

САНГВИН

В разведке флота аврал: из эфира исчезла американская станция связи с подводными лодками Сангвин. Из агентурных донесений следует, что станция по-прежнему работает, даже имеются тексты сообщений, которые она передает, но станции слежения СНЧ-диапазона (30 -300 Гц) ее «потеряли». Раньше ее работа совершенно уверенно прослеживалась – станция очень мощная. Пытались запеленговать Сангвин в непосредственной близости от берегов Америки с «лесовоза» (сама станция расположена в штате Висконсин), но безрезультатно, следов ее работы в эфире не было.

Тогда разведчики обратились к нам с просьбой найти Сангвин с помощью нашей аппаратуры, которая по ряду параметров превосходила их аппаратуру. Наше подразделение в то время исследовало сигналы отечественной системы связи с подводными лодками «Зевс». Мы выезжали на наш полигон в Калужскую область и «слушали» эфир. Зевс был на месте, а Сангвин исчез.

Разведчики дополнительно сообщили, что станцию недавно модернизировали, и что был большой заказ от флота производителям мощных электронных компонентов, в основном тиристоров.

Разобраться, в чем причина – это было мое первое рабочее задание в новом подразделении, куда я перешел из ионосферного отдела.

Сразу же стало понятным, что американцы перешли к широкополосным шумоподобным сигналам. Еще в институте на лекциях по радиолокации нам о них рассказывали.

Потом, по распределению, я работал в Николаевском филиале НИИДАР, где разрабатывался загоризонтный радиолокатор 5Н32. Локатор использовал широкополосный шумоподобный сигнал, фаза которого модулировалась псевдослучайным кодом.

Я изложил свое заключение представителям ВМФ:

– Американские инженеры сделали систему практически непрехватаваемой. У вас есть только одна возможность ее прослушивать — в штате Висконсин, в ближней зоне, возле антенн. Вне территории США она «невидима».

В то время я еще не знал о Хэди Ламар, а сейчас бы сказал разведчикам: *«Реализовано изобретение американской киноактрисы. Это вам от нее привет».*

На вопрос, что же делать, предложил:

– Смириться с таким положением вещей и самим стать «невидимками», перейдя на новый тип сигналов.

Потом мне же и пришлось участвовать в реализации этого предложения.

С точки зрения быстродействия, условия создания макета системы широкополосной связи с подводными лодками были совсем не сложны. Частоты радиоволн, которые проходят через соленую морскую воду на глубину 1 км, лежат ниже 100 Гц. Здесь скорость передачи измеряют не мегабитами, а миллибитами в секунду. Например, во время испытаний фразу «Привет мореплавателям» станция Сангвин передавала 45 минут!

Несмотря на свою «медлительность», такая система связи очень важна для подводников.

Капитан атомной подводной лодки (ПЛАРБ):

– Вы не представляете, как нужна нам эта система! Мы можем лежать на шельфе и слушать сообщения штаба. А ведь без нее для связи приходится периодически всплывать и выбрасывать радиобуй. Возле берегов возможного противника все «простреливается». За-

пеленговать могут мгновенно, а потом и утопить. «И никто не узнает, где могила моя». Когда выбрасываешь радиобуй, всегда страшно.

– Правда, не дай бог получить сигнал о «Начале эры коммунизма» – так мы между собой называем приказ о пуске ракет. После пуска автоматически вступает в силу еще один приказ, последний: «Действовать по обстоятельствам».

Самыми сложными в макете оказались передатчик и передающая антенна. Мы обнаружили возле нашего полигона старую линию электропередач длиной 12 км, с которой еще не сняли провода. Энергетики с радостью согласились нам ее уступить, услышав обещание, что после экспериментов мы сами их снимем. С двух концов линию заземлили, и получили антенну в виде рамки, обратным проводом которой служила земля.

Передатчик питался от 200 КВт передвижной дизельной электростанции в КУНГе. После первых пробных пусков деревенские жители нам говорили, что во время наших работ у них очень хорошо показывают телевизоры. Мы измерили напряжение в сельской сети – оно не достигало 190 вольт. Наше включение увеличивало напряжение сети до 270 вольт, поскольку между передающей антенной и действующей ЛЭП возникал многокилометровый воздушный трансформатор. Потом жители стали жаловаться, что телевизоры перегорают. Мы их отремонтировали, а перед следующими пусками ходили по деревне и всех предупреждали, чтобы во время наших экспериментов они не пользовались электроприборами.

Возникла задача обмера диаграммы направленности двенадцатикилометровой антенны. Завезли несколько бочек солярки, в КУНГе автомобиля ГАЗ-66 развернули СНЧ-приемник и армейскую УКВ-станцию для связи с оператором передатчика. Поскольку собирались отъезжать далеко, договорились, что если связь пропадет, передатчик надо будет включать в начале каждого часа на пять минут. Свели часы, и оператор передатчика (он же моторист) Витя Пьянков включил дизельный генератор для первого измерения напряженности магнитного поля.

Грохот стоял такой, что, казалось, из окон соседнего дома вылетят все стекла. Из двух выхлопных труб дизельной электростанции в небо уходили черные столбы дыма.

Связь прекратилась довольно быстро, еще до границы зоны уверенного приема, которая гарантировалось инструкцией к армейской радиостанции. (Меня всегда удивляет надежность военных радиостанций. В одном из пунктов инструкции прочитал: «Не рекомендуется держать в воде более трех суток»).

Мне показалось, что голос Вити Пьянкова не совсем трезв. Потом решил, что ошибся – в стране «сухой закон», мы с собой ничего не брали, а в деревнях купить алкоголь в то время вообще было невозможно.

Дальнейшие измерения проводили по расписанию. Передатчик регулярно выходил в эфир на пять минут. При последнем его включении уже подъехали к КУНГу и провели замер поля. Дизель заглох, дверь открылась, и на пороге появился Витя Пьянков – он был совершенно пьян, сумел только доложить, что задание выполнил, и заснул прямо на ступенях источника питания передатчика.

Потом выяснилось, что в соседнем доме, за стекла которого я опасался, у хозяина был день рождения, он нагнал самогонки и созвал гостей.

Витя Пьянков:

– Сеанс прошел, я не спешу выключать дизель – солярки много. Смотрю, ко мне идет делегация с самогонкой и закуской: «Мужик, выключи эту штуку!»

– Договорились, что в начале каждого часа я буду заводить дизель, а через пять минут его глушить. Связь отключил, чтобы выполнить соглашение с местным населением, а то вы меня могли попросить включить передатчик в несогласованное с ними время. В начале каждого сеанса они уже стояли возле дизеля с самогонкой и закуской.

Систему мы сделали и фразу «Привет мореплавателям» передали в присутствии представителей Министерства Промышленных Средств Связи, которые находились как на передающей, так и на приемной стороне. Представитель министерства на передающей стороне предложил для проверки системы передать именно этот текст. Мы, на приемной стороне за сотню километров, естественно, содержания его не знали, а когда вся фраза появилась на экране компьютера, приняли поздравления. На этом все и закончилось. В стране началась «перестройка» и о нас забыли.

Веревки

После разработки системы связи с подводными лодками, тему широкополосных сигналов бросать не хотелось. И тогда разработали систему связи в диапазоне 150 МГц с фазовой модуляцией несущей частоты псевдослучайным кодом длиной 256 элементов, надеясь на ее гражданское применение. В это время появилась информация о разработках американцев в области применения ШПС в гражданской связи (не мы ли тому были причиной, ведь именно в это время вышли наши первые публикации?) и на рынке появилась первая примитивная система Sky Link с двоичным квантованием амплитуды и длиной кода 31 элемент. Все системы с длиной кода 128 и выше оставались засекреченными, поскольку американцы понимали, что все преимущества ШПС начинаются именно с такой длины кода. День за днем на рынке стали появляться все новые и более совершенные системы, а мы все время опаздывали.

Дошло до того, что стали продаваться наборы для радиолюбителей по сборке систем ШПС с призывом: «Сделай сам». Это было не удивительно, поскольку наша небольшая группа работала на зарплату Академии Наук, а в американские фирмы, в которых трудились тысячи человек, вливались огромные деньги. Прямо как в песне:

*«Белеет наш парус такой одинокий
На фоне стальных кораблей».*

Когда поняли, что в этой гонке нам ничего не светит, что нам только кажется, что мы в ней участвуем, тогда и появились идея «веревки».

Мне, например, понятно, что японцев никто и никогда не превзойдет в точной механике. В эпоху матричных принтеров казалось, что весь рынок печатающих устройств навсегда останется за ними. Но американцы изобрели струйные и лазерные принтеры, и японцы исчезли из этого сегмента.

Если хочешь, чтобы тебя никто и никогда не перегнал – нужно сделать физически предельную систему. Догнать, конечно, тебя могут, и, в конце концов, это обязательно сделают, но вот перегнать уже никто не сможет.

Во время первой эпидемии компьютерных игр у нас в институте особой популярностью пользовался «Удав». Вскоре выявились два бесспорных лидера: Саша Карпенко и Володя Неделькин, которые посвящали соревнованиям немалую часть своего рабочего времени. Через какое-то время Саша стал всегда выигрывать, а Володя проигрывать. Это продолжалось до тех пор, пока Саша не осознал, что изменил алгоритм начисления очков в компьютерной программе: себе он начислял столько очков, сколько получал Володя, плюс еще десять. На тот раз эпидемия завершилась, и все вернулись на рабочие места.

Основная задача радиотехники будущего – максимально возможное «уплотнение» эфира – это совершенно очевидно. Уже сейчас почти все деревенские бабушки (по крайней мере, средней полосы) имеют приемо-передатчики в виде сотовых телефонов, подаренных внуками. Некоторые из них неплохо «продвинуты» и ловко набирают СМС, экономя свою небольшую пенсию.

Абсолютно понятно также, что радиотехника будущего принадлежит широкополосным шумоподобным сигналам и системам – это прямое следствие теоремы Шеннона.

Для целей массовой коммуникации наиболее подходит диапазон радиоволн от 100 МГц и выше. Для начала сверху можно ограни-

читься частотой в 10 ГГц, поскольку до таких частот окружающая среда слабо влияет на механизм распространения радиоволн. Ниже 100 МГц существует частотная дисперсия радиоволн в ионосфере, а выше 10 ГГц начинают влиять гидрометеоры в виде тумана, дождя и снега.

Американцы это уже поняли, и объявили национальную программу создания сверхширокополосных систем связи без монохроматической несущей. Появилась фирма «Time Domain», которая и взялась за их разработку.

За основу своей системы американские инженеры взяли сигналы георадара, как наиболее широкополосные из всех применяемых в настоящее время. Для того, чтобы использовать такие сигналы в качестве несущей, предложили их положение на оси времени задавать через интервалы, величина которых распределена по псевдослучайному закону. В радиотехнике этот тип модуляции называется ВИМ – время-импульсной модуляцией. Но самое сложное оказалось впереди, поскольку такой излученный сигнал надо принять оптимальным образом, т.е. выполнить операцию свертки (4. См. далее). Для этого необходимо, в соответствии с формулой, иметь образец сигнала на приемной стороне, совместить его начало с началом принимаемого сигнала, перемножить и проинтегрировать.

Очень сложная задача, если решать ее именно так, последовательно, по шагам, как описано выше и по какому пути пошли американцы.

Во-первых, все элементы цепей приема должны быть очень широкополосными. Требования к параметрам здесь значительно выше, чем у обычных радиосистем. Чего стоит только создание аналогового перемножителя на такие высокие частоты!

Во-вторых, система должна иметь точку отсчета времени, которую сама же должна и определить. В начале работы система «входит в связь», определяя этот момент и перебирая все возможные интервалы времени.

Когда система «захватила» сигнал, достаточно махнуть возле антенны рукой, как она его «потеряет», и начнет «искать» снова. На подвижных объектах она просто не работает, поскольку «поиски» занимают все время, и системе не до передачи данных – она прин-

ципиально сделать этого не может. С такими проблемами столкнулись американцы прямо в начале своих работ. Часть наших соотечественников последовала за ними, о чем говорят статьи в российской научной печати.

Однажды мне пришлось участвовать на семинаре В.А. Котельникова в Институте Радиоэлектроники, где он сказал: «Когда американцы думают большими машинами, мы обходимся серым веществом».

Предполагаемую систему надо сделать так, чтобы не зависеть от самой современной быстродействующей элементной базы, производства которой в нашей стране просто нет.

Колебательный контур стал символом радиотехники из-за своей уникальной простоты. Катушка индуктивности и конденсатор для монохроматических сигналов осуществляют операцию (4) без всякого «вхождения в связь», перемножителей и интеграторов! Возможно ли такое для широкополосных шумоподобных сигналов?

Да, возможно, но самое интересное, что такие устройства уже давно существуют и используются в радиолокации – это корреляторы на линиях задержки!

Если колебательный контур – это коррелятор, или резонатор, только для монохроматических сигналов, то коррелятор на линиях задержки – резонатор для любых типов сигналов, которые соответствуют коду линий задержки, в том числе и для монохроматических. В случае монохроматических сигналов такой коррелятор просто выполняет функцию обычного колебательного контура из конденсатора и катушки индуктивности. В отличие от колебательного контура, относящегося к аналоговым элементам – коррелятор на линиях задержки – дискретно-аналоговый элемент.

Дискретно-аналоговые элементы занимают промежуточное положение между аналоговыми и цифровым, имея свойства и тех и других. В них дискретизация происходит не по всем переменным – одна (или часть) из них остается аналоговой. Примерами могут служить ПЗС-матрицы, совершившие техническую революцию в фотографии и телевидении, и антенные решетки, совершившие такую же революцию в антенной технике.

В тех системах радиолокации, которые известны из литературы, корреляторы на линиях задержки используются для обработки псев-

дослучайной последовательности, которая представляет собой поднесущую, модулирующую несущую частоту. Временные интервалы, на которые линия должна задержать сигнал, относительно велики. Если говорить о необходимых размерах линии задержки на обычных электрических кабелях - это многие километры.

Поэтому линии задержки обычно делают ультразвуковыми, чтобы выполнить их компактными: скорость звука на много порядков меньше скорости распространения электрического импульса. Но такой переход от одного носителя информации к другому (от электрического импульса к акустическому), и наоборот, совсем не улучшает результирующее соотношение сигнал/шум.

Но если мы ставим задачу создания корреляторов в диапазоне выше 100 МГц, то коррелятор на электрических линиях задержки не только возможен, но и оптимален!

Во-первых, отсутствие преобразований в процессе обработки сигнала из одного вида носителя в другой гарантирует отсутствие потерь на такое преобразование.

Во-вторых, размеры линий задержки становятся разумными – даже в самом низу диапазона – не более единиц метров. Учитывая возможность изготовления корреляторов в виде полосковых и микрополосковых линий на подложке из материала с большой диэлектрической проницаемостью, их размеры могут быть совсем не велики.

В-третьих, линии задержки – это самые широкополосные элементы из всех возможных радиокомпонентов.

В-четвертых, коррелятор на линиях задержки может быть основой не только приемника, но и передатчика. Он обладает такой особенностью: если подать на вход псевдослучайную последовательность – получаешь корреляционную функцию в соответствии с (4). Если подать на вход одиночный импульс – получаешь псевдослучайную последовательность, готовую к передаче в эфир, если предварительно не хочешь ее усилить. Кстати сказать, если усилитель используется, то никаких требований к его линейности не предъявляется, он может вообще работать в ключевом режиме.

В-пятых, системы связи становятся уникально простой и не требует «вхождения в связь», она готова к ней всегда. Она значительно проще, чем обычная узкополосная радиосистема с частотным раз-

делением, а, следовательно, и значительно дешевле. В предельном случае, когда полоса радиосигнала сужается до полосы сообщения, она становится полностью эквивалентной обычной узкополосной системе с фазовой модуляцией.

В-шестых, наше направление развития сверхширокополосных систем с кодовой несущей диаметрально противоположно американскому: если они идут по пути усложнения и удорожания, то мы, наоборот, по пути упрощения и удешевления. Самое главное, что для изготовления корреляторов не требуется технологий, которых у нас в стране нет. Самую современную аппаратуру можно делать «и дома, и в сарае» (из М. Жванецкого). Может, это есть уникальный шанс для нашей страны вырваться из нынешнего позорного положения в области радиоэлектроники?

Макет решили делать в диапазоне сотен мегагерц и выбрали в качестве линий задержки коаксиальные кабели.

В одном старом анекдоте есть такие слова, обращенные поляками к Ивану Сусанину: «Куда ты завел нас, проклятый старик?»

Примерно с такого вопроса начиналась каждая утренняя телефонная беседа с С. Кюном и Е. Большаковым, которые согласились взяться за разработку сверхширокополосной системы на основе корреляторов на линиях задержки.

– Ты что, не знаешь, что такое радиоволны? Это же...

И я представлял, как мой корреспондент на том конце телефонной линии проводит в воздухе плавную кривую в виде синусоиды.

– А у тебя что?

– Ребята, вы разрабатываете для нас георадары и отлично знаете, что радиоволны могут быть другими, не похожими на синусоиду. Ведь импульс георадара – это одно асимметричное колебание поля. Представьте, что такие импульсы следуют друг за другом со сменой знаков по псевдослучайному закону.

В конце разговора удавалось убеждать собеседников, что все правильно, и что это будущее радиотехники, и они соглашались продолжить работу. На следующее утро все начиналось с начала:

– Над нами уже все смеются, говорят, что скоро мы забудем, что такое радиотехника, зато будем профессионально разделять ка-

беля. Предлагают неплохую подработку. Разве может быть система связи такой? Это просто самовар какой-то. Ничего, кроме кабелей!

Единственное, чего не удалось сделать – это убедить их подключить приемник и передатчик к антеннам, чтобы система работала через эфир. Такая наглость превосходила все мыслимые пределы их инженерного образования:

– Мы эфир заменим кабелем с большим ослаблением. Это будет работать, кажется, убедил. Но чтобы через эфир – это выше наших сил. Мы не хотим надругаться над радиотехникой. А если кто из наших коллег увидит? Ты хоть знаешь, что такое коэффициент стоячей волны антенны? И как он в таком огромном диапазоне меняется?

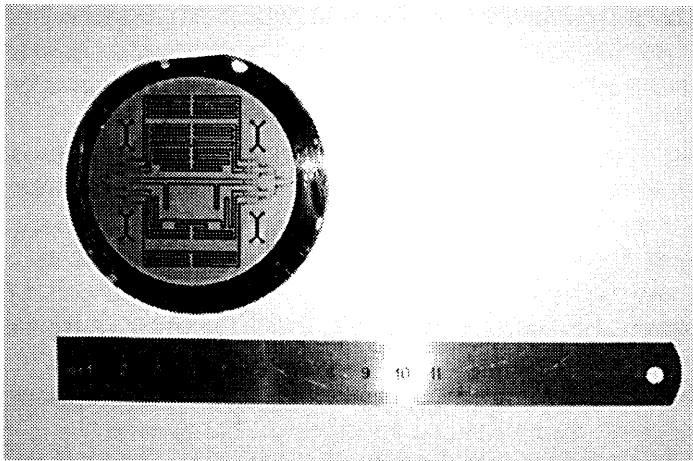
Мой ответ, что для нашей системы КСВ всегда будет равен единице, вызывал красноречивое молчание, и я понимал, что они там, в Питере, крутят пальцем возле виска.

Когда привезли систему связи на линиях задержки и расположили ее на двух столах, то мотки кабелей, из которых, собственно, она вся и состояла, у Б. Любимова вызвали ассоциацию не с самоваром, а с обычными бельевыми веревками. С его легкой руки мы стали называть нашу систему «веревочной».

«Веревки» по кабелю неплохо работали, и питерцы сдали нам систему, продемонстрировав голосовую и компьютерную связь. Их первоначальная уверенность, что «самовар» через эфир работать не будет, изменилась после того, как мы подключили антенны собственного изготовления (они наотрез отказались их делать), и продемонстрировали работу «самовара» в этих условиях.

Выражение их лиц, ранее при моих словах означавшее только одну мысль: «Рассказывай, Мюнхаузен!» стало не таким однозначным.

Я объяснил, что КСВ антенн – понятие монохроматическое, которое обозначает, какая часть энергии на данной частоте поступает в антенну, а какая отражается назад, к передатчику. Понять, какая часть энергии излучается в сверхширокой полосе, можно на примере передатчика георадара. Заряженный конденсатор, подключенный к любой, даже узкополосной антенне, всю свою энергию излучает в эфир! Здесь мы не учитываем тепловые потери, и то, в каком спектре частот происходит излучение. Таким образом, в сверхширокой



Коррелятор на микрополосках. Напыление золота на поликор.

полосе КСВ антенны всегда равен единице, а сам этот параметр не несет никакой информации.

Потом было много попыток заинтересовать потенциальных заказчиков нашей сверхширокополосной системой. Кто только не побывал в зале на первом этаже экспериментального корпуса ИЗМИРАН! Наши «веревки» всех поражали своим необычным видом и параметрами, но все разводили руками:

- Денег нет. Вот если бы ваша система была готова к производству...
- Если бы наша система была готова к производству, мы бы к вам не обращались!

Представитель ФСБ:

- Вот если бы вы взялись за пеленгацию таких систем...

Я ответил, что за такую задачу не возьмусь ввиду ее практической невозможности.

- Зря, зря... Вы просто не знаете всех способов пеленгации. Вот, например, как мы запеленговали радиотелефон с усилителем мощности в дачном поселке возле Внукова.

- К нам обратилось руководство аэропорта с просьбой обнаружить «радиоудлиннитель», который выходит в эфир и мешает диспетчерам.

– Мы стали спрашивать прохожих, зная, что легальных телефонов в поселке нет, от кого можно позвонить в скорую помощь, поскольку у человека произошел инфаркт. Прохожие указали нам адрес...

«Веревочная» система связи долго стояла в зале, пока, однажды, вернувшись из отпуска, не обнаружил, что кто-то выкусил из нее почти все кабеля.

Во время археологической экспедиции на Тамани «веревочной» системой заинтересовался Андрей Васильев, и предложил финансировать разработку, вложив туда последние деньги, которые он заработал на частной торговле, постепенно угасающей. Он же и нашел исполнителей из Зеленограда. Здесь мы дошли до корреляторов на микрополосках, фото одного из которых Вы видите.

Запустили систему на микрополосках через эфир, полностью израсходовав все деньги Васильева, но клиентов, как и в первом случае, не нашли.

Сейчас Андрей Васильев опять насобирает деньги, и мы заказали еще одну модификацию «веревочной» системы – антенну-коррелятор. Удается ли нам кого-то заинтересовать и в этом случае – бог весть.

Наверное, время сверхширокополосных систем еще не пришло. Наверное, мы слишком забежали вперед. Или назад. Но все равно слишком...

Анекдот советских времен.

Лектор из обкома партии:

– Вы спрашиваете, почему в нашей стране не хватает молока и мяса? Но вы же знаете, что мы идем к коммунизму семимильными шагами, вот коровки за нами и не поспевают!

Еще одну поучительную историю о своевременности и о сроках рассказал коллега:

– У моего знакомого случился запой и я повез его в соответствующее заведение. Врач, посмотрев на пациента, заявил:

– Я его не возьму, это бесполезно, он еще не допил.

– ???

– Успешно вывести из запоя можно только тогда, когда пациент совершенно отчетливо поймет – еще одна рюмка, и он в могиле. В противном случае все время будет искать повод выпить, и, уверяю, найдет.

– А что мне делать?

– Возвращайтесь домой. И купи ему хорошей водки, а то пьют всякую ерунду! Дня через два я готов его принять.