

ЦИФРОВЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ПЕРЕДАТЧИКИ НА ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРАХ

© М. А. Загнетко¹, К. И. Кукк¹, М. И. Лопин², Т. А. Мишкин², В. А. Рыжов²,
А. М. Сеченых³, А. Н. Юнаков²

¹ ЗАО «МНИТИ», 105094, г. Москва, ул. Гольяновская, 7а, стр. 1

² АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина», 141190, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

³ ФГУП «МНИИРИП», 141002, г. Мытищи, ул. Колпакова, 2а

Охват эфирным телевизионным вещанием в нашей стране начался с 1950-х годов. Большинство передающих устройств имели выходную мощность от 1 до 15 кВт. В качестве выходных усилительных приборов в зависимости от диапазона частот использовались тетроды и клистроны. В начале 1990-х годов за рубежом появились электровакуумные приборы с индуктивным выходом, названные клистродами (ИОТ). В России на предприятии «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» был разработан многолучевой прибор, который получил название «Истрон». Была показана возможность построения мощных цифровых телевизионных передатчиков на этих приборах. Телевизионные передатчики современной сети телевизионного вещания построены на импортных полупроводниковых триодах. Промышленный КПД таких передатчиков 14-21 %. Разработанный усилитель на «Истроне» имеет КПД 36-42 %, а также степень локализации применяемых СВЧ устройств до 90 %.

Ключевые слова: передатчик, ИОТ, «Истрон», КПД

Сведения об авторах: Загнетко Михаил Анатольевич, yakovenko@mniti.ru; Кукк Калью Иванович, kukk@mniti.ru; Лопин Михаил Иванович, info@istokmw.ru; Мишкин Тариэль Ахметович, tarielmishkin@yandex.ru; Рыжов Владимир Алексеевич; Сеченых Алексей Михайлович, sam@mniirip.ru; Юнаков Алексей Николаевич, alexy521@mail.ru

MODERN STATE OF ELECTROVACUUM AND SEMICONDUCTOR TELEVISION TRANSMITTERS

M. A. Zagnetko¹, K. I. Kukk¹, M. I. Lopin², T. A. Mishkin², V. A. Ryzhov²,
A. M. Sechenykh³, A. N. Yunakov²

¹ CJSC «MNITI», 105094, Moscow, Golyanovskaya street, 7a-1

² JSC «SPE «Istok» named after A. I. Shokin», 141190, Fryazino, Vokzalnaya street, 2a

³ Federal State Enterprise «MNIIRIP», 141002, Mytishchi, Kolpakova street, 2a

Coverage of TV broadcasting in our country began immediately after the end of World War II. Most devices have transmission output power of 1 to 15 kW. Klystrons and tetrodes were used as output amplifier units depending on the frequency band. Since the early 90s electronic devices with inductive output, called klystrods (IOT) appeared abroad. In Russia, the company «Istok» has developed a multi-beam device, which was called «Istron». He is been demonstrated the possibility of creating a digital power TV transmitters on these devices. TV transmitters of modern television network are built on imported semiconductor triodes. Industrial PAE of such transmitters is 14-21 %. Amplifier designed on «Istron» has PAE of 36-42 % and the degree of localization of microwave devices used up to 90 %.

Keywords: transmitter, IOT, «Istron», PAE

Data of authors: Zagnetko Mikhail Anatolievich, yakovenko@mniti.ru; Kukk Kalyu Ivanovich, kukk@mniti.ru; Lopin Mikhail Ivanovich, info@istokmw.ru; Mishkin Tariel Akhmetovich, tarielmishkin@yandex.ru; Ryzhov Vladimir Alekseevich; Sechenykh Aleksey Mikhailovich, sam@mniirip.ru; Yunakov Aleksey Nikolaevich, alexy521@mail.ru

Введение

В Советском Союзе широкий охват телевизионным вещанием начался с 1950-х годов. Создавались региональные телевизионные вещательные центры с мощными эфирными передающими станциями. Разработка и широкое производство телевизионных передатчиков начались на созданном в г. Ленинграде при заводе им. Коминтерна Центральном конструкторском бюро мощного радиостроения. Задачи ускоренной телефикации страны решались за счёт создания семейства типовых телевизионных передатчиков мощностью от 1 до 15 кВт, работавших в метровом диапазоне волн (1-5 телевизионные каналы). В конце 1950-х годов осваиваются более высокочастотные диапазоны (6-12 телевизионные каналы). Все они были построены с применением в выходных усилительных каскадах электровакуумных приборов (мощных тетродов) и использованием предварительных усилителей.

В 1970-е годы в НПО им. Коминтерна были разработаны передатчики для работы на 1-12 телевизионных каналах серии АТРС (АТРС 5/0,5; АТРС 50/5). В качестве выходных каскадов использовались мощные тетроды с воздушным охлаждением типа ГУ-92Б и ГУ-90Б. Промышленный КПД передатчиков типа АТРС 5/0,5 составлял 32 %, передатчиков АТРС 50/5 – 38 %. По техническим требованиям эти передатчики соответствовали общесоюзным стандартам и получили широкое распространение на телевизионных сетях СССР.

В эти же годы для целей телевизионного вещания начинается освоение дециметрового диапазона волн (21-69 телевизионные каналы). Понадобилась и новая элементная база для мощных передатчиков. В первых передатчиках ДЦВ диапазона типа «Ильмень» с выходной мощностью 25/2,5 кВт были применены клистроны типа А-148, которые были разработаны в московском НИИ «Титан». В последующем была разработана новая модификация мощных передатчиков «Ильмень-1». Для них в НИИ «Титан» (в это время он был переименован в НПП «Торий») разработан четырёхрезонаторный клистрон КУ-318 с воздушным охлаждением

(шифр «Атом»). С 1987 г. в передатчиках «Ильмень-2» стали применяться клистроны типа КУ-352А (шифр «Великан»). В качестве предварительных усилителей применялись лампы бегущей волны (ЛБВ) типа УВ-304.

Совершенствование телевизионных передающих устройств

Дальнейшее совершенствование телевизионных передающих устройств шло по пути внедрения транзисторов в предварительных каскадах усиления, широкого применения микроэлектроники и акустоэлектроники в возбуждателях и модуляторах, использования микропроцессорных блоков для контроля параметров и их регулировки.

Действовавшая аналоговая система распространения телерадиопрограмм в Советском Союзе, за редким исключением, была построена на отечественном оборудовании и отечественной элементной базе.

Мощность телевизионных передатчиков определялась зоной обслуживания и для городов находилась в пределах от 1 кВт до 5-50 кВт.

Всего до перехода на цифровой режим на территории Российской Федерации в наземной сети использовалось около 13 тысяч телевизионных передатчиков, в том числе 339 мощных (от 5 до 50 кВт), свыше 12 тысяч маломощных телевизионных передатчиков, более 5 тысяч приёмных телевизионных станций «Москва» и около 4 тысяч приёмных установок «Экран».

В связи с большой продолжительностью перехода на цифровое вещание (6-10 лет) и необходимостью в этот период осуществлять вещание, как в аналоговом, так и цифровом режиме, российскими специалистами в 2001 г. была предложена концепция создания гибридных телевизионных передатчиков, способных работать как в аналоговом, так и цифровом режиме. В простейшем случае при переходе от аналогового вещания к цифровому требуется только замена модуляторов. Наличие гибридных передатчиков позволяет сократить капитальные затраты при переходе на цифровой формат вещания.

В начале 1990-х годов за рубежом были разработаны телевизионные пере-

датчики, в выходных каскадах которых использовались клистроды. Впервые электровакуумный прибор подобного типа был предложен А. В. Гаевым в 1938 году и назван Inductive Output Tube (IOT) – прибор с индуктивным выходом. Однако в то время не удалось добиться высокой выходной мощности по причине перегрева сетки и ограничений, связанных с недостаточной эмиссионной способностью существовавших тогда катодов. В 80-ых годах двадцатого века некоторые технические проблемы этого плана были преодолены. Американская фирма Eimac-Varian, применив металлопористые катоды и сетки из пиролитического графита, стала выпускать мощные IOT (на десятки кВт) с фирменным названием «клистрод».

В приборах типа IOT происходит процесс управления плотностью пучка (луча) на пространстве катод-сетка, как в приборах с сеточным управлением, например в триодах, далее электронный пучок, удерживаемый продольным магнитным полем, поступает в пролётное пространство, где происходит дополнительное концентрирование пучка по плотности, вследствие различия скоростей электронов (как в пролётных приборах, клистродах). В зоне взаимодействия прибора с внешним резонатором кинетическая энергия сгустка электронов луча, как и в клистродах, передаётся электромагнитному полю резонатора.

В «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» был разработан многолучевой клистрод, названный «Истроном» [1]. В приборе электронный пучок разделён на отдельные пучки за счёт специального расположения индивидуальных пучков в единой трубе дрейфа.

Катод выполнен в виде совокупности отдельных эмитирующих поверхностей формирующих индивидуальные электронные пучки. Сетка выполнена в виде совокупности отдельных управляющих сеток, каждая из которых размещена над своей эмитирующей поверхностью, а все вместе они укреплены на едином металлическом сеточном держателе. Труба дрейфа содержит совокупность отдельных продольных каналов для пролёта индивидуальных

электронных пучков, при этом труба дрейфа выполняется с соблюдением условия

$$0,1 \approx D / \lambda \approx 0,5,$$

где D – диаметр трубки дрейфа, λ – длина волны.

Разработанный прибор «Истрон» был испытан в телевизионных передатчиках типа «Ильмень-1». Работы проводились в АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» и в РТПЦ Волоколамска (Московская область) по согласованию с Московским региональным центром – филиалом ФГУП «РТРС». Испытания в режиме отдельного усиления сигналов изображения и звука проводились в период 2003-2004 гг. Испытания в режиме совместного усиления сигналов изображения и звука проводились в период 2005-2006 гг. [2]. Выходная мощность цепочки в режиме передачи синхроимпульса составляла 20 кВт.

Проведённые работы и полученные результаты по переводу телевизионного передатчика «Ильмень» в режим работы «Истрон» – видео; клистрон – звук были признаны положительными. Было отмечено, что потребление электроэнергии видеотракта при введении «Истрона» снизилось с 99 до 48 кВт.

В связи с переходом Российской Федерации на цифровое телевизионное вещание совместно с ОАО «Телеком» были проведены предварительные испытания «Истрона» в режиме передачи цифрового телевизионного сигнала COFDM стандарта DVB-T при выходной непрерывной мощности 4...5 кВт. При этом максимальная импульсная мощность «Истрона» составляла 20...25 кВт. Полученные положительные результаты позволили перейти к полномасштабной разработке цифрового телевизионного передатчика с выходной мощностью 5 кВт.

В настоящее время разработаны опытные образцы мощных клистродных усилителей, предназначенных для работы в составе передающих устройств базовых станций цифрового телевизионного сигнала стандарта COFDM.

Телевизионный передатчик состоит из двух мощных клистродных усилителей, об-

разующих основной и резервный каналы. В состав мощного истронного усилителя входят «Истрон», комплект вторичных источников питания и предварительный усилитель.

Основным преимуществом телевизионных передатчиков на «Истронах» является высокий КПД, достигающий в режиме рекуперации 36-42 %. Еще одно существенное достоинство разработанных клистродных усилителей – это высокая степень локализации применяемых СВЧ устройств. Последнее преимущество в современных условиях действия зарубежных санкций является особенно важным.

Производство цифровых передатчиков с высокими техническими характеристиками на основе «Истронов» имеет ряд технологических особенностей. В связи с тем, что электронный поток состоит из ряда отдельных лучей, то для обеспечения линейной анодно-сеточной характеристики необходимо обеспечивать одинаковые расстояния между сеткой и катодом для всех лучей. Невыполнение указанного требования линейности анодно-сеточной характеристики является основной причиной отбраковки «Истронов».

Эта сложная технологическая задача решена АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» при выполнении ОКР «Разработка базовой технологии создания мощных клистродных усилителей для вещательных передающих устройств цифрового телевизионного сигнала» в рамках ФЦП «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008-2015 годы».

Подавляющее большинство современных цифровых телевизионных передатчиков, как зарубежного, так и отечественного произ-

водства, построено на линейных полупроводниковых транзисторах. Из зарубежных компаний – производителей телевизионных передатчиков, представленных на российском рынке, следует отметить фирмы: Rohde & Schwarz GmbH & Co.KG (Германия), Harris Corporation (США), Thomson Broadcast Systems (Франция), Vigintos Elektronika (Литва), ELTI Elrad Professional (Словения). Основные российские производители: ОАО «Март» (г. Санкт-Петербург), ООО «НПП ТРИАДА-ТВ» (г. Новосибирск), ООО «Алмаз-Антей телекоммуникации», ОАО ОмПО «Иртыш» (г. Омск).

Номенклатура передатчиков по мощности находится в пределах от 1 Вт до 10 кВт.

В настоящее время в России формируется два мультиплекса. В каждом мультиплексе задействовано около 5000 передатчиков. Количество требуемых передатчиков с мощностью более 1 кВт приведены в таблице.

Применение телевизионных передатчиков на электровакуумных усилителях целесообразно начиная с уровня выходной мощности 2-5 кВт и более. Передатчики указанного диапазона мощностей производят несколько отечественных и зарубежных компаний.

Недостатком всех современных полупроводниковых передатчиков в телевизионном диапазоне частот является их относительно небольшой КПД, находящийся в пределах от 14 до 21 %. При высоких тарифах на электроэнергию для промышленных предприятий, которые ежегодно растут, повышение КПД мощных передатчиков существенно снижает эксплуатационные расходы. Для 5 кВт передатчика годовая экономия

Таблица

Количество требуемых передатчиков для мультиплекса с мощностью более 1 кВт

Мощность, кВт	Количество, шт.
1,0	366
1,2	5
2,0	135
3,2	2
3,6	3
5,0	156
10,0	15

потребления электроэнергии составит 80-100 тыс. кВт·час. (Снижение эксплуатационных расходов порядка 0,5 млн. рублей.)

К настоящему времени изготовлены опытные образцы отечественных мощных электровакуумных усилителей с высокими КПД и уровнем локализации. В условиях сложившейся мировой обстановки указанное преимущество является особенно важным.

В дальнейшем для организации серийного выпуска телевизионных цифровых передатчиков на клистродных усилителях необходимо провести их пробную эксплуатацию в телевизионном передающем центре с работой на эфир. Также при организации серийного выпуска изделий важным направлением работы будет обеспечение технологичности процессов изготовления с целью уменьшения отбраковки «Истронов», не соответствующих требованиям нелинейности.

В связи со сложной экономической обстановкой в стране сроки выключения аналоговых передатчиков сдвигаются до 2018 года. Таким образом, сохраняется потребность как в аналоговых передатчиках, так и в цифровых. Возрождается необходимость создания гибридных передающих устройств с высокими КПД и уровнем локализации.

Выводы

Основными преимуществами телевизионных передатчиков на истронах являются:

1. повышенный КПД до 40 % в режиме рекуперации;
2. высокая степень локализации (до 90 %);
3. снижение эксплуатационных расходов на 0,5 млн. рублей в год на один передатчик.

Литература

1. Пат. 2152102 Российская Федерация. Электровакуумный прибор СВЧ «Истрон» / Лопин М. И., Мишкин Т. А., Победоносцев А. С., Королев А. Н. – Приоритет 15.10.1998.
2. Королев А., Лопин М., Бакуменко А., Мишкин Т., Рыжов В. Опыт эксплуатации многолучевого клистрода (истрона) в телевизионном передатчике «Ильмень» // Журнал «625». – 2007. – № 3.

References

1. Electrovacuum microwave device «Istron»: patent 2152102 Russia; Lopin M. I., Mishkin T. A., Pobedonostsev A. S., Korolev A. N.; priority of 15.10.1998.
2. Korolev A., Lopin M., Bakumenko A., Mishkin T., Ryzhov V. Operating experience of multi-beam klystode (Istron) in television transmitter «Ilmen». *Journal «625»*, 2007, no. 3.