
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ И ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ СВЧ — ВАЖНЕЙШАЯ ЗАДАЧА СОВРЕМЕННОЙ РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В. Д. Кукуш

Харьков

В Директивах XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР указывается, что главным источником роста народного благосостояния и укрепления обороноспособности нашей страны является повышение эффективности общественного производства, улучшение качественных показателей всех его отраслей.

Важнейшей предпосылкой успешного решения этой задачи по праву можно считать высокий уровень стандартизации и измерительной техники.

Характеризуя значение измерений и измерительной техники для современного производства, Президент Академии наук СССР М. В. Келдыш на ноябрьском Пленуме ЦК КПСС в 1962 г. заявил, что базой всякого производства являются энергетика, рациональные материалы и исходные вещества, методы и средства измерений и контроля.

Принятое в конце 1970 г. постановление Центрального Комитета КПСС и Совета Министров СССР «Об улучшении работы по стандартизации в стране» на многие годы определило пути развития советской стандартизации и измерительного дела.

Стандартизация, которая в условиях социалистического способа производства является мощным фактором повышения эффективности производства, и измерительное дело неотделимы друг от друга. Измерительное дело и в особенности его верхнее звено — метрология служит важнейшей частью научно-технической базы стандартизации. Известно, что объективная оценка качества продукции может быть достигнута только на основе достоверной измерительной информации. Степень достоверности этой информации определяется главным образом степенью

соблюдения единства мер и правильностью проводимых измерений на всех этапах разработки и испытаний продукции. Залогом успешного решения этой задачи является высокий уровень и постоянное совершенствование измерительных средств всех категорий — от прецизионных измерительных устройств высшей точности до рабочих измерительных приборов, предназначенных для работы в цеховых или полевых условиях.

Чрезвычайно велико значение совершенных измерительных средств всех категорий в тех областях науки и техники, где измеряемые величины не воспринимаются органами чувств человека, а прибор является единственным средством оценки измерения происходящих процессов. Именно такой областью является радиотехника.

Развитие современной науки и техники требует повышения точности, расширения динамического и частотного диапазонов практически всех видов радиоизмерений. Измерение мощности в этом смысле не составляет исключения. Более того, среди проблем, стоящих перед радиоизмерительной техникой, наиболее острой является измерение мощности на СВЧ.

В диапазоне сверхвысоких частот измерение мощности занимает совершенно особое положение, поскольку, во-первых, мощность является параметром, однозначно характеризующим интенсивность электромагнитного колебания; во-вторых, работа различного рода радиотехнических устройств наиболее полно определяется именно мощностью; в-третьих, измерение мощности может быть выполнено прямыми методами, основанными на фундаментальных физических законах. Все это делает измерение мощности на СВЧ одним из основных видов измерений.

Различают два основных случая использования измерений мощности в диапазоне СВЧ.

1. Измерение мощности источника (генератора) электромагнитных колебаний. Под мощностью источника понимается мощность, отдаваемая в согласованную нагрузку ($\Gamma_n = 0$).

2. Измерение мощности, передаваемой в полезную нагрузку (измерение проходящей мощности). Импеданс этой нагрузки может быть произвольным.

В каждом из этих случаев могут быть использованы принципиально различные пути. Первый состоит в том, чтобы измеряемую мощность полностью рассеять на некотором измерительном эквиваленте нагрузки, параметры которого должны находиться в соответствии с рассматриваемым случаем, с последующим измерением этой мощности тем или иным способом. Закон сохранения энергии позволяет именно так строить наши измерения.

Второй путь состоит в том, чтобы между источником и нагрузкой включить устройство, которое позволяет измерять

мощность, рассеиваемую в нагрузке, но не нарушает условия передачи энергии.

Первый путь использует измеритель поглощаемой мощности. В категориях теории цепей он эквивалентен двухполюснику. Идеальный измеритель поглощаемой мощности должен иметь входной коэффициент отражения: для первого случая $\Gamma_{вх} = 0$, для второго — $\Gamma_{вх} = \Gamma_{н}$.

Второй путь использует измеритель проходящей мощности. В тех же категориях он эквивалентен четырехполюснику. Для обоих случаев идеальный измеритель проходящей мощности должен иметь $\Gamma_{вх} = 0$, $\tau = 1$, где τ — коэффициент передачи.

Известно, что с помощью ответвителей, тройников и т. п. измерители поглощаемой мощности могут использоваться как измерители проходящей мощности, хотя и с другими пределами измерения. Кроме того, подключение на выход измерителя проходящей мощности согласованной нагрузки превращает его в измеритель поглощаемой мощности с теми же пределами измерения.

Следовательно, измерители проходящей мощности при прочих равных параметрах являются предпочтительными, так как они позволяют измерять мощность непосредственно в рабочих условиях, при работе радиоустройства на реальную нагрузку (а не на эквивалент). В случае необходимости они могут также служить измерителями поглощаемой мощности без нарушения их градуировки.

Однако создание измерителя проходящей мощности является более сложной задачей, поскольку способ измерения, основанный на превращении всей измеряемой мощности СВЧ в другую форму энергии с последующим измерением мощности этого другого физического процесса, в данном случае не приемлем.

Проблема обеспечения единства и достоверности измерений мощности на СВЧ в широком динамическом и частотном диапазонах не может считаться решенной.

Остановимся на некоторых нерешенных в настоящее время вопросах.

Известно, что уровень совершенства всех средств измерения той или иной физической величины определяется достижениями в высшем метрологическом звене — создании эталона. Постоянное совершенствование эталона является основой прогресса в деле обеспечения единства и достоверности измерений.

За последнее десятилетие точность высшего метрологического звена в части измерения мощности СВЧ возросла примерно в десять раз. Это явилось результатом научных исследований и разработок, выполненных В. И. Проненко, А. И. Бродским, В. Д. Фрумкиным, А. И. Механниковым, В. И. Кржимов-

ским, В. Г. Чуйко, А. Н. Ахизером, А. П. Сенько, М. В. Тереховым и др. В настоящее время завершается работа по утверждению ГОСТа на государственный эталон мощности СВЧ и соответствующей поверочной схемы.

За эти годы номенклатура выпускаемых промышленностью ваттметров общего применения значительно возросла, улучшилась их надежность, эксплуатационные характеристики. Внедрены в серийное производство ваттметры, разработанные А. Д. Селивановским, А. К. Томашевским, Е. М. Баймуратовым, П. П. Шаровым, А. Л. Молчановым, С. Д. Шуликой и др.

Однако точность рабочих ваттметров, выпускаемых промышленностью, за прошедшее десятилетие практически осталась на низком уровне. Это объясняется отставанием средств для передачи размера единицы мощности и, в частности, образцовых средств низшего разряда, служащих для поверки и градуировки рабочих измерителей мощности. В соответствии с современными требованиями эти приборы должны иметь погрешность в пределах 2—5% в зависимости от участка динамического и частотного диапазонов. Однако система обеспечения единства измерений в этом месте имеет разрыв. Поверочные лаборатории предприятий испытывают острую потребность в такой аппаратуре. Несомненно, что при ее наличии точность рабочих приборов повысится, так как будут исключены некоторые необоснованно приписываемые погрешности.

Представляется целесообразным использовать в качестве образцовых средств низшего разряда на средних и больших уровнях пондеромоторные измерители мощности.

Несмотря на преимущества измерителей проходящей мощности, им не уделяется достаточного внимания, и в лабораториях, где проводятся испытания аппаратуры, они отсутствуют. Одной из причин этого является неправильное мнение, что измеритель проходящей мощности всегда может быть составлен из направленного ответвителя и измерителя поглощаемой мощности. Однако создание ваттметра проходящей (а не падающей) мощности имеет свою специфику, особенно при измерениях в условиях несогласованной нагрузки, требует специальной электронной схемы, исследования погрешностей и т. п. В некоторых случаях применение делителя недопустимо (случай наличия внеполосных сигналов).

Можно указать и на другие нерешенные вопросы, связанные с измерением мощности в импульсе, измерением больших и сверхбольших уровней мощности, мощности на миллиметровых и субмиллиметровых волнах.

Обеспечение эффективной системы единства и достоверности измерений мощности СВЧ, без которой немислимо высокое качество и дальнейший прогресс радиоэлектронной аппаратуры, требует четкой координации всех исследований по совер-

шенствованию методов и приборов для измерения мощности СВЧ и незамедлительного устранения имеющихся недостатков.