

В. С. ПРЕДМИРСКИЙ

Украина, г. Киев, Научно-исследовательский институт "Орион"  
E-mail: ndiorion@tsua.netДата поступления в редакцию  
27.04 2006 г.Оппонент д. т. н. А. Ф. КАДАЦКИЙ  
(ОНАС им. А. С. Попова, г. Одесса)

## СНИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ МОЩНЫМИ ТВ-ПЕРЕДАТЧИКАМИ ЗА СЧЕТ ПЕРЕХОДА НА КЛИСТРОДЫ\*

*Показана экономическая целесообразность замены в телевизионных передатчиках энергетически невыгодных в эксплуатации клистронов на менее габаритные и более эффективные клистроны.*

По данным Концерна радиовещания, радиосвязи и телевидения (Концерн РРТ), в действующем парке передатчиков эфирного телевидения Украины более 20 передающих устройств работают в диапазоне частот 470—860 МГц. Выходные каскады этих передатчиков выполнены на многорезонаторных усилительных клистродах типа 71ST53 и 60ST53 с выходной мощностью 20 и 5 кВт, соответственно.

НИИ «Орион» (г. Киев) уже более 10 лет выполняет работы по изготовлению клистронов этого класса и их реставрации. В институте разработана соответствующая техническая документация, имеется все необходимое для производства оборудования и контрольно-измерительная аппаратура. Это позволило полностью решить вопрос дефицита клистронов в Украине и сэкономить значительные средства, в том числе валютные. Опыт эксплуатации наших клистронов в передатчиках телевизионных центров показал, что их долговечность и надежность соответствуют техническому уровню зарубежных приборов. Кроме того, реставрация клистронов в 5 раз дешевле закупки новых, а долговечность реставрированных клистронов практически не уступает новым.

Однако дальнейшее использование ТВ-передатчиков с клистродами выходной мощностью 5 и 20 кВт нецелесообразно, поскольку они не отвечают современным требованиям, прежде всего, в отношении энергопотребления. Это обстоятельство требует проведения работ по улучшению энергетических показателей такого рода передатчиков.

В последние 10—15 лет в развитых странах в телевизионных передатчиках усиленно начал внедряться новый тип мощного усилителя СВЧ — лампа с индуктивным выводом энергии (ИОТ), клистрод [1—3]. В конструкции клистрода объединяются достоинства тетрода (высокий КПД и линейность характери-

стик) и клистрода (возможность получения большой выходной мощности и достаточно высокого коэффициента усиления). Это обуславливает возможность получения в одном приборе с относительно малыми габаритами и массой требуемого уровня энергетических показателей и фазовых характеристик с требуемой линейностью. Отличительной особенностью клистронов с многоступенчатым коллектором является постоянный КПД при изменении выходной мощности в широких пределах, что позволяет специалистам называть этот прибор усилителем с постоянной эффективностью [3].

В клистродах происходит процесс управления плотностью электронного пучка в пространстве "катод—сетка" — аналогично тому, как это имеет место в тетрадах. Далее электронный пучок, удерживаемый продольным магнитным полем, поступает в пролетное пространство, где происходит дополнительная модуляция пучка по плотности (как в пролетных приборах). В зоне взаимодействия прибора с внешним резонатором кинетическая энергия сгруппированных в ступки электронов пучка передается электромагнитному полю резонатора, в связи с чем прибор и объединил в себе достоинства тетрода (высокие КПД и показатели линейности) и клистрода (использование пролетных явлений для достижения необходимых параметров).

В частности, применение клистронов в составе ТВ-передатчиков дециметрового диапазона частот (470—810 МГц) позволяет получить уникальные параметры. Два ключевых параметра формируют основу успеха: высокий FOM (показатель качества — эффективность при усилении ТВ-сигнала) и высокая линейность. FOM определяется отношением выходной мощности в режиме синхроимпульса к средней мощности потребления в режиме передачи сигнала серого поля. Расходы на электроэнергию при эксплуатации прибора **обратно пропорциональны величине FOM**. В клистродах величина FOM в два раза выше, чем у телевизионных клистронов, не имеющих модулирующего ввода. Величина FOM в мощных клистродах обычно составляет 110—130%. При этом потребляемая мощность телевизионного передатчика с использованием клистронов снижается приблизительно вдвое. По мнению ведущих специалистов в этой области техники, применение клистронов в выходных каскадах телевизионных передатчиков позволяет снизить эксплуатационные расходы более чем на

\* Статьи настоящего раздела подготовлены в рамках украинской Государственной программы развития техники и технологий сверхвысоких частот на 2005—2009 годы.

50% по сравнению с предшествующими конструкциями передатчиков [1, 3].

Характеристика усиления клистрода более линейна, чем у клистрона. Это открывает большие перспективы при использовании клистронов для передачи сигналов не только аналогового ТВ (включая режим общего — видео и звукового — усиления), но и цифрового ТВ, где требования к линейности очень высоки. Немаловажно, что в клистродах остаточная энергия отработанного электронного пучка рассеивается в коллекторе, а не в анодном конструктиве, 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. Кроме того, применение конструктивно отделенного коллектора в клистродах (в отличие от тетрадов) позволяет достичь очень высоких энергетических показателей.

В обычном клистроне, работающем в классе А, потребляемая мощность не зависит от уровня сигнала и для поддержания пикового значения выходной мощности должна быть постоянно высокой (**ФОМ, соответственно, будет низким**). Поскольку клистроны, как и ТВ-тетрады, работают в классе В, их потребляемая мощность зависит от уровня сигнала. Данное обстоятельство приобретает особое значение, поскольку уже к 2003 году в США планировали полностью перейти на цифровое телевидение (HDTV) [1].

Одно из важных достоинств клистронов — малые размеры прибора при высоких мощностях, КПД и надежности. Они характеризуются высокой долговечностью. По данным фирмы E2V Technologies Ltd. (Великобритания), у промышленных клистронов время наработки на отказ превышает 10 000 часов, а у отдельных экземпляров достигает 30 000 часов [2]. Сравнительный анализ стоимости эксплуатации мощных приборов для ТВ-трансляции показывает, что эксплуатация клистронов обходится почти в два раза дешевле, чем обычных клистронов [3]. Кроме того, при изготовлении клистронов имеется значительная экономия дорогостоящих цветных и тугоплавких материалов, что, в свою очередь, также снижает их стоимость.

Клистроны считаются наиболее привлекательными приборами для применения в составе передатчиков мощностью более 10 кВт. Можно однозначно утверждать, что эра клистронов в мощных ТВ-передатчиках прошла. Это объясняется еще и тем, что единственное преимущество клистронов — высокий коэффициент усиления — уже не является актуальным при сегодняшнем уровне развития технологии [4].

Основное достоинство клистронов — возможность получения в УКВ- и СВЧ-диапазонах больших мощностей и КПД, а также хорошей фазовой характеристики при относительно малых габаритах и массе. Это обеспечит эффективную покрываемость территории без строительства и ввода в эксплуатацию дополнительных ТВ-передатчиков. Замена же ТВ-передатчиков, в которых используются клистроны, на модернизированные ТВ-передатчики ТВ-5 и ТВ-20 с использованием клистронов позволит на территории Украины сэкономить, по предварительным подсчетам, около 3 млн. кВт·ч электроэнергии или около 450 000 грн. в год.

Следует особенно отметить, что в настоящее время традиционным эфирным средствам доставки ТВ-программ приходится конкурировать с такими средствами масс-медиа как кабельное телевидение, непосредственное спутниковое вещание. Однако в стандартном диапазоне частот 470—860 МГц система эфирной доставки остается и будет оставаться наиболее доступной, разветвленной и привлекательной для вновь организуемых малых частных радиостанций, по крайней мере, в нашей стране, поскольку создание такой системы не требует больших (по сравнению с иными) затрат и, самое главное, население уже имеет десятки миллионов эфирных телеприемников, а возможности повышения качества приема в то же время еще не исчерпаны.

#### Выводы

Таким образом, модернизация ТВ-передатчиков ТВ-5 и ТВ-20 с заменой многорезонаторных усилительных клистронов на клистроны позволит примерно вдвое снизить энергопотребление передатчиков ТВ-центров эфирного телевидения при сохранении покрываемости территории. Кроме того, стоимость клистронов значительно ниже стоимости клистронов за счет снижения расхода дорогостоящих материалов при их производстве.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Королев А., Лапин М., Мишин Т., Победоносцев А. Многолучевой клистрод для телевидения // Электронные компоненты. — 1998. — № 2. — С. 23—24.
2. WEB-сайт [www.comms.e2vtechnologies.com](http://www.comms.e2vtechnologies.com) фирмы «E2V Technologies Ltd.», Великобритания. — 2004.
3. Symons R. S. Still vital after all this years // IEEE Spectrum. — 1998. — N 4. — P. 52—63.
4. Козловский М. М. Состояние техники радиопередающих устройств для эфирного телевидения и стереовещания // Электросвязь. — 1997. — № 10. — С. 16—17.