

Министерство образования Республики
Беларусь Учреждение образования Белорусский
государственный университет информатики и
радиоэлектроники

УДК 621.375:004

Русакевич
Иван Сергеевич

Исследование и разработка мощных ключевых усилителей на
основе *UcD* технологии

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-39 81 03 «Информационные
радиотехнологии»

Научный руководитель
Крушев Владимир Тимофеевич
Кандидат технических наук,
доцент

Минск 2020

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Как известно, широко используется понятие класса работы УМ. До изобретения транзисторов выделяли пять классов усилителей: *A*, *AB*, *B*, *BC* и *C*. В основе этого разделения лежала величина угла отсечки импульсов анодного тока лампы. Когда появление БТ, а затем ПТ открыло возможность эффективной реализации ключевых УМ, разработка технических решений в этой области естественно повлекла за собой введение обозначений новых классов, таких как *D*, *E*, *F* и др. Старый критерий угла отсечки здесь неприменим, так как различные в схемном и режимном отношении ключевые УМ работают с одними и теми же значениями угла отсечки. Поэтому классификация велась как по особенностям режима выходной цепи УМ, так и по ее схемотехническому построению, и во многом хаотично. К настоящему времени насчитывается уже более двух десятков разнообразных ключевых УМ.

Главная идея перехода к ключевому режиму заключается в резком снижении мощности, рассеиваемой в ЭП, что позволяет существенно повысить КПД и надежность УМ, снизить его массу и габариты. Так как в любой момент времени мгновенное значение либо тока через ЭП, либо напряжения на выходе ЭП равно нулю, то КПД ключевого УМ теоретически может быть сколь угодно близок к 100%, тогда как, например, КПД УМ класса *B* принципиально не превосходит предела в 78,5%. Помимо того, ключевой режим работы УМ дает возможность уменьшить зависимость его характеристик от разброса параметров ЭП и от температуры окружающей среды.

Принцип работы самоосциллирующих усилителей звуковой частоты класса *D*, разработанный компанией *NXP Semiconductor* (бывшая *Philips Semiconductor*) в 2005 году и названный *UcD*-технологией, позволяет инженерам-разработчикам аудиотехники достичь новых стандартов качественного воспроизведения.

В последние годы все большую и большую популярность приобретают усилители класса *D* или, как их еще называют, импульсные усилители.

Раньше импульсные усилители были интересны только за счет своего высокого КПД (обычно более 90%) и применялись только для управления мощными электродвигателями. Этот факт был напрямую связан с отсутствием высокоскоростных мощных переключательных элементов, способных работать на высоких частотах, вследствие чего высокие нелинейные искажения были просто неизбежны. Однако сейчас многими компаниями-производителями электронных компонентов выпускаются специализированные элементы для построения усилителей класса *D*, способные работать на частотах вплоть до 1 МГц и выше.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации

В последние годы все большую и большую популярность приобретают усилители класса D или, как их еще называют, импульсные усилители.

Раньше импульсные усилители были интересны только за счет своего высокого КПД (обычно более 90%) и применялись только для управления мощными электродвигателями. Этот факт был напрямую связан с отсутствием высокоскоростных мощных переключательных элементов, способных работать на высоких частотах, вследствие чего высокие нелинейные искажения были просто неизбежны. Однако сейчас многими компаниями-производителями электронных компонентов выпускаются специализированные элементы для построения усилителей класса D, способные работать на частотах вплоть до 1 МГц и выше.

Цель и задачи магистерской диссертации

Целью диссертационной работы является исследование и разработка мощных ключевых усилителей на основе *UcD* технологии, исследование характеристик и параметров усилителей, анализ технологии *UcD*, моделирование работы усилителей на основе технологии *UcD*.

Для достижения целей работы поставлены следующие *задачи*:

- исследование научно-технической литературы по теме магистерской диссертации;
- изучение технологии *UcD*;
- проведение патентного поиска некоторых усилителей на основе *UcD* технологии;
- исследование характеристик и параметров ключевых усилителей;
- исследование характеристик и параметров усилителей на основе *UcD* технологии;
- моделирование работы усилителей на основе *UcD* технологии.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются мощные ключевые усилители на основе *UcD* технологии.

Предметом исследования являются структурные и электронные свойства, характеристики и параметры мощных ключевых усилителей на основе *UcD* технологии.

Личный вклад соискателя

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии в проведении всех расчетов, участии в обсуждении полученных результатов, подготовке

научной статьи по тематике диссертационной работы, а также в написании докладов и участии на конференциях. Совместно с научным руководителем определены структура, цели и задачи исследования, обобщены основные научные результаты. Также осуществлялась подготовка и проведение исследований, обсуждались полученные результаты.

Апробация результатов диссертации

Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы были доложены: на 54-ой научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов в БГУИР (апрель 2018); на 55-ой юбилейной научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов в БГУИР (апрель 2019);

Публикации

По материалам диссертации опубликовано и подготовлено к опубликованию 3 работы. Из них: 1 статья в сборниках материалов научных конференций, 2 тезисов докладов на конференциях.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем магистерской диссертации составляет 74 страницы, включая 35 иллюстраций, 3 таблицы, библиографический список из 42 наименований.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В *первой главе* проведен детальный анализ литературных источников, посвященных исследованиям мощных ключевых усилителей. Показаны некоторые классы усилителей и их свойства. Приведена технология *UcD*, ее свойства, параметры и характеристики. Приведен патентный поиск.

Вторая глава посвящена характеристикам усилителей, характеристикам ключевых усилителей, параметрам технологии *UcD*. В ней описываются основные параметры усилителей и их описание. Приведены расчеты выходного каскада усилителя.

В *третьей главе* представлены результаты сравнительного анализа характеристик ключевых усилителей звуковых сигналов. Приведены результаты моделирования схем усилителей технологии *UcD*, и приведен анализ полученных результатов. Сделаны выводы о использовании технологии *UcD* в повседневности в сравнении с другими типами усилителей.

В *заключении* кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены результаты моделирования усилителей на основе *UcD* технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показана возможность и целесообразность повышения КПД ключевых УМ класса D . Проведено комплексное исследование этих УМ, разработана единая методика их расчета, и даны рекомендации по их проектированию.

Предложена новая классификация ключевых УМ по критерию идеализированных форм выходных колебаний транзистора. Обладая методологической стройностью, она, как ожидается, будет способствовать устранению терминологической путаницы и лучшему пониманию различных ключевых УМ.

Выделено четыре типа двухтактных ключевых усилителей с переключением напряжения без КП: два – с фильтровой нагрузкой (усилители класса FE) и два – с резистивной нагрузкой (усилители класса DE). Главной особенностью последних является то, с ростом величины недокрытия содержание высших гармоник в токе нагрузки падает. Таким образом, известный недостаток ключевых УМ с резистивной нагрузкой, ограничивающий их применение в оконечных каскадах передатчиков, устраняется.

Рассмотрены основные параметры усилителей и их свойства. Рассмотрены параметры усилителей класса D и их специфика. Проведен анализ параметров, характеристик и достоинств усилителей на основе UcD технологии.

Было проведено моделирование и сравнительный анализ характеристик ключевых усилителей звуковых сигналов. Представлены схемы и графики моделирования в программной среде *NI Multisim*.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

Статьи в сборниках материалов научных конференций

[1-А.] Русакевич И. С. Усилители класса *D*/ И. С. Русакевич// Тезисы докладов 54-ой научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов в БГУИР (апрель 2018)., Минск. – Минск: БГУИР, 2018. – С. 100-101.

[2-А.] Русакевич И. С. Контрапертурные акустические системы/ И. С. Русакевич// Тезисы докладов 55-ой юбилейной научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов в БГУИР (апрель 2019)., Минск. – Минск: БГУИР, 2019. – С. 134-135.

Библиотека БГУИР