

Применение и развитие технологий цифровой СВЧ-связи

Современная СВЧ-связь приобрела доминирующее положение среди прочих беспроводных методов передачи информации и в аналоговой, и в цифровой форме. Она применяется как для организации телефонной связи, так и для передачи изображений, видеопотоков и различных служебных данных. За период своего развития технология СВЧ-связи претерпела различные изменения, о некоторых из них и пойдет речь в публикации. Автор не ставит целью рассказать обо всех существующих стандартах и технологиях СВЧ-связи. Об этом уже написано множество статей, издано огромное количество книг.

Мы поговорим о технических решениях от компании UIYInc.

Дмитрий НИКИШИН
active@ptelectronics.ru

Введение

Технология СВЧ-связи существует уже более полувека. Это метод беспроводной связи для передачи информации посредством наземных станций, распространяющих сигнал в диапазоне сверхвысоких частот в пределах прямой видимости.

Первые системы СВЧ-связи были полностью аналоговыми. По мере непрерывного развития технологий, в дополнение к традиционной передаче аналоговых сигналов, все больше внимания уделялось использованию цифровых форматов, в частности — для организации систем фиксированного широкополосного доступа, таких как LMDS. Такая связь, работающая на частотах 20–30 ГГц, сегодня получает развитие в ряде стран, заменяя кабельные сети «последней мили». Это одно из многочисленных свидетельств, показывающих нам, что СВЧ-технология по-прежнему имеет на рынке хорошие перспективы.

Распространенность цифровой СВЧ-связи обусловлена различными факторами, среди которых нужно выделить следующие:

- **Защита от помех.** Технология цифровой СВЧ-связи характеризуется высокой помехозащищенностью, в том числе отсутствием накопления линейного шума. В частности, при организации релейной линии связи функция регенерации цифрового сигнала предотвращает накопление линейного шума от станции к станции. Однако появляющиеся в цифровом сигнале под воздействием помех битовые ошибки не всегда поддаются исключению при последующих передачах. Следовательно, битовые ошибки имеют тенденцию накапливаться от станции к станции.
- **Конфиденциальность.** Цифровые сигналы очень легко шифровать, а цифровое оборудование СВЧ-связи использует скремблирование и может выполнить настройку схемы шифрования в соответствии с конкретной ситуацией. Кроме того, применяемые для цифровой СВЧ-связи антенны имеют высокий коэффициент направленного действия. В случае отклонения направления цифровых СВЧ-лучей сигнал получить невозможно.
- **Энергосбережение.** За последние десятилетия развитие микроэлектронных и информационных технологий кардинально снизило энергопотребление цифровых устройств СВЧ-связи, что является важным аспектом не только для носимых устройств, но и для стационарного оборудования.
- **Простота построения цифровой сети передачи данных.** В системах, основанных на технологии цифровой СВЧ-связи, может передаваться цифровая информация, и различные типы информации могут контролироваться и передаваться с помощью компьютеров.

Применение цифровой СВЧ-связи

Цифровая СВЧ-связь обладает многими характеристиками, включая удобное подключение к сети, короткий срок развертывания и низкую стоимость. В современном мире СВЧ-связь широко используется и имеет множество способов применения:

- **Может использоваться в качестве резерва или дополнения при организации передачи данных по магистральному оптоволокну.** Если магистральная волоконно-оптическая система передачи данных сталкивается со стихийными бедствиями, двухточечные SDH и PDH СВЧ-системы могут стать своевременной и эффективной заменой.
 - **Может служить основным каналом передачи бизнес-информации.** В некоторых отдаленных сельских районах и на островах цифровая СВЧ-связь может эффективно применяться для передачи пользователям базовой бизнес-информации.
 - **Может использоваться в линиях передачи данных на короткие расстояния в городах,** включая соединение между узлами связи, между базовой станцией и коммутатором и т. д.
 - **Может обеспечить широкополосный беспроводной доступ.** Технология широкополосного беспроводного доступа обладает такими преимуществами, как скорость и удобство, лишена трудностей и капиталоемкости, связанных с прокладкой кабельных линий.
- В условиях конкуренции сервисов высокоскоростной передачи данных эта технология также имеет определенную прикладную ценность. Например, локальная служба распределения (Local Multipoint Distribution Service, LMDS) — это бизнес-технология локального многоточечного распределения. Ее преимущество заключается в быстром и экономически эффективном развертывании сети.

Развитие цифровой технологии СВЧ-связи

На начальном этапе все системы СВЧ-связи представляли собой аналоговые системы, подобные системам передачи данных по коаксиальному кабелю, и использовались преимущественно в качестве магистральных линий для передачи информации на большие расстояния.

Но с конца 1980-х годов началось быстрое расширение СВЧ-связи, сопровождавшееся ростом ее пропускной способности.

Благодаря быстрому развитию науки и техники технология цифровой СВЧ-связи стала повсеместной, и развитие способов ее применения привело, например, к появлению фиксированного широкополосного доступа.

Технологии СВЧ-связи улучшаются по многим направлениям. Если говорить про физический уровень передачи данных, можно выделить следующие перспективные направления:

- Усовершенствование QAM. Для увеличения эффективности использования спектра в современной цифровой СВЧ-связи, как правило, применяется многоуровневая квадратурная амплитудная модуляция (QAM). В настоящее время в основном используется модуляция 512QAM, но в будущем предполагается применение модуляции 1024QAM или 2048QAM. По этой причине для обеспечения заданного уровня коэффициента косинусного скругления спектра к конструкции канального фильтра предъявляются более высокие требования.
- Применение технологии решетчатой кодированной модуляции и алгоритма Витерби. Чтобы эффективно снизить вероятность битовых ошибок, необходимо использовать технологию кодирования, включающую функцию исправления ошибок. Однако это снижает эффективность использования полосы частот, поэтому эффективным решением может оказаться технология модуляции с решетчатым кодированием с помощью алгоритма Витерби. В настоящее время в процессе высокоскоростной передачи цифрового сигнала использование этого типа алгоритмов сталкивается с существенными трудностями.
- Применение технологии адаптивного выравнивания во временной области. Для эффективного снижения уровня межсимвольных помех целесообразно использовать технологию адаптивного выравнивания во временной области, которая обладает многими достоинствами. Кроме того, она позволяет избежать таких проблем, как ортогональные помехи, и в некоторой степени — проблем, связанных с многолучевым распространением сигналов.

Переход от PDH к SDH

В аналоговых системах прошлого каждый приемопередатчик мог работать с несколькими каналами — например, 60, 960, 1800 или 2700. В цифровых СВЧ-системах используется цифровое мультиплексирующее оборудование, реализующее мультиплексирование на основе временного разделения, таким образом, формируется первичная группа из 30 телефонов, вторичная группа из 120, группа третьей степени из 480 и группа четвертой степени — из 1920 телефонов. После группирования сигнал модулируется на передатчике посредством цифрового модулятора и восстанавливается в многоканальном телефоне на приемном конце посредством цифрового демодулятора.

Существует две системы цифровой передачи данных: PDH (плезиохронная цифровая иерархия) и SDH (синхронная цифровая иерархия).

Система PDH базируется на применении высокоточных генераторов тактовых сигналов, работающих на каждом узле цифровой сети связи. Сигналы этих генераторов имеют единую стандартную частоту. Несмотря на то, что точность каждого из генераторов тактовых сигналов высока, всегда имеют место небольшие отклонения. Для обеспечения требуемого качества связи необходимо обеспечить синхронную работу генераторов, частоты которых не должны выходить за установленный допуск. Следовательно, этот метод синхронизации, строго говоря, не является истинной синхронизацией, поэтому он называется «плезиохронный».

Основной принцип PDH заключается в том, что для достижения синхронизации на каждый сигнал ответвления приходится заданное число импульсов модуляции. При этом в Европе и в США применялись разные стандарты PDH, а для связи между ними требовалось специальное оборудование, выполняющее обработку и преобразование сигналов.

В прошлом оборудование PDH широко использовалось в телекоммуникационных сетях, прежде всего при организации двухточечной связи. Однако в связи с быстрым развитием цифровой техники двухточечные соединения практически полностью уступили место многоточечной связи. По этой причине система PDH, потерявшая способность удовлетворять потребности современных телекоммуникационных услуг, уступила место SDH.

Таблица 1. ВЧ/СВЧ-изоляторы с частотным диапазоном 10–45 МГц

Модель/номенклатурный номер	Частотный диапазон, МГц	Загущение (макс.), дБ	Изоляция (мин.), дБ	КСВР (макс.)	Средняя мощность, Вт	Температурный диапазон, °С	Тип соединителя
UIYCC8080A/10T12SF	10–12	6	11	1,8	50	+20...+60	SMA-F
UIYCC8080A/12713T14407SF	12,713–14,407	6	11	1,8	50	+20...+60	SMA-F
UIYCC8080A/13T14SF	13–14	6	14	1,5	50	+20...+60	SMA-F
UIYCC8080A/25T30SF	25–30	3,5	12	1,45	50	+10...+60	SMA-F
UIYCC8080A/26T28SF	26–28	3	15	1,45	50	+10...+60	SMA-F
UIYCC8080A/285T305NF	28,5–30,5	2,8	16	1,4	50	+10...+60	N-F
UIYCC8080A/30T35NF	30–35	2,5	15	1,45	50	+10...+60	N-F
UIYCC8080A/35T45SF	35–45	3	16	1,4	50	+10...+60	SMA-F

Таблица 2. ВЧ/СВЧ-изоляторы с частотным диапазоном 87–225 МГц

Модель/номенклатурный номер	Частотный диапазон, МГц	Загущение (макс.), дБ	Изоляция (мин.), дБ	КСВР (макс.)	Средняя мощность, Вт	Температурный диапазон, °С	Тип соединителя
UIYCC6060A/87T108NFP200	87–108	0,6	20	1,25	200	-20...+65	N-F
UIYCC6060A/108T118NFP200	108–118	0,5	23	1,2	200	-30...+70	N-F
UIYCC6060A/118T137NF	118–137	0,5	23	1,2	100	-30...+70	N-F
UIYCC6060A/136T174SF	136–174	0,5	20	1,25	100	-30...+70	SMA-F
UIYCC6060A/148T174NFP150	148–174	0,5	25	1,15	150	-30...+70	N-F
UIYCC6060A/150T225SF	150–225	0,9	18	1,3	100	-30...+70	SMA-F



Рис. 1. ВЧ/СВЧ-изоляторы

Среди главных недостатков PDH можно выделить следующие:

- трудности при международных соединениях;
- отсутствие единого стандарта оптического интерфейса, и, как следствие, проблема совместимости оборудования;
- слабые возможности управления сетью и проблемы централизации управления.

Концепция SDH была впервые предложена Институтом связи Белла (США) под названием «оптическая синхронная связь» (Optical Synchronous Network, SONET). Это органичное сочетание технологии высокоскоростной оптоволоконной передачи и очень гибкой интеллектуальной сетевой технологии, которой легко управлять. Первоначальная цель заключалась в стандартизации оптических

Таблица 3. 5G-циркуляторы под печатный монтаж с частотным диапазоном 2,496–6 ГГц

Модель/ номенклатурный номер	Частотный диапазон, МГц	Затухание (макс.), дБ	Изоляция (мин.), дБ	КСВР (макс.)	Средняя мощность, Вт	Габариты, мм
UIYSC12A/ 2515T2675	2,515–2,675	0,4	20	1,25	30	∅12,7×8
UIYSC12A34T36	3,4–3,6	0,35	20	1,25	30	∅12,7×8
UIYSC12A48T49	4,8–4,9	0,3	23	1,2	30	∅12,7×8
UIYSC10A/ 2496T2690	2,496–2,69	0,3	21	1,2	30	∅9,8×7
UIYSC10A33T36	3,3–3,6	0,35	20	1,25	30	∅9,8×7
UIYSC10A48T5	4,8–5	0,3	21	1,2	30	∅9,8×7
UIYSC10A5T6	5–6	0,5	18	1,3	30	∅9,8×7
UIYSC9B49T59	4,9–5,9	0,5	18	1,3	30	∅9×6,5
UIYSC9B5T55	5–5,5	0,4	20	1,25	30	∅9×6,5
UIYSC7A/ 2496T269	2,496–2,69	0,35	20	1,22	15	∅7×5,5
UIYSC7A33T36	3,3–3,6	0,35	20	1,22	15	∅7×5,5
UIYSC7A48T5	4,8–5	0,35	20	1,22	15	∅7×5,5
UIYSC7A5T55	5–5,5	0,35	20	1,22	15	∅7×5,5



Рис. 2. 5G-циркуляторы под печатный монтаж

Таблица 4. Фильтры с частотным диапазоном 617 МГц – 5 ГГц

Модель	Частота, МГц	Затухание (макс.), дБ	Пульсация в диапазоне (макс.), дБ	КСВН (макс.)	Подавление
UIYBPF110110A617T652NF	617–652	1,2	0,8	1,3	25 дБ при 663–698 МГц 50 дБ при 698–5000 МГц 50 дБ при DC–580 МГц
UIYBPF110110A758T803BF	758–803	1,2	0,8	1,3	25 дБ при 703–748 МГц 25 дБ при 824–862 МГц 55 дБ при 862–5000 МГц 55 дБ при DC–703 МГц
UIYBPF12565A1710T1785SF	1710–1785	1,2	0,8	1,3	25 дБ при 1805–1880 МГц 50 дБ при 1980–5000 МГц 50 дБ при DC–1650 МГц
UIYBPF12565A2110T2170NF	2110–2170	1,2	0,8	1,3	25 дБ при 1920–1980 МГц 55 дБ при 2300–5000 МГц 55 дБ при DC–1920 МГц
UIYBPF12553A3400T3600SF	3400–3600	1,2	0,8	1,3	50 дБ при DC–3300 МГц 50 дБ при 3700–6000 МГц
UIYBPF12553A4400T5000SF	4400–5000	1,2	0,8	1,3	50 дБ при DC–4200 МГц 50 дБ при 5200–8000 МГц



Рис. 3. Фильтры с частотным диапазоном 617 МГц – 5 ГГц

Таблица 5. Диплексеры с частотным диапазоном 617–2170 МГц

Модель/ номенклатурный номер	Частота, МГц	Затухание (макс.), дБ	Пульсация в диапазоне (макс.), дБ	КСВН (макс.)	Подавление	Тип соеди- нителя
UIYDX170125A/ 699T756SF	729–746	1,5	80	1,3	50 дБ при 803–5000 МГц 50 дБ при DC–652 МГц	SMA-F
	699–716					
UIYDX170125A/ 1920T2170NF	2110–2170	1,5	80	1,3	50 дБ при 2300–5000 МГц 50 дБ при DC–1805 МГц	N-F
	1920–1980					
UIYDX220125A/ 617T698SF	663–698	1,5	80	1,3	50 дБ при 748–5000 МГц 50 дБ при DC–600 МГц	SMA-F
	617–652					
UIYDX220125A/ 703T803NF	758–803	1,5	80	1,3	50 дБ при 862–5000 МГц 50 дБ при DC–652 МГц	N-F
	703–748					
UIYDX220125A/ 1710T1880SF	1805–1880	1,5	80	1,3	50 дБ при 1980–5000 МГц 50 дБ при DC–1650 МГц	SMA-F
	1710–1785					



Рис. 4. Диплексеры с частотным диапазоном 617–2170 МГц

трактов, позволяющей устройствам разных производителей взаимодействовать друг с другом, тем самым повышая гибкость сетей. В 1988 году Консультативный комитет по международной телеграфной и телефонной связи (Consultative Committee for International Telegraph and Telephone, CCITT) принял концепцию SONET и переименовал ее в «Синхронную цифровую иерархию» (SDH), сделал ее применимой не только к оптоволокну, но и к системам СВЧ-связи и спутникового телевидения, а функциональность управления сетью была значительно расширена.

По сравнению с технологией PDH технология SDH имеет следующие преимущества:

- Значительно расширены возможности управления сетью.
- Внедрена новая концепция самовосстанавливающейся сети. Сеть с топологией «кольцо», сформированная с возможностью самовосстановления, состоящая из оборудования SDH, может автоматически восстанавливать нормальную связь, когда основной канал передачи нарушается.
- Единая скорость передачи цифровых данных и единый стандарт интерфейса обеспечивают возможность взаимосвязи между устройствами разных производителей.

Благодаря перечисленным преимуществам SDH заменила PDH и широко используется при первоначальном развертывании информационных магистралей, однако оборудование PDH может по-прежнему работать на их ответвлениях, например при организации работ локальных служб распределения LMDS.

Оборудование цифровой PDH/SDH микроволновой радиосистемы работает на частотах 2,4–18 ГГц, полностью перекрывая частотные диапазоны А, В, С. В этих частотных диапазонах работают сети стандарта 5G и, как следующая ступень, 6G.

Компания UIYInc. предлагает различные компоненты для построения сетей нового поколения, такие как:

- ВЧ-изоляторы;
- ВЧ-адаптеры;
- аттенюаторы;
- оконечные нагрузки;
- ВЧ-фильтры;
- делители мощности/сплиттеры;

- диплексеры/триплексеры;
- TX RX-сумматоры;
- гибридные сумматоры;
- направленные ответвители;
- переходы с волновода на коаксиал.

Из всего портфолио можно выделить несколько групп товаров для применения в связном оборудовании стандарта 5G. Среди них представлены:

- ВЧ/СВЧ-изоляторы (табл. 1, 2, рис. 1);
- 5G-циркуляторы (табл. 3, рис. 2);
- фильтры (табл. 4, рис. 3);
- диплексеры (табл. 5, рис. 4).

Компания «ПТ-Электроникс» осуществляет полную техническую поддержку проектов по внедрению продукции UIY: предоставляет образцы продукции, полную техническую информацию по конкретным моделям. ■