

Диагностика интегральных операционных усилителей, установленных на платах

Б. В. ЦЫПИН, Н. К. ЮРКОВ

Изложены методы оценки исправности микросхем операционных усилителей, установленных на платах радиоэлектронной аппаратуры. Показана возможность измерения коэффициента усиления независимо от элементов, соединенных на плате с усилителем.

The diagnostics methods of microcircuits operating amplifiers placed on cards of the electronic equipment are surveyed. The possibility of measurement of an amplification factor irrespective of units, jointed on card with the amplifier, is shown.

Интегральный операционный усилитель (ОУ) — один из наиболее распространенных элементов аналоговой радиоэлектронной аппаратуры. В процессе монтажа плат аппаратуры или сборки гибридных интегральных схем ОУ может быть поврежден. Возникает задача определения его исправности без выпаивания из рабочей платы. Обычные методы контроля ОУ для решения данной задачи не приемлемы, так как требуют включения усилителя в специальную измерительную схему [1], тогда как он уже включен в рабочую схему платы, элементы и сигналы которой препятствуют измерению параметров.

Для диагностики ОУ на плате можно контролировать напряжения на выводах усилителя. У исправных усилителей при работе в линейной области, как правило [2], входной дифференциальный сигнал $U_{\text{вх}}^{\text{д}}$, равный разности напряжений на прямом $U_{\text{вх}}^{\text{п}}$ и инверсном $U_{\text{вх}}^{\text{и}}$ входах ОУ, не превышает предельно допустимого значения напряжения $U_{\text{см}}$ смещения нуля:

$$|U_{\text{вх}}^{\text{д}}| = |U_{\text{вх}}^{\text{п}} - U_{\text{вх}}^{\text{и}}| \leq |U_{\text{см}}|. \quad (1)$$

Если условие (1) не выполняется, например, в схемах с ограничением, полярность $\text{sgn}(U_{\text{вых}})$ выходного напряже-

ния должна соответствовать полярности $\text{sgn}(U_{\text{вх}}^{\text{д}})$ входного дифференциального сигнала:

$$\text{sgn}(U_{\text{вх}}^{\text{д}}) = \text{sgn}(U_{\text{вых}}). \quad (2)$$

У операционных усилителей, которые имеют выводы промежуточных каскадов усиления, предназначенные для подключения внешних цепей установки нуля и частотной коррекции, дополнительно можно проконтролировать напряжения U_j на этих выводах. Диапазон допустимых значений напряжений $U_{j \text{ доп}}$ не превышает десятые доли вольта. Для конкретных типов ОУ предельно допустимые значения $U_{j \text{ доп}}$ можно рассчитать по принципиальной схеме или найти экспериментально.

Изложенные соображения положены в основу одного из возможных алгоритмов диагностирования ОУ на платах (рис. 1):

1. Проверяют соответствие напряжений U_j диапазонам допустимых значений $U_{j \text{ доп}}$.
2. Выделяют входной дифференциальный сигнал и проверяют выполнение условия (1).
3. При несоблюдении условия (1) проверяют выполнение условия (2).

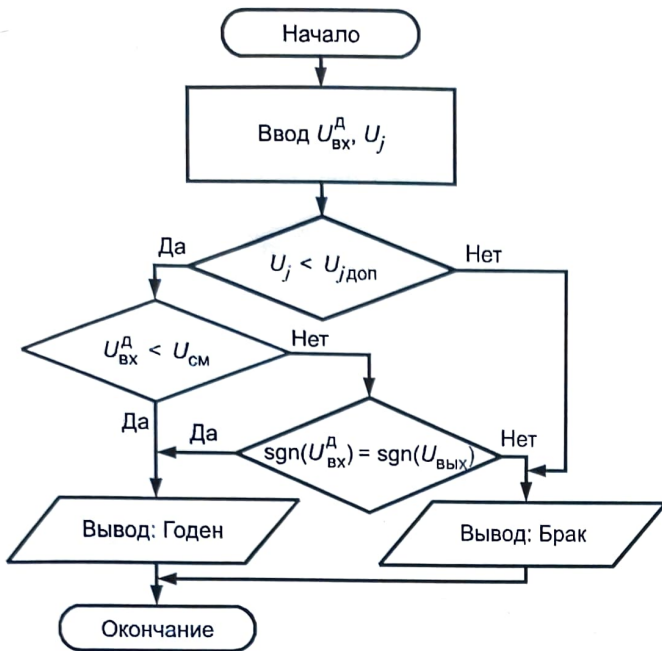


Рис. 1. Алгоритм диагностирования операционных усилителей в составе рабочей платы

4. В случае невыполнения условий п.1 или одновременного невыполнения условий пп. 2 и 3 принимается решение «Брак».

5. Если условия пп. 1 и 2 или пп. 1 и 3 выполняются, то принимается решение «Годен».

При реализации алгоритма следует учесть, что для сравнительно высокочастотных сигналов из-за фазовых искажений и задержек в исправном усилителе в отдельные моменты времени возможно нарушение условия (2). Для исключения ошибок диагностирования необходима предварительная фильтрация сигналов. Достоверность результатов диагностирования рассмотренным методом достигает 0,97. Однако для ОУ, не имеющих выводов промежуточных каскадов, она снижается до 0,8 [2].

Повысить достоверность можно при переходе к контролю усилительных свойств ОУ. Для уменьшения влияния элементов рабочей схемы установленный в плате ОУ (рис. 2) охватывают дополнительной резистивной обратной связью через R_{01} и R_{02} [3]. О работоспособности ОУ судят по выделяемой пиковым детектором ПД реакции на тестовый импульсный сигнал, вырабатываемый генератором импульсов ГИ.

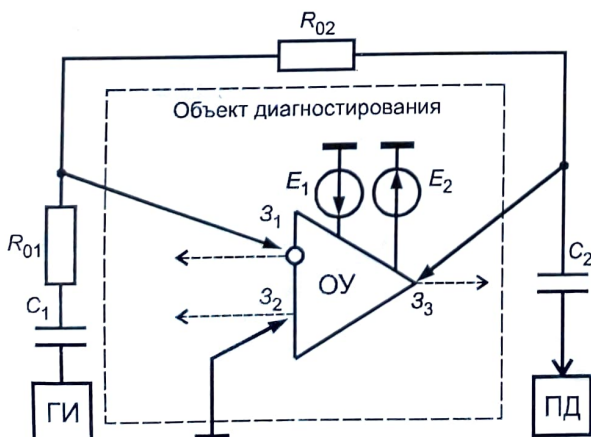


Рис. 2. Контроль усиления операционного усилителя, включенного в инвертирующую схему

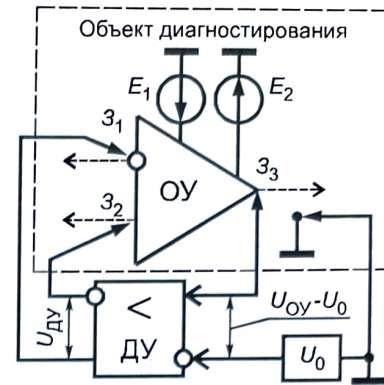


Рис. 3. Измерение коэффициента усиления в рабочей плате

Такой метод позволяет качественно оценить усилительные свойства ОУ. Однако область применения метода ограничена. Во-первых, достаточно сложно выделить реакцию ОУ на импульсный тестовый сигнал на фоне возможных рабочих сигналов платы, которые также могут быть импульсными. Во-вторых, метод неприменим при включении на входе контролируемого ОУ низкоомных цепей, например, катушек индуктивности. Затруднительно использовать метод для контроля ОУ, охваченных обратной связью через другие усилители, так как сигналы схемы и тестовый сигнал суммируются и проходят по всему тракту.

Гораздо больше возможностей открывается при охвате контролируемого ОУ отрицательной обратной связью через дополнительный дифференциальный усилитель (ДУ) [4]. На прямой вход ДУ (рис. 3) подают тестовый сигнал U_0 . Выход ДУ включают между прямым и инверсным входами контролируемого усилителя. Таким образом, входной дифференциальный сигнал контролируемого ОУ задается от ДУ и из-за малого выходного сопротивления последнего перестает зависеть от остальных сигналов рабочей схемы. Они оказываются короткозамкнутыми между собой. В правильно спроектированной рабочей схеме это не приводит к выходу из строя предшествующих ОУ каскадов, так как номиналы элементов межкаскадных связей должны быть выбраны исходя из допустимой нагрузочной способности.

Поступающее на инверсный вход ДУ выходное напряжение контролируемого ОУ

$$U_{ОУ} = (U_0 - U_{дУ}) K_{ОУ} K_{дУ},$$

где $K_{дУ}$ и $K_{ОУ}$ — коэффициенты усиления ДУ и ОУ.

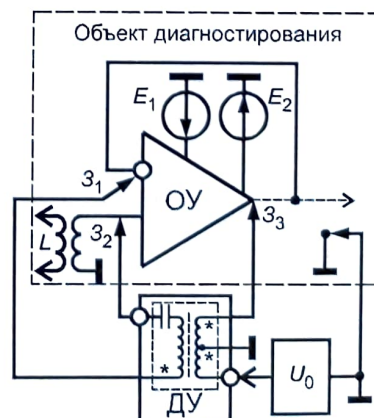


Рис. 4. Пример измерения коэффициента усиления в схеме неинвертирующего усилителя

Отсюда

$$K_{OУ} = \frac{U_0}{(U_0 - U_{ДУ})K_{ДУ}}$$

При $K_{OУ} \gg 1$ достаточно точно выполняется равенство $U_{OУ} \approx U_{ДУ}$. Благодаря этому, можно воспользоваться приближенной формулой для расчета

$$K_{OУ} \approx \frac{U_0}{(U_0 - U_{OУ})K_{ДУ}}$$

т. е. для измерения $K_{OУ}$ достаточно измерить разность входных напряжений ДУ, причем $K_{ДУ}$ используется как масштабный множитель для разных пределов измерения. С уменьшением значения $K_{ДУ}$ увеличивается разность напряжений $U_0 - U_{OУ}$, что облегчает условия измерения.

Отметим некоторые особенности схемотехники дифференциального усилителя. Учитывая, что режим работы ОУ по постоянному току задан рабочей схемой и дополнительного задания режима через элементы схемы контроля не требуется, целесообразно гальванически разделить входы ОУ и выход ДУ. Дифференциальный усилитель должен иметь низкое выходное сопротивление для тестового сигнала и высокое сопротивление по постоянному току, например, за счет подключения к ОУ через разделительный конденсатор

большой емкости. В простейшем случае в качестве ДУ можно использовать обычный трансформатор напряжения. При этом выходы ДУ непосредственно связаны с входами ОУ, не изменяя режима работы последнего. Исключается необходимость применения разных диагностических схем для проверки ОУ в разных конфигурациях рабочих схем, так как в любом варианте исключена опасность короткого замыкания выхода ОУ через общую шину. Например, в весьма сложной для диагностики предыдущим методом схеме неинвертирующего усилителя (рис. 4) исключается возможность перегрузки ОУ по постоянному току через выходное сопротивление ДУ и индуктивность L .

Экспериментальные исследования подтверждают справедливость изложенных выводов и рекомендаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Достал И. Операционные усилители: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982.
2. Цыпин Б.В., Казаков В.А. // Техника средств связи, сер. ТПО. — 1983. — Вып. 3. — С. 81.
3. Байда Н.П., Кузьмин И.В., Шпилевой В.Т. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА. — М.: Радио и связь, 1987.
4. А. с. 1626221 СССР / Л.В. Каменев и др. // Открытия. Изобретения. — 1991. — № 5.

Дата одобрения 09.07.2001 г.