

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЛС БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ

ДЖОВАННИ Д'АМОРЕ (GIOVANNI D'AMORE)

*РЛС с быстрой перестройкой частоты и их нестареющие основы – уравнение дальности РЛС.*

С конца XIX-го в. по настоящее время радиолокационные станции (РЛС) прошли долгий путь и породили целый набор технологий, широко используемых в разнообразных современных приложениях. Конструкции РЛС начинаются с простых, недорогих и компактных РЛС непрерывного излучения, используемых полицией для борьбы с нарушителями скоростного режима, и заканчиваются сложными активными фазированными антенными решетками, применяемыми в наземных, морских и авиационных РЛС. Типовая активная фазированная антенная решетка, или активная антенная решетка с электронной настройкой (AESA), состоит из нескольких сотен или тысяч приемо-передающих модулей, что стало возможным с появлением высокоэффективных полупроводниковых приборов.

По мере совершенствования радиолокационных технологий в направлении к более высоким частотам и широким рабочим полосам стали появляться области применения, которые прежде невозможно было даже представить. Недорогие и неионизирующие сверхширокополосные СВЧ-системы распознавания изображений позволяют по-новому взглянуть на вещи, открывая впечатляющие перспективы применения в медицине и здравоохранении. Системы распознавания жестов с разрешением до субмиллиметрового диапазона дают потребителям новые способы взаимодействия с устройствами [1]. Кроме того, технологии РЛС позволяют создавать беспилотные автомобили и дроны с системами предотвращения столкновений и определения расстояния. Терагерцовый диапазон с его уникальными свойствами для химии и биологии в равной степени интересен научным и коммерческим кругам, открывая новые возможности в области распознавания изображений, зондирования и обнаружения. В связи с появлением новых областей применения РЛС мы кратко рассмотрим нестареющие основы их работы.

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Основной задачей РЛС является сбор физической информации об одной или нескольких целях. К этим данным относятся

положение, скорость, направление движения, форма, идентификационная информация или присутствие. В активных РЛС сбор обеспечивается путем обработки отраженных электромагнитных волн, а в РЛС с активным ответом – при получении ответа от цели. В большинстве реализаций радиолокационная система генерирует импульсный ВЧ- или СВЧ-сигнал, направляет его в сторону исследуемой цели и принимает отраженный сигнал той же антенной, которая передавала сигнал.

Упрощенная структурная схема импульсной радиолокационной системы приведена на рисунке 1. Центральным блоком системы является генератор-синхронизатор. Этот функциональный блок играет важную роль, синхронизируя все компоненты системы. Для этого он подключен к импульсному модулятору, дуплексеру или переключателю приема/передачи и к процессору изображения. Кроме того, подключение к приемнику обеспечивает стробирование для защиты входных цепей или для изменения чувствительности по времени.

## ПОЯСНЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ РЛС

Уравнение дальности РЛС описывает важные характеристики РЛС, создавая основу для понимания измерений, которые выполняются для реализации оптимальных характеристик. Это уравнение можно представить во многих разных формах. Одна из них представлена уравнением (1), которое определяет максимальную дальность РЛС в метрах. Чтобы лучше понять это уравнение и использованные допущения, читателям рекомендуется ознакомиться с выводом этого уравнения [2].

$$R_{MAX} = \left( \frac{P_T G_T G_R \lambda^2 \sigma}{kTB_n F_n (S/N) (4\pi)^3} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

где:  $R$  – максимальное расстояние, м;  $P_T$  – мощность передачи, Вт;  $G_T$  – усиление передающей антенны;  $G_R$  – усиление приемной антенны;  $\lambda$  – длина волны сигнала РЛС, м;  $\sigma$  – эффективная

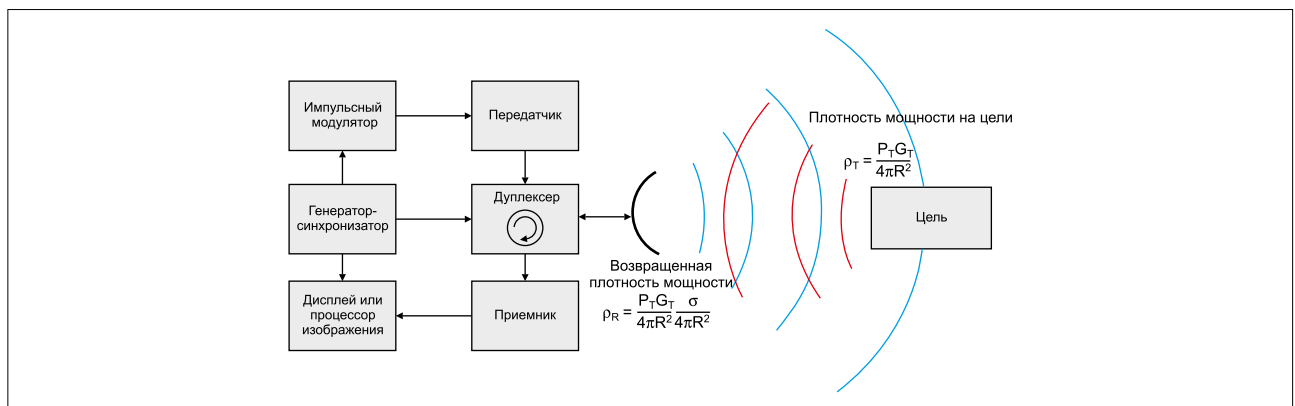


Рис. 1. Упрощенная структурная схема импульсной радиолокационной системы

поверхность рассеяния (ЭПР) цели,  $m^2$ ;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – комнатная температура, К;  $B_n$  – полоса шума приемника, Гц;  $F_n$  – коэффициент шума;  $S/N$  – минимальное допустимое отношение сигнала к шуму.

Вывод этого уравнения начинается с анализа простой сферической модели распространения с рассеиванием для изотропного излучателя (т.е. для точечной антенны). Поскольку для направления излучаемой энергии на цель радиолокационные системы используют направленные антенны, их усиление определяется как отношение мощности, направленной на цель, к мощности, излучаемой идеальной изотропной антенной. Члены уравнения  $G_t$  и  $G_r$  описывают усиление направленной передающей и приемной антенн соответственно. Если для передачи и приема используется одна и та же антенна, для простоты оба члена можно заменить одним.

Часть переданной мощности, попавшая на цель, отражается в разных направлениях, а часть отраженной мощности переизлучается в сторону РЛС. Доля падающей мощности, переизлучаемой обратно в сторону РЛС, зависит от эффективной поверхности рассеяния цели (ЭПР, или  $\sigma$ ). ЭПР измеряется в единицах площади и определяется размером цели с точки зрения РЛС.

Часть отраженного целью сигнала принимается антенной РЛС. Его мощность равна возвращенной плотности мощности в антенне, умноженной на эффективную площадь антенны. Основным фактором, ограничивающим чувствительность приемника, является шум и результирующее отношение сигнала к шуму  $S/N$ .

Мощность шума на входе приемника (теоретический предел) описывается шумом Джонсона, или тепловым шумом. Этот шум, порожденный случайным движением электронов, пропорционален температуре. Мощность шума на входе приемника всегда больше теплового шума. Это связано с тем, что внутри приемника генерируется дополнительный шум. Таким образом, уравнение (1) учитывает шум, генерируемый внутри приемника, путем умножения мощности теплового шума на коэффициент шума  $F_n$  и на коэффициент усиления приемника.

Уравнение (1) описывает максимальное расстояние до цели в зависимости от мощности передатчика, усиления антенны, ЭПР цели, коэффициента шума системы и минимального отношения сигнала к шуму. На самом деле, это упрощенное представление. В действительности, на характеристики системы оказывает влияние множество факторов, в т.ч. изменения допущений, сделанных для вывода этого уравнения. Следует также учесть потери в системе и интегрирование импульсов, которое может применяться при обработке сигнала. Потери в системе могут возникать не только в тракте передачи  $L_T$ , но и в тракте приема  $L_R$ .

В классических примерах импульсной РЛС предполагается, что для данной цели принимается несколько импульсов в каждом положении антенны (поскольку ширина диаграммы направленности антенны РЛС не равна нулю, можно считать, что антенна направлена на каждую цель в течение некоторого времени), и, следовательно, импульсы интегрируются, чтобы повысить чувствительность РЛС. Однако поскольку такое интегрирование может быть неидеальным, для описания того, как повышается чувствительность благодаря интегрированию, используется коэффициент эффективности интегрирования  $E_i(n)$ . Он определяется числом интегрируемых импульсов. С учетом этих членов уравнение дальности РЛС приобретает следующий вид:

$$R = \left( \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma E_i(n)}{kTB_n F_n (S/N) (4\pi)^2 L_T L_R} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (2)$$

где  $E_i(n)$  – коэффициент эффективности интегрирования;  $L_T$  – потери в тракте передачи;  $L_R$  – потери в тракте приема.

Для РЛС с несколькими антеннами дальность растет пропорционально числу элементов антенны, если считать, что все элементы обладают одинаковыми характеристиками.

#### ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ УРАВНЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ РЛС

Мощность сигнала на входе приемника РЛС прямо пропорциональна переданной мощности, усилению антенны (или размеру апертуры) и эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) (т.е. степени отражения сигнала РЛС от цели). Возможно, даже большую важность имеет обратная пропорциональность четвертой степени расстояния до цели. Учитывая большое затухание сигнала на пути до цели и обратно, очень желательно иметь высокую мощность передатчика. Однако достижение высокой мощности весьма затруднено практическими факторами, к которым относятся тепловой режим, пробой изоляции, требования к энергопотреблению, размеры системы и ее стоимость.

В следующей статье мы рассмотрим характеристики, методы сжатия и методы измерения импульсных сигналов РЛС. ◀

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <https://atap.google.com/soli>.
2. <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5992-1386EN.pdf?id=2715324>.