

В. Н. ВЬЮХИН
(Новосибирск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИЕМНИКА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ПОМЕХ В ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЦЕПЯХ

В системах сбора и обработки информации типа КАМАК между отдельными модулями, имеющими общий нуль источников питания, существует продольная помеха, т. е. разность потенциалов между нулевыми выводами модулей. Поэтому при межмодульной передаче аналоговой информации от источника к приемнику возникает погрешность, достигающая десятков милливольт.

Механизм образования продольной помехи между двумя модулями в крейте КАМАК поясняется рис. 1, где приняты следующие обозначения: $r_{ш}$ — сопротивление участка нулевой шины источника питания между точками подключения к ней модулей 1 и 2; $r_{к1}$, $r_{к2}$ — сопротивления контакта разъема и проводника, соединяющего контакт разъема с нулевой шиной источника соответственно для модулей 1 и 2; $r_{н1}$, $r_{н2}$ — сопротивления нулевой шины на плате; ΣI_1 , ΣI_2 — суммарные токи модулей, протекающие по нулевым шинам с учетом знаков; ΣI_3 — суммарный ток остальных модулей в крейте, протекающий по $r_{ш}$; ΣE — источники напряжений питания модулей.

Напряжение продольной помехи $E_{п}$, существующее между нулевыми выводами А и Б модулей 1 и 2, выражается таким образом:

$$E_{п} = E_{А} - E_{Б} = \Sigma I_1(r_{н1} + r_{к1}) - [\Sigma I_2(r_{н2} + r_{к2} + r_{ш}) + \Sigma I_3 r_{ш}]. \quad (1)$$

Знаки токов в (1) совпадают со знаком соответствующих им источников напряжений. Оценим продольную помеху при $\Sigma I_1 \ll \Sigma I_2$ и $r_{ш} = 0$. При допустимой плотности тока шин печатной платы $\Pi = 20$ А/мм², длине нулевой шины $l = 20$ см и одинаковой полярности токов ΣI_2 значение помехи из (1)

$$E_{п} = \Pi l \rho = 80 \text{ мВ}$$

(ρ — удельное сопротивление меди). Увеличение сечения нулевых проводников, а также размещение точки соединения потенциальной и токовой нулевых шин печатной платы вблизи нулевых контактов разъема уменьшает продольную помеху в несколько раз, но в большинстве случаев этого недостаточно. По проводнику при соединении точек А и Б протекает часть тока ΣI_1 , создавая продольную помеху. Отметим, что основным источником помехи является ток цифровых микросхем, который может меняться в зависимости от их логических состояний.

Распространенный способ подавления продольной помехи путем гальванической развязки модулей требует для реализации большого количества цифровых оптронов и изолированных источников питания. Поэтому такое решение при внутри- и межкрейтовых передачах аналоговых сигналов в большинстве случаев неприемлемо.

Более простой способ подавления продольной помехи — подавление операционным усилителем (ОУ), включенным по схеме дифференциального усилителя (ДУ). ДУ более предпочтительно включать на вход приемника аналоговой информации, поскольку при включении его на выход источника последний не сможет работать на незаземленную нагрузку.

В зависимости от конкретных требований ДУ может быть выполнен на одном или нескольких ОУ*. Базовая схема ДУ на одном ОУ и четырех согласованных резисторах (рис. 2, а) пригодна для большинства случаев подавления помехи и может быть включена для полезного сигнала по инвертирующей или неинвертирующей схеме. При выполнении условия $R1'/R2 = R3/R4$, $R1' = R1 + R1$ продольная помеха преобразуется в синфазную для ОУ и подавляется им, а коэффициент передачи входного сигнала $K_0 = \pm R2/R1'$. Определим коэффициент преобразования продольной помехи в синфазный сигнал $K_{п}$ как отношение коэффициентов передачи ДУ по входному сигналу и сигналу помехи при условии, что ОУ идеален. Анализ схемы рис. 2, а дает следующее выражение для $K_{п}$:

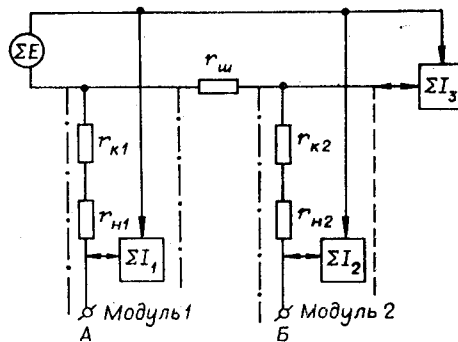


Рис. 1.

* Проектирование и применение операционных усилителей/Под ред. Д. Грема, Д. Тоби, Л. Хьюлсмана. М.: Мир, 1974.

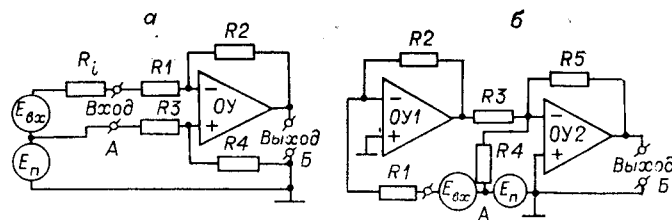


Рис. 2.

$$K_n = (1 + |K_0|)/\delta, \quad (2)$$

где $\delta = ((R1'/R2) - R3/R4)/(R1'/R2)$ — погрешность от несогласованности резисторов входной цепи ДУ. Коэффициент подавления продольной помехи ДУ определяется неточным преобразованием помехи в синфазный сигнал согласно (2) и конечным коэффициентом K_c подавления синфазного сигнала ОУ:

$$K_p = (K_n K_c)/(K_n + K_c). \quad (3)$$

Современные ОУ среднего быстродействия (140УД6, 544УД1...), и в особенности прецизионный ОУ 551УД1 (153УД5), имеют достаточно низкие погрешности, которые могут быть еще более уменьшены путем включения стабилизирующего МДМ-канала на основе 140УД13. Поэтому всегда можно выбрать такую схему ДУ, которая, подавляя помехи, не внесет существенных погрешностей в тракт передачи сигнала. Влияние внутреннего сопротивления источника сигнала R_i на степень подавления помехи может быть устранено путем включения добавочного ОУ с высоким входным сопротивлением*.

Если ДУ не обеспечивает необходимого коэффициента подавления продольной помехи, то его значение может быть повышено «плавающим» питанием ОУ (что повышает K_c) или подстройкой K_n до выполнения $K_c = -K_n$. При значительной величине помехи E_n и $R_i = 0$ схема ДУ выполнима на двух инвертирующих ОУ (рис. 2, б), не имеющих синфазной составляющей. Для этой схемы $K_c = \infty$ и $K_p = K_n$.

Амплитудный диапазон подавляемых ДУ помех определяется диапазоном линейной работы ОУ и при коэффициенте передачи сигнала $K_0 = \pm 1$ не превышает ± 10 В. Существенного повышения допустимого значения помехи можно достичь при $K_0 \ll 1$, однако при этом влияние погрешностей ДУ на передачу сигнала возрастает в $1/K_0$ раз. Например, для подавления продольной помехи $E_{п.эф} = 220$ В (50 Гц) необходимо выбрать $K_0 = 0,01$. В этом случае при достижимых значениях дрейфа нуля и шума на выходе ОУ 40 мкВ и коэффициенте $K_p = 100$ дБ погрешность передачи сигнала, приведенная ко входу, будет ~ 10 мВ.

Описанный способ подавления продольных помех был успешно апробирован на установках, требующих передачи аналоговых сигналов с погрешностью 100 мкВ при продольной помехе $10 \div 100$ мВ. ДУ, выполненный на ОУ 551УД1 и резистивной матрице 302НР3, обеспечил коэффициент подавления продольной помехи в диапазоне ± 5 В более 90 дБ без подстроек. Во всех случаях использовалась схема рис. 2, а.

ВЫВОД

На входе приемников аналоговых сигналов в измерительных цепях КАМАК целесообразно устанавливать дифференциальный усилитель, обеспечивающий подавление продольной помехи. Изложенное справедливо также для других типов измерительных систем.

Поступило в редакцию 1 июля 1980 г.

* Проектирование и применение операционных усилителей/Под ред. Д. Грема, Д. Тоби, Л. Хьюлсмана. М.: Мир, 1974.