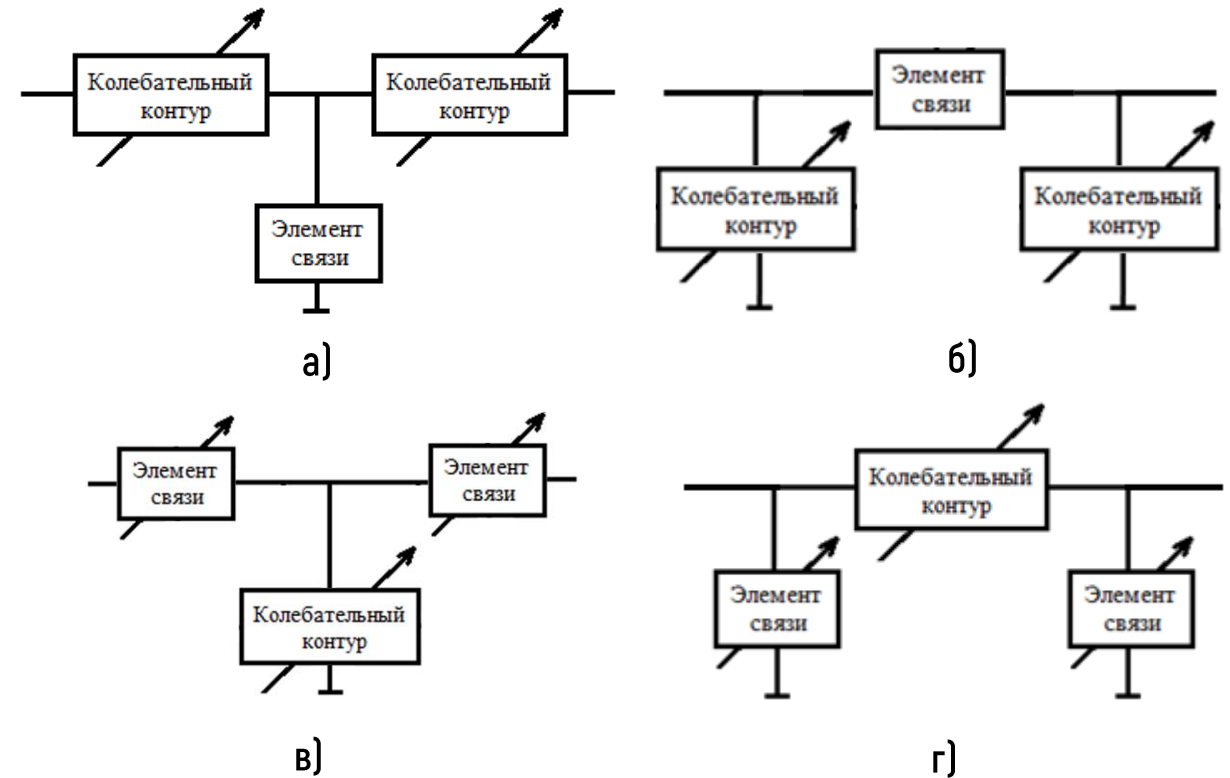
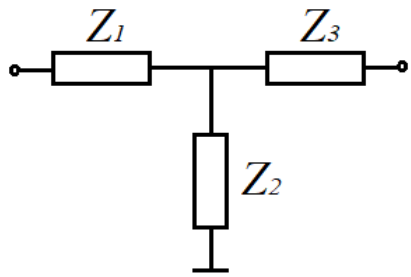
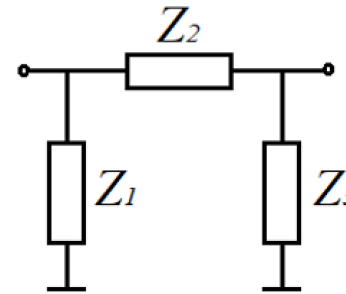


Рисунок 2. Структурные схемы перестраиваемых полосовых фильтров, а) и б) с нерегулируемой полосой пропускания, в) и г) с регулируемой полосой пропускания.

ЛЕСТНИЧНЫЕ СХЕМЫ ПОЛОСОВЫХ LC-ФИЛЬТРОВ



а)



б)

Рисунок 3. Лестничные схемы полосовых LC-фильтров: Т-образная (а), П-образная (б).

Матрицы обобщенных параметров:

$$\begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2} \\ \frac{1}{Z_2} & 1 + \frac{Z_3}{Z_2} \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 + \frac{Z_2}{Z_3} & Z_2 \\ \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3} + \frac{Z_2}{Z_1 Z_3} & 1 + \frac{Z_2}{Z_1} \end{vmatrix}$$

Где А, В, С, D- коэффициенты ABCD-матрицы, R_H - сопротивление нагрузки фильтра.

Входное сопротивление фильтра:

$$Z_{\text{вх}} = \frac{AR_H + B}{CR_H + D} \quad (1)$$

Передаточная функция фильтра:

$$T = \frac{2}{A + \frac{B}{R_H} + C \cdot R_H + D} \quad (2)$$

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕСТРОЙКИ ПОЛОСОВЫХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ LC-ФИЛЬТРОВ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРАХ С ЕМКОСТНОЙ СВЯЗЬЮ



Рисунок 4. Схемы полосовых фильтров на последовательных (а) и параллельных (б) контурах с емкостной связью

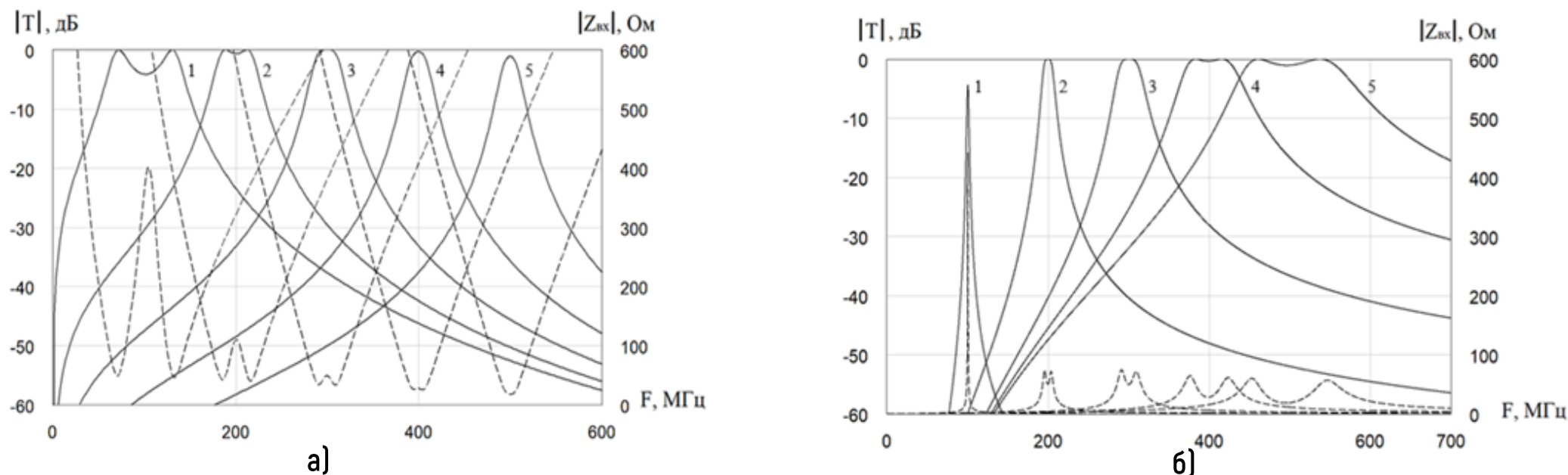


Рисунок 5. Модули передаточной функции (сплошная линия) и входного сопротивления (пунктирная линия) рассматриваемых фильтров на последовательных (а) и параллельных (б) контурах: 1 - $f_H = 100$ МГц; 2 - $f_H = 200$ МГц; 3 - $f_H = 300$ МГц; 4 - $f_H = 400$ МГц; 5 - $f_H = 500$ МГц.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕСТРОЙКИ ПОЛОСОВЫХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ LC-ФИЛЬТРОВ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРАХ С ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗЬЮ



Рисунок 6. Схемы полосовых фильтров на последовательных (а) и параллельных (б) контурах с индуктивной связью.

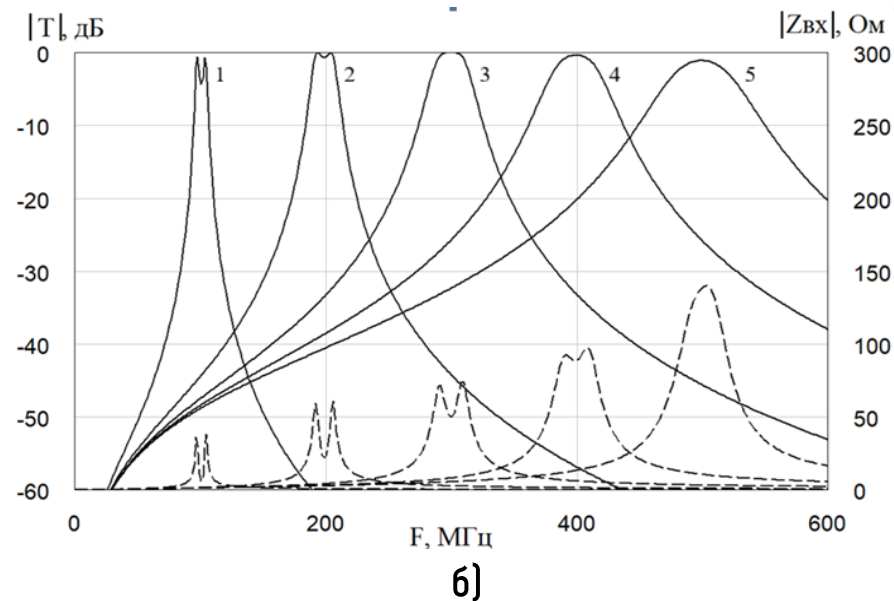
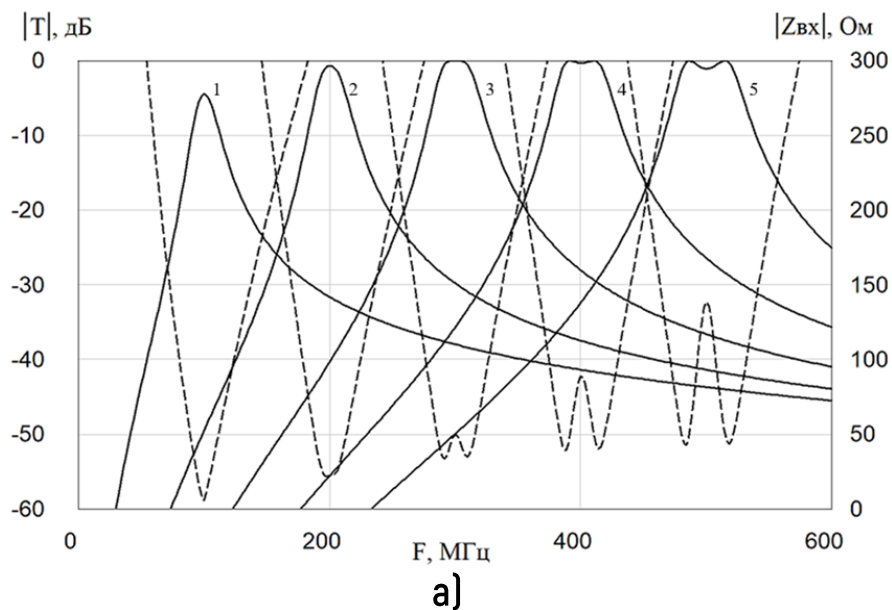


Рисунок 7. Модули передаточной функции (сплошная линия) и входного сопротивления (пунктирная линия) рассматриваемых фильтров на последовательных (а) и параллельных (б) контурах: 1 - $f_H=100$ МГц; 2 - $f_H=200$ МГц; 3 - $f_H=300$ МГц; 4 - $f_H=400$ МГц; 5 - $f_H=500$ МГц.

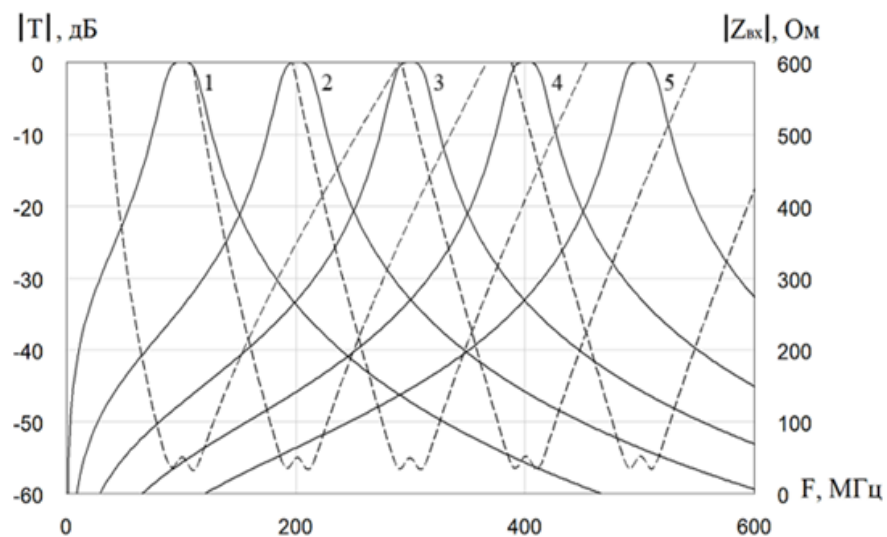
ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕСТРОЙКИ ПОЛОСОВЫХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ LC-ФИЛЬТРОВ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРАХ С ЕМКОСТНОЙ СВЯЗЬЮ

$$\left. \begin{aligned} \omega_H &= K\omega \\ C'_1 &= k^2 C_1 \\ C'_2 &= KC_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где C'_1, C'_2 – значения емкости контура и связи соответственно при перестройке фильтра на частоту ω_H , k – коэффициент изменения ёмкости контура при изменении частоты настройки в K раз.

Для фильтра на последовательных контурах:

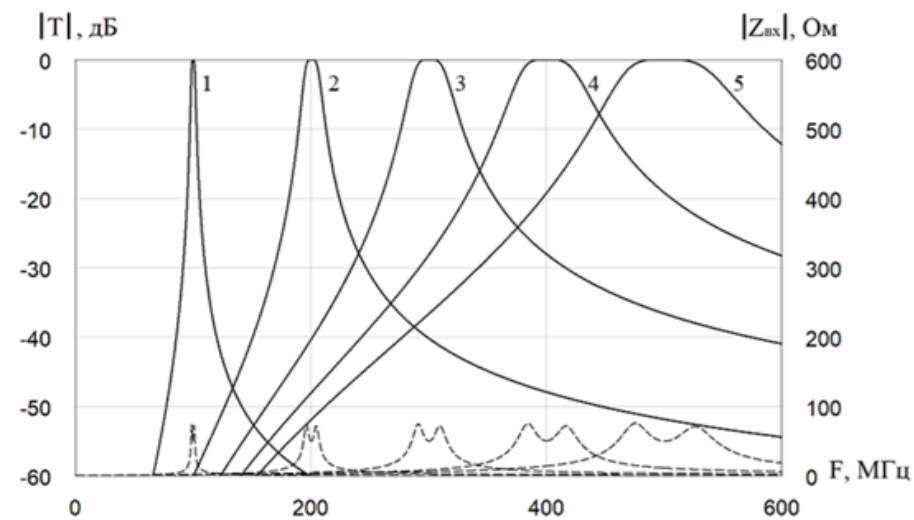
$$k = \sqrt{\frac{C_1 K (\omega^2 L_1 C_2 K - 1)}{C_2}} \quad (4)$$



а)

Для фильтра на параллельных контурах:

$$k = \sqrt{\frac{\omega^2 K^2 L_1 C_1}{1 - \omega^2 K L_1 C_2}} \quad (5)$$



б)

Рисунок 8. Модули передаточной функции (сплошная линия) и входного сопротивления (пунктирная линия) полосового LC-фильтра на последовательных (а) и параллельных (б) контурах с емкостной связью при перестройке при изменении ёмкости контура и связи.

1 - $f_H=100$ МГц; 2 - $f_H=200$ МГц; 3 - $f_H=300$ МГц; 4 - $f_H=400$ МГц; 5 - $f_H=500$ МГц.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕСТРОЙКИ ПОЛОСОВЫХ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ LC-ФИЛЬТРОВ НА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРАХ С ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗЬЮ

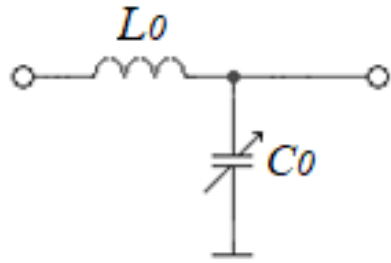


Рисунок 9. Согласующее окончание в виде ФНЧ

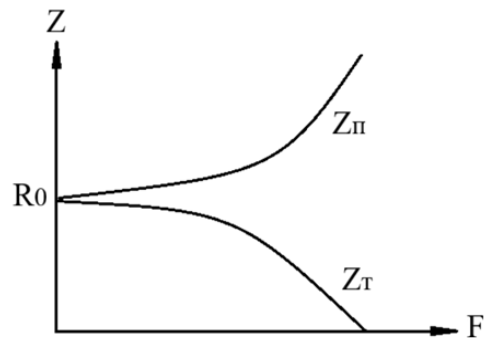


Рисунок 10. Характеристические сопротивления согласующего окончания со стороны входа (Z_T) и выхода (Z_P)

Характеристическое сопротивление ФНЧ со стороны входа:

$$Z_T = R_0 \sqrt{1 - \omega^2 L_0 C_0} \quad (6)$$

Характеристическое сопротивление ФНЧ со стороны выхода:

$$Z_P = \frac{R_0}{\sqrt{1 - \omega^2 L_0 C_0}} \quad (7)$$

Характеристическое сопротивление ФНЧ на нулевой частоте:

$$R_0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (8)$$

Значения элементов ФНЧ:

$$L_0 = \frac{\sqrt{R_H (Z_C - R_H)}}{\omega_H} \quad (9)$$

$$C_0 = \frac{\sqrt{\frac{Z_C}{R_H} - 1}}{Z_C \omega_H} \quad (10)$$

Z_C - характеристическое сопротивление перестраиваемого полосового LC-фильтра

R_H - сопротивление нагрузки

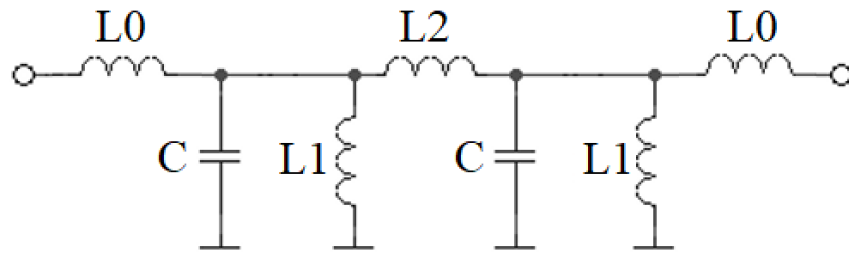
ω_H - частота настройки полосового LC-фильтра

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ ПОЛОСОВЫХ LC-ФИЛЬТРОВ С УВЕЛИЧЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕСТРОЙКИ

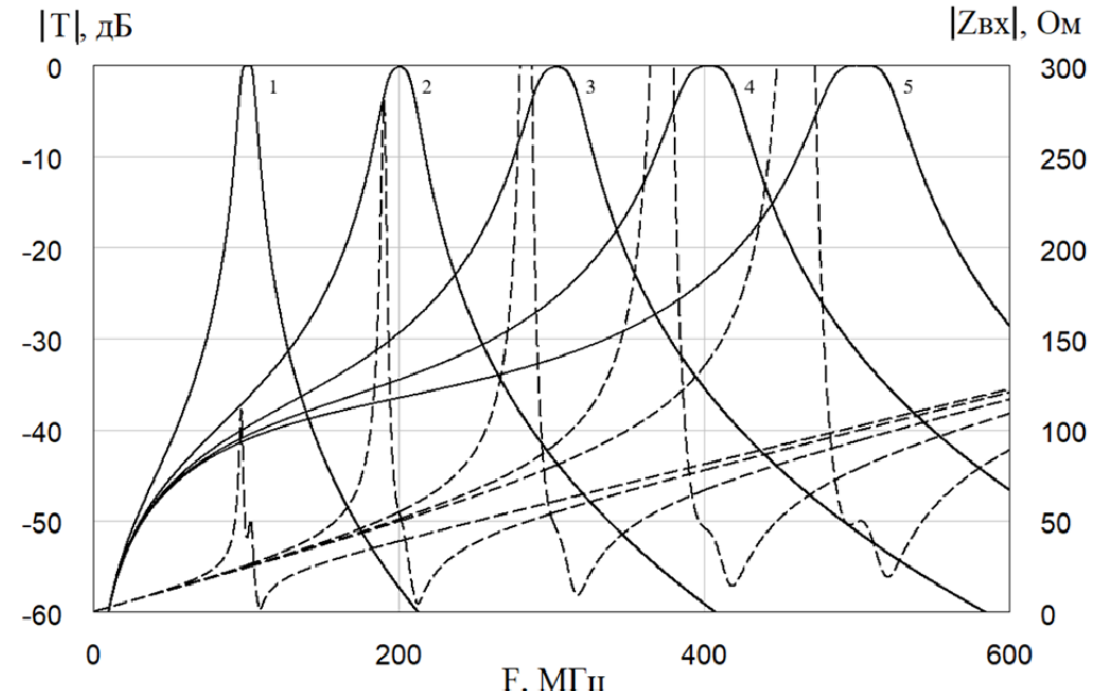
Разработана методика расчета перестраиваемых полосовых фильтров с увеличенным коэффициентом перестройки, которая включает в себя следующие пункты:

1. Задать границы диапазона перестройки фильтра по частоте.
2. Исходя из предъявляемых требований к фильтру, на нижней границе диапазона перестройки определить значения элементов схемы.
3. Определить характеристическое сопротивление и контурную емкость фильтра при настройке на верхнюю границу диапазона перестройки.
4. Определить значения элементов согласующих окончаний на верхней границе диапазона частот.
5. Провести оценку физической реализуемости значений полученных элементов схемы и при отрицательных результатах провести корректировку требований, предъявляемых к фильтру или к диапазону его перестройки.
6. С учетом влияния потерь и собственных реактивностей элементов схем, прежде всего катушек индуктивности, уточнить диапазон перестройки реальных схем.

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ПОЛОСОВОЙ LC-ФИЛЬТР НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ КОНТУРАХ С ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗЬЮ С УВЕЛИЧЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕСТРОЙКИ



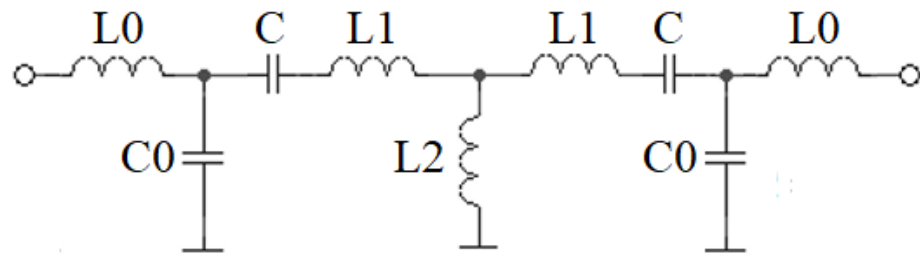
а)



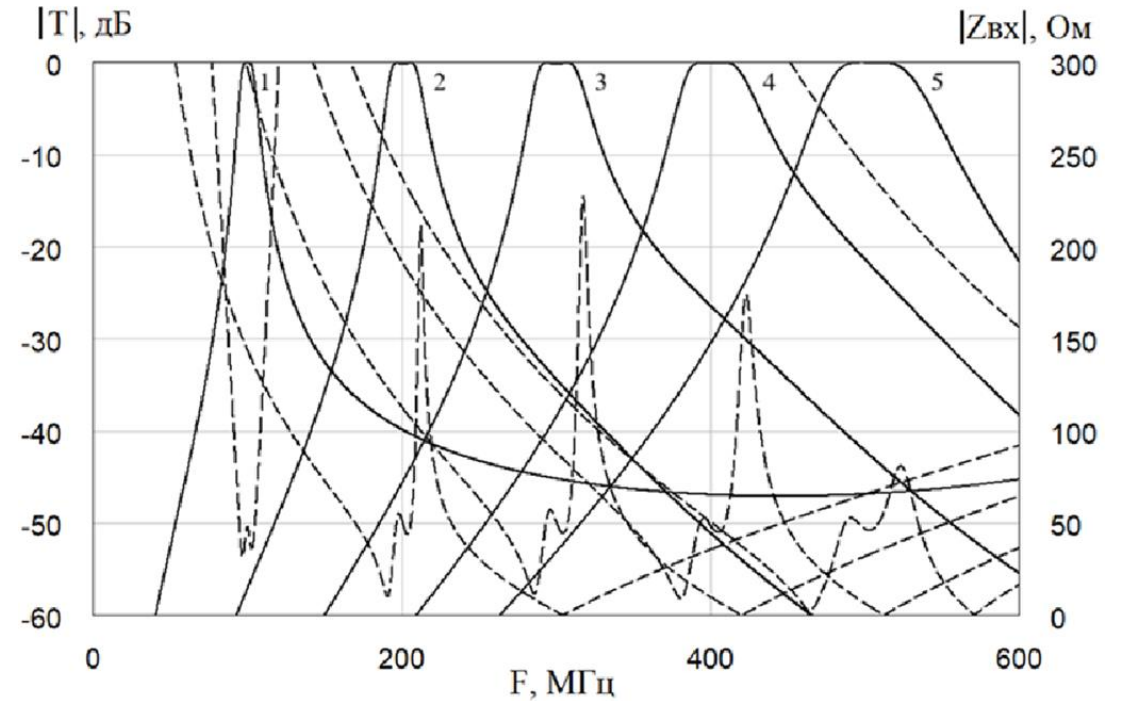
б)

Рисунок 11. Схема полосового LC-фильтра на параллельных контурах с индуктивной связью и согласующими окончаниями (а), модули передаточной функции (сплошная линия) и входного сопротивления (пунктирная линия) при перестройке (б).
 1 - $f_H=100$ МГц; 2 - $f_H=200$ МГц; 3 - $f_H=300$ МГц; 4 - $f_H=400$ МГц; 5 - $f_H=500$ МГц.

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ПОЛОСОВОЙ LC-ФИЛЬТР НА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ КОНТУРАХ С ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗЬЮ С УВЕЛИЧЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕСТРОЙКИ



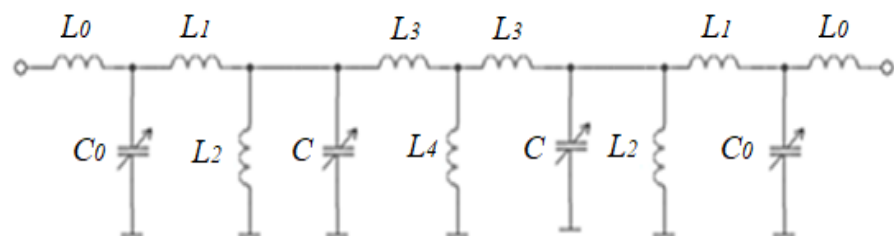
а)



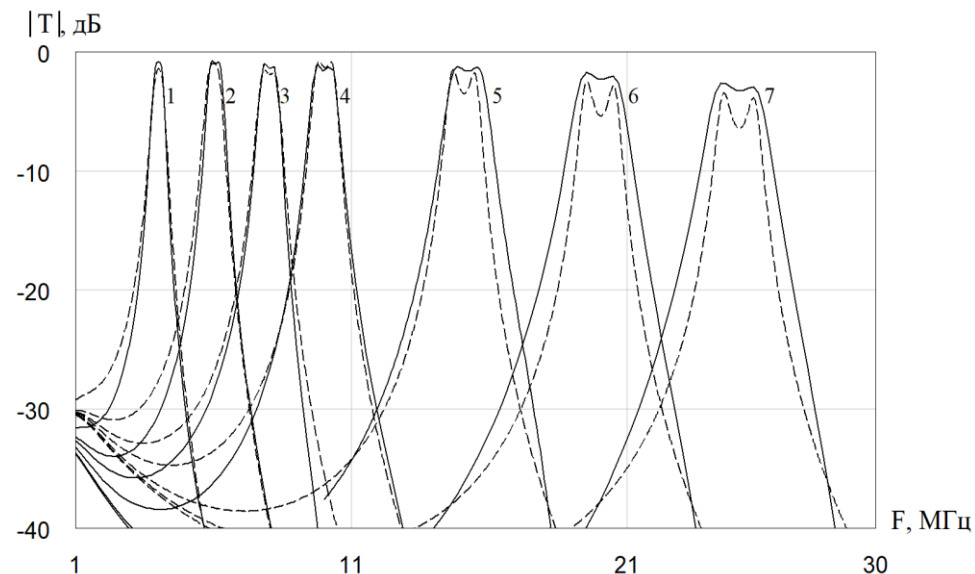
б)

Рисунок 12. Схема LC-фильтра на параллельных контурах с индуктивной связью и согласующими окончаниями (а), модули передаточной функции (сплошная линия) и входного сопротивления (пунктирная линия) при перестройке (б).
1 - $f_H=100$ МГц; 2 - $f_H=200$ МГц; 3 - $f_H=300$ МГц; 4 - $f_H=400$ МГц; 5 - $f_H=500$ МГц.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ПОЛОСОВОГО LC-ФИЛЬТРА С СОГЛАСУЮЩИМИ ОКОНЧАНИЯМИ И УВЕЛИЧЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ПЕРЕСТРОЙКИ



а)



б)

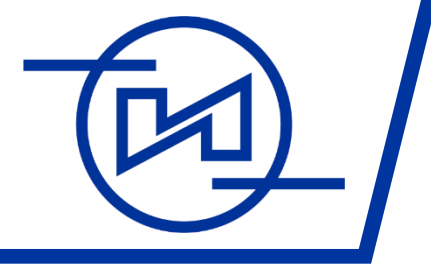
Рисунок 13. Схема полосового LC-фильтра с увеличенным коэффициентом перестройки (а), экспериментальные частотные характеристики образца фильтра с емкостными окончаниями (сплошная линия) и без емкостных окончаний (штриховая линия) в диапазоне перестройки (б).
 1 - $f_H=4$ МГц; 2 - $f_H=6$ МГц; 3 - $f_H=8$ МГц; 4 - $f_H=10$ МГц; 5 - $f_H=15$ МГц; 6 - $f_H=20$ МГц; 7 - $f_H=25$ МГц.

Таблица 1. Параметры образцов перестраиваемых полосовых LC-фильтров с согласующими окончаниями и без них.

Параметр фильтра	Схема фильтра					
	Без окончаний			С согласующими окончаниями		
	4 МГц	10 МГц	25 МГц	4 МГц	10 МГц	25 МГц
Относительная ширина полосы пропускания, %	10,7	8,7	6,1	10,3	9,5	8,0
Вносимое затухание, дБ	1,4	0,8	3,4	0,8	1,0	2,7
Неравномерность в полосе пропускания, дБ	-	0,5	3,0	-	0,5	0,6
Коэффициент перестройки	2,5			6,25		

ВЫВОДЫ

1. Увеличение коэффициента перестройки полосовых LC-фильтров на колебательных контурах может быть обеспечено:
 - для схем с емкостной связью выполнением полученных аналитических соотношений (4) и (5).
 - для схем с индуктивной связью использованием согласующих окончаний, представляющих собой ФНЧ с изменяемой частотой среза.
2. При использовании идеализированных элементов, коэффициент перестройки таких схем ограничивается только физической реализуемостью элементов.
3. Влияние реальных параметров элементов схем в первую очередь катушек индуктивности приводит к тому, что коэффициент перестройки полосовых LC-фильтров с индуктивной связью увеличится в 2,5 раза.



Благодарю за внимание!