

# ЛОГАРИФМИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ – ПРОДУКЦИЯ КОМПАНИИ АКОН

С.Дингес, к.т.н., В.Кочемасов, к.т.н. inbox@radiocomp.ru

Компания АКОН ([www.akoninc.com](http://www.akoninc.com)) – ведущий производитель радиочастотных и микроволновых компонентов и подсистем для коммерческих, космических и военных приложений с 1980 года. Компании удается сохранять лидирующие позиции, объединяя огромный опыт инженерного проектирования с мощными производственными возможностями. Продуктовая линейка компании АКОН включает в себя миниатюрные переключатели и фильтры, синтезаторы частот, аттенюаторы и фазовращатели с цифровым управлением, входные РЧ-блоки для приемников, преобразователи частоты и другие электронные устройства. Один из основных видов продукции компании – логарифмические усилители (ЛУ) различных типов и конфигураций [1–9]. В чем преимущества ЛУ под маркой АКОН и где они применяются?

## ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЛОГАРИФМИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЯХ

При построении РЧ-трактов возникает проблема обработки сигналов с большим динамическим диапазоном. Поэтому важно реализовать узел, обрабатывающий и сильные, и слабые сигналы. В последнее время подобная задача все чаще решается путем применения логарифмических усилителей. В отличие от широко используемых в указанных случаях детекторов, выходной сигнал которых пропорционален среднеквадратической величине входного напряжения, логарифмические усилители (детекторы) формируют выходной сигнал, пропорциональный уровню входного сигнала, выраженного в децибелах.

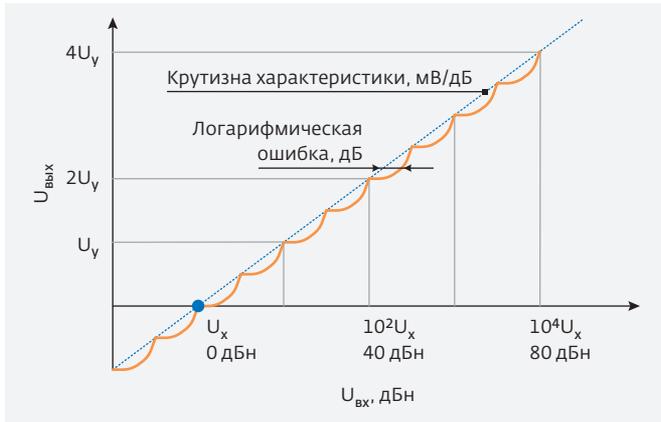
Основные параметры, характеризующие логарифмический усилитель, – крутизна характеристики

ЛУ (Slope) и точка перехвата (Intercept). Они определяют вид передаточной функции усилителя (рис.1), которая отражает соотношение уровней входного и выходного сигналов:

$$U_{\text{вых}} = U_y \log(U_{\text{вх}}/U_x),$$

где  $U_{\text{вых}}$  – выходное напряжение;  
 $U_y$  – крутизна характеристики (обычно основание логарифма для ЛУ выбирается равным 10, тогда  $U_y$  выражается в МВ/дБ);  
 $U_{\text{вх}}$  – входное напряжение;  
 $U_x$  – точка перехвата, или напряжение пересечения (напряжение  $U_{\text{вх}}$ , при котором  $U_{\text{вых}}$  равно нулю).

Как следует из уравнения, в ЛУ нужен изменяющийся коэффициент усиления – приращение



**Рис.1.** Передаточная характеристика идеального ЛУ (пунктирная линия) и основные параметры ЛУ

усиления должно быть обратно пропорционально приращению входного напряжения. Идеальный ЛУ должен обладать бесконечно большим коэффициентом усиления для сигналов низкого уровня и малым – для сигналов высокого уровня. Тепловые шумы, даже незначительные, заметно усиливаются в ЛУ, поэтому в области малых сигналов его реальная характеристика отличается от идеальной.

К другим характерным параметрам ЛУ относятся:

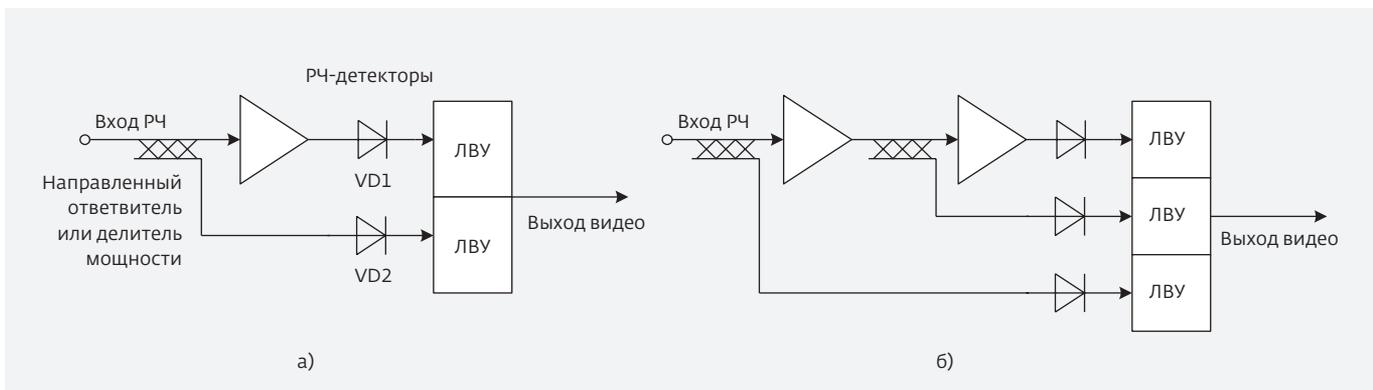
- диапазон рабочих частот;
- логарифмическая ошибка (Logarithmic error, Log linearity), дБ – отклонение логарифмической передаточной функции от ее линейной аппроксимации;
- импульсный отклик (Pulse response) – характеризуется временем нарастания, спада, установления и восстановления детектируемого сигнала и определяется полосой пропускания видеотракта ЛУ;



**Рис.2.** Детектирующий логарифмический видеоусилитель DLVA

- неравномерность (нелинейность) частотной характеристики (Frequency flatness), дБ – изменение напряжения на видео- или РЧ-выходе в рабочем диапазоне частот при постоянных температуре и РЧ-мощности на входе;
- тангенциальная чувствительность к сигналу (Tangential signal sensitivity, TSS) – минимальный детектируемый уровень мощности импульса;
- динамический диапазон логарифмирования (Logging dynamic range), дБ – наиболее широкий диапазон изменения сигнала, удовлетворяющий требованиям к допустимой величине логарифмической ошибки;
- динамический диапазон, дБ – определяется от точки TSS до верхней границы динамического диапазона логарифмирования.

Все логарифмические усилители можно разделить на две основные группы в зависимости от того, производят ли они демодуляцию (детектирование) РЧ-сигнала: истинные (подлинные) и детектирующие, или демодулирующие.



**Рис.3.** Структуры ERDLVA с двумя (а) и тремя (б) детекторами

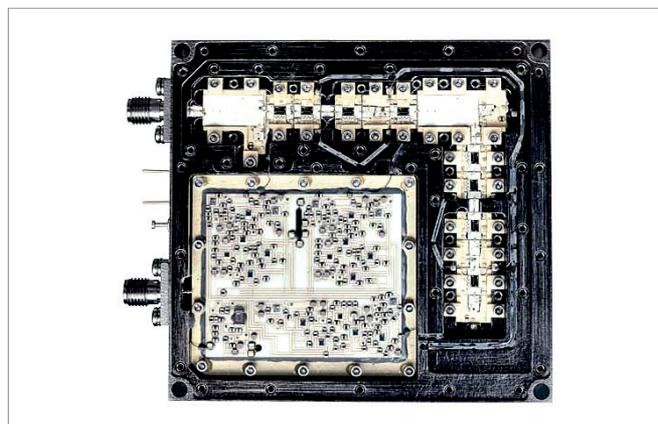
## ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ

Если на выходе устройства необходимо получить огибающую входного РЧ-сигнала, используются детектирующие (демодулирующие) логарифмические усилители (Demodulating Logarithmic Amplifier, DLA). Фазовая информация сигнала при этом не сохраняется из-за процессов детектирования и задержек по фазе. Одна из основных разновидностей ЛУ – детектирующие логарифмические видеоусилители DLVA (Detector logarithmic video amplifier). В DLVA РЧ-сигнал регистрируется диодным детектором, преобразуется в низкочастотный видеосигнал, который затем усиливается с логарифмическим масштабированием. Динамический диапазон DLVA зависит от типа диода детектора: от -45 до 15 дБм при использовании детекторов на диодах Шоттки и от -40 до 5 дБм – детекторов на основе туннельного диода.

Компания AKON выпускает DLVA для применения в диапазонах 0,5–2,0, 2,0–6,0 и 2,0–18,0 ГГц. Усилители выполняются в оснащенных разъемами варианте (рис.2) или в виде РЧ-вставки (в исполнении dgor-in). Для улучшения входного коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН) в устройство может быть встроен ограничитель или аттенюатор. Предлагаются компоненты с внешним аналоговым или цифровым управлением.

Модель A15-ML074 производства компании AKON [8] представляет собой миниатюрный (чуть больше 16 см<sup>3</sup>) широкополосный DLVA в герметичном корпусе, предназначенный для использования в диапазоне частот 1,4–21,5 ГГц. Динамический диапазон усилителя – 40 дБ.

Для серии DLVA с динамическим диапазоном 46 дБ характерно очень малое энергопотребление [2]. Усилители размером 6,6×3,8×1,1 см имеют тангенциальную чувствительность -44...-42 дБм, крутизну характеристики 50±1 или 70±1 мВ/дБ в зависимости



**Рис.4.** Логарифмический усилитель ERDLVA диапазона 0,5–18,0 ГГц

от модели, напряжение питания составляет ±12 В, а диапазон рабочих температур – от -40 до 85°C.

Динамический диапазон DLVA ограничен чувствительностью детектора в области слабых сигналов и насыщением характеристики детектора на другом конце – при сильном сигнале. Детектирующие ЛУ с расширенным динамическим диапазоном (Extended Range Detector Logarithmic Video Amplifier, ERDLVA) могут быть созданы путем параллельного включения необходимого количества однокаскадных усилителей, которые работают в различных интервалах входного РЧ-сигнала. В такой схеме (рис.3) детектор VD1 предварительно усиливает РЧ-сигнал, чтобы его уровень превзошел уровень чувствительности детектора. Логарифмический видеоусилитель (ЛВУ) после VD1 устроен таким образом, чтобы ограничение сигнала в нем наступало раньше, чем детектор войдет в режим компрессии (сжатия). Это позволяет достигать динамического диапазона примерно 30–35 дБ. Поскольку два логарифмических видеоканала суммируются, полный динамический диапазон может составлять 60–70 дБ. Для еще большего

расширения динамического диапазона ERDLVA (до 90 дБ и более) можно использовать три детектора (см. рис.36).

Компания AKON производит линейку ERDLVA, перекрывающих частотные диапазоны 0,5-2, 2-6, 6-18 и 2-18 ГГц [9]. Динамический диапазон этих видеоусилителей (рис.4, см. таблицу) может превысить 80 дБ. Кроме того, они обладают малой погрешностью параметров во всем интервале рабочих частот и температур. Типовое время спада составляет 100 нс при уровне входного сигнала 4 дБм.

### ИСТИННЫЕ ЛОГАРИФМИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ

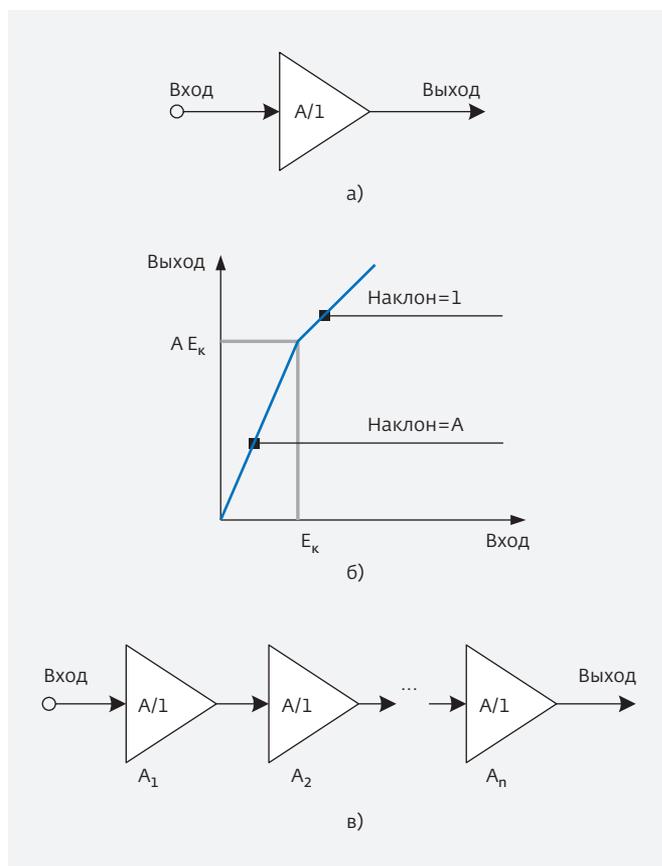
На выходе истинных логарифмических усилителей (True Log Amplifier, TLA) формируется сигнал с амплитудой, прямо пропорциональной

логарифму величины мощности (напряжения) входного сигнала. Так как логарифм сигнала получается без его детектирования или демодуляции, на выходе TLA сохраняется и амплитудная, и фазовая информация, необходимая для последующей обработки сигналов. Такие усилители используют в эхолотах, системах опознавания "свой-чужой", навигационных системах, в радарных системах идентификации движущихся целей. Находят они применение и в некоторых более совершенных системах обработки РЧ-сигналов, например, в сверхбыстрых аналого-цифровых преобразователях для расширения динамического диапазона таких систем.

С целью расширения динамического диапазона в современных истинных ЛУ применяется

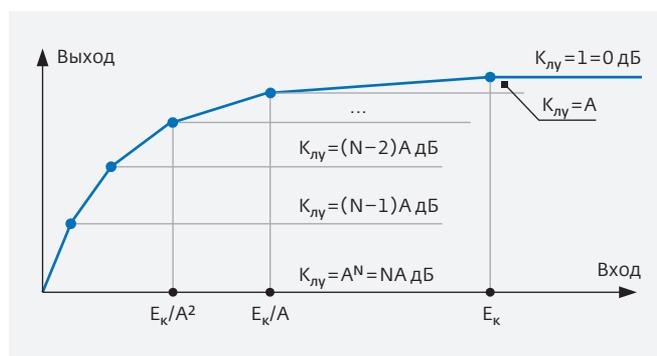
Логарифмические усилители ERDLVA диапазона 0,5–18,0 ГГц

Модель	A15-MH082	A15-MH094	A15-MH095	A15-MH096
Диапазон частот, ГГц	0,5–2,0	2,0–6,0	6,0–18,0	2,0–18,0
Тангенциальная чувствительность TSS, дБм	-73	-73	-70	-69
Динамический диапазон (от TSS до конца логарифмирования), дБ	77	77	75	74
Рабочий диапазон, дБм	-70...4	-71...4	-68...5	-67...5
Наклон характеристики, мВ/дБ	50			
Неравномерность ЧХ, дБ	±1,7 (макс.) ±1,0 (тип.)	±1,5 (макс.) ±1,0 (80% диа- пазона)	±2,0 (макс.) ±1,4 (80% диа- пазона)	±2,75 (макс.) ±1,75 (80% диа- пазона)
Логарифмическая ошибка, дБ	±1,3 (макс.) ±1,0 (тип.)	±1,0 (макс.) ±1,0 (80% диа- пазона)	±1,2 (макс.) ±1,0 (80% диа- пазона)	±1,35 (макс.) ±1,0 (80% диа- пазона)
Температурная вариация, дБ	±1,0 (макс.)	±1,0 (макс.)	±1,25 (макс.)	±1,25 (макс.)
Время нарастания, нс	20 (макс.) 15 (тип.)			
Время спада, нс	150			
Время восстановления, нс	200–250			
Задержка распространения, нс	20 (макс.) 15 (тип.)	18 (макс.) 15 (тип.)		
Напряжение питания, В	±12			
Потребляемый ток при 12/-12 В, мА	500/-150	550/-150		
КСВН	2,0:1			
Рабочая температура, °С	-20...85			



**Рис.5.** Усиливающая ячейка  $A/1$  (а), ее амплитудная характеристика (б) и структура последовательного логарифмического усилителя с линейным ограничением (в)

кусочно-линейная аппроксимация проходной (амплитудной) характеристики ЛУ, для схемотехнической реализации которой используется многокаскадная структура. При этом каждый из последовательно или параллельно включаемых каскадов задает поведение схемы в определенном диапазоне изменения уровня входного сигнала. Такие устройства называют логарифмическими



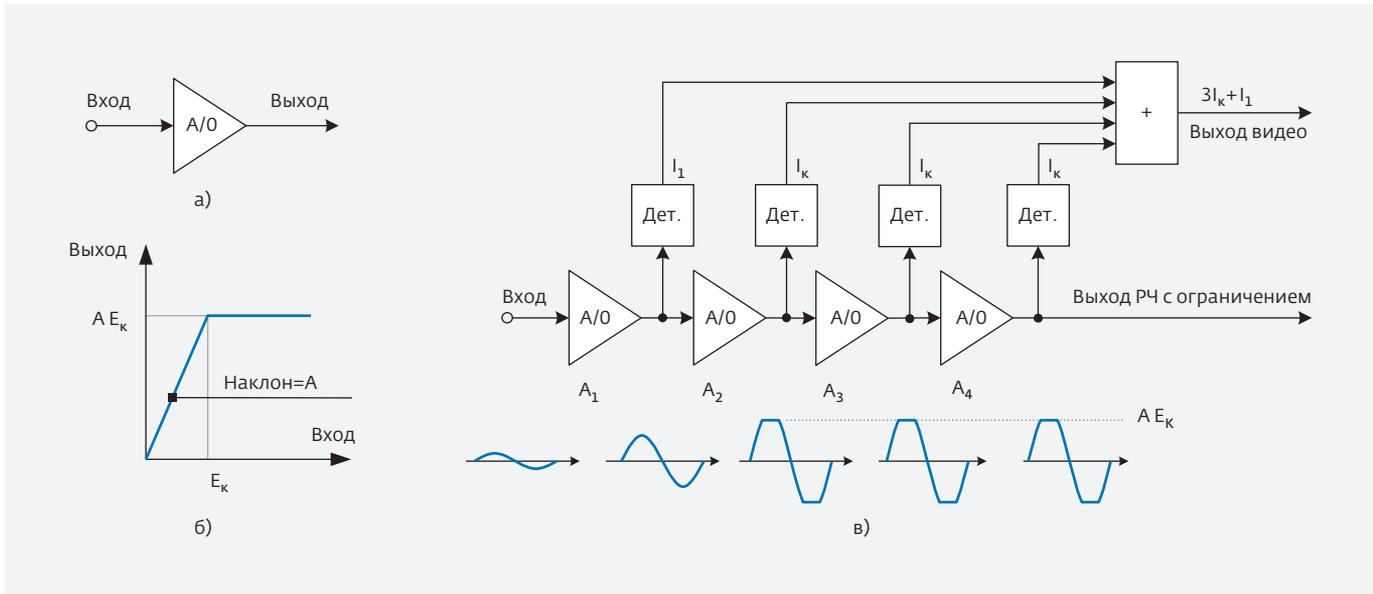
**Рис.6.** Изменение коэффициента передачи ЛУ, выполненного на  $A/1$  звеньях

усилителями последовательного детектирования (successive detection logarithmic amplifier, SDLA). Есть две основные архитектуры: последовательный ЛУ с линейным ограничением (Series linear-limit logarithmic amplifier) и ЛУ с параллельным суммированием (Parallel-summation logarithmic amplifier).

### Последовательный ЛУ с линейным ограничением

Наиболее часто встречающаяся схемотехническая реализация таких ЛУ представляет собой структуру из цепочки нелинейных усиливающих ячеек, включенных последовательно (рис.5). В простом случае в качестве усиливающей ячейки можно использовать так называемую ячейку  $A/1$ , для обозначения которой часто употребляется термин "усилитель с двойным коэффициентом усиления". Усиление каждого из таких каскадов равно  $A$  в определенном диапазоне изменения входного сигнала, меньшего порогового уровня  $E_k$ . При достижении  $E_k$  коэффициент усиления равен единице (рис.5б).

Если ЛУ содержит  $N$  каскадов (рис.5в), общий коэффициент усиления для малых значений



**Рис.7.** Логарифмический усилитель на основе ячейки A/O с логарифмическим выходом и выходом с ограничением сигнала

входного сигнала равен  $K_{\text{ЛУ}} = A^N$  или  $K_{\text{ЛУ}} = NA$  дБ. При увеличении входного сигнала напряжение на входе последнего N-го каскада увеличивается, пока не достигнет порогового уровня  $E_k$ . До этой точки перехода ЛУ ведет себя как стандартный линейный усилитель, но далее коэффициент усиления последнего каскада становится равным 1, меняя и общий коэффициент усиления ЛУ. При каждом повышении входного напряжения в  $A$  раз в точках перехода выходное напряжение меняется на  $E_k(A-1)$ . Таким образом, амплитудная характеристика ЛУ состоит из ряда линейных отрезков, аппроксимирующих функцию  $\log_{10} A$  (рис.6).

**ЛУ с параллельным суммированием**

Такие усилители построены на основе каскадов, состоящих из ячеек другого типа – A/O (рис.7а). Их основное отличие от ячеек A/1 состоит в том, что при превышении сигналом порогового уровня  $E_k$  усиление ячейки равно нулю, то есть падает до нуля дБ (рис.7б). Выходы ячеек A/O подключены к детекторам (рис.7в). Выходные сигналы детекторов суммируются для получения видеосигнала с амплитудой, пропорциональной логарифму амплитуды входного сигнала. Если детекторы имеют токовые выходы, процесс суммирования может заключаться в простом соединении вместе всех выходов детекторов. В этом случае при малом входном сигнале выходной сигнал складывается из суммы нескольких (четырех на рис.7) линейно возрастающих токов. Далее в каждой из точек перегиба ток одной из ячеек достигает  $I_k$  и не увеличивается. Суммарный выходной ток на следующем участке характеристики возрастает за счет увеличивающихся токов ячеек A/O, число которых уменьшилось на единицу. Таким образом, при изменении входного тока на  $A$  дБ выходной ток сигнал меняется на величину  $I_k$ . Амплитудная характеристика ЛУ может быть аппроксимирована кусочно-линейной логарифмической кривой.

У логарифмических усилителей на основе этой архитектуры есть два выхода: логарифмический выход видео и выход с ограничением РЧ, поэтому зачастую они обозначаются как SDLVA (Successive Detection Log Video Amplifier).



**Рис.8.** Логарифмический усилитель SDLA диапазона 18–40 ГГц A15-MCH212

Во многих приложениях выход с ограничением не используется, но иногда, например в приемниках ЧМ-сигналов с измерителями уровня сигнала, необходимы оба. Выход с ограничением особенно полезен при извлечении фазовой информации из входного сигнала, например, в технологии полярной демодуляции.

Компания AKON предлагает SDLVA для диапазонов частот 2,0–6,0; 6,0–18,0 и 2,0–18,0 ГГц. Время нарастания у них меньше 10 нс, а время спада – около 60 нс для падения уровня сигнала на 60 дБ от 90% уровня выходного сигнала. В отличие от большинства доступных на рынке логарифмических видеоусилителей SDLVA, компоненты AKON сохраняют постоянный наклон передаточной характеристики во всем диапазоне рабочих частот и температур. При необходимости блок может также иметь РЧ-выход с ограничением.

При производстве SDLVA используется технология проводного монтажа (Chip-and-Wire, CWT), который выполняется проводниками из золота или алюминия с помощью ультразвуковой сварки. По технологии проводного монтажа компания AKON изготавливает РЧ-компоненты с коэффициентами усиления более 90 дБ.

Модель A15-MH069 – сверхбыстрый миниатюрный SDLVA [1]. При размерах 8,1×4,7×1 см и объеме немногим более 32 см<sup>3</sup> усилитель обладает динамическим диапазоном 60 дБ и очень малым временем спада – 40 нс.

Хорошие рабочие характеристики имеет линейка SDLVA с выходным ограничителем [3]. В широком диапазоне частот от 2 до 18 ГГц усилители обладают абсолютной точностью ±3,0 дБ. Задержки распространения и время нарастания составляют 10 нс, а время восстановления – 60 нс. Основные параметры усилителей остаются неизменными в гарантированных производителем диапазонах изменения частот, температур и мощности.

Рабочий диапазон частот логарифмического усилителя SDLVA A15-MCH212 (рис.8) [6] равен 18–40 ГГц при динамическом диапазоне от –63 до 2 дБм и линейности ±1,5 дБ. Максимальное время нарастания составляет 15 нс, типовое время спада – 40 нс, время задержки – 10 нс. Дополнительно усилитель может иметь РЧ-выход с ограничением.

Серия высокоскоростных SDLVA [7] характеризуется абсолютной точностью ±3,0 дБ, которая обеспечивается в расширенном диапазоне частот 0,5–18,0 ГГц и сохраняется в рабочих диапазонах изменения температуры и мощности. Время задержки распространения, как и время нарастания, равно 10 нс, время восстановления – 60 нс.

В 2013 году компания AKON выпустила компактные (81,3×38,1×7,5 мм) высокоскоростные SDLVA на основе новейшей тонкопленочной гибридной технологии [10]. Усилители A15-MH243 работают в диапазоне частот 2–6 ГГц, усилители A15-MH244 и A15-MH245 – в диапазоне 2–18 ГГц при изменении мощности входного сигнала от –70 до 0 дБм и нелинейности логарифмической характеристики ±1 дБ. Диапазон рабочих температур этих изделий составляет от –54 до 85°C.

Логарифмические усилители производства компании AKON успешно применяются в радарх, системах радиоэлектронной борьбы, регулировки выходной мощности передающих устройств, оптоволоконных системах, в измерительных приборах, для демодуляции сигналов, при создании индикаторов напряженности поля и в других приложениях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Datasheet 121C: Fast Rise & Fall Time SDLVA 2,0–18,0 GHz; 60 dB. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
2. Datasheet 124A: Detector Log Video Amplifiers 46 dB Dynamic Range. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
3. Datasheet 136: High Speed SDLAs with Limited RF Output. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
4. Datasheet 161A: Log IF Amplifiers. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
5. Datasheet 165: Log IF Amplifiers with Limited RF Output. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
6. Datasheet 253: SDLVA 18–40 GHz. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
7. Datasheet 303: High Speed SDLVAs. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
8. Datasheet 339: Broadband DLVA 1,4–21,5 GHz; 40 dB. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
9. Datasheet 340: Fast Rise & Fall Time ERDLVAs 0,5–18,0 GHz; 75 dB. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).
10. Datasheet 506: Compact RF & Microwave High Speed SDLVAs. – [www.akoninc.com](http://www.akoninc.com).