

Двухканальная аналоговая ИС с программируемыми параметрами

Олег Дворников, Владимир Чеховский, Валентин Дятлов (г. Минск, Беларусь), Николай Прокопенко (г. Шахты, Россия)

На базовом матричном кристалле АБМК-1.3 создана аналоговая микросхема МН1ХА062, содержащая канал с головными биполярными транзисторами и канал с головными полевыми транзисторами с р-п-переходом. Различное соединение выводов ИС и подключение внешних РС-элементов позволяет реализовать несколько аналоговых устройств с программируемыми коэффициентом преобразования входного сигнала, полосой пропускания, скоростью нарастания и током потребления. Приводятся схемные решения отдельных каскадов микросхемы и результаты измерений.

ВВЕДЕНИЕ

Для применения в высококачественных оптикоэлектронных устройствах на комплементарных биполярных транзисторах (БТ) создана конфигурируемая аналоговая микросхема МН2ХА060, которая характеризуется высоким усилением (75 дБ) и полосой пропускания более 19 МГц при 20-кратном усилении.

Из-за существующего технологического разброса параметров БТ входной ток МН2ХА060 превышает 2 мкА даже при наличии схемы компенсации, что недопустимо при работе с высокоимпедансными источниками сигналов. Поэтому дополнительно разработана двухканальная аналоговая микросхема с программируемыми параметрами МН1ХА062, в которой один из каналов с головными полевыми транзисторами с р-п-переходом (ПТП) обеспечи-

вает низкий входной ток. Микросхема МН1ХА062 изготовлена в ОАО «Интеграл» на базовом матричном кристалле АБМК-1.3 [1].

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

Блок-схема и типовая схема включения МН1ХА062 показаны на рисунке 1. Особенности схемотехники блоков обусловлены тем, что базовый кристалл АБМК-1.3, на котором реализована микросхема, содержит горизонтальные р-п-р-транзисторы с низким коэффициентом передачи тока в схеме с общим эмиттером (β), сильно спадающим в области больших токов, и допускает применение ПТП с каналом р-типа (р-ПТП). Канал МН1ХА062Б включает: блок смещения BIAS с двумя идентичными выходами REF1 и REF2, два одинаковых преобразователя вход-

ного напряжения в ток V-I и выходной каскад Output Stage.

Блок смещения (см. рис. 2) состоит из:

- каскодных токовых зеркал, в которых вход одного (база Q110 и Q126) соединён с выходом другого (коллектор Q125 и Q111);
- цепей запуска Q85, Q86 и R56;
- токозадающих цепей Q165, Q168, R59 и Q166, Q169, R60.

Площадь эмиттерного перехода транзистора Q137 в четыре раза больше, чем Q138 (на рисунке 2 для этих транзисторов приведён масштабирующий коэффициент AREA), и в эмиттерную цепь Q137 включён резистор R58, что обеспечивает формирование тока I_{PTAT} прямо пропорционального абсолютной температуре (PTAT – Proportional to Absolute Temperature):

$$I_{PTAT} = I_{R58} \approx \frac{\Phi_T}{R_{58}} \ln \frac{S_{E137}}{S_{E138}} = \frac{\Phi_T}{R_{58}} \ln 4 \approx 340 \text{ мкА}, \quad (1)$$

где S_E – площадь эмиттерного перехода, Φ_T – температурный потенциал, равный примерно 26 мВ при 27°C.

При схемотехническом моделировании, учитывающем реальные значения β, температурные измерения параметров транзисторов и резисторов, а также напряжение Эрли, ток I_{PTAT} составил 325 мкА при 27°C, а эмиттерный ток транзисторов Q168 и Q169 – $I_{E168} = I_{E169} = 317 \text{ мкА}$.

Эмиттерный ток токозадающих транзисторов всех блоков (I_{E170} на рисунке 3) при соединении их узлов REF с одноимёнными узлами блока BIAS приблизительно равен 317 мкА, но может быть уменьшен при подключении резистора между выводом B1 (B2) и шиной отрицательного напряжения питания V_{EE} . Следует отметить, что ток I_{PTAT} и, следовательно, эмиттерные токи токозадающих транзисторов всех блоков малочувствительны к изменению напряжения питания.

В схеме преобразователя входного напряжения в ток (см. рис. 3) использованы известные технические решения [2, 3]. От предыдущих разработок [4] схема отличается, главным образом,

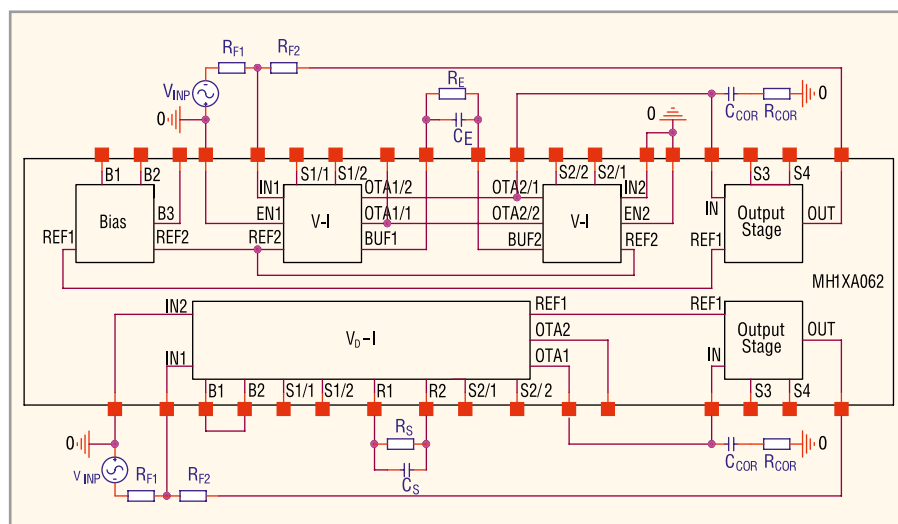


Рис. 1. Блок-схема микросхемы МН1ХА062 и типовая схема её включения

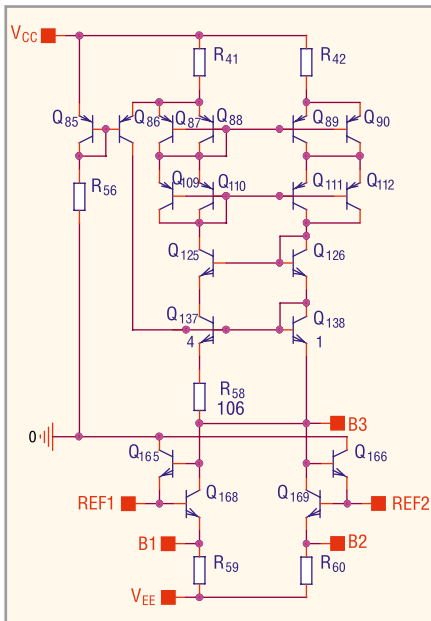


Рис. 2. Принципиальная схема блока смещения BIAS микросхемы MN1XA062

модернизированной цепью следящей обратной связи, в которой применён составной транзистор [5].

Вход IN1 соединён с параллельно включёнными эмиттерными повторителями на p-n-p и n-p-n-транзисторах (Q139, Q140). Выходы повторителей (эмиттеры Q139, Q140) соединены с базами транзисторов противоположного типа проводимости (Q128, Q153). Эмиттеры последних соединены с узлом BUF1. Коллектор транзистора Q128 соединён с входом токового зеркала.

Ввиду малой величины β и напряжения Эрли p-n-p-транзисторов в преобразователе V-I:

- исключён «съём» сигнала с коллектора p-n-p-транзистора Q153 (см. рис. 3), так как его коллекторный ток существенно отличается от эмиттерного. Для обеспечения втекающего выходного тока в преобразователе V-I выполняется инвертирование токовым зеркалом Q159, Q182, Q183 направления коллекторного тока n-p-n-транзистора Q128;
- токовые зеркала на p-n-p-транзисторах выполнены по модифицированным схемам (см. рис. 4), обеспечивающим стабильный коэффициент передачи, не зависящий от β ;
- введён каскод на составном транзисторе Q129, Q133.

Транзисторы Q127 и Q152 являются элементами следящей обратной связи, поддерживающей нулевое напряжение на коллекторных переходах входных транзисторов Q140 и Q139, что позволяет:

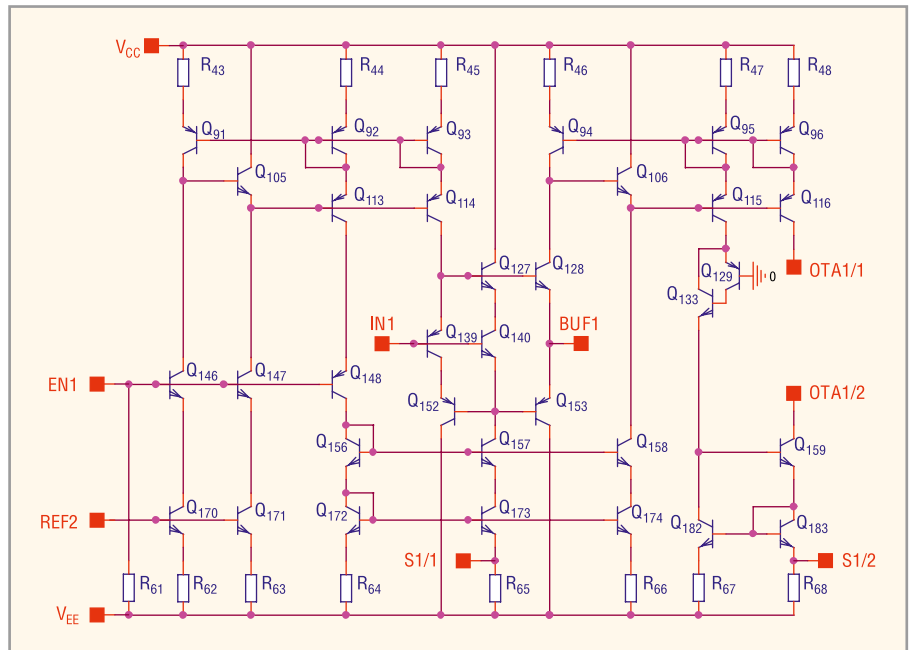


Рис. 3. Принципиальная схема преобразователя напряжение-ток MN1XA062B

- уменьшить входную ёмкость;
- устранить зависимость β входных транзисторов от напряжения на коллекторном переходе и, таким образом, увеличить входное сопротивление.

При «плавающем» узле EN1 усилитель находится в «спящем» режиме, а при подаче на узел EN1 нулевого потенциала переходит в рабочий режим.

Выходной каскод обоих каналов (MN1XA062B, MN1XA062П) выполнен по ранее апробированной схеме (см. рис. 5) [1].

Необходимость применения в канале микросхемы MN1XA062П входных p-ПТП привела к значительной переработке структуры и схемы канала, а именно:

- отпала потребность в использовании РТАТ-источников тока, так как минимальное температурное изменение параметров p-ПТП достигается при оптимальном токе стока, определяемом размерами p-ПТП и технологией его изготовления [6];

ПРИБОРЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ:

ISO 9001 - 2009

ПРИБОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ И ПРОДУКЦИИ

- ПРобойные УСТАНОВКИ
- ИЗМЕРИТЕЛИ RLC
- БЛОКИ ПИТАНИЯ
- ОСЦИЛЛОГРАФЫ
- МЕГАОММЕТРЫ
- ЧАСТОТОМЕРЫ
- КАЛИБРАТОРЫ
- СВЧ-ТЕХНИКА
- ВОЛЬТМЕТРЫ
- ГЕНЕРАТОРЫ

МНИПИ
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

<http://www.mnipi.com>
e-mail: mnipi@mnipi.by
г. Минск, ул. Я. Коласа, 73
тел./факс: +37517-262-57-50

ВСЯ ПРОДУКЦИЯ СЕРТИФИЦИРОВАНА

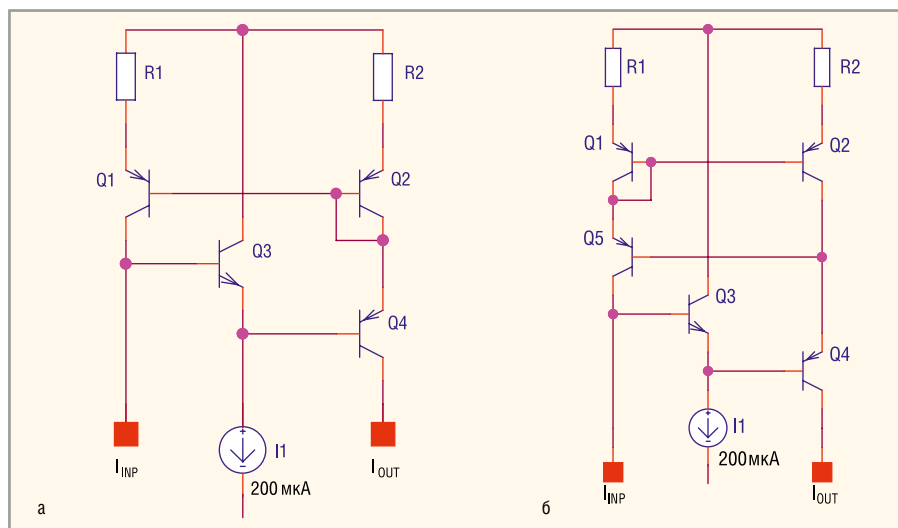


Рис. 4. Модифицированные токовые зеркала на p-p-транзисторах: а – каскодное; б – каскодное с повышенной точностью коэффициента передачи

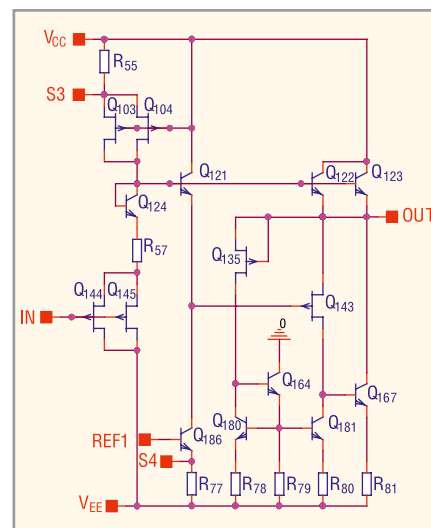


Рис. 5. Принципиальная схема выходного каскада Output Stage микросхемы MN1XA062

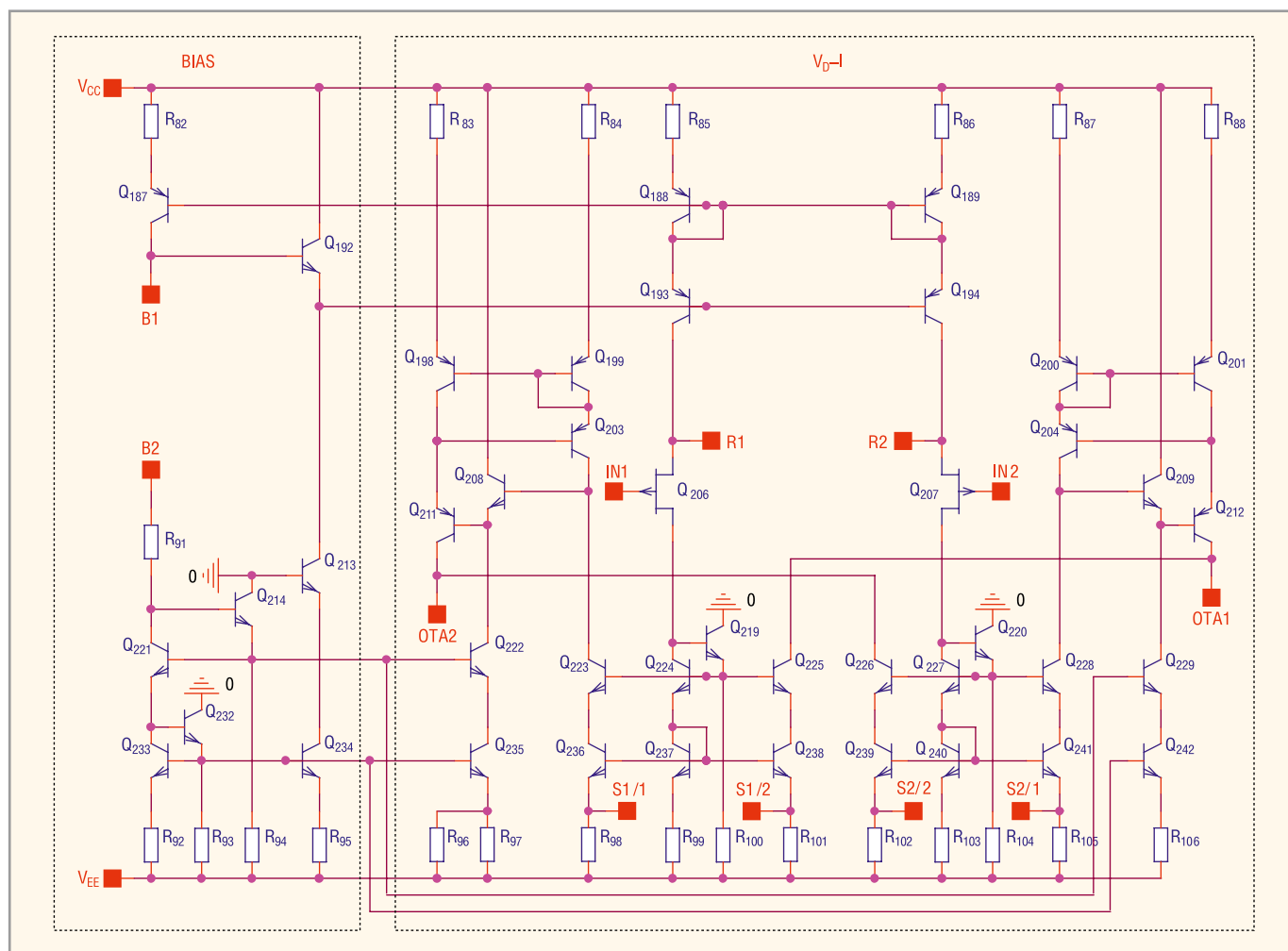


Рис. 6. Принципиальная схема блока смещения и преобразователя дифференциального напряжения в ток V_D-I микросхемы MN1XA062P

● существенно упростилась схема блока смещения, а два преобразователя напряжения в ток были заменены одним преобразователем дифференциального напряжения в ток (V_D-I) (см. рис. 6).
 При выполнении различных соединений выводов на MN1XA062Б можно реализовать:

- 1) повторители напряжения с высокой нагрузочной способностью (на блоках Output Stage);
- 2) операционный усилитель (ОУ) по схеме включения, показанной на рисунке 1;
- 3) преобразователь входного дифференциального напряжения в биполярный выходной ток (Operational

Transconductance Amplifier, OTA) с коэффициентом преобразования

$$K_{VI} = \frac{I_{OUT}}{V_{INP}} \approx \frac{1}{\frac{\Phi_T}{I_{PTAT}} + R_E}, \quad (2)$$

где I_{OUT} – выходной ток (через узел OTA2/1 на рисунке 1), V_{INP} – входное напряжение, R_E – сопротивление рези-

сторона на рисунке 1. При малой величине сопротивления R_E коэффициент преобразования такого устройства не зависит от температуры;

4) аналоговый ключ при включении ОУ с резисторами обратной связи в виде повторителя или усилителя напряжения и подаче сигнала включения/выключения на узел EN.

Микросхема МН1ХА062П обеспечивает работу только в режиме ОУ и преобразователя входного дифференциального напряжения в биполярный выходной ток.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Измерения параметров микросхемы выполнялись с помощью комплекта оборудования, включающего: цифровой осциллограф Infiniium HP 54830B, выносной пробник 10073C, генератор сигналов произвольной формы Agilent 33250A, двухканальный источник питания Agilent E3646, интерфейсный модуль USB – GPIB Agilent 82357B, систему сбора данных Agilent 34970A с набором управляющих модулей и персональный компьютер.

Оборудование было объединено в систему с помощью шины GPIB. Управление осуществлялось посредством разработанного в среде Agilent VEE специализированного программного обеспечения для автоматизированного измерения характеристик ИС.

Амплитудные параметры сигналов определялись с точностью не ниже 0,5 мВ, что обеспечивалось автоматизированной калибровкой тракта вертикального отклонения осциллографа, статистической обработкой и цифровой фильтрацией результатов измерений. Большинство измерений проводилось в автоматическом режиме. Результаты измерений записывались в текстовый файл, дальнейшая обработка которого производилась в среде MS Excel с помощью стандартных средств и специализированных макросов.

Результаты измерений основных параметров ИС МН1ХА062 приведены в таблице и на рисунках 7 и 8.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана конфигурируемая аналоговая ИС МН1ХА062 для оптикоэлектронных устройств, содержащая канал с головными БТ (МН1ХА062Б) и канал с головными р-ПТП (МН1ХА062П). Различное соединение выводов ИС позволяет реализовать на её основе:

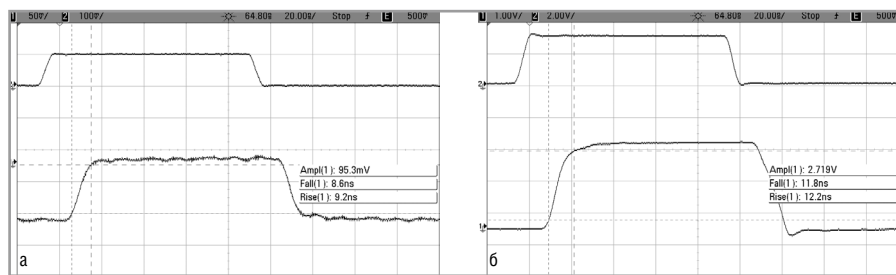


Рис. 7. Сигнал на входе и выходе выходного каскада МН1ХА062 при сопротивлении нагрузки $R_L = 2 \text{ кОм}$ и ёмкости нагрузки $C_L \approx 12 \text{ пФ}$ при амплитуде входного импульса:

а – $V_{\text{АН}} = 100 \text{ мВ}$ (горизонтальная развёртка 20 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 50 мВ/дел, канал 2 – 100 мВ/дел); б – $V_{\text{АН}} = 3 \text{ В}$ (горизонтальная развёртка 20 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 1 В/дел, канал 2 – 2 В/дел)

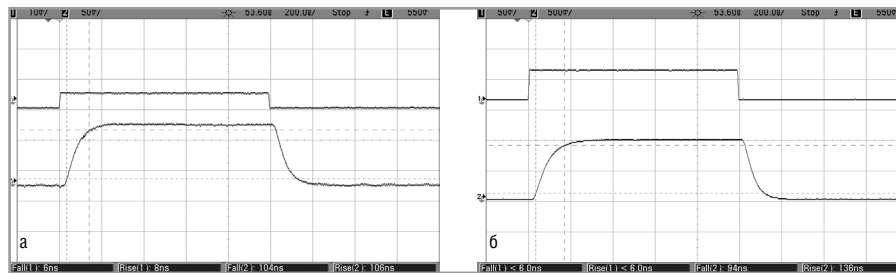


Рис. 8. Сигнал на входе и выходе МН1ХА062Б, включённой по схеме неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления $K_U = 20 \text{ В/В}$ при амплитуде выходного импульса:

а – $V_{\text{АВТ}} = 100 \text{ мВ}$ (горизонтальная развёртка 200 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 10 мВ/дел, канал 2 – 50 мВ/дел); б – $V_{\text{АВТ}} = 1 \text{ В}$ (горизонтальная развёртка 200 нс/дел, вертикальная развёртка: канал 1 – 50 мВ/дел, канал 2 – 500 мВ/дел)

- повторители напряжения с высокой нагрузочной способностью, ОУ, преобразователь напряжения в ток (на основе МН1ХА062Б, МН1ХА062П);
- аналоговый ключ (МН1ХА062Б).

Полоса пропускания по уровню –3 дБ при усилении 20 В/В составляет 3,3 МГц для МН1ХА062Б и 1,4 МГц для МН1ХА062П.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопенко, Н.Н. и др. Элементная база радиационно-стойких информационно-измерительных систем. Шахты. ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2011.
2. Moraveji, F. A Wide-Band, Low-Power, High Slew Rate Voltage-Feedback Operational Amplifier. IEEE Journal of Solid-State Circuits. V.SC-31. 1996. №1. P. 10–16.

3. Moraveji, F. A Tiny, High-Speed, Wide-Band Voltage-Feedback Amplifier Stable with All Capacitive Load. IEEE Journal of Solid-State Circuits. V.SC-31. 1996. № 10. P. 1511–1516.
4. Дворников, О.В. и др. Конфигурируемые аналоговые блоки. Часть 2. Микросхемы на комплементарных биполярных транзисторах. Проблемы современной аналоговой микросхемотехники. Материалы X Международного научно-практического семинара. Часть 1. Шахты. ИСОиП ФГБОУ ВПО «ДГТУ». 2013. С. 230–237.
5. Дворников О.В., Прокопенко Н.Н., Бутырлагин Н.В. Составной транзистор. Патент РФ 2 519 563. Оpubл. 10.06.2014. Бюл. № 16.
6. Достал И. Операционные усилители. Мир. 1982.



Результаты измерений основных параметров микросхемы МН1ХА062 при напряжении питания $\pm 5 \text{ В}$ и температуре 27°C

Наименование параметра	Наименование микросхемы	
	МН1ХА062Б	МН1ХА062П
Ток потребления на канал, мА	7,2	9,9
Входной ток, мкА	9,1	<0,0001
Напряжение смещения, мВ	1,28	2,964
Диапазон входного синфазного напряжения, В	–3,0...2,86	–2...5
Диапазон выходного напряжения, В	–2,58...2,9	–2,58...2,34
Коэффициент усиления при $R_E = 10 \text{ Ом}$ и сопротивлении нагрузки 1 кОм	5354	515
Полоса пропускания по уровню –3 дБ при $R_E = 10 \text{ Ом}$ и усилении 20 В/В, МГц	3,3	1,4
Скорость нарастания/спада выходного напряжения при $R_E = 10 \text{ Ом}$ и усилении 20 В/В, В/мкс	17,2/23,8	7,1/10,0