

К. К. ИРИНИЧ, к. т. н. С. А. КРАВЧУК,
В. П. ПОТИЕНКО, В. И. ПРИЙМАК,
Ю. Н. РОМАНЕНКО, к. т. н. В. М. ЧМИЛЬ

Дата поступления в редакцию
18.06 1999 г.
Оппонент д. т. н. К. С. СУНДУЧКОВ

Украина, г. Киев, Науч.-производств. предприятие «Сатурн»

РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ НПП «САТУРН»

Рассмотрена концепция модернизации радиорелейных систем предприятия с целью создания единого конструктивного ряда на основе оптимального построения.

The conception of relay systems modernization of enterprise with the object of producing of single constructive series on base optimal construction has been considered.

Отечественным производителям радиорелейной аппаратуры приходится приспосабливаться к новым экономическим условиям, модернизируя производство своей продукции в соответствии с мировыми стандартами и все больше опираясь при этом на прогрессирующую в технологическом плане зарубежную элементную базу.

Экономические условия Украины отличаются, прежде всего, крайне низкой внутренней кооперацией между отечественными производителями цифровой и микроволновой аппаратуры, жесткой конкуренцией западных фирм, ориентацией разработчиков на новую импортную элементную базу. Особенно это касается аппаратуры обработки и формирования цифрового сигнала, создания малогабаритных и высокоэффективных источников питания, разработки частотных синтезаторов.

Кроме этого, выпускаемая радиорелейная аппаратура в основном производится согласно конструкторской документации, разработанной еще во времена СССР и учитывающей бывшую систему всесоюзной кооперации [1]. Отдельные внутренние доработки аппаратуры [2–3] не внесли принципиально новых технических решений для повышения конкурентной способности отечественных радиорелейных станций (РРС) на мировом рынке.

Необходимо также учитывать общую стратегию построения структуры линий электросвязи на Украине, в основу которой заложены оптоволоконные и спутниковые линии, предназначенные, главным образом, для обеспечения глобальной и магистральной связи. Однако такие линии не перекрывают потребности в зонной и местной связи, оставляя эту нишу для радиорелейных систем.

Особенности построения выпускаемых радиорелейных систем

Научно-производственное предприятие «Сатурн» разрабатывает, производит и внедряет телевизионные и цифровые радиорелейные системы, позволяющие функционировать сотням радиолиний в диапазоне частот от 7 до 40 ГГц. Их основой служат радиорелейные станции «Энергетик», «Эврика», «Эклиптика» и «Элара», обеспечивающие обмен информационными потоками, когда затруднительно использование кабельных линий передачи или требуется оптимальное решение для построения местной и зонной, мобильной и стационарной цифровой (и телевизионной) сети.

Применение таких радиорелейных систем в качестве базовых позволяет производить разработку специальных радиопередающих сетей, которые адаптируются к определенным требованиям надежности и особенностям заданного трафика каждого пользователя. РРС могут работать во всех климатических зонах Украины и стран СНГ без участия постоянного обслуживающего персонала.

Концепция НПП «Сатурн» предполагает, помимо аппаратных вопросов, интерес к широкому диапазону служб потребителя — таких как анализ деловых предложений, служба планирования сети, управление проектом, техническая поддержка, ремонт и обслуживание, обучение потребителей и передача современных технологий.

Характеристики всех РРС — цифровых (ЦРС) и телевизионных для каналов видео и звука соответствуют рекомендациям Международного Союза Электросвязи (МСЭ). При этом телевизионные РРС используют частотную модуляцию (ЧМ), применение которой снижает требование к линейности амплитудных характеристик СВЧ-тракта, позволяет обеспечить требуемое качество в условиях некоторого ослабления сигнала на радиолинии. Телевизионный видеосигнал подвергается предискажению в соответствии с рекомендацией МККР 405-1.

Сигналы звукового сопровождения передают в одном стволе с видеосигналом, используя частотное разделение каналов изображения и звукового сопровождения, выделяя одну или несколько (до четырех) поднесущих звука, которые располагаются выше спектра видеосигнала. Частотная модуляция нескольких поднесущих позволяет передавать наря-

ду с сигналами звукового сопровождения сигналы звукового вещания.

Все рассматриваемые РРС состоят из трех основных частей:

- радиоблока для наружной установки, выполняющего все функции приемопередатчика для дуплексной линии и приемника или передатчика для симплексной линии;
- антенны с опорно-поворотным устройством (антенна может быть совмещена с радиоблоком или установлена отдельно);
- модуля доступа, располагаемого в помещении (аппаратной) и обеспечивающего стык радиоблока с оконечной связью или телевизионной аппаратурой.

Радиоблок состоит из герметичного контейнера, в котором размещены высокочастотные модули трактов приема и передачи, служебный модуль доступа (контроль и управление, служебная связь), внутренний источник питания. Контейнер обеспечивает защиту от внешних воздействий. Обычно радиоблок объединен с антенной, но возможна и отдельная установка. Интерфейсом для антенны являются стандартные волноводные каналы соответствующих диапазонов частот. Радиоблок содержит разъемы для подключения коаксиального кабеля, технологического пульта, кабеля питания (при необходимости).

Антенна с радиоблоком при помощи опорно-поворотного устройства может настраиваться по вертикальной и горизонтальной поляризации. При этом обеспечивается точная юстировка по азимуту и углу места. Габаритные размеры (диаметр) используемых стандартных антенн с защитными колпаками лежат в пределах 0,3–1,8 м.

В случае ЦРС *модуль доступа* обеспечивает интерфейс стыка радиорелейной сети с сетями общего пользования, прямыми абонентами, ведомственными АТС, станциями мобильного сопряжения и компьютерными сетями. Посредством его обслуживающий персонал имеет доступ к технологическим каналам для технического обслуживания и получения информации об аварийных ситуациях и состоянии узлов радиоблока.

В модуль доступа ЦРС входят:

- базовый блок (ББ), имеющий ряд модификаций в зависимости от емкости трафика и условий резервирования, а также выполняющий функцию цифрового модема по стыку с радиоблоком по промежуточной частоте (70 или 140 МГц) или устройства сопряжения по цифровому потоку в коде HDB3 (AMI). Базовый блок имеет разъемы для подключения кабелей от радиоблока и аппаратуры формирования цифрового потока, а также для подключения технологического пульта с телефонной трубкой, источника питания. На передней панели блока расположена световая индикация, переключатели состояния сети и телеуправления. В случае установки модемной части в радиоблоке при построении простейших радиолиний без резервирования с емкостью трафика 2,048 и 8,448 Мбит/с ББ может не использоваться;
- мультиплексор, объединяющий ряд потоков по 2,048 Мбит/с в один большей емкости (8,448 или

34,368 Мбит/с). Стык мультиплексора по скорости передачи 2,048 Мбит/с соответствует рекомендации G703.

Для телевизионной РРС модуль доступа представляет собой стандартный телевизионный модем на промежуточную частоту (ПЧ) 70 МГц.

Выпускаемые в настоящее время НПП «Сатурн» малогабаритные микроволновые РРС можно подразделить на три типа.

Первый – это станция, состоящая из двух независимых частей – блока приемопередатчика (БПП) и стандартного модема, который связан с БПП посредством передаваемого по коаксиальным радиочастотным кабелям сигнала на частоте второй ПЧ БПП (70 или 140 МГц).

Такая схема построения станции в значительной степени универсальна и наиболее распространена. Она позволяет использовать один и тот же БПП для передачи цифровой информации или аналогового сигнала в соответственной сквозной полосе. При этом применяются цифровые либо стандартные аналоговые модемы. Для радиолинии с горячим резервированием, создаваемой на основе РРС первого типа, рекомендуется число дуплексных стволов не более чем 3+1 (оптимальное – 1+1).

К этому типу станций, выпускаемых на предприятии, можно отнести телевизионную РРС «Эклиптика» и ЦРС «Элара ПЧ».

В качестве примера рассмотрим ЦРС «Элара ПЧ» в случае ее использования для передачи цифровой информации со скоростью 34,368 Мбит/с. Основные составные части: БПП с антенной, устройство поворотное и оконечная аппаратура цифрового радиорелейного тракта, содержащая модем и мультиплексор (для формирования цифрового потока 8,448 или 34,368 Мбит/с).

БПП построен по схеме (см. рис. 1) с независимыми гетеродинами для трактов приема и передачи. Достоинством такой схемы является возможность независимой замены требуемых трактов приема или передачи, а недостатком – наличие четырех генераторных блоков.

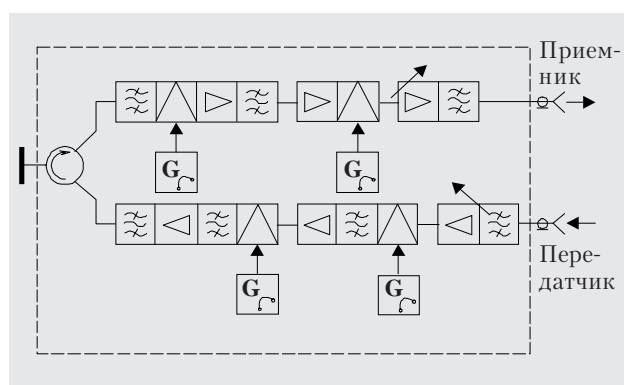


Рис. 1. Функциональная схема блока приемопередатчика ЦРС «Элара ПЧ»

Информационный сигнал миллиметрового диапазона волн (ММВ) поступает на вход приемного тракта – преобразовательно-усилительный модуль, где в частотно-избирательном смесителе сигнал преобразуется в первую ПЧ, усиливается предварительным усилителем ПЧ (ПУПЧ) и фильтруется в полосно-пропускающем фильт-

ре (ППФ). Далее сигнал усиливается в усилителе ПЧ (УПЧ) и преобразуется на втором смесителе в ПЧ 70 МГц. Сигнал второй ПЧ поступает на усилитель с внутренней автоматической регулировкой усиления (АРУ), где осуществляется поддержание стабильной выходной мощности (8 мВт). На выходе приемного тракта сигнал фильтруется и производится его фазовая коррекция.

В качестве гетеродинов ММВ используется цепочка: задающий транзисторный генератор на диэлектрическом резонаторе (ДР), транзисторный усилитель мощности и умножитель с выходным ППФ. Мощность на выходе такого гетеродинного блока составляет 12–14 мВт в диапазоне 36–39 ГГц. В качестве гетеродина ПЧ применяется генератор, либо стабилизированный ДР, либо управляемый напряжением (ГУН). Отметим, что данная функциональная схема отражает построение БПП ММВ с опорными сантиметровыми транзисторными генераторами. При наличии потребности в оперативной установке рабочих частот на объекте в данном БПП генераторы ММВ могут быть заменены блоком синтезатора частоты (СЧ).

Модулированная групповым потоком 34,368 Мбит/с ПЧ 70 МГц от модема поступает на вход передающего тракта. Усиленный и стабилизированный в усилителе с АРУ сигнал переносится посредством смесителя вверх в диапазон первой ПЧ. ППФ осуществляет фильтрацию продуктов преобразования. Далее сигнал усиливается и при помощи второго смесителя с ППФ, образующих частотно-селективный преобразователь вверх, его спектр переносится в диапазон ММВ. Полученный высокочастотный сигнал усиливается выходным усилителем мощности на диоде Ганна до величины 50–100 мВт и через фильтр гармоник, циркулятор поступает на антенну.

Для конкретно рассматриваемой ЦРС в качестве оконечной аппаратуры цифрового радиорелейного тракта была использована АЦТ-34 (МГП «Радиян», г. Санкт-Петербург), предназначенная для передачи 16 асинхронных цифровых потоков 2,048 Мбит/с в стволе РРЛ. Комплект аппаратуры АЦТ-34-16/2 состоит из конструктивно законченных блоков — мультиплексора МХ-34-16/2 и модема МД-34.

Аппаратура осуществляет прием и асинхронное объединение цифровых потоков 2,048 Мбит/с в групповой поток 34,368 Мбит/с, модуляцию и демодуляцию сигнала ПЧ для ЦРС, асинхронное разделение потоков 2,048 Мбит/с, резервирование, контроль коэффициента ошибок без перерыва связи, а также служебную связь.

Ко *второму* типу РРС относятся в основном цифровые станции, которые предполагают размещение модемной части в корпусе внешнего БПП и непосредственную выдачу на импульсно-кодировый модулятор (ИКМ) цифрового потока. Для осуществления телеуправления и телесигнализации обычно возле ИКМ располагается блок управления (БУ).

Этот тип станций наиболее предпочтителен в случае большого расстояния (свыше 500 м) между БПП с антенной и ИКМ, т. к. отпадает необходимость в канализации микроволнового (70 или 140 МГц) сигнала от БПП. Однако в связи с расположением в БПП модемной части к ней ужесточаются требования по стабильности параметров в широком диапазоне температур. Принцип резервирования второго типа ЦРС аналогичен первому.

Типичным представителем второго типа РРС является ЦРС «Энергетик-15». На **рис. 2** представлена схема построения БПП такой станции.

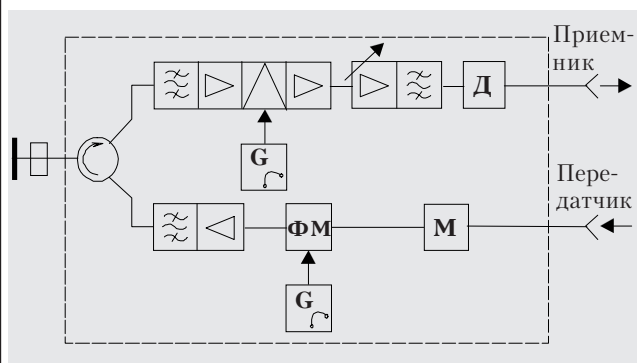


Рис. 2. Функциональная схема блока приемопередатчика ЦРС «Энергетик-15»

Цифровой поток от ИКМ через БУ, используемый для осуществления индикации, управления и служебной связи, поступает на модулятор (М) БПП, который вырабатывает управляющий сигнал для фазового манипулятора (ФМ) тракта передатчика. Полученный фазоманипулированный сигнал усиливается до уровня 50–100 мВт и подается на антенну.

Принятый фазоманипулированный высокочастотный сигнал поступает на входной малошумящий усилитель (МШУ), преобразуется в ПЧ, усиливается и фильтруется. Полученный сигнал попадает на демодулятор (Д), где из него выделяется цифровой поток, подающийся из БПП на ИКМ.

Третий тип РРС аналогичен первому, только в нем нет единого герметичного корпуса БПП. Он состоит из набора независимых герметичных модулей, как приемников, так и передатчиков, которые объединены специальным диплексером, связанным с антенной.

Такая схема построения наиболее предпочтительна в системах, где требуется одновременная работа или горячее резервирование более чем четырех дуплексных стволов. Она широко используется, например, при построении стационарных многоканальных спутниковых систем связи. Такой тип станций достаточно специфичен и не имеет такой перспективы применения в цифровых зонавых радиолиниях, как первые два типа, особенно если требуется их крупносерийное производство, обеспечение единой системы телеуправления и телесигнализации, а также использование синтезатора частоты.

По схеме третьего типа построена телевизионная РРС «Эврика». БПП этой станции образован соединением модулей приемника и передатчика посредством отдельного модуля селектора поляризации. Все модули герметичны и независимы друг от друга по питанию. Как в приемнике, так и в передатчике используется гетеродинная схема с одним преобразованием, что определяет жесткие требования по стабильности частот гетеродинов и прямоугольности АЧХ фильтров. Реализовать такую схему с одним преобразованием позволило также применение в приемнике и передатчике двойного ба-

лансного смесителя с фазовым подавлением зеркального канала. ПЧ данного БПП 70 МГц, что позволяет использовать любые стандартные модемы, рассчитанные на эту ПЧ.

Направления развития РРС

Накопленный опыт разработки, производства и эксплуатации РРС, сформировавшиеся к настоящему времени объективные экономические условия, переход рынка передачи информации на цифровую основу обусловили необходимость пересмотра старой концепции построения станций как отдельных уникальных систем и определили новый подход — создание единого однородного ряда ЦРС, который основывался бы на одном, наиболее технологичном и унифицированном построении. В этой связи нами определены следующие направления развития.

1. Единое базовое схмотехническое построение ЦРС.

2. Унификация узлов и деталей для их крупносерийного производства, переход к типовым взаимосовместимым модулям, информационная и другая совместимость частей системы.

3. Разработка КД, позволяющей осваивать производство ЦРС на других заводах Украины, а также предусматривающей возможность изменения их структуры для функционирования при изменяющихся объективных и технологических условиях.

4. Кооперация с отечественными (преимущественно) производителями цифровой аппаратуры.

5. Расширение функциональных возможностей построения цифровых коммуникаций на базе ЦРС предприятия: реализация различных схем резервирования и подключения ЦРС, расширение сервисных функций при сохранении простоты в эксплуатации, совершенствование систем телесигнализации и телеуправления.

6. Внедрение новых схмотехнических, конструктивных и технологических решений при построении отдельных модулей станции с целью повышения ее электрических и надежностных параметров.

В обеспечение вышеуказанных направлений развития предложен единый ряд ЦРС в диапазонах частот 7, 8, 11, 13, 15, 23 и 38 ГГц для скоростей передачи 2,048, 8,448, 10 и 34,368 Мбит/с. В состав ЦРС входят антенна с юстировочно-поворотным устройством, БПП и аппаратура доступа (стандартные цифровые модемы, мультиплексоры или согласующая аппаратура — базовый блок, устройство сопряжения).

Базовой для построения БПП определена схема с двумя преобразованиями и СЧ (рис. 3), в которой заложена возможность реализации интерфейса с аппаратурой доступа как по ПЧ 70 или 140 МГц, так и в виде цифрового потока.

Конструктивно БПП состоит из унифицированного герметичного корпуса с разъемами, внутренних микроволновых и цифровых модулей, плат телесигнализации и телеуправления, источника питания. Высокочастотный вход/выход БПП представляет собой стандартный волноводный фланец, соответствующий рабочему диапазону станции. К нему с внутренней стороны через диплексор

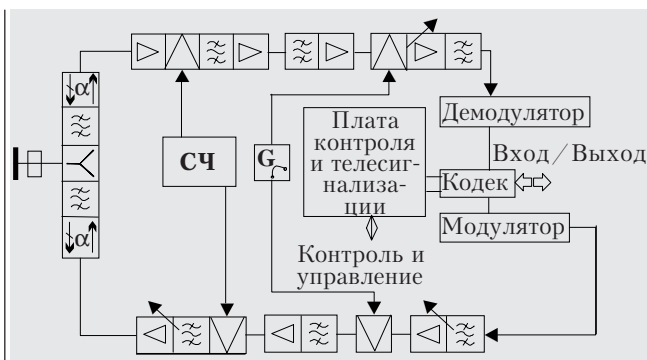


Рис. 3. Функциональная схема блока приемопередатчика ЦРС

подключены вход и выход трактов приемника и передатчика, соответственно.

Приемный микроволновый тракт можно подразделить на входной конвертер (МШУ, смеситель и ПУПЧ), селективный УПЧ, смеситель второго преобразования и выходной усилитель с АРУ. Тракт передатчика со стороны СВЧ-выхода состоит из конвертера вверх (усилитель мощности, селективный преобразователь вверх), селективного УПЧ, аналогового приемному, и усилителя с АРУ.

Данные блоки и узлы унифицированы под все частотные литеры в пределах одного частотного диапазона, что позволяет применять в нем один и тот же БПП. Переналадка «нижнего» (рабочая частота передатчика $f_{прд}$ меньше, чем приемника — $f_{прм}$) БПП в «верхний» ($f_{прд} > f_{прм}$) осуществляется перестановкой местами селективных УПЧ трактов передатчика и приемника, которые определяют полосы сигналов первых ПЧ $f_{ПЧ1н}$ и $f_{ПЧ1в}$ (индексы «н» и «в» обозначают «нижний» и «верхний», что соответствует меньшей и большей величинам частот, соответственно). (Индексы «прм» и «прд» соответствуют трактам приема и передачи, соответственно.) При этом для предотвращения изменения вторых ПЧ $f_{ПЧ2прм}$ и $f_{ПЧ2прд}$ частота генератора G под воздействием управляющего сигнала может принимать два значения в зависимости от того, где используется $f_{ПЧ1н}$:

— в тракте передатчика

$$f_{г1} = f_{ПЧ1н} + \Delta f_{прм-прд} - f_{ПЧ2прм},$$

— в тракте приемника

$$f_{г2} = f_{ПЧ1н} + f_{ПЧ2прм},$$

где $\Delta f_{прм-прд}$ — разнос рабочих частот тракта приема и передачи.

Следует отметить, что для рассматриваемой схемы построения БПП существует четкая зависимость между рабочими частотами внутри блока. Так, определив первую нижнюю ПЧ $f_{ПЧ1н}$ и вторую ПЧ приемного тракта $f_{ПЧ2прм}$ (70 или 140 МГц), можно рассчитать первую верхнюю ПЧ —

$$f_{ПЧ1в} = f_{ПЧ1н} + \Delta f_{прм-прд}$$

и вторую (входную) ПЧ тракта передатчика —

$$f_{ПЧ2прд} = \Delta f_{прм-прд} - f_{ПЧ2прм}.$$

В качестве гетеродина для микроволновых конверторов трактов приема и передачи служит блок СЧ, значение конкретной рабочей частоты которого можно определить:

— при использовании $f_{ПЧ1н}$ в тракте передатчика —

$$f_{СЧ} = f_{прм} + \Delta f_{прм-прд} - f_{ПЧ1н}, \text{ если } f_{прм} < f_{прд};$$

$$f_{СЧ} = f_{прм} - \Delta f_{прм-прд} - f_{ПЧ1н}, \text{ если } f_{прм} > f_{прд};$$

— при использовании $f_{ПЧ1н}$ в тракте приемника —

$$f_{СЧ} = f_{прм} - f_{ПЧ1н}.$$

Для наглядности на рис. 4 показан частотный план рассматриваемых БПП одной радиолинии.

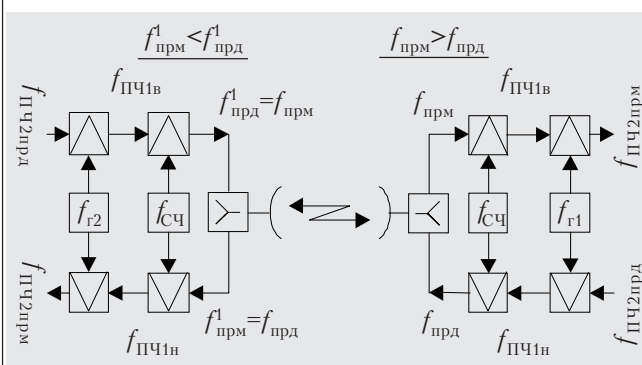


Рис. 4. Частотный план блока приемопередатчика для одной радиолинии

В представленной на рис. 3 схеме стык БПП с аппаратурой доступа осуществляется посредством обмена цифровыми потоками, формирование и прием которых в блоке производят цифровые платы кодека, модулятора и демодулятора.

Посредством симметричных кабелей БПП связан с базовым блоком, расположенным возле ИКМ и служащим для индикации контрольных параметров ЦРС, выработки управляющих сигналов, частотной опоры и канала служебной связи, а также обеспечения питанием БПП.

В самом БПП предусмотрен контроль и управление выходной мощностью передатчика, переключение частоты генератора G , выставление частоты СЧ и контроль наличия на выходе тракта ПЧ информационного сигнала. Кроме этого, возможна установка входного шлей-

фа перед приемным и после передающего конверторов, а также в тракте ПЧ, или по цифре (шлейфы на рис. 3 не показаны). Микроволновые тракты рассчитаны на передачу и прием сигналов с относительной фазовой и квадратурной амплитудной модуляцией.

При необходимости присоединения данного БПП к стандартному модему на частоте 70 или 140 МГц достаточно проделать следующие замены: изъять из блока цифровые платы (кроме платы контроля и управления), вместо одного генератора G с f_{r1} установить еще дополнительный генератор с f_{r2} . Установка второго генератора с f_{r2} позволит получить две одинаковые вторые ПЧ — $f_{ПЧ2прм} = f_{ПЧ2прд} = 70$ (140) МГц. Выход приемного и вход передающего трактов через адаптеры посредством коаксиальных кабелей подключаются к модему.

Насущная потребность в проведении модернизации РРС существует также и для таких крупных предприятий как «Олимп», «Гелиос РРС» и «ЧеЗаРа». Очевидно, что путь объединения отечественных производителей РРС — это одна из самых действенных мер по выживанию в современных условиях. И поскольку перечисленные организации вместе с НПП «Сатурн» в 1998 г. объединились в корпорацию «Укрсвязьэлектроника», то проведение работ по развитию РРС в НПП «Сатурн» приобретает особую важность. Эти работы ведут к созданию базовой серии станций, предлагаемой для освоения на предприятиях корпорации с установлением стабильной внутрикорпоративной кооперации.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Инженерно-технический справочник по электро-связи. Радиорелейные линии / Н. Н. Каменский, А. А. Метрикин, Л. В. Надененко и др. — М.: Связь, 1970.
2. Алыбин В. Г. Пути построения современных СВЧ-устройств для радиорелейных линий и спутниковых средств связи // Мат-лы 5-й Крымской конф. «СВЧ-техника и спутниковые телекоммуникационные технологии». — Севастополь, 25–27 сентября 1995 г. — Т. 1. — С. 11–15.
3. Шелковников Б. Н., Магоня В. С., Пешков А. И. и др. Комплексы радиорелейной аппаратуры // Мат-лы 8-й Междунар. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». — Севастополь, 14–17 сентября 1998 г. — Т. 1. — С. 359–361.

Аудио-видео КВ+УКВ Электроника и компьютер
Радиошкола СКТВ Связь

Радиоаматор

Практическая радиоэлектроника

Журнал издается с 1993 г.
Подписной индекс 74435.
Почтовый адрес редакции:
Украина, 252110,
Киев-110, а/я 807.
Тел.: (044) 271-41-71.
Факс: (044) 276-11-26.
E-mail: ra@sea.com.ua
http: //www.sea.com.ua