

УДК 621.3.049.77

## МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ НА ПЛАСТИНЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ И МЕЛКОСЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

М. О. Рапидов

НИИ физических проблем им. Ф. В. Лукина  
Россия, г. Москва  
mor52@mail.ru

*Рассматривается метод организации автоматизированного контроля статических параметров операционных усилителей в составе пластин при отработке технологии или мелкосерийном производстве. Метод основан на предлагаемом алгоритме измерений характерных точек передаточной характеристики и не требует затрат на специализированные средства контроля.*

*Ключевые слова: алгоритм, контроль, измерения, параметры ОУ, кремниевая пластина.*

В последнее время наблюдается рост потребительского спроса на заведомо бездефектные кристаллы (ЗБК) интегральных схем (ИС). Сегодня использование в космических изделиях систем в корпусе (СвК) признано стратегической технологией для мировой и отечественной космической промышленности [1]. Технология СвК предполагает наличие рынка ЗБК, но такой отечественный рынок практически отсутствует. Для решения этой проблемы, наряду с другим, необходимо обеспечивать достоверный контроль параметров всех кристаллов интегральных схем на пластине. В частности, производитель кристаллов операционных усилителей (ОУ) должен наладить такой контроль для своей продукции. Иное решение проблемы – налаживание потребителем входного контроля кристаллов ОУ на покупной пластине. При любом варианте потребность в достоверном автоматизированном контроле параметров ОУ достаточно велика.

Специализированные БИС с ОУ в кристаллах потенциально могут поставлять производители КМОП базовых матричных кристаллов (БМК), библиотека которых содержит аналоговые блоки. Библиотека БМК 5503 [2] НПК «Технологический центр» МИЭТ, например, содержит ОУ с коэффициентами усиления 78 — 80 дБ и 95 дБ. Значительные финансовые затраты на специализированное метрологическое обеспечение — существенный сдерживающий фактор для производителей БМК при освоении выпуска ЗБК ОУ. Любой изготовитель БМК располагает универсальной автоматизированной измерительной системой (АИС) для тестового контроля и (или) контроля цифровых схем, в составе которой имеются измерители тока, напряжения, источники стабилизированного напряжения и т. п. Этого оборудования вполне достаточно для налаживания автоматизированного контроля статических характеристик кристаллов аналоговых ИС. Такой контроль на основе разработанной методики измерений характерных точек [3] был налажен на нескольких предприятиях Зеленограда, в том числе в НПК «Технологический центр» МИЭТ, на пластине проводилась отбраковка по статическим параметрам ОУ с коэффициентами усиления 65 дБ.

Достаточно подробное в обобщенном виде описание методики контроля аналоговых ИС приведено в [3]. Для ОУ методика сводится к обеспечению измерения характерных точек передаточной характеристики усилителя. Рассмотрим методику на конкретном примере контроля двух параметров ОУ: коэффициента усиления  $A_{uo}$  и входного напряжения смещения  $U_{sm}$ , при использовании однополярного питания  $U_{cc}$ , как для ОУ на БМК 5503. Схема измерения характерных точек передаточной характеристики ОУ в основном режиме показана на рис. 1. На схеме обозначены блоки АИС:  $U_{cc}$  — источник напряжения для питания ОУ;  $U_c$  — источник синфазного напряжения;  $I_{in}$  — источник тока для формирования дифференциального входного сигнала;  $U_{ou}$  — измеритель напряжения на выходе ОУ. Кроме того, применяется резистор  $R$ , который размещается на контактирующем устройстве в непосредственной близости от ОУ. Никакой другой оснастки не требуется. Схема обеспечивает кон-

троль параметров ( $A_{uo}$  и  $U_{sm}$ ) передаточной характеристики ОУ при помощи характерной точки — середины передаточной характеристики  $\{X_O, U_{O}=0,5U_{cc}\}$  (рис. 2). Входное дифференциальное напряжение задается источником  $I_{in}$  на резисторе  $R$  и вычисляется как  $X = RI_{in}$  по измеряемому в процессе контроля каждого ОУ сопротивлению резистора.

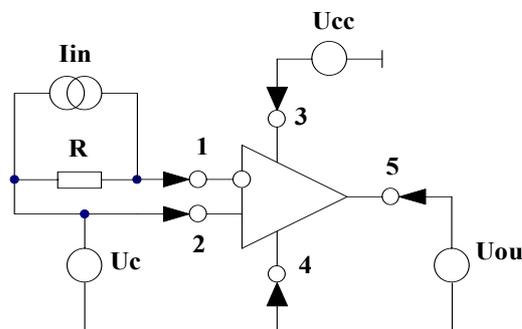


Рис. 1. Основная схема измерения (стрелками с цифрами условно обозначены зонды контактирующего устройства)

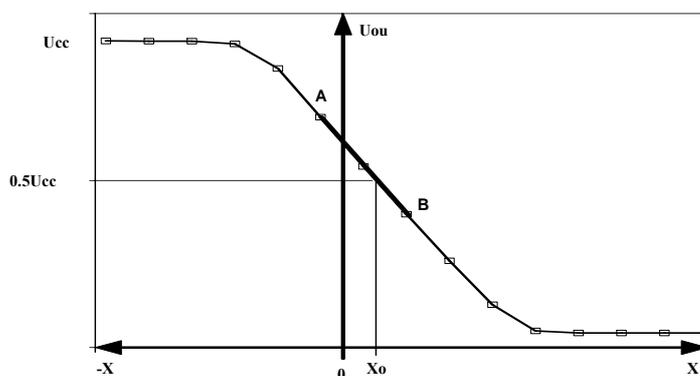


Рис. 2. Передаточная характеристика ОУ при однополярном питании  $U_{cc}$

Для успешного контроля ОУ на пластине по характерным точкам передаточной характеристики необходимо выполнить четыре основных этапа (Э1 — Э4):

Э1 — предварительный (производится однократно для каждого нового типа ОУ). Заключается в нахождении на пластине функционирующих кристаллов. Проводят два теста гарантированного насыщения на выходе, например при  $X = 1$  В и  $-1$  В,  $U_{ou} = 0$  и  $U_{cc}$ , соответственно.

Э2 — настроечный. Построение по измеренным точкам передаточной характеристики (рис. 2) нескольких функционирующих кристаллов по множеству точек с обеспечением выходных напряжений в диапазоне от 0 до  $U_{cc}$  и подбором шагов входного воздействия  $\Delta X$  для гарантированного попадания на линейный участок не менее двух точек А и В. Оценка величины  $A_{uo}$  по тангенсу угла наклона отрезка АВ. Оптимальный шаг входного дифференциального напряжения для автоматизированного контроля выбирают как  $0,5 (X_B - X_A)$ .

Э3 — программирование АИС. На основе информации этапа Э2 проводят разработку и отладку рабочей программы по алгоритму [3] или по предлагаемой его модернизации.

Э4 — автоматизированный контроль.

Конкретизация содержания этих этапов, кроме отработки алгоритма, не требуется, т. к. относится к стандартным вопросам контроля электрических параметров на АИС.

Одна из характерных точек передаточной характеристики ОУ — ее середина ( $U_{ou} = 0,5U_{cc}$ ), в которой  $X_O = U_{sm}$ , тангенс угла наклона касательной в этой точке равен  $A_{uo}$ . Алгоритм [3] сводится к определению координат этой точки при использовании кусочно-линейной аппроксимации характеристики, в частности отрезком АВ. Последовательным заданием входных воздействий  $X_H, X_H - \Delta X, X_H - 2\Delta X, \dots, X_K$  (когда будет достигнуто  $U_{uo} \geq 0,5U_{cc}$ ) и измерением соответствующих напряжений на выходе ОУ определяется

середина отрезка АВ. При этом для сокращения времени контроля целесообразно последовательным приближением использовать несколько циклов, когда в первом цикле применяется шаг на порядок больший шага следующего цикла. Чем выше значение и разброс параметров  $A_{uo}$  и  $U_{sm}$ , тем требуется большее число циклов. Для ОУ с коэффициентами усиления порядка 65 дБ хватало не более двух циклов. Технический прогресс (достижение значения коэффициента усиления 95 дБ) с целью дальнейшего сокращения времени контроля привел к необходимости модернизации алгоритма.

Автором предложено вместо первого цикла со схемой контроля на рис.1 для нахождения первого приближения характерной точки  $U_{O1}$  использовать схему включения ОУ как повторителя входного напряжения  $0,5U_{cc}$ , задаваемого источником тока  $I_{in1} = 0,5U_{cc}/R$ , с измерением выходного напряжения, причем разность напряжений принимается за  $U_{O1}$ . Затем по схеме рис.1 последовательно задаются токи  $I_{in1}+I_{\Delta X}$  и  $I_{in1}-I_{\Delta X}$  по выбранному шагу  $I_{\Delta X}$  на этапе Э2, и измеряются соответствующие напряжения  $U1$  и  $U2$ . За первое приближение коэффициента усиления принимается  $A_{uo1}=(U2-U1)/2RI_{\Delta X}$ . После этого, как и в алгоритме [3], организуется цикл из трех (лучше из четырех, когда начинается с  $X_H+\Delta X$ ) входных воздействий  $X_H$ ,  $X_H-\Delta X$ ,  $X_H-2\Delta X$ , при которых соответственно  $I_H = I_B = U_{O1}/R + E/R A_{uo11}$ ;  $\Delta X = E/A_{uo1}$ . Здесь  $E$  – напряжение, не превосходящее половину диапазона выходного рабочего напряжения — выбирается на этапе Э2. Далее как и в [3] определяются  $A_{uo}$  и  $U_{sm}$ . Аналогично можно контролировать такие статические параметры ОУ, как коэффициент ослабления синфазного сигнала, коэффициент влияния источников питания и др.

Погрешность автоматизированного контроля параметров ОУ на пластине, размещенной в зондовом автомате ЭМ-6010, по разработанной методике составляет единицы процентов. В докладе будут приведены соответствующие материалы.

Предлагаемая методика обладает рядом технических и экономических преимуществ по сравнению с традиционными методами контроля [4] с замыканием цепи обратной связи измеряемого ОУ. В частности, упрощается устранение паразитной генерации при контроле; снимаются вопросы аттестации вспомогательной оснастки ввиду ее отсутствия; обеспечивается максимальная простота измерительной коммутации. Методика построена по простейшему алгоритму, что приводит к сокращению затрат на разработку измерительных программ, и реализуется практически на любых АИС. Применение методики целесообразно при мелкосерийном производстве и исследовательских работах, когда затраты на специализированные средства контроля не окупаются, и при необходимости сокращения затрат на разработку специализированной оснастки и на создание дополнительного программного обеспечения. Разработанную методику можно использовать и для контроля параметров ОУ в корпусе.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Данилин Н. С., Булаев И. Ю., Мусиенко В. О. и др. Микроминиатюрные комплекты нового поколения для малых спутников // Материалы XI НТК «Электронная компонентная база космических систем». — Москва: МНТОРЭС им. А.С.Попова, филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» — «НПП «ОПТЭКС». — 2012. — С. 74—83.
2. Басаев А. С., Денисов А. Н., Коныхин В. В., Мальцев П. П. Специализированные ИС космического применения на базовых матричных кристаллах // Петербургский журнал электроники. — 2008. — № 1 (54). — С. 34—39.
3. Рапидов М. О., Гнатюк Н. З. Автоматизированный контроль электрических параметров аналоговых элементов СБИС без применения специализированного измерительного оборудования // В сб.: Основные результаты исследований и разработок (1988—1998). — Москва: НПК «Технологический центр» МИЭТ. — 1998. — С. 105—113.
4. Аналоговые интегральные схемы / Под ред. Дж. Коннели. — Москва: Мир, 1977.

М. О. Rapidov

#### Technique of control of Op Amp parameters on a wafer at researches and small-scale production

The article considers the method of organizing the automated control of static parameters of the Op Amp in the wafers when developing technology or small batch production. The method is based on the proposed algorithm for measuring the characteristic points of the transfer function and does not require expenses on special means of control.

Keywords: *algorithm, control, measure, Op Amp parameters, silicon wafer.*