

ПОДАВЛЕНИЕ ФОНОВЫХ ПОМЕХ В ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧИ ВИДЕОСИГНАЛОВ

В.И. Туев

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
E-mail: tvj@tv2.tomsk.ru

Рассмотрены источники фоновых помех в линиях передачи видеосигналов, показано влияние синфазного сопротивления на величину максимального подавления фоновой помехи в дифференциальных видеокорректорах, даны практические рекомендации по расчету дифференциальных входных каскадов видеокорректоров на операционных усилителях.

Передача видеосигналов телевидения, занимающих полосу частот от 50 Гц до 6 МГц, между комплектами оборудования аппаратно-студийного блока, монтажными и эфирными аппаратными внутри здания, между разнесенными территориально зданиями вещательных компаний и передающих центров осуществляется по волоконно-оптическим и коаксиальным радиочастотным линиям связи. Волоконно-оптические линии связи, обладающие большой пропускной способностью, применяются для передачи групповых сигналов, содержащих десятки видеосигналов, сигналов звукового сопровождения и дополнительной информации [1]. Передача одиночных видеосигналов по экономическим соображениям осуществляется по коаксиальным радиочастотным линиям связи. В соответствии с правилами устройства электроустановок [2] корпуса аппаратуры, электроустановки и нулевой проводник питающей электрической сети должны быть заземлены (рис. 1).

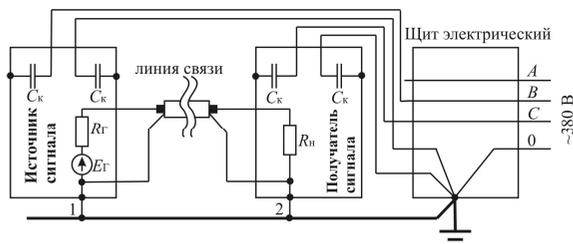


Рис. 1. Конфигурация цепей заземления

По контуру заземления протекают токи промышленной частоты и ее гармоник, обусловленные конструктивными и паразитными емкостями C_k блоков питания аппаратуры связи. Малое, но конечное сопротивление устройства заземления приводит к наличию паразитной разности потенциалов вдоль заземляющего проводника, достигающей десятков – сотен мВ, а при большом территориальном разnose – ед. В [3]. Коаксиальная линия связи, будучи включенной между источником и получателем видеосигнала, своей оплеткой шунтирует точки 1 и 2 контура заземления. Протекающий по ней ток создает помеху частотой 50...200 Гц, попадающую в спектр телевизионного видеосигнала и вызывающую искажение изображения в виде медленно перемещающихся горизонтальных темных и светлых полос на экране телевизионного приемника [3]. Вследствие высокой различимости такая помеха жестко регламентирована допустимой величиной отношения сигнала яркости к фоновой помехе [4].

Для удовлетворения указанных в [4] требований по уровню фоновой помехи последовательно с линией включают активные дифференциальные корректоры [5], позволяющие в отличие от пассивных устройств [3] дополнительно восстанавливать уровень видеосигнала на выходе линии связи и компенсировать частотнозависимые потери. Эквивалентная схема линии связи, подключенной к входу дифференциального корректора, приведена на рис. 2.

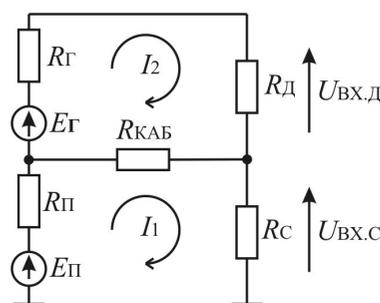


Рис. 2. Эквивалентная схема линии связи, подключенной к входу дифференциального корректора: R_D и R_C – соответственно дифференциальное и синфазное входные сопротивления дифференциального корректора, $R_{КАБ}$ – сопротивление оплетки коаксиального кабеля, R_G – выходное сопротивление источника видеосигнала, R_P – эквивалентное сопротивление источника помехи

Определим $U_{ВХ.Д}$ – дифференциальное и $U_{ВХ.С}$ – синфазное входные напряжения дифференциального корректора. Для этого в соответствии с методом контурных токов [6] запишем систему линейных уравнений

$$\begin{aligned} I_1(R_P + R_C + R_{КАБ}) - I_2 R_{КАБ} &= E_P, \\ -I_1 R_{КАБ} + I_2(R_G + R_D + R_{КАБ}) &= E_G. \end{aligned} \quad (1)$$

Используя решения системы ур. (1) относительно переменных I_1 и I_2 , получим

$$\begin{aligned} U_{ВХ.Д} &= I_2 R_D = \frac{R_D}{R_G + R_D + R_{КАБ} \left(1 - \frac{R_{КАБ}}{R_P + R_C + R_{КАБ}}\right)} \times \\ &\times \left(E_G + \frac{R_{КАБ}}{R_P + R_C + R_{КАБ}} E_P\right), \\ U_{ВХ.С} &= I_1 R_C = \frac{R_C}{R_P + R_C + R_{КАБ} \left(1 - \frac{R_{КАБ}}{R_G + R_D + R_{КАБ}}\right)} \times \\ &\times \left(E_P + \frac{R_{КАБ}}{R_G + R_D + R_{КАБ}} E_G\right). \end{aligned} \quad (2)$$

Входное дифференциальное напряжение $U_{ВХ.Д}$ содержит полезную составляющую, обусловленную действием источника сигнала E_{Γ} , и помеху, вызванную протеканием токов промышленной частоты и ее гармоник через сопротивление оплетки кабеля $R_{КАБ}$. Из анализа (2) следует, что уменьшить помеху можно, увеличивая синфазное входное сопротивление R_c . Действительно, полагая в (2) $R_c = \infty$, получим

$$U_{ВХ.Д} = \frac{R_d}{R_{\Gamma} + R_d + R_{КАБ}} E_{\Gamma},$$

$$U_{ВХ.С} = E_{П} + \frac{R_{КАБ}}{R_{\Gamma} + R_d + R_{КАБ}} E_{\Gamma}.$$

Таким образом, увеличение входного синфазного сопротивления дифференциального корректора является основным условием достижения максимального подавления фоновой помехи, поскольку препятствует протеканию тока промышленной частоты и ее гармоник по оплетке линии связи и минимизирует прохождение помехи на дифференциальный вход устройства. В этом случае коэффициент подавления помехи максимален и равен коэффициенту ослабления синфазного сигнала дифференциального корректора.

Схемотехника современных кабельных корректоров основана на применении в качестве активных элементов специализированных операционных усилителей (ОУ) [3, 5].

Типовая схема корректора на ОУ, обеспечивающая подавление синфазной помехи, приведена на рис. 3, а [7].

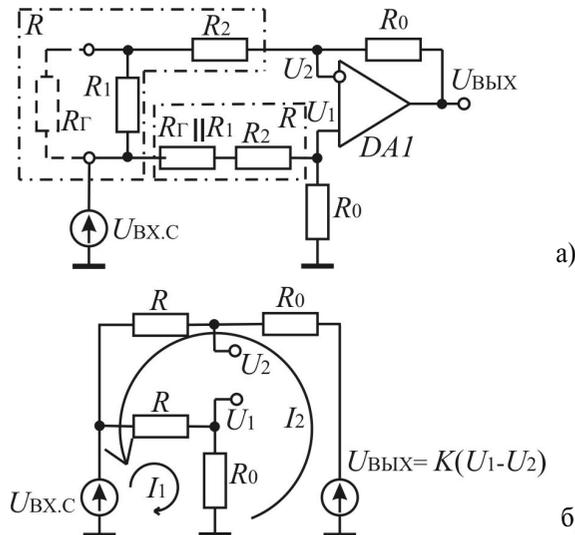


Рис. 3. Дифференциальный корректор на ОУ: R_1 – согласующий резистор, сопротивление которого равно волновому сопротивлению линии связи, $R_{\Gamma} \parallel R_1$ – параллельное соединение R_{Γ} и R_1

Эквивалентная схема корректора для области низких частот с использованием упрощенной модели ОУ [8] приведена на рис. 3, б, где R обозначает эквивалентное сопротивление двух одинаковых групп элементов, обведенных штрих-пунктирной линией на рис. 3, а, и определяется по формуле

$$R = R_2 + \frac{R_{\Gamma} R_1}{R_{\Gamma} + R_1}.$$

Уравнения для контурных токов имеют вид

$$I_1(R + R_0) = U_{ВХ.С},$$

$$I_2(R + R_0) = K(U_1 - U_2) - U_{ВХ.С},$$

где K – коэффициент усиления ОУ.

Используя решения системы ур. (3) относительно переменных I_1 и I_2 с учетом соотношений

$$U_1 = \frac{R_0}{R + R_0} U_{ВХ.С},$$

$$U_2 = U_{ВХ.С} + R I_2,$$

получим

$$R_{ВХ.С} = \frac{U_{ВХ.С}}{I_1 - I_2} = \frac{R + R_0}{2}.$$

Из (4) следует, что для увеличения входного синфазного сопротивления дифференциального корректора на ОУ необходимо пропорционально увеличивать значения сопротивлений R_0 и R . С учетом выражения (2) в схеме, приведенной на рис. 3, а, увеличению подлежат сопротивления резисторов R_0 и R_2 . Однако в реальных условиях увеличение этих сопротивлений приводит к ухудшению частотных свойств корректора в области верхних частот и накладывает ограничения на предельно достижимые значения входного синфазного сопротивления.

Эквивалентная схема корректора для области верхних частот приведена на рис. 4.

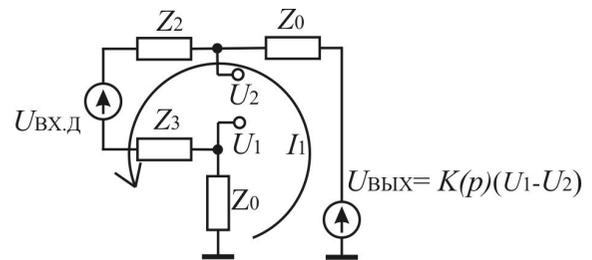


Рис. 4. Эквивалентная схема дифференциального корректора для области верхних частот

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + pR_2C}, Z_3 = \frac{R_{\Gamma} R_1}{R_{\Gamma} + R_1} + Z_2,$$

$$Z_0 = \frac{R_0}{1 + pR_0C}, K(p) = \frac{K}{1 + pT_{OY}}, p = 2\pi jf,$$

где C – емкость монтажа, T_{OY} – постоянная времени ОУ.

В соответствии с методом контурных токов [5] запишем линейное уравнение

$$I_1(Z_2 + Z_3 + 2Z_0) = U_{ВЫХ} - U_{ВХ.Д}.$$

Решая ур. (5) относительно переменной I_1 с учетом соотношений

$$U_1 = I_1 Z_0,$$

$$U_2 = U_{ВХ.Д} + I_1(Z_2 + Z_3 + Z_0),$$

получим выражение для передаточной функции корректора для дифференциального входного сигнала

$$W(p) = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ.Д}} = - \frac{K(p)}{1 + \frac{(Z_2 + Z_3)(1 + K(p))}{2Z_0}} \quad (6)$$

Зависимость модуля комплексной передаточной функции (6) от частоты для корректора на ОУ типа AD818 [9] для $C=0,5$ пФ, $K=3500$, $R_f=R_i=75$ Ом, $T_{ОУ}=1,1 \cdot 10^{-5}$ с и трех пар численных значений R_2 и R_0 приведена на рис. 5.

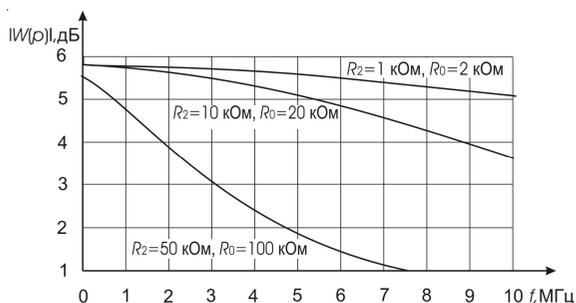


Рис. 5. Частотные характеристики дифференциального корректора

Предельное минимальное значение полосы рабочих частот, удовлетворяющее требованиям [4], соответствует значениям $R_2=10$ кОм и $R_0=20$ кОм. При этом в соответствии с (4) максимальное входное синфазное сопротивление составляет 15 кОм.

При больших значениях напряжения помехи входное синфазное сопротивление корректора в десятки кОм может оказаться недостаточным для уменьшения помехи до уровня, при котором отношение сигнала яркости к фоновой помехе удовлетворяет требованиям ГОСТ [4]. В этих обстоятельствах следует использовать схему дифференциального корректора на двух ОУ, приведенную на рис. 6 [9].

Входное синфазное сопротивление дифференциального корректора на двух ОУ равно [10]

$$R_{ВХ.С} \approx \frac{KR_{ВХ.ДИФ}}{2}, \quad (7)$$

где $R_{ВХ.ДИФ}$ — дифференциальное входное сопротивление ОУ.

Значение входного синфазного сопротивления в соответствии с (7) не зависит от параметров пассивных элементов схемы и определяется свойствами самого ОУ. При этом свойства корректора в области верхних частот зависят от сопротивлений R_0 и R_2 аналогично (6).

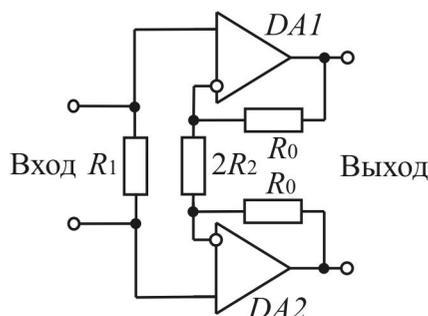


Рис. 6. Дифференциальный корректор на двух ОУ

Максимальное значение коэффициента подавления помехи в дифференциальных корректорах на ОУ равно коэффициенту ослабления синфазного сигнала ОУ. Экспериментально измеренные значения коэффициента подавления помехи с частотой 50 Гц в дифференциальных корректорах на ОУ типа AD818 составили 65 дБ для схемы, приведенной на рис. 3, а, и 73 дБ для схемы, приведенной на рис. 6. Отклонение экспериментальных значений коэффициента подавления помехи от максимально возможного значения 100 дБ [9] обусловлено разбросом параметров элементов в схеме с одним ОУ и неидентичностью активных устройств в схеме с двумя ОУ.

Таким образом, для получения максимального подавления помехи в дифференциальных корректорах необходимо увеличивать их входное синфазное сопротивление, что минимизирует проникновение помехи на дифференциальный вход устройства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутусов М.М., Верник С.М., Галкин С.Л. и др. Волоконно-оптические системы передачи / Под ред. В.Н. Гомзина. — М.: Радио и связь, 1992. — 416 с.
2. Правила устройства электроустановок. — М.: Главгосэнергонадзор России, 1998. — 608 с.
3. Стрижевский Н.З. Коаксиальные видеопроводы. — М.: Радио и связь, 1988. — 200 с.
4. ГОСТ 19871-83 Каналы изображения аппаратно-студийного комплекса и передвижной телевизионной станции вещательного телевидения. Основные параметры и методы измерений.
5. Куземко В., Шебзухов К. Кабельные корректоры // "625". — 2001. — № 9. — С. 8–14.
6. Сигорский В.П. Матрицы и графы в электронике. — М.: Энергия, 1968. — 175 с.
7. Волосников С.И., Юргенсон Д.Р. Подавление синфазных помех в схемах с операционными усилителями // Радиотехника. — 1988. — № 7. — С. 27–29.
8. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 510 с.
9. http://www.analog.com/productSelection/pdf/AD818_b.pdf
10. Игумнов Д.В., Костюнина Г.П. Полупроводниковые усиленные устройства. — М.: Радио и связь, 1998. — 272 с.