

1.8. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

Общие сведения. Электрический фильтр — это устройство, пропускающее электрические колебания одних частот и подавляющее электрические колебания других.

Диапазон частот, в котором затухание колебаний не

превышает некоторого заданного значения, называются полосой пропускания или полосой прозрачности фильтра. Остальная область частот образует полосу затухания, или полосу задерживания.

В зависимости от полосы пропускания и задерживания электрические фильтры подразделяют на *фильтры нижних частот (ФНЧ)*, *фильтры верхних частот (ФВЧ)*, *полосовые фильтры (ПФ)* и *заграждающие, или режекторные фильтры (ЗФ)*. Амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) идеальных фильтров, представляющие собой зависимость коэффициента передачи фильтра $K(f) = u_{\text{ВЫХ}}/u_{\text{ВХ}}$ от частоты, показаны на рис. 1.17. Частота,

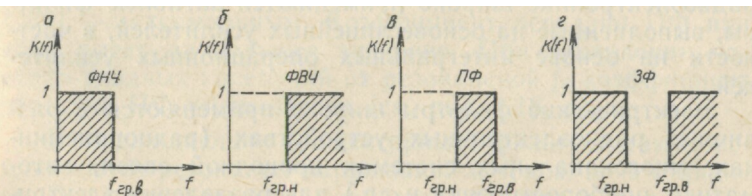


Рис. 1.17. Амплитудно-частотные характеристики идеальных электрических фильтров

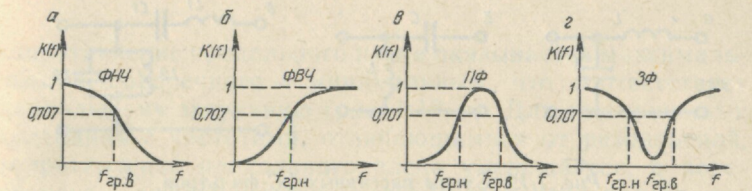


Рис. 1.18. Амплитудно-частотные характеристики реальных электрических фильтров

разделяющая полосы пропускания и задерживания называется частотой среза или граничной частотой. В реальных фильтрах коэффициент передачи в полосе пропускания не постоянен и уменьшается к краям полосы пропускания, достигая минимального значения в области задерживания (рис. 1.18).

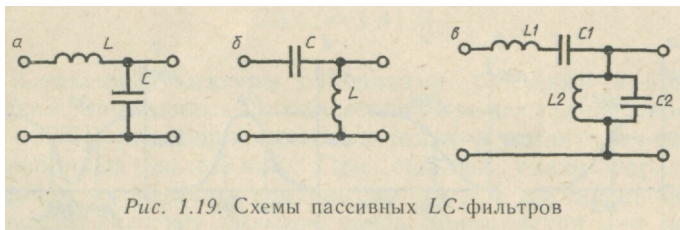
Конструкция и принцип действия фильтра зависят от диапазона пропускаемых частот и требуемого вида АЧХ.

Фильтры могут состоять из одного или нескольких Г-, Т- и П-образных или мостовых звеньев. В диапазоне частот от сотен килогерц до десятков мегагерц элементами фильтров обычно являются катушки индуктивности L и конденсаторы C (LC -фильтры). С понижением частоты увеличиваются размеры катушки индуктивности, что приводит к увеличению габаритов фильтра и ухудшению стабильности границ полосы пропускания. Поэтому в диапазоне частот от сотен килогерц до единиц и долей герц применяются фильтры, состоящие из резисторов R и конденсаторов C (RC -фильтры).

Фильтры, состоящие только из элементов L , C и R , называются *пассивными*. Кроме пассивных фильтров, в радиоэлектронике широко применяются *активные* фильтры, выполненные на основе линейных усилителей, в частности на основе интегральных операционных усилителей.

Электрические фильтры широко применяются в различных радиоэлектронных устройствах (радиоприемниках, многоканальных системах проводной связи, автоматике, приборостроении и др.) для разделения электрических колебаний по частоте, а также для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения.

Пассивные LC -фильтры. Схема пассивного Г-образного LC -фильтра нижних частот показана на рис. 1.19, а.



Такой фильтр пропускает электрические колебания в полосе частот от 0 до $f_{гр.в} = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ (см. рис. 1.18, а). Это объясняется тем, что на низких частотах сопротивление индуктивного элемента фильтра мало, а емкостного — велико и электрические колебания проходят со входа на выход почти без ослабления. С увеличением частоты сопротивление индуктивного элемента возрастает, а емкостного — снижается и коэффициент передачи фильтра уменьшается.

В Г-образном пассивном LC -фильтре верхних частот

(рис. 1.19, б) с ростом частоты сопротивление продольного плеча уменьшается, а поперечного — увеличивается, что приводит к повышению коэффициента передачи. Полоса пропускания такого фильтра (см. рис. 1.18, б) лежит в диапазоне частот от $f_{гр.н} = 1/(2\pi\sqrt{LC})$ до $f = \infty$.

Принцип работы полосового фильтра основан на использовании резонансов напряжений и токов в последовательных и параллельных колебательных контурах. При совпадении частот, на которых наблюдается резонанс напряжений в последовательном колебательном контуре $L1C1$ и резонанс токов в параллельном колебательном контуре $L2C2$ (рис. 1.19, в), сопротивление продольного плеча $L1C1$ оказывается минимальным, а поперечного $L2C2$ — максимальным. Коэффициент передачи ПФ при этом имеет наибольшее значение. При отклонении частоты входных колебаний от резонансной f_0 коэффициент передачи ПФ уменьшается (см. рис. 1.18, в).

В загораждающих (режекторных) фильтрах также используются резонансы напряжений и токов, но в отличие от ПФ параллельный колебательный контур включен в продольное плечо, а последовательный — в поперечное. При резонансе на частоте

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L1C1}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L2C2}}$$

сопротивление продольного плеча оказывается максимальным, а поперечного — минимальным, что соответствует наибольшему затуханию (рис. 1.18, г). Для электрических колебаний с частотами, отличающимися от резонансной, сопротивление продольного плеча уменьшается, а поперечного — увеличивается, в результате чего происходит увеличение коэффициента передачи.

Пьезоэлектрические фильтры. Высокими фильтрующими свойствами обладают пьезоэлектрические фильтры, содержащие кварцевые пластинки. В такой пластинке наблюдаются прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты. *Прямой эффект* заключается в том, что при растяжении и сжатии пластинки на ее поверхностях образуются заряды противоположных знаков. Если же обе поверхности кварцевой пластинки металлизировать и приложить к ним переменное напряжение, то в пластинке возникнут механические колебания, при которых она бу-

дет сжиматься и растягиваться. Это явление называют *обратным пьезоэлектрическим эффектом*. Отличительной особенностью обратного пьезоэффекта является то, что он возникает при воздействии на кварцевую пластинку электрических колебаний с частотой, которая равна резонансной частоте кварца, определяемой размерами пластинки и видом ее среза.

Таким образом, если в совокупности электрических колебаний, подводимых к пьезоэлектрическому фильтру, имеются колебания с частотой, равной резонансной частоте кварца, то эти колебания вследствие обратного пьезоэффекта возбуждают в нем механические колебания, которые в результате прямого пьезоэффекта превращаются снова в электрические колебания.

Пьезоэлектрические фильтры применяются на частотах от десятков килогерц до нескольких десятков мегагерц. Чем ниже частота, тем больше размеры кварцевой пластинки и ее стоимость.

Пассивные С-фильтры. На частотах до нескольких десятков килогерц применяются С-фильтры, состоящие из резисторов и конденсаторов. В качестве фильтра нижних частот (ФНЧ) используется одно или несколько включенных последовательно С-звеньев типа С-параллель (рис. 1.20, а). С увеличением частоты сопротивление конденсатора уменьшается, что приводит к уменьшению коэффициента передачи (рис. 1.20, б).

В фильтре верхних частот (ФВЧ) конденсатор включается в продольное плечо (рис. 1.21, а). Поэтому на низких частотах его сопротивление значительно больше сопротивления резистора параллельного плеча и коэффициент передачи мал. С увеличением частоты сопротивление конденсатора уменьшается, что приводит к увеличению коэффициента передачи (рис. 1.21, б).

Рассмотренные ФНЧ и ФВЧ, состоящие из нескольких однотипных звеньев RC , называются цепочными RC -фильтрами.

В качестве полосового RC -фильтра на низких частотах применяется Г-образный С-фильтр (рис. 1.22, а). На некоторой частоте ρ , называемой квазирезонансной, коэффициент передачи такого фильтра имеет наибольшее значение, равное $1/3$, и уменьшается при отклонении частоты входного напряжения от ρ (рис. 1.22, б).

Роль заграждающих фильтров (ЗФ) на низких частотах выполняют Т-образные (рис. 1.23, а, б) и двойной Т-образный (рис. 1.24, а) фильтры. У этих фильтров на

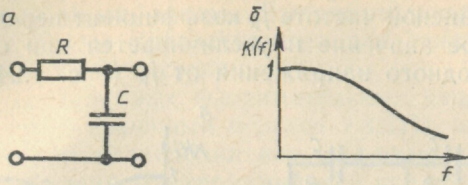


Рис. 1.20. Схема пассивного RC-фильтра нижних частот (а) и его АЧХ (б)

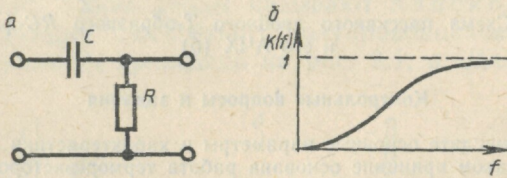


Рис. 1.21. Схема пассивного RC-фильтра верхних частот (а) и его АЧХ (б)

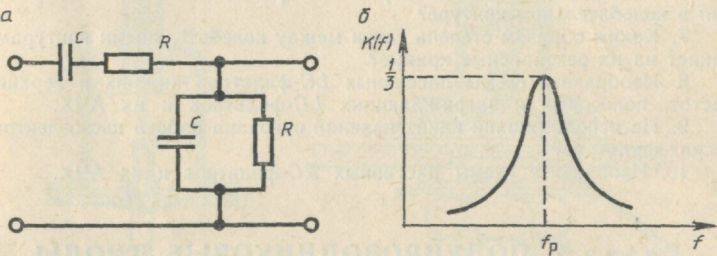


Рис. 1.22. Схема пассивного полосового RC-фильтра (а) и его АЧХ (б)

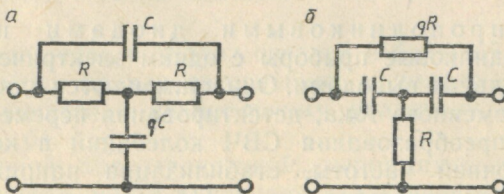


Рис. 1.23. Схемы пассивных Т-образных RC-фильтров (q — коэффициент, равный целому положительному числу)

квазирезонансной частоте ρ коэффициент передачи имеет минимальное значение и увеличивается при отклонении частоты входного напряжения от ρ (рис. 1.24, б).

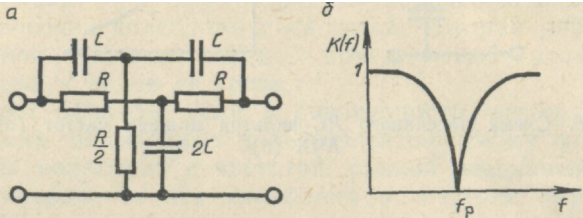


Рис. 1.24. Схема пассивного двойного Т-образного RC-фильтра (а) и его АЧХ (б)