



Многолучевой клистрод для телевидения

*А. Королев,
М. Лопин,
Т. Мишкин,
А. Пободоносцев*

В 90-х годах на рынке ТВ-передатчиков появился новый прибор — клистрод, представляющий собой гибрид триода и пролетного клистрона. Благодаря высоким КПД, линейности, надежности, малым размерам и другим достоинствам клистроды стали широко использоваться в качестве мощных оконечных усилителей ТВ-передатчиков дециметрового диапазона (470–810 МГц). Важный шаг в развитии этих приборов сделан специалистами ГНПП «Исток». Разработанный ими многолучевой клистрод открывает новые возможности для производителей ТВ-аппаратуры.

Как известно, лампа с индуктивным выходом была изобретена еще в 1939 году [1]. А спустя 43 года подобный прибор был разработан как бы заново, но уже для мощных ТВ-передатчиков дециметрового диапазона. Его создатели — Д.Х. Прейст и М.Б. Шрейдер из американской фирмы Eimac Division, Varian [2]. Прибор, получивший название *клистрод*, состоит из нескольких узлов, которые, с одной стороны, характерны для триода (тетрода), а с другой — для клистрона (рис. 1).

Катод, сетка, анод и входной резонатор образуют как бы триодную часть прибора, возбуждаемую входным сигналом. На выходе из сетки электронный пучок оказывается модулированным по плотности вследствие воздействия высокочастотного электрического поля в пространстве катод-сетка. Такой режим характерен для мощных ТВ-триодов. В отличие от динамического группирования электронов в клистронах его называют модуляцией эмиссии (рис. 2). Триодная часть клистрода работает в классе В (точнее — в АВ), когда на сетку подается отрицательное смещение относительно катода, которое по абсолютной величине несколько меньше напряжения запирающего триода. Этот режим характеризуется высокой линейностью и превосходным КПД. Так как сетка является элементом входного резонатора, она должна быть изолирована от его катода по постоянному напряжению. В качестве изоляции применяют специальные блокировочные конденсаторы, не препятствующие протеканию в резонаторе высокочастотных токов.

Таким образом, в катодно-сеточной части прибора формируется периодическая, с частотой входного сигнала, последовательность электронных сгустков, которые ускоряются до анодного потенциала в пространстве сетка-анод. Затем сгустки поступают в выходной резонатор и взаимодействуют с его высокочастотным полем, отдавая кинетическую энергию точно так же, как это происходит в обычном пролетном клистроне. Для обеспечения мгновенной полосы 6–9 МГц, требуемой для передачи ТВ-сигнала, в

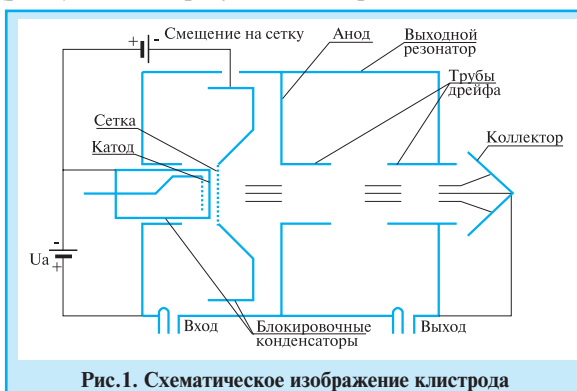


Рис. 1. Схематическое изображение клистрода

выходном каскаде клистрода используется система двух связанных резонаторов. В приборе предусмотрены короткие пролетные каналы до и после выходного резонатора, а от расфокусировки электронный пучок удерживается магнитным полем соленоида. Магнитное поле позволяет без потерь на стенках канала транспортировать электронный пучок до коллектора, где он и рассеивается.

Как оказалось, рассмотренная схема может обеспечить уникальные параметры ТВ-передатчиков дециметрового диапазона (470–810 МГц). В основе успеха прибора лежат два ключевых момента: показатель качества FOM (эффективность при усилении ТВ-сигнала) и великолепная линейность.

Показатель качества клистрода (Figure of Merit, FOM) определяется как отношение выходной мощности на вершине синхронимпульса к средней мощности потребления. Расходы на электроэнергию при эксплуатации прибора обратно пропорциональны величине FOM. Поскольку клистроды, как и ТВ-тетроды, работают в классе В, потребляемая ими мощность зависит от уровня сигнала. В обычном же клистроне (работающем в классе А), потребляемая мощность не зависит от уровня сигнала и для поддержания пикового значения выходной мощности должна быть постоянно высокой (FOM, соответственно, будет низким). Для клистродов фирм Varian (США) и EEV (Англия), работающих в режиме усиления видеосигнала, значение FOM составляет 120%, что в два раза превышает значение соответствующей величины для ТВ-клистрона, не имеющего модулирующего анода. Это обеспечивает существенную экономию средств при обычной интенсивности эксплуатации ТВ-передатчиков (до 17 часов в сутки).

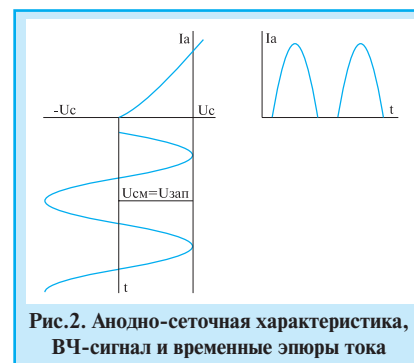


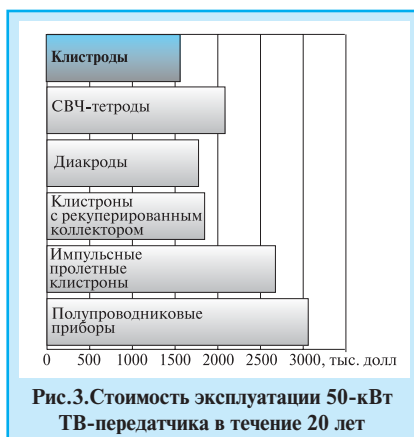
Рис. 2. Анодно-сеточная характеристика, ВЧ-сигнал и временные эпюры тока

Характеристика усиления клистрода более линейна, чем клистрона. Это обуславливает перспективность клистродов для передачи сигналов не только аналогового, но и цифрового

телевидения (HDTV), где требования к линейности особенно высоки. Данное обстоятельство приобретает особое значение, поскольку уже к 2003 году в США планируют перейти на HDTV.

Немаловажно, что в клистродах остаточная энергия отработанного электронного пучка рассеивается в коллекторе, а не в аноде, как в триодах и тетрадах. Эта особенность конструкции клистронов позволила достичь очень высоких уровней выходной мощности (пиковая мощность — до 70 кВт) при высокой надежности и долговечности прибора.

Усиление разработанных ТВ-клистронов относительно невелико — 21–22 дБ. Но это не препятствует их



широкому использованию в передающей ТВ-аппаратуре, поскольку возможности полупроводниковых преусилителей в последнее время значительно возросли. Правда, стоимость преусилителей весьма высока и продолжает повышаться с увеличением их выходной мощности.

Одно из важных достоинств клистронов — малые размеры прибора при высоких мощности, КПД и надежности. Они характеризуются и хорошей долговечностью. По данным фирмы EEV, у клистронов время наработки на отказ превышает 10 тыс. часов, а у отдельных экземпляров достигает 30 тыс. часов [3].

Для передатчиков дециметрового телевидения используют несколько типов приборов: транзисторы, триоды и тетроды, многорезонансные клистроны, а в последние годы — клистроны. Каждый из них в зависимости от требуемой мощности занимает свою нишу: от сотен ватт до киловатт — транзисторы, до 20 кВт — тетроды, свыше 20 кВт — клистроны и клистро-

ды. При длительном сроке эксплуатации ТВ-передатчиков решающее значение для оценки перспективности применения того или иного класса приборов приобретает суммарная стоимость потребляемой электроэнергии. Сравнительный анализ стоимости эксплуатации мощных приборов для ТВ-трансляции в течение 20 лет (рис. 3) показывает, что в эксплуатации клистроны почти в два раза дешевле, чем обычные клистроны [3].

Представленные на западном рынке клистроны выпускают четыре фирмы: EEV (Великобритания), Eimac-Varian (США), Thomson (Франция), Philips (Голландия). Крупнейшим производителем клистронов сегодня считается фирма EEV. На 1 июля 1996г. ее приборы обеспечивали работу 428 передатчиков в Северной и Южной Америке, Азии, Австралии, Африке, Европе.

Перспективность клистронов для телевидения заставляет разработчиков искать новые пути улучшения их параметров. В 1995–1997 годах специалисты ГНПП “Исток”, опираясь на 25-летний опыт разработки и производства многолучевых СВЧ-прибо-

ров, создали новую конструкцию мощного клистрода — *многолучевой клистрод* (рис. 4).

Переход к многолучевой конструкции позволил создать приборы, обладающие значительными преимуществами по сравнению с однолучевыми клистродами. В их числе:

- снижение рабочего напряжения (традиционно для многолучевых конструкций приборов);
- использование металлических секток — в отличие от секток из пиролютического графита, применяемых в однолучевых клистродах;
- работа с парциальными сетками сравнительно небольшого диаметра, обладающими высокой надежностью в эксплуатации;
- более высокий уровень мощности при относительно низком напряжении (120 кВт, 25 кВ);
- увеличение усиления.

Последнее утверждение нуждается в пояснении. Для обеспечения требуемой выходной мощности в триодной части клистрода необходимо получить ток I_0 , который зависит от величины зазора катод-сетка, площади катода и амплитуды высокочастотно-

го поля в зазоре катод-сетка (в классе В она близка к величине запирающего напряжения сетки). Зазор катод-сетка нельзя сильно уменьшать по технологическим соображениям. Однако в многолучевой конструкции площадь катода можно существенно увеличить по сравнению с однолучевым клистроном. Следовательно, тот же ток I_0 обеспечивается при более низком напряжении сетки. Напряжение понижают путем применения секток с меньшей проникаемостью. Усиление клистрода пропорционально напряжению запирающего (в классе В). Как показал опыт проектирования и разработки многолучевого клистрода, такой способ позволяет повысить усиление на 2–4 дБ по сравнению с однолучевым аналогом, что существенно снижает стоимость полупроводникового преусилителя.

Когда специалисты ГНПП “Исток” приступали к разра-

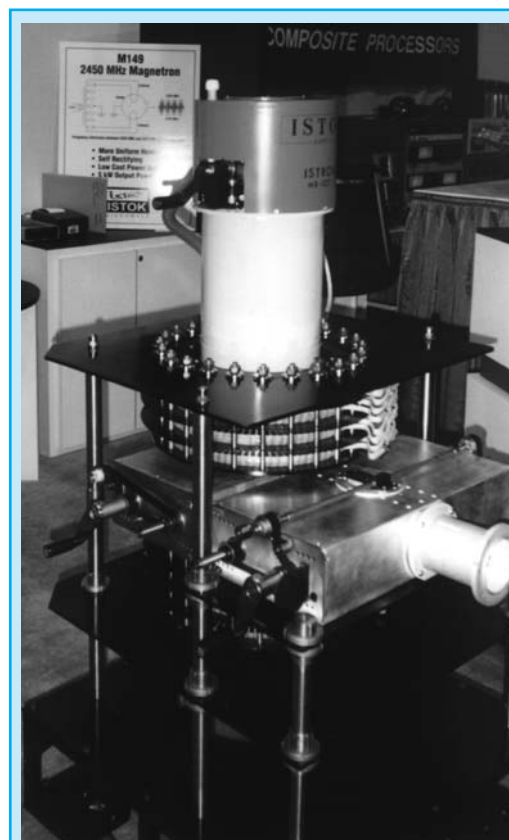


Рис. 4. 18-лучевой клистрод с фокусирующим электромагнитом и системой съемных резонаторов

Параметры одного из клистронов фирмы Eimac-Varian и 18-лучевого клистрода ГНПП "Исток" (диапазон 470–810 МГц, режим усиления видеосигнала)

Параметр	Клистрод фирмы Eimac-Varian	18-лучевой клистрод ГНПП "Исток"
Выходная мощность, кВт	64	64
Напряжение, кВ	32	26
Ток, А	3,6	4
Напряжение смещения на сетке, В	10–100	50–80
Входная мощность, Вт	400	260
КПД преобразования, %	55	60
Показатель качества (FOM), %	120	130
Усиление, дБ	22	24

ботке многолучевого клистрода, публикации с описанием основ математического аппарата для теоретических исследований, оптимизации и проектирования клистронов практически отсутствовали. Доступные разработчикам фирменные проспекты и научно-популярные публикации о клистродах не содержали ответов на множество вопросов об особенностях их конструктивного исполнения, технологии изготовления, откатки, тре-

нировки, экспериментальных исследований, защиты от пробоев, возникновения разряда в съемных резонаторах и т.п. В процессе разработки решение всех этих проблем пришлось начинать с нуля. Несмотря на это созданный 18-лучевой клистрод по ряду параметров (напряжение, эффективность, усиление) существенно превосходил однолучевые аналоги (табл.). Исследования показали, что многолучевая конструкция клистронов перспективна для цифрового телевидения. В частности, используя парциальные сетки небольшого диаметра (12–14 мм), можно получить высокую мощность (>120 кВт) при низких питающих напряжениях (~25кВ). Прибор уже получил поло-

жительную оценку прессы [4]. В марте этого года "Исток" планирует поставить прибор фирме Comrak (США) для пробной эксплуатации и исследования специальных характеристик.

Таким образом, в России создан мощный усилитель ТВ-сигналов дециметрового диапазона с хорошим набором параметров, который можно с успехом использовать в ТВ-передатчиках, в том числе и для цифрового телевидения.

Литература

1. A.V. Haeff. An UHF power amplifier of novel design. — Electronics, 1939, p.30–32.
2. D.H. Preist, M.B. Shrader. The Klystron — An Unusual Transmitting Tube with Potential for UHF-TV. — Proc. of IEEE, 1996, v.70, N1, p.1318.
3. EEV Power Tubes, (Рекламные материалы фирмы EEV) 1996.
4. Dong Lung, Multibeamson the Horizon. — TV Technology, 1996, v. 14, N 15, p. 48.

Представляем авторов статьи

КОРОЛЕВ Александр Николаевич. Генеральный директор ГНПП "Исток", кандидат технических наук. Окончил Львовский политехнический институт по специальности "автоматика и телемеханика".

ЛОПИН Михаил Иванович. Начальник научно-производственного комплекса ГНПП "Исток", доктор технических наук, Почетный радист СССР, заслуженный работник электронной промышленности, заслуженный конструктор РФ. Окончил Московский энергетический институт. Сфера профессиональных интересов — разработка электровакуумных приборов сверхвысоких частот.

МИШКИН Таризель Ахметович. Начальник сектора ГНПП "Исток", кандидат технических наук. Окончил Московский энергетический институт. Сфера профессиональных интересов — разработка электровакуумных приборов сверхвысоких частот.

ПОБЕДНОСЦЕВ Александр Сергеевич. Начальник отдела ГНПП "Исток", доктор технических наук, лауреат Государственной премии СССР. Окончил физический факультет Ленинградского государственного университета. Сфера профессиональных интересов — теория и проектирование электровакуумных приборов сверхвысоких частот.

Контактный телефон — (095) 465-8609

Напомним, что сегодня стандартный размер элементов ИС — 0,35 мкм. На новейших производственных линиях изготавливаются промышленные партии микросхем по 0,25-мкм технологии, а Samsung выпускает опытные партии схем памяти по 0,18-мкм технологии. По программе Ассоциации полупроводниковой промышленности первые микросхемы с топологическими нормами 0,08 мкм должны появиться не ранее 2009 года. Однако аспиранты Техасского университета под руководством д-ра Гранта Уилсона преодолели этот рубеж почти на 12 лет раньше. Много времени отняло получение фоторезиста, рассчитанного на длину волны излучения 193 нм (современные резисты работают на длине волны 248 нм и непрозрачны для 193-нм излучения). Чтобы взять эту высоту, исследователям потребовалось более трех лет.

Newsbytes

Растет спрос на флэш-память и твердотельные накопители

В 1998 году будет продано 6,7 млн. твердотельных накопителей и систем памяти на флэш-схемах. Это в два с лишним раза превышает показатель 1997 года (3,2 млн.). По прогнозам фирмы Peripheral Research, доходы от продажи этих систем увеличатся на 61,3% (548 млн. долл. против 284 млн. долл. в 1997-м). Росту спроса на флэш-память способствует агрессивная политика снижения цен на схемы энергонезависимой памяти. Средняя стоимость твердотельных накопителей снизится с 30 долл. за 1 Мбайт в 1997 году до 15 долл. за 1 Мбайт в 1998 году, а флэш-памяти — с 24 до 16. В ближайшие годы эта тенденция сохранится. В результате стоимость твердотельной памяти опустится ниже 5 долл. за 1 Мбайт.

Semiconductor Business News, Network News, 2/2/98

Первая ИС, созданная по 0,08-мкм технологии

Дайджест

Дайджест

Пока забудьте о 300-мм пластинах

Дайджест

Хотя достоинства пластин большого диаметра очевидны (увеличение выхода годных схем по отношению к каждому затраченному доллару в 2,25 раза), уменьшение размеров элементов схем остается пока единственным средством развития микроэлектроники. Рекламная шумиха вокруг 300-мм пластин постепенно улеглась, поскольку переход на них отложен на неопределенное время из-за избыточных производственных мощностей и нехватки средств на НИОКР у азиатских поставщиков. По прогнозам фирмы VLSI Research, в 2002 году доля 300-мм пластин на мировом рынке не превысит 10%. Из 19 новых полупроводниковых заводов, строительство которых приостановлено, ни один не был предназначен для обработки пластин диаметром 300 мм. Препятствует переходу к новой технологии и более высокая (в полтора раза) стоимость оснастки 300-мм линий. Эксперты отмечают, что применение глубокой УФ-литографии при производстве ИС ведет к уменьшению топологических норм с 0,35 до 0,25 мкм. ИС следующего поколения с минимальными топологическими размерами 0,18 мкм, которые должны появиться к 2000 году, будут изготавливаться с помощью глубокой УФ- или рентгеновской литографии, но на пластинах диаметром 200 мм.

В 1997 году в результате освоения производства систем глубокой УФ-литографии, работающих на длинах волн 248 нм, продажи литографического оборудования увеличились почти в три раза и достигли 1,8 млрд. долл. По данным VLSI Research, пик спроса на эти системы ожидается в 2000 году, после чего предпочтение будет отдано системам сканирующего типа на длину волны 198 нм. Фирма Silicon Valley Group уже в 1999 году планирует начать поставки такого оборудования (на сумму 10 млн.—11 млн.долл.) для 200-мм пластин, тогда как для 300-мм пластин подобное оборудование появится не ранее 2000 года. Тем не менее такие крупные фирмы, как IBM и Motorola, строят опытные производственные линии по обработке 300-мм пластин. Последняя совместно с Siemens организовала в Дрездене венчурное предприятие Semiconductor 300 по оценке 200- и 300-мм линий производства ИС с 0,25-мкм элементами.

Electronic Business, March 1998

Ограничивает ли потребляемая мощность производительность микропроцессоров? "Да", — был ответ собравшихся на очередную Международную конференцию ISSCC. По сообщению Digital Equipment Corp., в недавно выпущенной схеме микропроцессора 21264 серии Alpha уже пришлось решать проблему снижения потребляемой мощности. В нормальных условиях схема рассеивает 72 Вт, но в наихудших рассеиваемая мощность может превышать предельно установленное значение 90 Вт. Чтобы исключить это, разработчикам пришлось уменьшить напряжение питания с 2,5 до 2,2 В. Но вскоре снижать рассеиваемую мощность таким путем уже не удастся, поскольку уменьшение напряжения питания снижает и запас схемы по помехоустойчивости. Для решения проблемы искажения сигнала могут потребоваться развязывающие конденсаторы большой емкости, промежуточные усилители сигнала и переход к псевдо- или даже полной дифференциальной передаче. Есть и другие пути снижения рассеиваемой мощности — от применения водяного охлаждения и теплоотводящих трубок до более точного расчета бюджета мощности схемы и радикального изменения схемотехнических решений. Как отметил технолог фирмы Intel, энергия переключения в пересчете на один переход из одного состояния в другое в каждом новом поколении микропроцессоров уменьшается в два раза. Рост потребляемой мощности связан с увеличением числа транзисторов и частоты их переключения, причем улучшение производительности схемы незначительно. С этим согласилось большинство участников конференции. Многие указывали на необходимость тщательно изучать возможности замены статических схем динамическими и даже такими, как логические устройства, работающие по принципу домино.

Для сохранения высокого спроса на свою продукцию изготовители должны вдвое увеличивать производительность каждого нового поколения микропроцессоров. (Правда, таково мнение разработчиков схем для рабочих станций и серверов, которые не сталкиваются с проблемой батарейного питания.) Однако до тех пор, пока ставка будет делаться на увеличение производительности микропроцессорной схемы, разработчики архитектуры будут исходить из максимальной мощности, которую сможет отводить корпус, считая, что проблема ее снижения — головная боль технологов и конструкторов микроархитектуры и схем. Но на вопрос, какую задержку на вентиль разработчики готовы допустить для снижения потребляемой мощности на 10%, прозвучал единодушный ответ — "никакую".

<http://www.edth.com/news/021198/news.html>

Новые схемы для беспроводных сетей малого радиуса действия

Дайджест

Фирма GTE выпустила комплект из двух ИС для устройств, способных работать в маломощной ближнедействующей ВЧ-сети (900 МГц) с эффективным радиусом действия около 3 м и скоростью передачи данных 30 Кбит/с. Разработка начата четыре года назад в рамках военной программы создания простых средств объединения многочисленных подвижных систем связи, таких как GPS-приемники и датчики, используемые военным персоналом в боевых условиях. В начале 1998 года фирма продемонстрировала опытный образец гражданского назначения. Система, объединившая запатентованные протоколы управления мощностью СВЧ ИС, получила название Body LAN (основная локальная сеть). Комплект потребляет всего 5 мВт и позволяет подключать до 127 устройств в сеть с двухсторонней связью. Попадая в зону действия Body LAN, связанное устройство автоматически подключается к сети с двухсторонней связью, а при выходе из зоны автоматически отключается. Эту функцию разработчики называют "подходи ближе и включайся". Схемы могут работать от литиевых батарей и размещаться в пейджерах/наручных часах. В будущем фирма надеется использовать комплект в медицинском оборудовании — аппаратуре ЭКГ, мониторах уровня глюкозы в крови и тонометрах.

Первоначальная цена схем комплекта Body LAN — 20 долл. Цена ИК-компонентов, отвечающих требованиям стандарта Ассоциации ИК данных и обеспечивающих скорость передачи 4 Мбит/с, — менее 10 долл. Но разработчики GTE считают, что созданный ими комплект легче и дешевле встраивать в сеть, поскольку его не нужно "наставлять и включать" для установления синхронного обмена данными. GTE надеется продать лицензию на свою технологию крупным полупроводниковым фирмам и изготовителям систем. Кроме того, фирма ищет завод, который сможет изготавливать схемы по ее документации. Правда, пока отношение поставщиков систем связи между подвижными объектами к комплекту фирмы неоднозначно.

<http://www.edth.com/news>

Lucent Technologies-Bell Labs заключила соглашение с норвежской фирмой Opticom ASA о совместной работе по созданию устройства памяти на ИС из органических материалов. Специалисты Bell Labs уже разработали полимерные материалы для изготовления ИС, а Opticom — методы обработки этих материалов и формирования рисунка элементов схемы, а также ряд архитектур ЗУ.

http://www.ifw.com/www/oer/97_98_99/oernov97.htm

Полимеры прокладывают дорогу в электронику