

Назад, в будущее

Это название известного американского фильма довольно точно отражает современное состояние радиотехники. Она прошла разные периоды, а сейчас возвращается к давно забытому старому, подтверждая всеобщий закон спирального развития природы.

Радиолокация – квинтэссенция радиотехники, и новые идеи почти всегда исходят отсюда. Необходимость расширения полосы радиолокационного сигнала возникла уже давно в связи с необходимостью повышения дальности и разрешающей способности локаторов. Появились сложные широкополосные шумоподобные сигналы, которые модулируют монохроматическую несущую.

Исключительное использование радиосигналов с монохроматической несущей закончилось в начале 60-х годов, когда появились первые георадары. Даже относительно широкополосный монохроматический сигнал со сложной огибающей, успешно использующийся в радиолокации воздушных объектов, не позволяет проводить локацию подземных объектов. Причина заключается в очень сильном затухании радиоволн в грунте.

Затухание радиоволн в подземной среде определяется ее проводимостью и частотой. Чем ниже частота радиоволны, тем меньше

затухание, тем глубже проникает в почву сигнал. Но понижение частоты несущей приводит к проблеме разрешения объекта по глубине, которое требует уменьшения по времени огибающей волнового пакета. Оказалось, что для целей георадиолокации наиболее подходит радиосигнал, имеющий всего одно колебание электромагнитного поля. Такие сигналы относятся к сверхширокополосным (СШП) и очень похожи на сигналы, излучаемые первыми искровыми передатчиками.

Сейчас, наверное, мы единственные в мире, кто использует искровые передатчики. В георадарах серии «Лоза» работают именно они, тогда как во всем мире, во всех подобных приборах, используются исключительно полупроводники.

Разрядники действительно уникальны по своим характеристикам применительно к георадарам: они дают очень мощный и очень «чистый» сигнал. Процесс пробоя разрядника имеет лавинный характер и позволяет получать крутые фронты. После пробоя плазма разрядника по проводимости превосходит все металлы. На Западе и у нас забыли, что эти приборы первоначально появились не для защиты от перенапряжения или удара молнии. Старый опыт их использования утерян, как, например, почти утеряно искусство плетения лаптей, а какая это здоровая и приятная при ношении обувь!

Недостатки полупроводников:

Во-первых, эти приборы низковольтны. Например, характерное напряжение, при котором они работают – 100 вольт. Для разрядника это значение – 100 тысяч вольт. А ведь возможности георадара по глубине зондирования определяет мощность передатчика, или напряжение импульса на антенне!

Во-вторых, процессы движения носителей заряда в полупроводниках имеют более сложный механизм, чем лавинный пробой в разряднике, что приводит к возникновению более сложной зависимости переходных процессов при включении, что для локации совсем не является полезным – сигнал становится «грязным» – появляются ложные цели.

История о том, как мы стали использовать разрядники.

Директор отделения А.Е. Резников вернулся из ИКИ (Института космических исследований) довольный:

– Удалось попасть в марсианскую программу! Будем делать радиолокатор для зондирования грунта Марса на полкилометра. Нужно найти лед. Все отказались от этого прибора.

Мы сразу заподозрили неладное – в то время было невероятным, чтобы какая-нибудь фирма отказалась от космической тематики! Это большие государственные деньги! Стали выяснять, в чем дело. Оказалось, что масса прибора, расположенного на марсоходе, не должна превышать полкилограмма, а потреблять электроэнергию от внешней сети он должен не более полуватта. Вот все специалисты по радиолокации и отказались.

А.Е. Резников продолжал рассказывать о победе, которую они одержали вместе с А. Натанзоном:

– Саше прямо на совещании пришла в голову мысль, что если излучить два импульса на двух частотах, то по интерференции принятых сигналов можно определить границу льда. Он быстро набросал формулы на бумажке, и я выступил.

Теоретики – ребята очень смелые, поскольку умеют абстрагироваться – не обращать внимания на несущественные мелочи. Вы думаете, просто так появился анекдот о физике-теоретике, который рассматривал модель сферической лошади в вакууме?

Замечательную историю о высокой степени абстрагирования рассказал Б. Любимов:

– Когда я работал в Магнитке, наши коллеги пытались получить грант от министерства Сельского хозяйства на способ уничтожения саранчи. Он заключался в том, что с самолета распыляется керосин, затем эта аэрозоль поджигается фугасом. Возникнет объемный взрыв, и саранча погибнет.

Когда представитель министерства спросил, что будет с деревней, жители которой заказали уничтожение саранчи, ученые доставили калькуляторы и через минуту сообщили, что вместе с саранчой будет уничтожена и деревня.

Казалось, что задача не имеет решения. Предложение А. Натан-зона не имело ни малейшего шанса на реализацию. Каким образом он собирается излучать две частоты – 2 МГц и 3 МГц с борта марсохода? Да еще при этой массе и потреблении? Даже размеры антенн должны во много раз превосходить размер самого марсохода. Понятно, что ближе всего здесь метод георадиолокации. Но он на такие глубины не работает (точнее, до наших искровых передатчиков не работал). Глубина определяется энергией принятого сигнала, значит, его надо долго-долго копить. А это объемы памяти, стабильности генераторов, вес, потребление и т.д. и т.п.

Вот тут-то и пришла мысль вернуться к схемным решениям времен Попова и Маркони. В их радиосистемах использовались очень мощные искровые передатчики, и очень простые детекторные приемники.

Перенесем накопление энергии из приемника в передатчик, долго, как в фотовспышке, заряжая высоковольтный конденсатор от маломощного источника, после чего произойдет пробой разрядника и возникнет мощный импульс тока. Кстати, лампа фотовспышки – это тоже разрядник.

Такая конструкция позволила не только вписаться во все заданные параметры, но у нас еще оставался избыток в энергопотреблении! Мы предложили расширить функции локатора, и, кроме почвы, зондировать еще ионосферу Марса, используя один и тот же сигнал передатчика, но введя дополнительные временные задержки в приемнике.

Тема марсианского радара была международной, по ней с нами контактировал Лес Валлескрофт из Англии. Наши предложения по радару ему понравились, но возможность зондирования ионосферы одним коротким импульсом вызвала недоверие. Он усомнился в такой возможности, сообщив, что провел поиск в патентной библиотеке и ничего подобного не обнаружил.

Недоверие к нашей идее вызвало азарт у В. Гайданского, и он предложил:

– Давай сделаем моноимпульсный ионозонд и продемонстрируем такую возможность!

Ужиматься в размерах и весе не было смысла, поэтому Валера сделал не просто искровой передатчик, а использовал схему Маркса с умножением напряжения, которое у нас достигало 60 киловольт. Растянули антенну между деревьями, сам передатчик от дождя поместили в шкаф, в котором располагались и щелочные аккумуляторы для его питания.

Передатчик вырабатывал несколько импульсов в секунду, а вертикальные провода к антенне при их прохождении очень громко колотились о стенки шкафа, демонстрируя взаимодействие проводников с током, которое любят показывать студентам на лекциях по физике.

Включать этот передатчик было несложно – надо накинуть провод на клемму аккумулятора и быстро отскочить, пока передатчик выходил на режим. А вот выключить его возможности уже не было: все провода оказывались под высоковольтными импульсами и при касании к ним сильно било током. Не помогали даже палки, с помощью которых первоначально пытались сбить провод с клеммы аккумулятора – через них тоже било током. Наконец, В. Гайданский принял решение:

– Ждем, когда разрядятся аккумуляторы.

Когда провода переставали стучать по стенкам шкафа, процесс выключения передатчика уже не создавал проблем.

Нас предупреждали, что такие мощные широкополосные импульсы создадут множество радиопомех на всех диапазонах. Все сотрудники знали, что во время работы институтского ионозонда, который перестраивался по частоте, слушать радиоприемник было невозможно.

Все оказалось наоборот! Мы вообще не создавали помех!

Мощный, но очень короткий импульс практически не сказывался на приемниках. Сама собой возникла «схема ШОУ» (Широкая полоса – Ограничитель – Узкая полоса), используемая для борьбы с импульсными помехами. Входные цепи приемника перегружались и на короткое время ограничивали импульс. Если внимательно наблюдать экран включенного телевизора, то при излучении импульса можно было заметить светлую полосу сантиметровой длины.

Принимали отраженный от ионосферы сигнал на приемник Р-250 и выводили его на осциллограф. Перестройка приемника по частоте давала классическую ионограмму. Моноимпульсный ионозонд имеет много преимуществ, например, возникает принципиальная возможность наблюдать быстрые процессы в ионосфере, поскольку всю ионограмму можно получить за один импульс. Возникает также новый подход к конструированию ионосферных радиолокаторов - ионозондов.

Решили искровой моноимпульсный ионозонд запатентовать, и В. Гайданский подготовил доклад на семинар. Но семинар не состоялся, поскольку один из сотрудников института за два часа до его начала принес старый американский журнал, где подобный искровой ионозонд был уже описан. Лес Валлескрофт использовал поисковую систему с анализом изобретений за 20 лет, а журнал вышел в свет 25 лет назад. Докладчик отменил семинар, и история со сверхширокополосным ионозондом закончилась, а потом и вообще всю марсианскую программу отменили – в стане происходили перемены, и ей стало не до Марса.

Георадиолокация – квинтэссенция радиолокации. Если в обычной радиолокации отражающий объект окружен однородной средой, по своим электродинамическим параметрам близким к вакууму – воздухом, то в геолокации среда распространения неоднородна и сама подлежит определению.

Сейчас сигналы без монохроматической несущей, используемые в георадарах, стали постепенно проникать в радиолокацию воздушных объектов, о чем говорят на конференциях и пишут в научных статьях.

Возникают уникальные возможности по распознаванию отражающих объектов, но не это самое главное. Самое главное, что возникает принципиальная возможность сделать «радиолокатор-невидимку».

Дело в том, что радиоволна, излученная передатчиком, проходит двойной путь: от передатчика к цели, отражается, а потом идет обратно и регистрируется приемником. Чтобы приемник надежно

работал, необходима большая мощность передатчика, такая, что в точке облучения цели мощность зондирующего импульса остается еще очень большой, и для обычных сигналов уверенно может быть зафиксирована соответствующей аппаратурой частотного сканирования. Во всех современных военных самолетах стоят радиолокационные детекторы по типу того, что совсем недавно были широко распространены среди автолюбителей для обнаружения радиолокационных измерителей скорости ГАИ.

Военные говорят, что в современном бою побеждает тот, кто первый «увидит» противника – высокоточное оружие сделает свое дело. Если на облучаемом самолете есть ракеты для подавления локаторов, то этому локатору останется существовать недолго – на время полета ракеты. Передатчик радиолокатора сам наведет ее на себя. Подобные ракеты «Шрайк» американцы использовали против наших «семьдесят пятых» ЗРК во время Вьетнамской войны. Такой же, но более современной, ракетой, выпущенной с истребителя, был уничтожен Дудаев, когда включил спутниковый телефон.

Сверхширокополосный радиосигнал можно равномерно рассредоточить по спектру так, чтобы он скрылся под уровнем шумов, тогда частотный сканер его не обнаружит, и локатор станет невидимым.

Сверхширокую полосу имеет как короткий одиночный импульс, так и последовательность этих импульсов, параметры которой (знак, амплитуда, период следования) распределены по случайному (или псевдослучайному) закону.

На измерительных радиолокаторах – георадарах, ионозондах, метеорологических – следует использовать одиночные импульсы, они ближе всего к дельта-функции и не вносят своих дополнительных искажений, связанных с корреляционной обработкой псевдослучайных последовательностей, которая может привести к снижению динамического диапазона измеряемых параметров.

Наоборот, в связных системах и радиолокации воздушных объектов следует использовать сверхширокополосные шумоподобные последовательности.

Случайный, псевдослучайный, шумоподобный

При работе над кандидатской диссертацией «Применение метода Монте-Карло для решения статистических волновых задач в параболическом приближении» с понятиями «случайный», «псевдослучайный», «шумоподобный» пришлось столкнуться вплотную.

Сразу же стало понятным, почему А.Н. Колмогоров отказался от физической трактовки вероятности. То, что для меня случайно, для Нострадамуса почти не случайно, а для Господа Бога, «без которого ни один волос с головы не упадет» – вообще не случайно. На такой зыбкой основе науку не построишь.

Метод Монте-Карло известен с 1949 г., после выхода в свет работы Н. Метрополиса и С. Улама с таким же названием. Создателями его считаются Джон фон Нейман и Станислав Улам. Однако им скорее принадлежит приоритет не в создании метода, а в обобщении принципов, заложенных в его основу, т.к. сами принципы были известны давно.

Название метода происходит от названия города Монте-Карло, знаменитого игрой в рулетку, поскольку рулетка представляет собой простейшее механическое устройство для осуществления статистических проб.

Основная идея метода состоит в подборе и имитации случайного процесса, статистические характеристики которого определенным образом связаны с искомыми параметрами решаемой задачи. Аналитическое решение задачи заменяется оцениванием характеристик случайного процесса обычными статистическими методами.

Говоря о методе Монте-Карло, практически всегда подразумевают его реализацию на вычислительной машине, что совсем не обязательно. Однако лишь использование ЭВМ дает возможность широкого применения метода для практических задач.

И здесь происходит уже окончательное издевательство над здравым смыслом и понятием «случайность» - мы получаем «случайные функции» с помощью неслучайных алгоритмов!

«Щекотливость» такой ситуации все, конечно, понимают, это даже видно в подборке эпиграфов книги Д. Кнута «Искусство программирования для ЭВМ»:

– *Всякий, кто питает слабость к арифметическим методам получения случайных чисел, грешен вне всяких сомнений.*

Джон фон Нейман (1951)

– *Круглые цифры всегда фальшивы.*

Сэмюэль Джонсон (около 1750)

– *Терпеть не могу складывать. Нет большей ошибки, чем называть арифметику точной наукой. Существуют тайные законы, управляющие числами, постичь которые может лишь ум типа моего. Например, если вы находите сумму, складывая числа столбиком сначала снизу вверх, а затем сверху вниз, вы всегда получаете разный результат.*

Госпожа Ла Туш (19 в.)

Для того, чтобы использовать «датчики случайных чисел», вырабатывающие численные последовательности программным путем, необходимо провести их статистические тесты на плотность вероятности, коррелированность, отсутствие повторяющихся групп и т.д., которые важны для решения конкретной задачи.

Д. Кнут отмечает, что некоторые программисты посвящают тестам значительно больше времени, чем решению самой задачи.

И вообще, слово «случайный» здесь лучше не употреблять, а пользоваться словами «псевдослучайный» или «шумоподобный».