

ОСОБЕННОСТИ ФИЛЬТРА ПАПАУЛИСА – ФУКАДА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ

Д. В. КОМНАТНЫЙ, Д. М. ЗЕВАКО, М. А. МУЛЯР

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

Для подавления помех в цепях передачи информации и электропитания современных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) широкое применение находят частотные фильтры. Так, для подавления сверхширокополосных импульсных помех используются фильтры нижних частот (ФНЧ). Применение таких фильтров оправдано, если полоса частот полезного сигнала значительно уже полосы частот помехи. Тогда сигнал и помеха хорошо разделяются, а помеха значительно подавляется.

При разработке частотных фильтров импульсных помех возникает проблема несогласованности фильтра с нагрузкой во всем диапазоне частотной полосы помехи. Для решения этой проблемы предложены методы синтеза ФНЧ путем аппроксимации амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтра. В частности, предложен фильтр Папаулиса – Фукада, отличающийся гладкой АЧХ в полосе пропускания фильтра и быстрым спадом АЧХ на частоте среза. Указанные свойства позволяют заключить, что такой фильтр представляет интерес для целей подавления сверхширокополосных импульсных помех.

Схема фильтра Папаулиса – Фукада имеет вид П-образного четырехполосника с поперечным индуктивным сопротивлением и двумя продольными емкостными сопротивлениями. Разработчики фильтра рассчитали индуктивность и емкости, входящие в ветви фильтра для нормированной круговой частоты среза $\omega_{сн} = 1$ рад/с и сопротивления нагрузки $R_n = 1$ Ом. Фильтр с такими параметрами является базовым для синтеза практически применяемых схем фильтра.

Для исследования помехоподавляющих свойств фильтра Папаулиса – Фукада были рассчитаны параметры фильтра для круговой частоты среза $\omega_c = 18850$ рад/с (соответствует циклической частоте 2000 Гц из диапазона тональных частот) и сопротивления нагрузки $R_n = 900$ Ом. Расчет выполнен методом денормирования параметров схемы базового фильтра по известным соотношениям

$$K_r = \frac{R_n}{R_n}, \quad K_f = \frac{\omega_c}{\omega_{сн}}, \quad C_{1,2} = \frac{C_{н,1,2}}{K_r K_f}, \quad L_1 = \frac{L_n K_r}{K_f},$$

где K_r – коэффициент денормирования по сопротивлению, K_f – коэффициент денормирования по частоте, $C_{н,1,2}$ – нормированная емкость базового фильтра, Ф; $C_{1,2}$ – емкость фильтра, Ф; L_n – нормированная индуктивность базового фильтра, Гн; L_1 – индуктивность фильтра, Гн.

По известным соотношениям теории четырехполосников было получено выражение для АЧХ фильтра $H(\omega)$

$$H(\omega) = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 L_1 C_2)^2 + (\omega L_1 G_n)^2}},$$

где ω – круговая частота, рад/с; G_n – проводимость нагрузки, См.

На вход фильтра поступает биэкспоненциальный импульс

$$u(t) = U(e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}),$$

где U – амплитудный параметр импульса, В; α_1, α_2 – коэффициенты наклона экспонент, 1/с.

Таким импульсом может быть аппроксимирована форма значительного числа разновидностей сверхширокополосных импульсных помех. Амплитудно-частотный спектр импульса выражается формулой

$$S(\omega) = \frac{U(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sqrt{(\alpha_1 \alpha_2 - \omega^2)^2 + \omega^2 (\alpha_2 + \alpha_1)^2}}.$$

Для дальнейших расчетов принято, что $U = 6000 \text{ В}$, $\alpha_1 = 9,324 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$, $\alpha_2 = 3,871 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$.

Амплитудно-частотный спектр импульса на выходе фильтра $S(\omega)_{\text{вых}}$ рассчитывается по формуле

$$S(\omega)_{\text{вых}} = S(\omega)H(\omega).$$

По приведенной формуле был рассчитан и построен амплитудно-частотный спектр импульса на выходе фильтра.

Анализ этого спектра показал:

- паразитные резонансы в полосе пропускания фильтра отсутствуют;
- полоса частот импульса на выходе снизилась на четыре порядка по сравнению с полосой частот импульса на входе фильтра;
- скорость снижения АЧХ на частоте среза выше, чем у Т-образного фильтра Баттерворта из ранее опубликованной работы;
- полоса частот, в которой энергия помехи снижается до пренебрежимо малого значения фильтра Папаулиса – Фукада и фильтра Баттерворта, одинакова.

Результаты анализа позволяют заключить, что рассматриваемый фильтр Папаулиса – Фукада осуществляет подавление сверхширокополосной импульсной помехи, снижая ее активную полосу частот и, соответственно, энергию помехи. Энергия помехи является параметром, от которого непосредственно зависят последствия воздействия помехи на узлы рецептора помех. При превышении некоторого уровня энергии помехи, определяемого типом элементной базы, происходят отказы и сбои рецептора. Таким образом, снижая энергию помехи, фильтр осуществляет защитные свойства.

Фильтр Папаулиса – Фукада имеет некоторые преимущества перед фильтром Баттерворта, а именно: отсутствие паразитных резонансов и более высокую скорость снижения АЧХ на частоте среза. Но полоса частот, в которой спектр выходного импульса спадает до пренебрежимо малых значений, одинакова у обоих фильтров. По этой характеристике рассматриваемые фильтры не имеют преимуществ один перед другим.

Проектирование схем защиты от сверхширокополосных импульсных помех на основе фильтра Папаулиса – Фукада несколько проще, так как в этом случае применяется простейшая П-образная схема. Ее расчет легко выполняется методом денормирования параметров базового фильтра. В то же время фильтры Баттерворта первоначально разрабатывались как фильтры разделения сигналов. Поэтому приведенные в литературных источниках методы синтеза фильтров Баттерворта сложнее. Они основаны на расчете параметров аппроксимации АЧХ фильтра полиномами Баттерворта.

Отличительной чертой фильтра Папаулиса – Фукада являются ослабленные требования по согласованию нагрузки со схемой фильтра, следовательно, фильтр сохраняет свои свойства в полосе частот импульсных помех.

Поэтому допустимо сделать вывод, что фильтры Папаулиса – Фукада могут найти применение при разработке схем помехоподавления для современных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Использование фильтров эффективно для цепей со сравнительно низкочастотными сигналами.

УДК 621.315.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА НЕКОАКСИАЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЧ

Д. В. КОМНАТНЫЙ, Д. С. КОЛЕСНИК, Д. Ю. СУХАНОВ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь

В современных системах железнодорожной автоматики и телемеханики широкое применение находят СВЧ-сигналы и аппаратура для их обработки. В частности, в СВЧ-диапазоне работают радары систем технического зрения локомотивов, системы передачи управляющей информации на борт высокоскоростного подвижного состава. Указанная аппаратура содержит значительное число линий передачи. Среди них имеются некоаксиальные линии передачи, которые представляют собой две неконцентрические заземленные оболочки в виде круглых цилиндров. Между цилиндрами размещается передающий проводник в виде полосы или сегмента круга. Представляет интерес расчет емкостных