

Луна - ближайшее к Земле небесное тело. Её радиус равен 1737 км, масса в 81,3 раза меньше массы Земли, а средняя плотность 3,35 г/куб. см, т.е. в полтора раза меньше плотности Земли. Продолжительность лунных суток составляет 29,5 земных. Среднее расстояние на трассе Земля-Луна-Земля составляет 750 тыс. км, затухание сигнала на этом пути для радиоволн метрового диапазона около 200db, т.е. сигнал ослабляется в десять, в десятой степени раз и идет туда и обратно 2,5 секунды.

Идея использовать Луну – спутник Земли в качестве пассивного ретранслятора пришла давно. Первые отражения радиоволн от поверхности Луны были получены еще в 1946 году учеными Венгрии и США, работающими в этом направлении, независимо друг от друга.

При экспериментах использовались передатчики мощностью 200 КВт, работающие на волне около 2 метров и антенны с коэффициентом усиления 400.

Большие работы в этом направлении были проведены в 1954-57 годах в Горьковском университете. Для опытов использовались волны 10 и 3 см, коэффициент направленного действия антенн на волне 3 см достигал 120 тыс., т.е. энергия концентрировалась в угле 0,5 градуса. В результате этих опытов был измерен коэффициент отражения радиоволн от Луны, который составил примерно 0,25 - и было установлено, что отражение происходит от центральной части видимого диска Луны. Опыты радиолокации Луны дали реальную почву для осуществления идеи использования Луны в качестве пассивного ретранслятора. Заинтересовались этой идеей и радиолюбители. И вот в июле 1960 года была проведена первая радиолюбительская связь в диапазоне 1296 МГц между американскими клубными любительскими радиостанциями W6NB и W1BU. В 1964 году была проведена первая радиосвязь в диапазоне 144 МГц между радиолюбителями OH1NL и W6DNG.

В Советском Союзе первая любительская радиосвязь через Луну была проведена 11 мая 1979 года операторами коллективной радиостанции UK2BAS, в диапазоне 432 МГц. Их партнером был K2UYH. Позднее 19 января 1981 года радиолюбителем UT5DL была проведена первая радиосвязь в диапазоне 144 МГц. Его партнером был K1WHS из штата Мэн, имеющий на то время самую большую антенну (24 стрелы по 14 элементов).

20 апреля, того же 1981 года, провел свою первую радиосвязь и автор этой статьи (ex UB5JIN). А дальше пошло – поехало: 6 декабря 1981 года, первая внутрисоюзная радиосвязь (UB5JIN и UA3TCF), 11 января 1982 года - первая радиосвязь с территории СССР на SSB – (UB5JIN и K1WHS), 15 августа 1982 года первая связь с Японией (UB5JIN и JA6DR), 10 октября с Венесуэлой (UB5JIN и YV5ZZ) и так далее...

Сегодня через Луну проводят любительские связи тысячи радиолюбителей всех континентов земного шара в диапазонах 144, 432, 1296, 5600 МГц. Каждый из диапазонов имеет свои особенности, достоинства и недостатки.

Прием на земле сигналов, отраженных от Луны, встречает большие принципиальные трудности:

Луна движется относительно Земли с большой угловой скоростью, поэтому отраженный сигнал подвержен "Доплеровскому" эффекту, т.е. волна, отраженная от движущегося тела, имеет частоту колебаний отличную от частоты, посланной волны. Эта разница для диапазона 144 МГц достигает 427 Гц.

Большое влияние на принимаемый сигнал оказывает также эффект "Фарадея", т.е. вращение вектора поляризации передаваемого сигнала, который выражается в глубоких замираниях сигнала. Для устранения этого эффекта необходимы антенны с круговой поляризацией, которые трудно осуществимы в диапазоне 144 МГц из конструктивных соображений.

Сильно влияют на прием сигналов метрового диапазона космические шумы, к примеру: минимальная шумовая температура небесной сферы на частоте 136 МГц в феврале 1982 года составляла 210 градусов Кельвина или 2,35 db в точках минимума и 2750 градусов или 10,2 db в точках максимума.

Много проблем связано также с прозрачностью тропосферы и ионосферы Земли, атмосферными и местными электрическими помехами.

Ориентировочное затухание на трассе Земля-Луна-Земля для разных диапазонов можно выразить таблицей: Положение Луны Дистанция (тыс.км) 144 МГц (db) 432 МГц (db) 1296 МГц (db)

Перигей 356,334187,08196,62206,15

Апогей 406,610188,21197,76207,21

Для того, чтобы перекрыть такое затухание, радиолобитель, желающий заниматься Е-М-Е радиосвязями, должен сделать очень серьезную аппаратуру и антенны. Исходя из затухания на трассе и известных исходных данных приемника и передатчика, можно построить график усиления антенн для разных диапазонов радиоволн:

При: TX = 700 watts

RX = 1 db

DF = 100 Hz

Как видно из графика, чтобы получить эхо своего сигнала с уровнем 1 db над шумами в диапазоне 144 МГц надо, чтобы антенны (передающая и приемная) имели в сумме примерно 43 db, т.е. хорошая антенна для Е-М-Е должна иметь коэффициент усиления не менее 21,5 db. Хотя возможны радиосвязи при использовании антенн с меньшим усилением, так, для проведения радиосвязи с радиолобителем K1WHS (антенна 24 x14 и К.У. равном 27db) вполне достаточно иметь антенну с усилением 15-16 db!

Для успешной Е-М-Е работы нужно четко знать положение Луны, время ее восхода и захода у Вас и Ваших партнеров. Радиолобителю необходимо знать периоды перигея и апогея Луны и "окна" на Европу, Японию, Южную и Северную Америку. Необходимо знать дни, когда траектория Луны близка к траектории движения Солнца, т.к. проведение радиосвязи при разнице менее 30 градусов невозможно, из-за больших шумовых излучений Солнца.

При Лунной работе наблюдается также интересное явление, называемое "грунт-эффект", т.е. на восходе и заходе Луны происходит заметное увеличение уровня отраженных сигналов на 1-3 db. Так, для квадрата "KN74BX", наблюдался ярко выраженный эффект на заходе (в этом направлении равнина 40-50 км заканчивается Черноморским бассейном), на восходе "грунт-эффект" не наблюдался (холмистая местность, переходящая в гряды Крымских гор).

Очень интересным занятием при работе через Луну является проведение эхо-тестов. Это лучше делать за пределами Е-М-Е участка (144,000-144.015 МГц). Передается серия точек или тире, лучше воспринимаются сочетания "BK", "SK", Примерно через 2,5 секунды принимается эхо-сигнал. Он будет в стороне по частоте (доплеровский эффект) не более 427 Гц. Эхо слышно не всегда и не постоянно, это зависит от условий. Если в данный момент времени эхо не слышно в Вашем QTH - это не значит, что сигнал не отражается и не принимается, например, в Африке или Америке. И наоборот – можно хорошо слышать своего партнера, свое эхо, а партнер в этот момент времени Вас не слышит. Опыты показали, что вполне приемлемым для Е-М-Е работы будет эхо с уровнем 1-2 db над шумами, принимаемое время от времени.

Автором статьи проводились эксперименты с разными антеннами: 13 EL, 16 EL, 8x9 EL, 8x15 EL и предусилителями на антенне с коэффициентом шума 0,5 – 1,5 db. Усилитель мощности передатчика был выполнен на двух лампах 4CX350A по двухтактной схеме (P out ~ 1 Kw). Опыт показал, что такой аппаратуры, антенн и энергетики вполне достаточно для удовлетворительной работы с использованием отраженных от Луны сигналов. В течение года были проведены радиосвязи с более 100 различными корреспондентами на 5-ти континентах.

Как говорилось ранее, антенные системы для приема Е-М-Е сигналов являются одним из

основных факторов. Антенная система должна иметь вращение по горизонту, а также вертикальную элевацию с точностью установки азимута и элевации не хуже 5-7 градусов. Усиление антенной системы должно быть не менее 18-19 db. Хорошо зарекомендовали себя антенные решетки на базе антенн типа F9FT: 8x9, 8x13, 4x16, 8x16, которые легко повторимы и конструктивно просты.

И напоследок об антенных усилителях, хочется обратить внимание радиолюбителей на тщательную скрупулезную настройку, хотя бы простейшим шум генератором на лампе 2Д2С, т.к. мало поставить хороший транзистор, надо реализовать его технические параметры.

На выход НЧ приемника желательно подключать при экспериментах вольтметр переменного тока (с децибельной шкалой) типа ВЗ-38, ВЗ-39, для точного измерения уровней Е-М-Е сигналов.

Сокращенный вариант статьи, отправленной в журнал "Радио" 9 ноября 1982 года.