

ИК-дефектоскопия фотоэлектрических панелей как метод быстрого поиска неисправностей

Сук Вай Вонг, Keysight Technologies

В солнечных электростанциях, состоящих из тысяч фотоэлектрических панелей, определение отказавших фотоэлементов может быть очень длительной и трудоёмкой процедурой. Для существенного ускорения поиска неисправностей панели можно использовать инфракрасную дефектоскопию.

Солнечная энергия приобретает популярность во многих странах, поскольку цена фотоэлементов и преобразователей для них стремительно снижается. В результате солнечная энергия вполне может конкурировать с энергией, получаемой из ископаемого топлива. В некоторых странах уже достигнут «сетевой паритет», то есть солнечные и другие возобновляемые источники энергии генерируют электричество по ценам, равным или меньшим, чем традиционные источники энергии на ископаемом топливе. В зонах, куда прокладка традиционных электрических сетей затруднена, солнечная энергия становится важным альтернативным источником энергии. Солнечный свет является чистым, неиссякаемым источником энергии и в грядущие десятилетия может стать одним из основных источников электроэнергии.

Солнечные электростанции используют массивы фотоэлектрических панелей для преобразования солнечного света в электрическую энергию за счёт фотоэлектрического эффекта (см. рис. 1). Каждая панель состоит из нескольких фотоэлектрических модулей, каждый из которых, в свою очередь, состоит из матрицы фотоэлементов, которые преобразуют сол-

нечное излучение в электричество. Выход из строя любого фотоэлемента может привести к падению генерируемой мощности. На солнечных электростанциях, которые могут объединять несколько тысяч фотоэлектрических панелей, тестирование всех фотоэлементов может быть очень длительной и трудоёмкой процедурой. Для ускорения поиска отказавшей фотоэлектрической панели можно использовать инфракрасную (ИК) дефектоскопию. ИК-дефектоскопия может выполняться в штатном режиме работы фотоэлектрической системы путём сканирования фотоэлектрических модулей и позволяет быстро выявлять дефекты неразрушающими методами.

Выявление горячих точек

Тепловые снимки панелей способны помочь обслуживающим инженерам выявлять аномалии, приводящие к отказу фотоэлектрического модуля. Поскольку фотоэлементы обладают отрицательным температурным коэффициентом мощности (то есть повышение температуры снижает выходную мощность), нагрев позволяет эффективно использовать ИК-дефектоскопию для поиска перегретых фотоэлементов. Пере-

гретые элементы будут выглядеть на ИК-изображении (термограмме) яркими пятнами, указывая места, где происходит потеря энергии.

В нормальных условиях работы температура разных фотоэлементов может отличаться всего на несколько градусов Цельсия. Неправильное подключение или внутреннее замыкание может вызвать нагрев фотоэлемента более чем на 10°C, и даже выше, по сравнению с соседними, нормально работающими элементами. Если элемент затенён, например, деревом или птичьим помётом, или просто не работает, он может создать яркое пятно, поскольку будет потреблять энергию от соседних фотоэлементов вместо того, чтобы её вырабатывать.

Чтобы минимизировать влияние горячих точек, создаваемых затенёнными элементами, производители обычно устанавливают в солнечные панели шунтирующие диоды. Однако и шунтирующие диоды могут деградировать или выйти из строя, что приведёт к проблемам перегрева. Если повреждённый элемент станет нагревать соседние элементы, то генерируемая мощность существенно снизится.

На рисунке 2 показаны горячие точки (перегретые фотоэлементы), обнаруженные на фотоэлектрическом модуле с помощью ручного тепловизора.

Необходимый тип тепловизора

Обычно ИК-дефектоскопия солнечных панелей выполняется с помощью ручного тепловизора с неохлаждае-

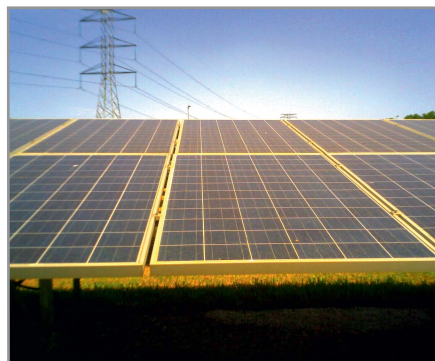


Рис. 1. Фотоэлектрические панели солнечной электростанции

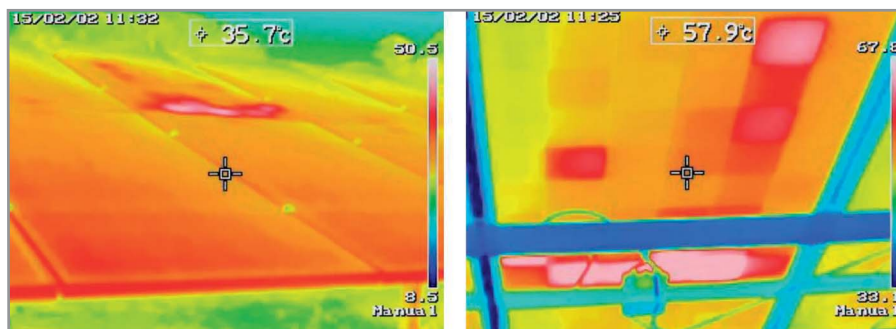


Рис. 2. Термографическое сканирование с помощью тепловизора Keysight U5855A TrueIR с высоким разрешением 320 × 240 пикселей показывает несколько горячих точек на солнечной панели (розовые и красные зоны)

мым детектором и типовой длиной волны от 8 до 14 мкм. Используемый ручной тепловизор должен быть удобным и с эргономической точки зрения, поскольку, в зависимости от размера электростанции, исследование может занять несколько часов и даже дней.

Для быстрого выявления проблем, особенно на уровне фотоэлементов, важно использовать тепловизор с хорошим разрешением и адекватной тепловой чувствительностью для создания высококачественного теплового изображения, позволяющего различить мелкие детали. Тепловизор с разрешением 320×240 пикселей и выше может без потери деталей захватить за один раз изображение нескольких фотоэлектрических модулей. Чтобы увидеть мелкие аномалии на термограмме, нужен тепловизор с температурной чувствительностью не хуже $0,07^\circ\text{C}$.

Что важно при обследовании фотоэлектрических панелей?

Для получения хорошей термограммы при обследовании фотоэлектрических панелей солнечной электростанции, ИК-дефектоскопию надо выполнять в безоблачный солнечный день, в идеале – при облучении фотоэлементов с интенсивностью света 700 Вт/м^2 .

Кроме того, важно выявить все возможные источники отражённого тепла, такие как отражения от соседних зданий. Частичное затенение фотоэлементов соседними зданиями и другими структурами может повлиять на результаты термографии. Возможно, что для исключения источников отражённого тепла и затенения исследователю придётся сместиться в ту или иную сторону или выбрать более подходящее с точки зрения угла освещения время суток.

Тепловизор регистрирует излучаемую поверхностью ИК-энергию. Уровень излучаемой ИК-энергии зависит от состояния поверхности. Поверхность в различном состоянии имеет разную излучающую способность. Измерение с учётом излучающей способности в зависимости от состояния поверхности помогает гарантировать достоверный захват горячих точек. Типовая излучающая способность стеклянной панели равна 0,85, а модулей с полимерной подложкой – 0,95.

Термографическая дефектоскопия позволяет выполнять количественный анализ температуры и строить тепловой профиль исследуемых фотоэлектрических модулей. Как правило, досто-

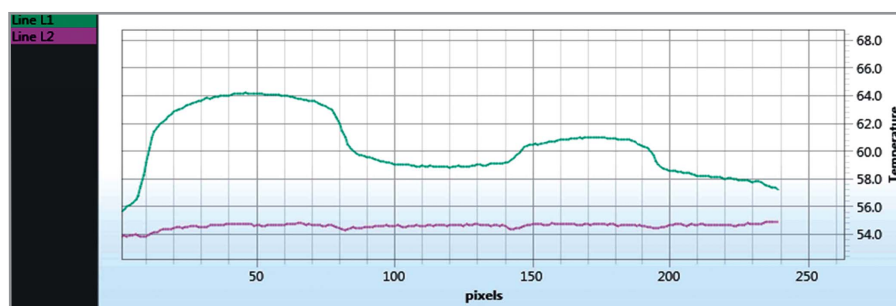


Рис. 3. Отчёт, созданный в ПО анализа и составления отчётов Keysight TrueIR

Таблица отчёта Keysight TrueIR к рисунку 3

Наименование	Минимальный показатель	Максимальный показатель	Средний показатель	Старт координат	Конец координат	Максимальные координаты	Минимальные координаты
L1	55,6	64,2	60,46	(176,1)	(178,239)	(177,42)	(176,1)
L2	53,8	55,0	54,60	(248,1)	(225,239)	(226,237)	(248,8)

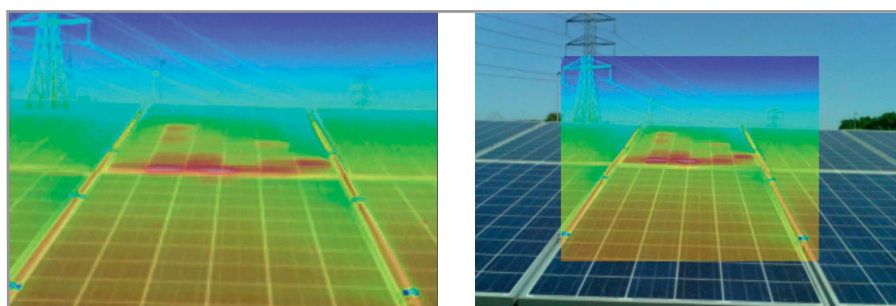


Рис. 4. Режимы наложения изображений (режим совмещения слева и режим «картинка в картинке» справа) позволяет легко выявлять местоположение аномалий, комбинируя термограмму и видимое изображение

верные горячие точки выявляются путём сравнения температуры с соседними нормально работающими фотоэлементами или фотоэлектрическими модулями.

Анализ и отчёт

Захваченные изображения можно импортировать в программное обеспечение тепловизора для анализа, редактирования и составления отчёта (см. рис. 3 и таблицу). Термограммы и визуальные изображения можно расположить рядом для дальнейшего анализа.

Быстрое выявление дефектных панелей

Для быстрого выявления мест возникновения аномалий некоторые тепловизоры имеют встроенный режим наложения, в котором одновременно захватывается видимое изображение и термограмма, которые накладываются друг на друга. Популярными режимами анализа наложенных изображений является режим «картинка в картинке» и режим совмещения. Режим «картинка в картинке» позволяет вставить термограмму в изображение в видимом свете, а режим совмещения – совме-

стить полупрозрачную термограмму с видимым изображением. При наложении термограммы на видимое изображение фотоэлектрической панели обнаружение дефектных фотоэлементов существенно упрощается.

На рисунке 4 показано, как можно настроить наложение изображений с помощью программного обеспечения тепловизора. Наложение термограммы и видимого изображения упрощает выявление аномалий и повышает качество отчётов. Эти изображения можно сопоставить с изображением нормально работающих фотоэлементов, а затем выполнить соответствующие электрические измерения для подтверждения обнаруженных дефектов.

ИК-дефектоскопия используется для оценки работоспособности фотоэлектрических панелей уже много лет. Инфракрасный анализ упрощает выявление отказов и дефектов материала без прерывания работы системы. Тепловизоры могут помочь в обнаружении аномалий и предотвращении отказов, позволяя классифицировать их по приоритету важности, что значительно снизит расходы на техническое обслуживание.

