

# Комбинированные четырёхквadrантные усилители аудиочастот AE Techron серии 7100: рабочие лошадки для лаборатории



Олег РОСТОКИНСКИЙ  
o.rostokinskiy@emcsystems.ru

В статье рассматриваются технические особенности четырехквadrантных усилителей мощности в контексте их применения в испытательных лабораториях. Приведены практические рекомендации по подбору по основным параметрам на примере современных комбинированных решений.

Любая электротехническая лаборатория, вне зависимости от профиля своей деятельности — будь то проведение НИОКР или сертификационных испытаний технических средств либо обеспечение выходного контроля на производственной линии, — имеет на вооружении множество «базовых приборов».

В их числе, кроме классических мультиметров или осциллографов, можно выделить:

- лабораторные источники питания для обеспечения электропитания тестируемых образцов;
- аттенюаторы и электронные нагрузки для использования в качестве окончательных устройств при тестировании оборудования промышленной и бортовой сети электропитания;
- усилители мощности аудиодиапазона для усиления постоянных и низкочастотных сигналов в целях обеспечения рабочего режима испытываемого оборудования. Эти же приборы могут применяться для формирования электрических и магнитных полей, а также кондуктивных импульсных помех сложных форм — например, в задачах испытаний на электромагнитную совместимость (ЭМС).

Для упрощения и ускорения тестирования сложных технических систем, а также в целях экономии бюджета и рабочего пространства могут применяться четырехквadrантные усилители мощности (рис. 1). В отличие от классических аудиоусилителей они способны работать не только в качестве источника постоянного либо переменного напряжения или тока, но и как регулируемая электронная нагрузка для подключенных устройств, обеспечивая поглощение мощности, формируемой этими устройствами. Тип подключенного к усилителю оборудования при этом не принципиален — нагрузка может быть как индуктивной, так и емкостной.

Области использования подобных решений обширны и оптимальны, главным обра-

зом, для разработки и тестирования электрооборудования и систем электроснабжения. Среди решаемых задач можно выделить имитацию бортовой сети электропитания постоянного тока и промышленных сетей переменного тока 50/60/400 Гц, тестирование электроприводов и автомобильных зарядных станций, аккумуляторов и топливных элементов и т. д.

В зависимости от устанавливаемого режима работы подобные усилители способны функционировать в качестве усилителя напряжения, управляемого напряжением (УНУН), либо усилителя тока, управляемого напряжением (УТУН). В режиме УНУН усилитель генерирует выходное напряжение, пропорциональное приложенному напряжению на его входе (рис. 2). Изменение импеданса нагрузки компенсируется регулируемой выходного тока в допустимых пределах, а выходное напряжение остается неизменным. В свою очередь, в режиме УТУН функцией входного напряжения является уже выходной ток, а изменение импеданса нагрузки компенсируется автоматической регулировкой выходного напряжения. Из этого свойства вытекает две особенности данного режима.

Во-первых, для достижения максимально возможной мощности необходимо компенсировать реактивный импеданс. Обычно это

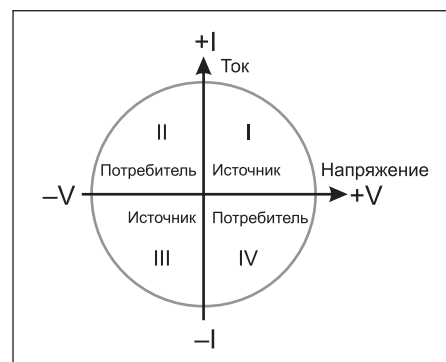


Рис. 1. Квадранты мощности

обеспечивается подбором и подключением компенсирующей RC-цепочки.

Во-вторых, недопустима работа усилителя в режиме УТУН на холостом ходу, так как напряжение на выходных клеммах будет возрастать неограниченно для компенсации нулевого выходного тока. Риск опасных травм и повреждения оборудования приводит к необходимости обеспечивать дополнительные меры защиты при подготовке к испытаниям, особенно при тестировании устройств с плавкими предохранителями и системами автоматической защиты.

Тем не менее в режиме УНУН аудиоусилители устойчивы к высокоиндуктивным и высокоемкостным нагрузкам, а обычно предусмо-

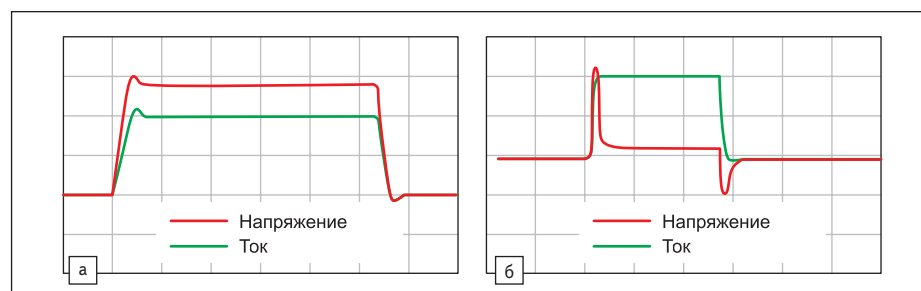


Рис. 2. Выходные характеристики в режиме:

а) усилителя напряжения, управляемого напряжением (УНУН); б) усилителя тока, управляемого напряжением (УТУН)



Рис. 3. Внешний вид усилителей мощности AE Techron серии 7100 высотой 2U

тренная производителями встроенная защита от перегрева и перегрузок по току позволяет сосредоточиться на выполнении задач.

Одним из наиболее удачных примеров инструментов подобного класса служит линейка четырехквadrантных однофазных усилителей мощности постоянного и переменного тока серии 7100 (рис. 3) производства компании AE Techron (США). Благодаря 30-летнему опыту изготовления усилительного оборудования для ответственных применений

компания предлагает надежные и прецизионные инструменты в компактных корпусах, не отпугивая при этом высокой ценой.

Мощность — одна из основных характеристик усилителя, которая определяется параметрами встроенных усилительных транзисторов. Усилители серии 7100 построены на двухкаскадной схеме. В зависимости от положения управляющей клавиши на передней панели прибора усилительные каскады подключаются последовательно либо параллель-

но, что обеспечивает режим повышенного напряжения или тока соответственно.

Такая схема позволяет при малых габаритах поддерживать широкий диапазон по току и напряжению — до 25 А и  $\pm 92/\pm 300$  Впик. Максимальная выходная мощность при этом составляет до 400 Вт для модели 7114 и до 900 Вт для модели 7136. Типовые графики достигаемого пикового напряжения для некоторых импедансов нагрузок на примере усилителей серии 7100 приведены на рис. 4.

Широкая полоса рабочих частот — от постоянного тока до 150 кГц по уровню  $-3$  дБ (400 кГц в режиме малого сигнала) в случае усилителей серии 7100 — позволяет как усиливать высокочастотные колебания, так и воспроизводить импульсы сложных форм. Это особенно важно для испытаний на ЭМС, где предъявляются требования к длительностям нарастания и спада генерируемых импульсов, которые могут быть малыми.

Как видно из графиков на рис. 5, некоторые усилители имеют функцию выбора метода связи — по постоянному или переменному току. Иными словами, оснащены подключаемым конденсатором для блокировки постоянной составляющей

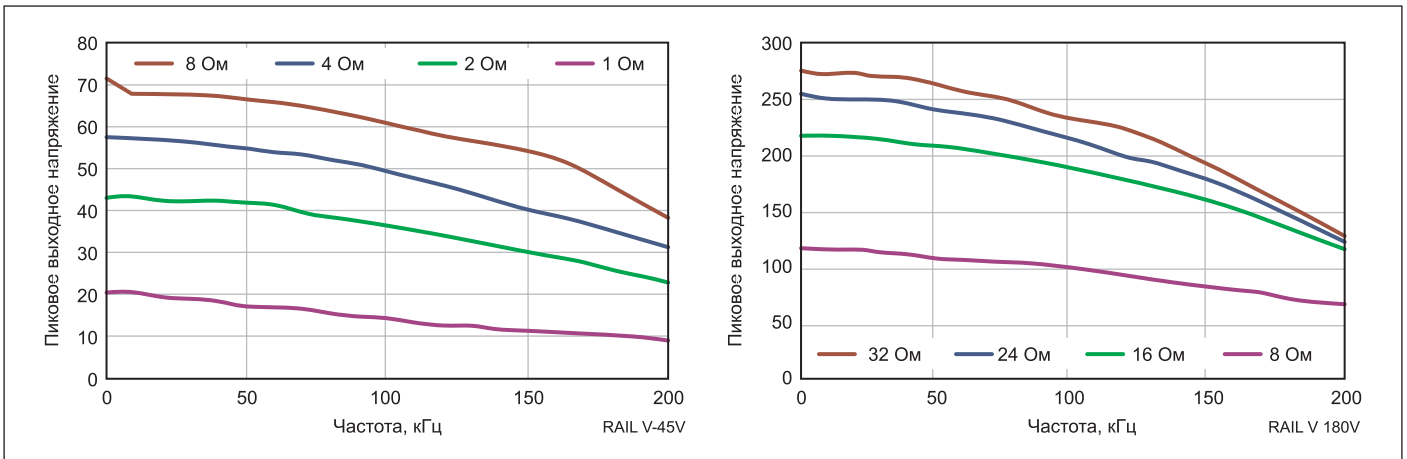


Рис. 4. Возможности усилителей 7114 и 7136 по усилению напряжения на нагрузке 1 Ом

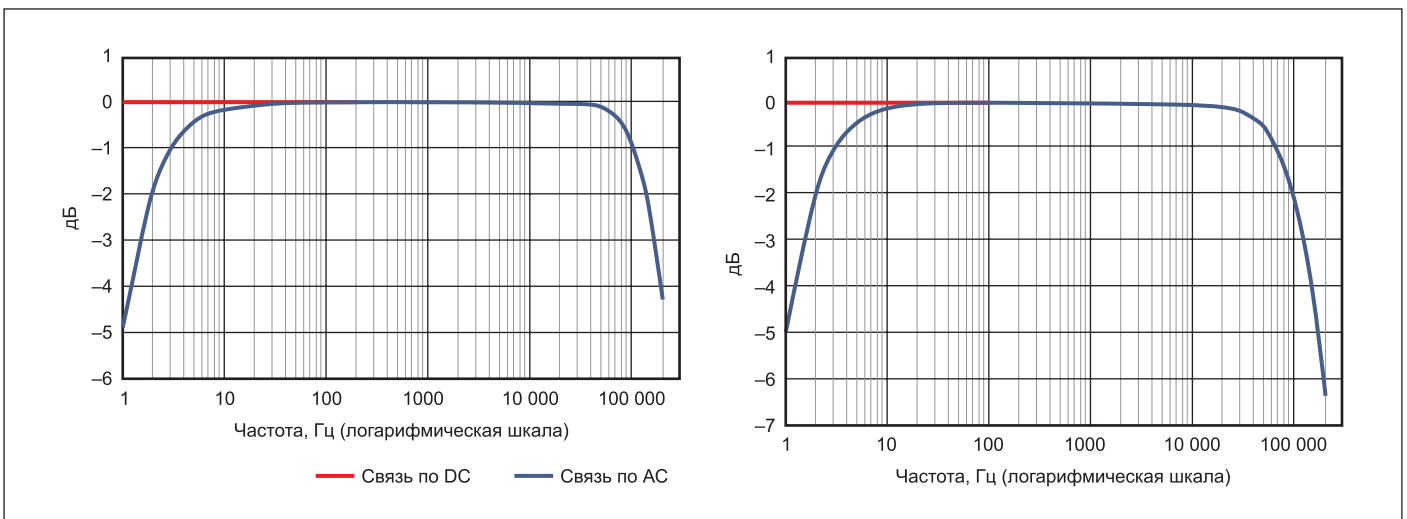


Рис. 5. Частотная характеристика на мощности 1 Вт и нагрузке 8 Ом для усилителей 7114 и 7136

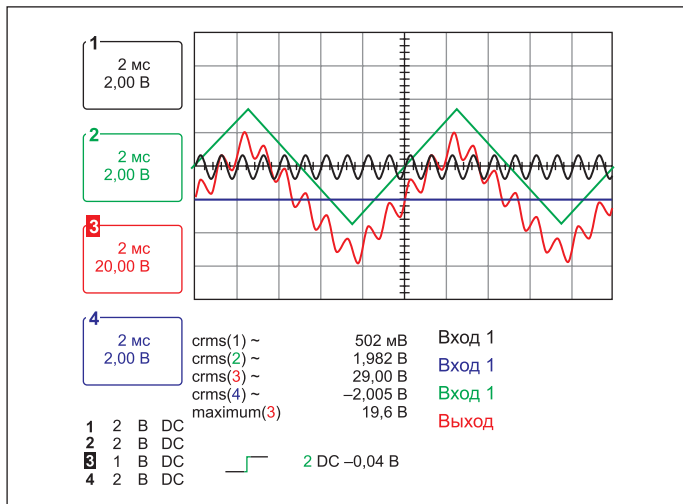


Рис. 6. Формирование выходного сигнала сложной формы

сигнала на входе. Этот режим особенно полезен для безопасного тестирования таких элементов, как трансформаторы или пьезоэлементы.

При необходимости формирования сложного выходного сигнала соответствующие модуляции обычно следует применять к входному, со стороны задающего генератора. Однако некоторые усилители позволяют комбинировать входные сигналы с нескольких входов. Например, в усилителях серии 7100 предусмотрено два балансных (симметричных) и один небалансный (несимметричный) вход. Таким образом, ими можно пользоваться как попеременно, так и одновременно, подключая до трех источников сигналов и формируя результирующий выходной сигнал сложной формы (рис. 6).

Однако основной особенностью усилителей серии 7100 является наличие встроенного регулируемого источника напряжения постоянного тока. Он работает автономно или может выступать источником смещения выходного напряжения до уровня  $\pm 45$  В. Особая ценность данной функции раскрывается при тестировании оборудования на устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока. Номинальное напряжение питания испытываемого образца обеспечивается встроенным источником напряжения прибора. Помеховый сигнал произвольной формы при этом подается на вход усилителя при активированном режиме связи по переменному току (в целях блокировки постоянной состав-

ляющей на входе). Такая концепция формирует высокоскоростную, а главное, бюджетную испытательную установку.

Для подобных профилей применения низкий уровень гармонических искажений и собственных шумов становится критичным параметром и должен быть предварительно учтен. Типовые уровни шумов для серии 7100 приведены на рис. 7.

В заключение, кроме технических и архитектурных особенностей, следует упомянуть о таком факторе, как функциональность и удобство управления. Усилители серии 7100 компактны и оснащены всеми необходимыми органами управления для гибкой ручной настройки рабочих параметров, что позволяет использовать их как в лаборатории, так и на выездных испытаниях. Пользователю доступны плавная регулировка коэффициента усиления, ограничения выходного тока и смещения выходного сигнала по постоянному току. При этом функции дистанционного отключения, а также контроля состояния и уровня выходного тока также находятся в распоряжении пользователя.

Четырехквadrантные усилители мощности АЕ Techtron серии 7100 весьма популярны при испытаниях на ЭМС автомобильной, авиационной, аэрокосмической и специальной техники. Высокий запас по мощности, широкая полоса рабочих частот и комбинированная архитектура позволяют применять их для закрытия множества стандартов как при стационарных, так и при выездных испытаниях, в числе которых MIL-STD 461G CS101, DO-160 Section 19 и ISO 7637-2.

Подобные приборы оптимальны в качестве драйвера для вывода тестируемых устройств на рабочую мощность. Среди подобных задач можно выделить измерение коэффициента подавления пульсаций напряжения питания (PSRR) стабилизаторов напряжения либо коэффициента подавления синфазного сигнала (CMRR) операционных и дифференциальных усилителей.

Помимо широкой линейки низкочастотных усилителей, портфолио компании АЕ Techtron содержит и специализированные генераторы произвольных форм по стандартам ЭМС и трансформаторы связи для ввода помех в питающие цепи ИТС. Таким образом, пользователь получает сбалансированное решение под ключ для перекрытия нижних границ частотного диапазона своей лаборатории.

## Литература

1. White Paper No.1 HUBERT 4-quadrant amplifier. [www.drhubert.com/downloads-en.html?file=files/dr-hubert/dokumente/dokumente-en/WP-1%20HUBERT%204-quadrant%20amplifier%281\\_0%29.pdf](http://www.drhubert.com/downloads-en.html?file=files/dr-hubert/dokumente/dokumente-en/WP-1%20HUBERT%204-quadrant%20amplifier%281_0%29.pdf)
2. Controlled-Voltage vs. Controlled-Current Modes of Operation. [www.aetechron.com/Controlled-current\\_vs\\_controlled-voltage\\_operation.shtml](http://www.aetechron.com/Controlled-current_vs_controlled-voltage_operation.shtml)

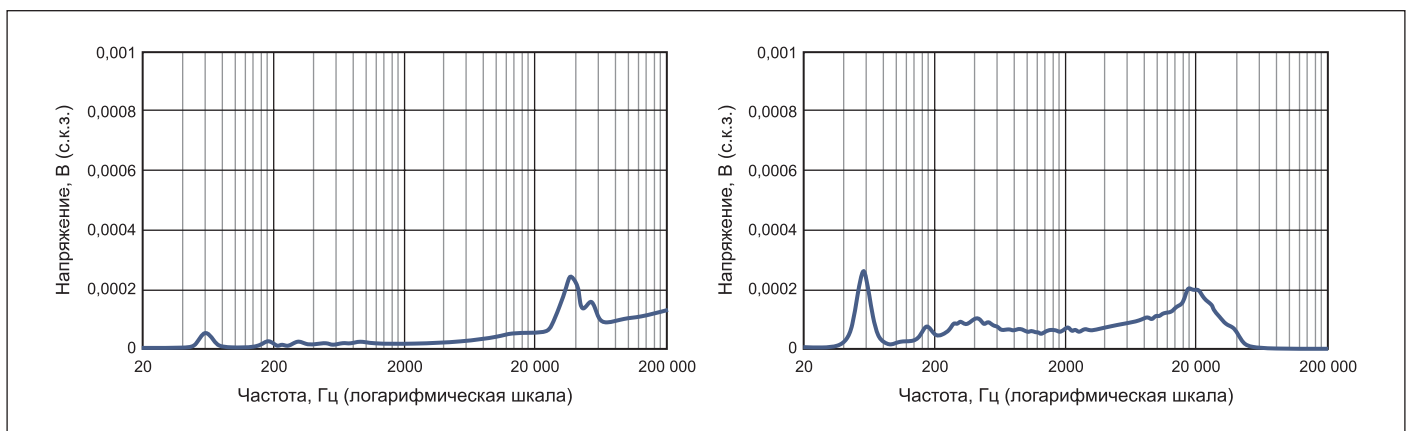


Рис. 7. Уровень шумов на нагрузке 8 Ом для усилителей 7114 и 7136