író: Rahne Eric, okl. villamosmérnök

Napcellás rendszerek termográfiai állapotfelmérése

A termográfia egyik legfiatalabb, de vélhetően nagyon gyorsan növekvő jelentőségű alkalmazása feltételezhetően a napcellák gyártás közbeni minőségellenőrzése és a telepített modulok vagy akár teljes napcellás erőművek állapotfelmérése.

Külön kifejtés nélkül érthető, hogy mi ebben a termográfia pótolhatatlan erőssége. Alkalmazásával akár egy több MW teljesítményű napelemes erőmű is viszonylag rövid idő alatt felmérhető. Amíg például az U-I jelleggörbés ellenőrzések jól kimutatják, hogy baj van és romlik a hatásfok, a hibahelyek és hibatípusok többnyire ezen az úton nem deríthetők fel, modulokra bontva semmiképpen sem. A termográfia ezzel szemben, megfelelő kivitelezést feltételezve, lokalizálhatja a hibahelyeket és többféle, egymástól eltérő hibajelenséget is megkülönböztethet. Főleg a nagy napelemparkok esetében ezzel lehetővé válik a hatékony üzemeltetés és gazdaságos karbantartás.

A napcellás rendszerek ellenőrzése a témakör alapján hasonlít a villamos berendezések termográfiai állapotfelméréséhez. Lényege az, hogy az alulméretezett vagy sérült vezetékek, a rossz kötések a megnövekedett átmeneti ellenállásuk miatt, valamint legtöbb esetben az elektromos szempontból meghibásodott készülékek is a megengedettnél (vagy a szokásosnál) magasabb hőfokra melegednek fel. Az ebből adódó, a villamos berendezések felméréséhez alkalmazott értékelési sablonok és határértékek, a bekötésekre, kábelezésre, elosztókra/gyűjtőkre, szabályozókra és konverterekre itt is érvényesek. Azonban magára a napcellákra és a modulokra nem érvényesíthetők ezek. Jelen témakörben ezért kifejezetten a napcellákhoz szükséges elméleti háttérrel és gyakorlati tudnivalókkal foglalkozunk.

Napcellás mérésekről általánosan

A legnagyobb különbség az eddig bemutatott termográfiai alkalmazásokhoz képest az a körülmény, hogy intenzív napsütés szükséges a kültéri mérés végzéséhez. Ez teljesen ellen-

1

belső fotoelektromos effektus pn-átmeneten

tétes azzal, hogy szinte minden más termográfiai alkalmazás során hangsúlyozzuk, hogy napsütésben és főleg a mérendő tárgy közvetlen napbesugárzása esetén ne végezzünk termográfiai méréseket. Ezt a napsütés reflexiója, illetve a tárgy felhevülése miatt kerüljük el. A napcellás rendszerek bevizsgálása esetében viszont pont a napbesugárzás szükséges ahhoz, hogy a hibajelenségek okozta hőmérséklet-eltérések megjelenjenek. Azok észlelését pedig a napsugárzás üvegfelületi tükröződése nehezíti, mely csak gondosan megválasztott megfigyelési szöggel ellensúlyozható.

Szokásos alkalmazási feltételek és mérési körülmények:

- üzemelő napcellás rendszer energiatermelési üzemállapotban;
- minimum 600 W/m^2 folyamatos napbesugárzás;
- maximális 2/8 Cumulus felhőzet, gyenge gomolyfelhő;
- eső- és hómentesség – a cellákon nem lehet víz vagy hó;
- legfeljebb 4 Beaufort (20...29 km/h) szélerősség (= mérsékelt szél);
- hirtelen besugárzás- vagy terhelésváltozások (>10% / perc) után 10 perc beállási idő kivárása;
- mindenkori valódi besugárzás mérése, hogy névleges besugárzásra át lehessen számolni;
- megfelelő látószög és geometriai felbontás biztosítása;
- nagyobb rendszerek fényképes és GPS-koordinátás dokumentálása.

Termográfiai úton megtalálható hibák

A villamos rendszerelemek szintjén:

- alulméretezett, túlterhelt kábelek, összekötők;
- hibás, meglazult, korrodált érintkezések; sérült vagy szerelési hibás kábelsaruk, érvéghüvelyek;
- hibás szabályozók, konverterek.

A napcellák és modulok szintjén:

- hibás cellaösszekötők;
- felület- és cellakontaktus leválása vagy megnövekedett ellenállása;
- kontaktushiba vagy működő bypass-dióda miatt melegedő modulkötődobozok;
- üresjáratban lévő, terhelés nélküli, rövidzárlatos modulok vagy modulsorok;
- rövidzárlatos vagy polaritáshibás modulok vagy modulsorok;
- növényzet, épületrész vagy szennyeződés miatti beárnyékolások okozta hőhatások;
- üvegrepedések vagy belső mikrorepedések, cellafelület-leszakadások (letörések);
- PID-károsodás (feszültségindukált degradáció).

Napcellákról és szolármodulrendszerekről

Mielőtt nekilátunk a napcellákkal kapcsolatosan termográfiával elvégezhető mérések, illetve vizsgálatok és azok eredményei értékelésének részletes tárgyalásához, tekintsük át a velük kapcsolatos tudnivalókat. Elsősorban következzen néhány háttér-információ a napcellákról és a napcellás rendszerekről, melyek a hibajelenségek és az ezekkel kapcsolatos hőhatások szignifikáns okozói.

Napcellák működése

A napcellák a belső fotoelektromos effektust használják ki. A jelenleg piacvezető cellatípusok szilíciumon alapulnak, melynek a fény felé irányított rétegét foszforatomokkal szennyezik n-réteget alkotva, a „hátsó” rétegét pedig bóratomokkal szennyezve p-réteggé alakítják. A pn-határréteg villamos térerőnek köszönhetően a beérkező fotonok révén szétszakított elektronlyukpárok elektronjai az

Napcellás rendszerek termográfiai állapotfelmérése

napcellák

megvalósításának legelterjedtebb típusai

A belső fotoeffektus kihasználására műszakilag jelenleg vastag rétegű, valamint egyelőre még csak ritkábban, vékony rétegű gyártástechnológiájú napcellák készülnek. Az egyes terméktípusokat elsősorban az alkalmazott anyagok kristályszerkezete alapján különböztetjük meg.

Vastag rétegű technológiában készülnek a következő napcellák:

• Egykristályos szilíciumból (elektronikai gyártáshoz szokásos waferből)

Ez a napelem a tömegesen elterjedt gyártmányok közül a legjobb hatásfokkal bíró napelem. A hatásfoka 16–22% között van, legjobban a közvetlen napfényt tudja hasznosítani. Szórt napfényben már nem teljesít ilyen jól. Élettartama 25-30 év körüli, előállítása azonban drága.

• Polikristályos szilíciumból (például öntött szilíciumból)

Ez a legjobban elterjedt napelemtípus, ami részben a jó hatásfokának, még inkább az egykristályos napelemeknél kedvezőbb árának köszönhető. A hatásfoka 14–20% között van, a többi tulajdonsága hasonlít az egykristályos típusokhoz. Élettartama körülbelül 25 év.

Vékonyréteg-technológiában készülő napcellák:

• Amorf szilíciumból (felgőzöléses technológiával)

Ez a napelemtípus ugyan nagyon kedvezően állítható elő, de hatásfoka csupán 5–10% között van. A szórt napfényt is jól tudja hasznosítani. Élettartama 10-20 év körüli.

Az amorf szilícium helyett Cadmium-Tellurid (CdTe), Galliumarsenid (GaAs) vagy Chalkopyrit (CIGS) félvezető anyagokból is gyártanak napcellákat, melyeknek hatásfoka tipikusan magasabb az amorf szilíciumos gyártmányoknál. Előállításuk költsége viszont egyelőre a többszöröse a szilíciumos típusoknak, így számottevő elterjedésük még nincs. Ugyanez vonatkozik a szerves anyagokon vagy akár elektroliton alapuló találmányokra, például a Grätzel-típusú cellára. Ezek a fejlesztés kezdeténél tartanak. (3. kép)

eleve elektrontöbblettel rendelkező n-réteg, a cellánk negatív pólusa felé gyorsulnak. Közben a lyukak elektronhiányt okoznak a p-rétegben. A két réteg egy elektromos fogyasztó közbeiktatásával történő összeköttetése révén az elektronok visszakerülnek a p-rétegbe, ahol megtörténik az elektronlyukpárok rekombinációja (1. ábra).

Napcellamodulok (szolármodulok) szokásos kialakítása

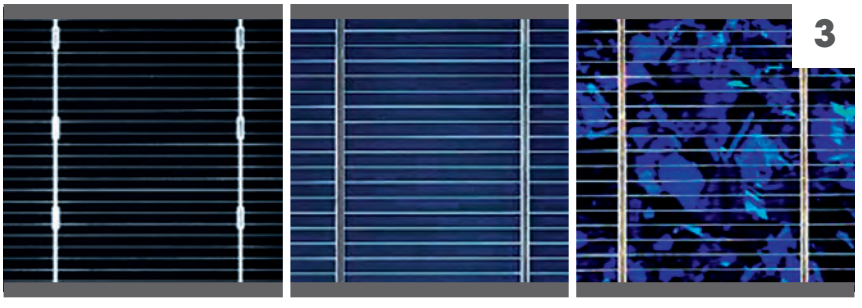
A napcellák eredetileg az elektronikai gyártáshoz készült szilíciumszeletek (wafer) mérete miatt többnyire 6x6" (156x156 mm) területűek. Az egy cellával elérhető feszültség körülbelül 0,5 V DC értékű. Mivel ez a vezetékeken bekövetkező feszültségesés miatt az energiatermelés célú felhasználáshoz kevés lenne, egy ún. szolármodulban vagy panelben 60 darab cellát kötnek sorba. Ezzel már egy 30 V körüli egyenfeszültség áll rendelkezésre. Az így összeállított polikristályos szolármodulok árama 1000 W/m^2 besugárzás esetében eléri a 8 A.

A minél jobb hatásfokú energiaátvitel érdekében még a 30 V-nál is nagyobb feszültség szükséges, ezért a szolármodulmezőkben akár 24 modult is szokás sorba kapcsolni. Egy ilyen modulsor, sztring vagy ágfeszültsége már 720 V DC. Azonban ez egyben 1440 napcella sorba kapcsolását jelenti, mely azzal a veszéllyel jár, hogy egyetlen sérült, működésképtelen cella az egész modulsor minden cellájának teljesítményére kihatással lesz. Ugyanis a sérült cella áramtermelő helyett ellenállásként szerepel, tehát fogyasztóvá válik. A problémát azzal szokás enyhíteni, hogy minden egyes modulban 3 belső ág, ún. substring kerül kialakításra, melyek egyénként kerülő vagy áthidaló, ún. Bypass-diódákkal vannak párhuzamosan kapcsolva. Kieshet tehát valamelyik belső ágban egy cella, akkor ez az ág a diódának köszönhetően nem csökkenti a modul többi ágán átfolyó áramot, csupán mint energiatermelő esik ki. Így sem tökéletes a kép, mert 20 darab cella esik ki az egy hibás cella miatt, de ez még mindig jobb, mint 1440 cella korlátozása.

Amennyiben áramköri szakadás vagy beárnyékolás miatt kiesik egy-egy belső ág, akkor a 2. ábra szerint működésbe lép az érintett ág kerülődiódája. A modul kimeneti feszültsége a teljes modul névleges feszültségének $^1/_3$-ával esik vissza, továbbcsökkenve a dióda 0,3–0,9 V feszültségesésével. Egy névlegesen 30 V DC kimeneti feszültségű modul tehát ilyen esetben már csak 19,1–19,7 V DC feszültséget tud adni. Ez ugyan veszteség, de még mindig jobb, mintha az egész modul esne ki.

A folytatásban

A szolárrendszerek hibái nemcsak a hatásfokot rontó problémák formájában jelentkezhetnek, hanem felmerülhetnek üzembiztonsági kockázatot, akár tűzveszélyt okozó súlyos rendellenességek is. A hibák többféle okokra vezethetők vissza, amely a gyártástól a szállításon és telepítésen át a rossz üzemeltetési vagy meteorológiai behatásokig is terjedhetnek. Ezekről és a hibák vizsgálati módszereiről lesz szó a cikksorozat következő részében. ■



3. kép: Napcella egykristályos szilíciumból (balra és középen), illetve polikristályos szilíciumból (jobbra).