

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА В НЕЛИНЕЙНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

А.В. Душкин

В работе рассмотрены вопросы построения нелинейного радиолокатора и проанализированы зависимости между параметрами зондирующего и принимаемого сигналов.

В последнее время в радиолокации все больше внимания стало уделяться нетрадиционным методам получения и обработки информации. Одним из направлений является использование эффекта нелинейного рассеивания электромагнитных волн (НР ЭМВ), суть которого состоит в том, что облучение объектов осуществляется на одной частоте, а прием и обработка отраженных эхо - сигналов на гармониках или комбинированных частотах. Радиолокаторы, использующие такой принцип работы, могут применяться [1,3] для обнаружения объектов, содержащих контакты вида металл - окисел - металл, на фоне сильных мешающих отражений.

В качестве характеристики отражающих свойств нелинейных рассеивателей наиболее приемлемо понятие нелинейной эффективной площади рассеивания (НЭПР). При этом исходят из того, что она определяется по аналогии с линейной ЭПР

$$\sigma_{н} = 4\pi \cdot R^2 \cdot \Pi_{пр} / \Pi, \quad (1)$$

где $\Pi_{пр}$ - поток мощности рассеянной волны на частоте гармоники или на комбинационной частоте, измеренный на расстоянии R от объекта;

Π - поток мощности, облучающей объект;

R - расстояние от РЛС до объекта;

$\sigma_{н}$ - нелинейная эффективная площадь рассеяния объекта.

Однако, необходимо учесть два существенных отличия - это зависимость НЭПР от падающего потока мощности и то, что потоки падающей и отраженной мощности относятся к разным частотам.

В связи с малым уровнем отклика представляет интерес только вторая и третья гармоники, так как даже на них мощность принимаемого сигнала обратно пропорциональна дальности в 6 - й и 8 - й степени соответственно.

Результаты теоретических исследований [3] показывают, что уровень сигнала, генерируемого полупроводником, на гармониках уменьшается с ростом номера последних. В спектре переизлучения металлической цепи подавляются четные гармоники. Это объясняется тем, что металлические соединения имеют симметричные передаточные характеристики (проводимость изменяется равномерно во всех направлениях), а их степенной ряд содержит только нечетные члены [1].

Практические результаты показывают, что рассчитать уровень отображенного сигнала на гармониках достаточно сложно, так как реальные объекты не содержат полупроводниковые и металлические контакты в чистом виде. АЧХ зависит от целого ряда факторов, начиная от толщины оксидной пленки (р - n - перехода) и кончая резонансными свойствами линейной и нелинейной частей исследуемого объекта.

Рассмотрим типовую схему НРЛС изображенную на рис. 1.

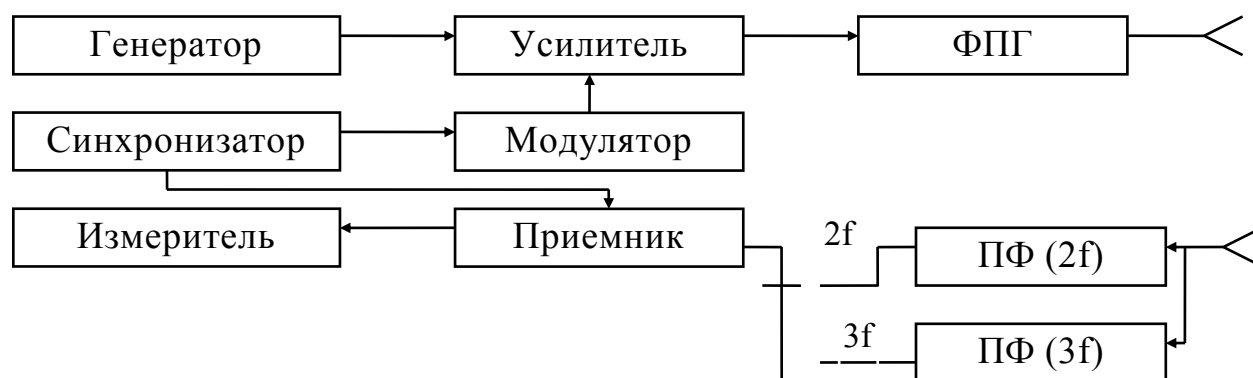


Рис. 1. Схема НРЛС

Отличие от схем обычных импульсных РСЛ заключается в использовании фильтра на входе приемника, настроенного на вторую или третью гармонику сигнала зондирующего сигнала (в зависимости от вида исследуемого объекта) и отдельной приемной антенны. На входе передатчика стоит специальный фильтр (ФГП), пропускающий только сигнал основной частоты. Полосовой фильтр (ПФ) выделяет только одну гармонику из всех, сформированных объектом, и не дает просачиваться составляющим спектра помехи зондирующего сигнала. В остальном, приемник имеет обычное построение.

В НРЛС импульсная мощность является более важным параметром, чем средняя мощность излучения [2]. Передатчик не должен излучать гармоники уровней, которые могут быть обнаружены приемником.

Изменение в очень широких пределах НЭПР на второй и третьей гармониках обуславливает необходимость обеспечения динамического

диапазона приемника до 100 дБ и точное согласование с антенной на различных частотах, если необходимо измерить уровни нескольких гармоник для идентификации объекта.

Для минимизации размеров НРЛС приемная антенна располагается вблизи передающей. При этом они конструктивно совмещаются с фильтрами. В результате двойного экранирования, надежной пайки, исключения сочленений, применения входных каскадов с малыми искажениями можно добиться снижения уровня паразитных гармоник на входе приемного устройства более, чем на 200 дБ относительно основной частоты передатчика.

На этапе разработки и практического использования эффекта НР ЭМВ представляет интерес исследование вопросов зависимости характеристик эхо - сигнала от различных факторов [3]. При малой и средней плотностях потока зондирующего сигнала (ЗС) у цели можно использовать [2] аппроксимацию вида

$$\sigma_{\text{н}} = \alpha S_1^{n-1} \exp(-b \cdot S_1), \quad (2)$$

где α, b - постоянные коэффициенты, зависящие от вида нелинейного рассеивателя (причем $a \cong 1$);

n - коэффициент, приближенно равный номеру гармоники;

S_1 - плотность потока мощности ЗС у объекта;

$\sigma_{\text{н}}$ - НЭПР объекта.

В свою очередь плотность потока мощности у объекта равна

$$S_1 = P_1 \cdot G_1 / 4\pi \cdot R_1^2, \quad (3)$$

где P_1 - мощность передатчика;

G_1 - коэффициент направленного действия антенны передатчика;

R_1 - расстояние от передатчика до объекта.

Подставляя (3) в (2) получаем

$$\sigma_{\text{н}} \cong \alpha \left(P_1 \cdot G_1 / 4\pi \cdot R_1^2 \right)^{n-1} \cdot \exp(-b \cdot P_1 \cdot G_1 / 4\pi \cdot R_1^2). \quad (4)$$

Данное аналитическое выражение показывает, что, если на основной частоте НЭПР не зависит от мощности зондирующего сигнала, то на частоте второй гармоники эта зависимость линейная, а на третьей - квадратичная. Очевидно, что только для основной частоты размерность НЭПР совпадает с обычной ЭПР.

Мощность, рассеиваемая на объекте, обладающем нелинейными

свойствами равна $P_1 = S_1 \cdot \sigma_{\text{н}}$. (5)

Плотность потока мощности у антенны приемника

$$\Pi_2 = P_{\text{н}} / 4\pi \cdot R_2^2, \quad (6)$$

где R_2 - расстояние от объекта до антенны приемника.

Мощность сигнала на входе приемника определяется выражением

$$P_2 = A \cdot \Pi_2, \quad (7)$$

где $A = G_2 \cdot \lambda_n^2 / 4\pi$ - эквивалентная площадь антенны приемника;

G_2 - коэффициент направленного действия антенны приемника;

λ_n - длина волны принимаемой гармоники.

Подставляя формулы (4), (5), (6) в (7) получаем значение мощности принимаемого сигнала

$$P_2 \cong \left((P_1 G_1)^n \alpha G_2 \lambda_n^2 / \left((4\pi)^{n+2} R_1^{2n} R_2^2 \right) \right) \exp(-b P_1 G_1 / 4\pi R_1^2). \quad (8)$$

Полученное уравнение показывает, что зависимость мощности принимаемого сигнала от мощности передатчика на основной частоте линейная, на второй гармонике квадратичная, на третьей - кубическая.

Другую полезную модификацию, несколько отличающуюся от приведенного уравнения, можно получить путем включения в (8) коэффициентов потерь L_1, L_2, L_3 и т. д., возникающих на разных участках: в трактах передатчик - антенна, антенна - приемник, на границе раздела двух сред (при зондировании объектов под слоем почвы, снега и т. п.) Причем, необходимо учитывать, что значение коэффициентов на одной и той же трассе для зондирующего и принимаемого сигналов будут отличаться из-за разности длин волн и соответствующих им свойств. Так как коэффициенты потерь имеют мультипликативный характер, их можно заменить одним обобщенным коэффициентом потерь $L = L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \dots$. В результате получаем выражение

$$P_2 \cong \left((P_1 G_1)^n \alpha G_2 \lambda_n^2 / \left((4\pi)^{n+2} R_1^{2n} R_2^2 L \right) \right) \exp(-b P_1 G_1 / 4\pi R_1^2). \quad (9)$$

Для однопозиционной НРЛС имеем

$$P_2 \cong \left((P_1 G_1)^n \alpha G_2 \lambda_n^2 / \left((4\pi)^{n+2} R^{2n+2} L \right) \right) \exp(-b P_1 G_1 / 4\pi R_1^2). \quad (10)$$

Из (10) получаем выражение для дальности действия НРЛС:

$$R \cong \left(\left((P_1 G_1)^n \alpha G_2 \lambda_n^2 / \left((4\pi)^{n+2} P_2 \right) \right) \exp(-b P_1 G_1 / 4\pi R_1^2) \right)^{1/(2n+2)}. \quad (11)$$

В явном виде это уравнение не решается. Но для малого потока мощности ЗС у объекта выражение (2) преобразуется к виду

$$\sigma_n \cong \alpha \cdot S_1^{n-1} \quad (12)$$

Отсюда

$$R \cong \left((P_1 G_1)^n \alpha G_2 \lambda_n^2 / \left((4\pi)^{n+2} P_2 \right) \right)^{1/(2n+2)}. \quad (13)$$

Полученное выражение свидетельствует о большей зависимости дальности действия НРЛС от параметров передатчика (P_1, G_1), чем для обычной. Она определяется показателем степени. То есть, чувствительность НРЛС к изменению потенциала передающего устройства больше, чем у обычной РЛС и, соответственно, помехозащищенность выше.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- в связи с малым уровнем эхо - сигнала интерес представляют только вторая и третья гармоники;
- передатчик НРЛС не должен излучать гармоники сигнала на уровнях, которые могут быть обнаружены приемником;
- необходим широкий динамический диапазон приемника и точное согласование с антенной;
- требуется хорошее экранирование, надежная пайка, исключение сочленений, применение входных каскадов с малыми искажениями для снижения уровня паразитных гармоник на входе приемного устройства;
- НЭПР, мощность принимаемого сигнала и дальность действия НРЛС имеют большую зависимость от параметров передатчика, чем у обычного радиолокатора;
- НРЛС имеет лучшую помехозащищенность.

Таким образом, положения, изложенные выше, необходимо использовать при проектировании и разработке радиолокационной техники, работа которой основана на применении эффекта НР ЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрба Д.Ш. и др., М., ВФПИ, №61, 1990.
 2. Горбачев П.А. М., ВФПИ, № 49, 1988.
 3. Harger R., IEEE Trans., 1976, AES-12, №2.
-