

doi:10.15199/48.2020.11.44

Generatory fotowoltaiczne w kontekście doboru elementów składowych oraz ochrony przeciwpożarowej

Streszczenie. Artykuł przedstawia przegląd informacji w zakresie rodzajów paneli fotowoltaicznych, z których może zostać zbudowany generator fotowoltaiczny. W artykule zawarto przegląd informacji na temat instalacji fotowoltaicznych, z uwzględnieniem doboru elementów systemu generatora fotowoltaicznego w tym bezpieczeństwa pożarowego.

Abstract. The article presents an overview of information on the types of photovoltaic panels from which a photovoltaic generator can be built. The article provides an overview of information on photovoltaic installations, with an emphasis on the selection of elements of the photovoltaic generator system with regard to fire safety (**Photovoltaic generators in the context of the selection of components and fire protection**)

Słowa kluczowe: panel fotowoltaiczny, inwerter, bezpieczeństwo pożarowe, parametr

Keywords: photovoltaic panel, inverter, fire safety, parameter

Wstęp

Panele fotowoltaiczne (PV) coraz częściej są stosowane w budownictwie, jako źródła mocy elektrycznej. Cel ich zastosowania może być różny i nie tylko związany wprost z potrzebą korzystania z darmowej energii elektrycznej. Czasami zastosowanie generatorów fotowoltaicznych na budynkach, szczególnie budynkach biurowych, może mieć aspekt komercyjny, pozwalający uzyskać dodatkowy certyfikat (np. Breeam, Leed), co przełoży się na dodatkowy prestiż nie tylko danej nieruchomości, ale także na wzrost ceny wynajęcia/sprzedaży powierzchni biurowych.

Niezależnie, jakie są przesłanki do stosowania paneli fotowoltaicznych, projektant czy inwestor powinni być świadomi produktu, który będzie instalowany, możliwości technicznych zastosowanych rodzajów paneli jak również niebezpieczeństw pochodzących ze strony źle skonfigurowanego systemu.

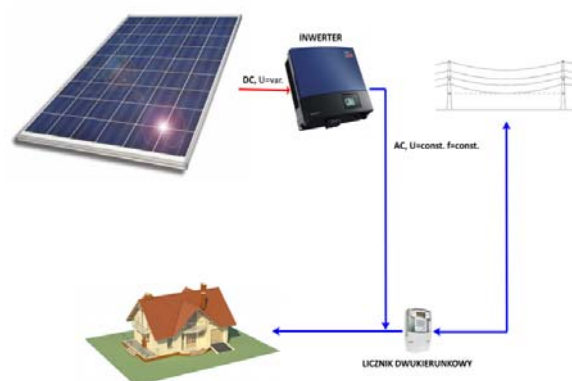
W artykule zawarto ogólny przegląd informacji na temat instalacji fotowoltaicznych, kładąc główny nacisk na dobór systemu generatora fotowoltaicznego z uwzględnieniem bezpieczeństwa pożarowego.

Typy instalacji fotowoltaicznych

Zasadniczo dostępne są dwa typy instalacji fotowoltaicznych, których działanie związane jest z możliwością współpracy paneli fotowoltaicznych z siecią elektroenergetyczną. Dlatego wyróżniamy instalacje typu on-grid oraz off-grid.

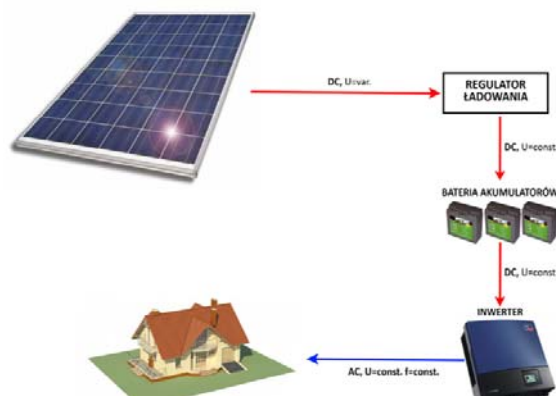
Instalacja on-grid pozwala na włączenie generatorów energii odnawialnej do sieci elektroenergetycznej na przykład na poziomie niskiego napięcia i tym samym odsprzedać wyprodukowaną energię elektryczną operatorowi systemu dystrybucyjnego. Operatorzy są skłonni do przyjęcia do swojej sieci tego typu źródła m.in. z powodu zwiększania udziału źródeł odnawialnej energii w stosunku do źródeł konwencjonalnych - ma to wpływ bezpośrednio na wskaźnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytwarzanie i dostarczenie nośnika energii końcowej na oświetlenie (w_{el}) przy wyznaczaniu wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię pierwotną przez system oświetlenia wbudowanego w ramach metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej. Standardowo $w_{el}=3$ [10], zaś instalacje energii odnawialnej mogą go zmniejszyć (np. $w_{el}=2,7$). Z punktu widzenia inwestora, instalacja on-grid jest najtańszą formą instalacji fotowoltaicznej powiązaną z dużą trwałością komponentów oraz uzyskaniem gratyfikacji z racji odsprzedaży energii elektrycznej wyprodukowanej przez generatory. Z pewnością główną wadą tej instalacji będzie brak

możliwości korzystania z energii produkowanej przez panele w przypadku braku zasilania z sieci elektroenergetycznej.



Rys.1. Przykładowa instalacja fotowoltaiczna typu on-grid [1]

Instalacja off-grid nie pozwala na odsprzedaż energii elektrycznej do sieci. Produkowana energia elektryczna będzie zużywana na bieżąco lub akumulowana w nośnikach energii jak np. akumulatory. Dzięki temu instalacja taka charakteryzuje się dużą autonomią energetyczną z możliwością nawet 100% pokrycia zapotrzebowania na energię elektryczną podłączonych odbiorów. Niestety taka instalacja będzie droższa w wykonaniu w stosunku do instalacji on-grid.

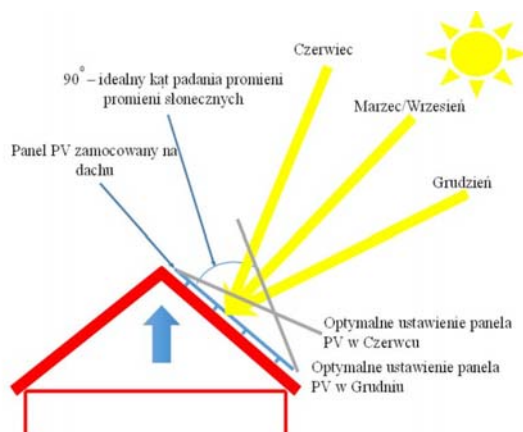


Rys.2. Przykładowa instalacja fotowoltaiczna typu off-grid [1]

Posadowienie paneli fotowoltaicznych

Niezmiernie istotny wpływ na pracę paneli fotowoltaicznych będzie miało odpowiednie posadowienie paneli fotowoltaicznych. W zasadzie mogą być lokalizowane wszędzie tam, gdzie dociera promieniowanie słoneczne, przy czym wskazane jest optymalizowanie tej lokalizacji w celu osiągnięcia jak największej sprawności całej instalacji. Miejscem instalacji mogą być dachy budynków, elewacji czy grunt, byle obszary takiej instalacji były niezacieniane przez inne obiekty. Idealną orientacją w stosunku do stron świata jest południe.

Optymalnym kątem nachylenia jest kąt od 25° do 35° , natomiast większe lub mniejsze nachylenia mogą wpływać na spadek poziomu produkcji energii elektrycznej [1]. Zachowanie optymalnego kąta nachylenia wymaga, zatem zastosowania systemu nadążnego w ramach podkonstrukcji nośnej paneli, który będzie monitorował położenia słońca na niebie w zależności od pory roku, co można zobrazować na rysunku 3. Budowanie tego typu konstrukcji jest drogie, dlatego też inwestorzy, szczególnie ci mali, produkujący energię wyłącznie na własne potrzeby, nie biorą systemu nadążnego pod uwagę, głównie z powodu kosztów i niewielkich korzyści z takiego systemu w stosunku do realnych strat w sprawności wytwarzaniu energii elektrycznej.



Rys. 3. Ustawienie paneli względem kąta padania promieni słonecznych [1].

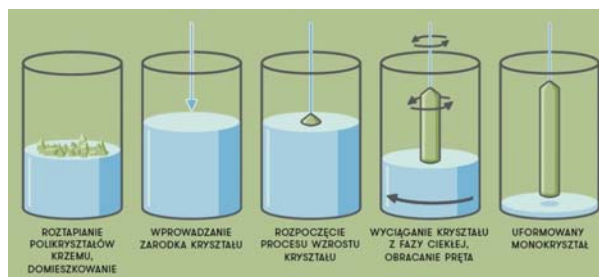
Jaki rodzaj paneli fotowoltaicznych wybrać?

Z pewnością wielu inwestorów zastanawia się, jaki rodzaj paneli fotowoltaicznych wybrać do swojej instalacji. Jeżeli taka instalacja jest realizowana własnoręcznie, zapewne świadomość inwestora w tym zakresie będzie duża, jeżeli jednak pozostawia się wybór po stronie firmy specjalizującej się w doborze i instalacji paneli, świadomość inwestora może być mniejsza, bo pozostawiono wybór specjalistom. Niestety wybór nie jest łatwy, bowiem każdy ze stosowanych paneli ma swoje wady i zalety, które trzeba odnieść do panujących warunków atmosferycznych i klimatycznych w miejscu ich instalacji.

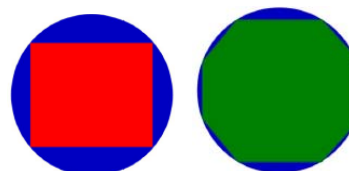
Najbardziej powszechne w Polsce są panele monokrystaliczne i polikrystaliczne.

Panele monokrystaliczne wytwarzane są z jednego kryształu krzemu w ramach procesu jego tworzenia, w oparciu o metody Czochralskiego, Bridgmana czy topnienia strefowego. W oparciu o metodę Czochralskiego (polski uczonec, profesor, chemik-metalurg, żył w latach 1885-1953) fazy tworzenia monokryształów można zobrazować za pomocą rysunku 4, gdzie przedstawiono pięć faz tworzenia monokryształu. Powstaje w wyniku produkcji kryształ w formie walca o długości kilku metrów i średnicy ok. 30 cm. Ponieważ pocięcie walca w poprzek daje elementy w

kształcie krążka, taka forma nie jest zbyt właściwa przy próbie ich układania jeden koło drugiego w celu utworzenia panelu – powstają, bowiem puste miejsca na styku poszczególnych krążków, co wpływa na sprawność energetyczną takiego panelu. Uformowanie z kolei z walca prostopadłościanu, co dawałoby następnie po pocięciu kryształu w krążki w kształcie kwadratów i tym samym możliwość zbudowania panelu o wysokiej sprawności energetycznej, spowoduje niestety zbyt duże straty materiały. Dlatego też w ramach wycinania z walca krążków, odcina się niewielkie fragmenty zbędnego kryształu pozostawiając charakterystyczny kształt osmiokąta, z którego można dalej złożyć panel fotowoltaiczny o stosunkowo dużej sprawności (patrz rys. 5).



Rys. 4. Fazy tworzenia monokryształu w oparciu o metodę Czochralskiego [2].



Rys. 5. Sposoby cięcia monokryształu i otrzymania różnych kształtów składowych przyszłych paneli fotowoltaicznych [3].

Na rynku są dostępne także panele fotowoltaiczne cienkowarstwowe zbudowane z krzemu amorficznego, CdTe, CIS i CIGS. Panele te są tańsze i znacznie lżejsze niż panele polikrystaliczne i panele monokrystaliczne. Zaletą ich jest mała wrażliwość na wysokie temperatury, przez co w miesiącach letnich spadek ich sprawności nie będzie odczuwalny. Wymagają jednak droższej instalacji wyposażonej np. w inwerter transformatorowy galwanicznie izolowany. Panele cienkowarstwowe starszej generacji są podatne na korozję warstwy TCO (ang. Transparent Conductive Oxide), która powoduje ich mętnienie, a przez to spadek sprawności. Sprawność paneli zbudowanych z: krzemu amorficznego to ok. 12%; CdTe (tellurek kadmu) ok. 14%, CIS (miedź, ind, selen) oraz CIGD (miedź, ind, selen, gal) ok. 8% [4].

Parametry elektryczne paneli fotowoltaicznych

Jak każde urządzenia elektryczne, tak samo panele fotowoltaiczne będą charakteryzować się szeregiem parametrów, które są potrzebne do zbudowaniażądanego układu tworzącego generator fotowoltaiczny. Do najważniejszych parametrów zaliczamy [12]:

- I_{sc} natężenie prądu zwarcia - parametr ten opisuje maksymalne osiągnięte przez panel natężenie prądu przy napięciu 0V (zwarcie biegunów, brak obciążenia);
- V_{oc} (U_{oc}) – napięcie jałowe obwodu otwartego - czyli maksymalne napięcie, jakie panel może osiągnąć przy prądzie równym 0A, czyli w obwodzie bez obciążenia;
- I_{mpp} – natężenie prądu w punkcie mocy maksymalnej (prąd znamionowy) – czyli natężenie modułu, przy

generowaniu przez niego maksymalnej mocy, jaką w danych warunkach atmosferycznych jest w stanie osiągnąć;

d) V_{mpp} (U_{mpp}) – napięcie w punkcie mocy maksymalnej (napięcie znamionowe) – czyli napięcie uzyskiwane przez panel przy generowaniu przez niego maksymalnej mocy, jaką w danych warunkach atmosferycznych jest w stanie osiągnąć.

e) P_{max} – moc maksymalna elektryczna (znamionowa) generowana w ustalonych warunkach temperaturowych przez panel fotowoltaiczny.

Z wymienionymi powyżej parametrami związane będą tzw. współczynniki temperaturowe, które wskazują na fakt, że im temperatura panelu fotowoltaicznego wyższa, to sprawność jego maleje. Te współczynniki to współczynniki temperaturowe powiązane z parametrami I_{sc} , V_{oc} , P_{max} . Dla przykładu, jeżeli przyjąć panelu fotowoltaicznego, dla którego określono następujące wartości parametrów: $V_{oc} = 37,4$ V, a współczynnik temperaturowy dla V_{oc} wynosi $0,3\%/^{\circ}C$; $I_{sc} = 8,83$ A i współczynnik temperaturowy dla I_{sc} równy $0,04\%/^{\circ}C$; $P_{max} = 250$ W i współczynnik temperaturowy dla P_{max} równy $0,4\%/^{\circ}C$ oraz temperatura ogniwa $25^{\circ}C$. Okazuje się, zatem, że przy zmianie temperatury zaledwie o $1^{\circ}C$ będzie powodował spadek napięcia obwodu otwartego na module PV o $0,112$ V. Zmiana prądu zwarcia I_{sc} nastąpi o $0,0035$ A. Czyli zmiana prądu zwarcia jest około 30 krotnie mniejsza w stosunku do zmian napięcia V_{oc} . W przypadku mocy maksymalnych P_{max} zmiana temperatury o $1^{\circ}C$ to zmiana mocy o 1W. Mając powyższe na uwadze, zauważmy, że przy temperaturze paneli ok. $75^{\circ}C$ otrzymamy moc panelu, 200W choć P_{max} wynosi 250W, a napięcie V_{oc} równe 31,8V. Z kolei przy temperaturach ujemnych, np. $-25^{\circ}C$ (dla zachowania tej samej różnicy temperatur w stosunku do temperatury ogniwa $25^{\circ}C$) mamy moc panelu 300W zamiast 250W i napięcie V_{oc} wynoszące 43V. Te zmiany powstałe w wyniku wahań temperatury powinny być uwzględniane w np. w tworzeniu stringów (zespołu połączonych szeregowo paneli fotowoltaicznych), które są podłączone do wejścia falownika, tak, aby nie przekroczyć maksymalnych wartości progowych danego wejścia. Zmiany napięcia V_{oc} czy prądu I_{sc} powinny także być możliwie niewielkie w stosunku do zmian temperaturowych. Dlatego należy dobrać panele fotowoltaiczne o możliwie jak najmniejszych współczynnikach temperaturowych [5].

Warunki pracy paneli fotowoltaicznych [6]

Jak wskazano wcześniej, zmiana temperatury będzie wpływać na parametry pracy paneli fotowoltaicznych. Te zmiany będą potęgowane także przez inne warunki atmosferyczne występujące w miejscu montażu paneli, co będzie związane z szerokością geograficzną i wysokością nad poziomem morza. Dlatego producenci określają dla swoich produktów standardowe warunki atmosferyczne STC (ang. Standard Test Conditions), oraz normalne warunki pracy NOCT (ang. Normal Operating Cell Temperature). Warunki STC zakładają: nasłonecznienie 1000 W/m²; temperaturę ogniw oświetlanego panelu $+25^{\circ}C$; spektrum promieniowania dla gęstości atmosfery 1,5 (AM 1,5). Z kolei warunki NOCT zakładają: - nasłonecznienie 800 W/m²; temperaturę ogniw oświetlanego panelu $+20^{\circ}C$; spektrum promieniowania dla gęstości atmosfery 1,5 (AM 1,5); prędkość wiatru 1 m/s (dla warunków atmosferycznych panujących w Polsce, spełnienie wymogów NOCT będzie łatwiejsze niż STC). W związku z powyższym możemy dla tego samego panelu fotowoltaicznego uzyskać inne parametry pracy, co także powinno być brane pod uwagę w trakcie dobierania paneli do formułowania struktury generatora fotowoltaicznego. Na

rysunku 6 porównano parametry tych samych typów paneli, ale dla różnych warunków pracy STC i NOCT.

Electrical Properties (STC*)

	LG270S1C-A3	LG265S1C-A3	LG260S1C-A3
Maximum power at STC (Pmpp)	270	265	260
MPP voltage (Vmpp)	31.5	31.3	31.1
MPP current (Impp)	8.58	8.49	8.38
Open circuit voltage (Voc)	38.5	38.3	38.1
Short circuit current (Isc)	9.17	9.11	9.05

Electrical Properties (NOCT*)

	LG270S1C-A3	LG265S1C-A3	LG260S1C-A3
Maximum power (Pmpp)	198	195	191
MPP voltage (Vmpp)	29.0	28.8	28.6
MPP current (Impp)	6.84	6.77	6.68
Open circuit voltage (Voc)	35.7	35.5	35.3
Short circuit current (Isc)	7.39	7.34	7.29

Rys. 6. Porównanie tych samych paneli fotowoltaicznych zależnie od warunków pracy [6].

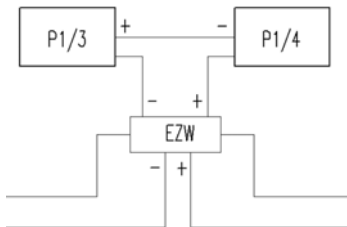
Bezpieczeństwo pożarowe paneli fotowoltaicznych

Panele fotowoltaiczne mogą być przyczyną pożarów. Na przyczyny pożarów będzie składać się wiele elementów, a na te, które warto zwrócić uwagę to:

- Brak wykonania generatora fotowoltaicznego w ramach jednego, dedykowanego systemu;
- Nieprawidłowe przewody podłączeniowe od paneli do inwerterów (niededykowane, jako PV-solarne);
- Zastosowanie złączy różnych producentów;
- Niestosowanie paneli o odpowiedniej klasie ogniowej oraz klasie wykonania (klasa A – ogniwa bez wad; klasa B – ogniwa z nielicznymi uszkodzeniami/skazami; klasa C – ogniwa z licznymi skazami);
- Montaż w pobliżu łatwopalnych (łatwo zapalnych) materiałów;
- Montaż paneli bezpośrednio na poszyciu dachowym bez konstrukcji wsporczej (odstęp min. 15 cm);
- Brak pozostawienia zapasu długości kabli, w celu kompensacji rozszerzalności cieplnej kabla w związku z panującą temperaturą zewnętrzną w miejscu ich instalacji;
- Brak montażu przewodów i konektorów wyłącznie do ramy wsporczej paneli (konektory w zakresie temperatur od $-35^{\circ}C$ do $90^{\circ}C$);
- Specjalne konstrukcje paneli (na obiektach szczególnie istotnych) np. w formie „double glass”, gdzie ogień nie przechodzi z tylnej ściany panelu do kabla i konektora i dalej do połaci dachu, lecz jest rozprzestrzeniany na inne panele;
- Brak zachowania minimalnej odległości między panelami (min. 2 cm);
- Brak unikania pętli, w których indukuje się napięcie (należy prowadzić blisko przewody + oraz -, równolegle do siebie).

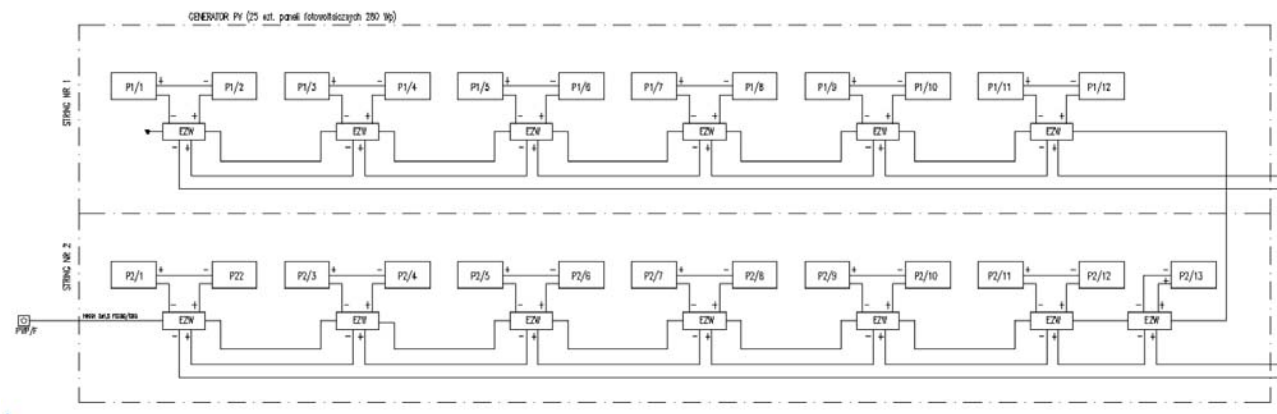
Wymienione powyżej przyczyny pożarów spowodują, że straż pożarna musi stawić czoło powstałej sytuacji. Pojawia się jednak problem, bowiem straż pożarna, zanim wejdzie do budynku i podejmie działania mające na celu ugaszenie pożaru, musi odłączyć od zasilania urządzenia, które nie biorą udziału w akcji pożarowej [7]. Palące się panele fotowoltaiczne lub palący się dach w pobliżu paneli fotowoltaicznych, to mimo wszystko nadal źródło energii elektrycznej. Gaszenie takiego pożaru stanowi niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym stałym. Stąd też w nowelizacji Prawa Budowlanego [8] pojawił się zapis mówiący o konieczności uzgodnienia z rzeczoznawcą do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych pod względem zgodności z wymaganiami ochrony przeciwpożarowej dla generatorów fotowoltaicznych o mocy powyżej 6,5 kW. Ma

to za zadanie uzgodnić z rzeczoznawcą na etapie projektowania sposobu wyłączania paneli fotowoltaicznych w czasie zagrożenia pożarem. Obecnie wyłączenie nie polega tylko na odłączeniu inwertera od instalacji elektrycznej budynku, lecz także zastosowanie specjalnych aparatów, na które w wyniku zadziałania przycisku głównego wyłącznika prądu (ppoż.) zostanie podany sygnał, który wymusi zwarcie styków wyjściowych paneli fotowoltaicznych. Dzięki temu generowany prąd elektryczny nie będzie wyprowadzany poza panele. Przykład takiego aparatu został pokazany na rysunku 7.



Rys. 7. Aparat zwierający (EZW) w połączeniu do paneli fotowoltaicznych (P1/3 oraz P1/4) – autor Tomasz Koźbiał.

Aparat zwierający to EZW - elektroniczny zwieracz dla paneli fotowoltaicznych. W momencie wystąpienia takiej potrzeby, poprzez przycisk ppoż., zwiera dwa panele ze sobą, „hamując” wydobywanie się prądu z paneli do stringów – prąd zwarcia paneli krąży w obwodzie między EZW a panelami. Zwarcie biegunów wyjściowych powoduje przepływ prądu zwarciego o wartości około 20% większej od prądu znamionowego i spadek napięcia na zaciskach falownika do wartości bliskiej zero [9]. Konstrukcja aparatu polega na tym, że są wprowadzane do niego linie od paneli (zaciski górne +, -), następnie wyprowadzane linie do podłączenia szeregowego z kolejnymi EZW (zaciski dolne +, -) w celu utworzenia stringów oraz linia komunikacyjna między poszczególnymi EZW, do przekazywania informacji o wykonaniu zwarcia paneli. Poszczególne EZW są budowane na odpowiednie prądy zwarcia, maksymalne napięcia wyjściowe dla pracy bez pożaru oraz maksymalną moc wejściową systemu. Stąd też dobór takich elementów będzie zależał od mocy stringów, w których pracują panele, zaś liczba możliwych do zwarcia paneli zależna będzie od prądu zwarciego EZW. Przykładowy układ paneli z aparatami zwierającymi został przedstawiony na rysunku 8.



Rys. 8. Przykładowy schemat dwóch stringów z panelami fotowoltaicznymi (P..) z wbudowanymi aparatami zwierającymi EZW oraz przeciwpożarowym wyłącznikiem prądu (PWP..) – autor Tomasz Koźbiał

Podstawowe wyliczenia dla generatora fotowoltaicznego [9], [11]

Na rysunku 8 wskazano dwa stringi (obwody prądu stałego) z podłączonymi do nich szeregowo panelami fotowoltaicznymi. Te dwa stringi będą podłączone dalej do inwertera a następnie do instalacji elektrycznej. Poszczególne elementy tego układu powinny zostać dobrane w stosunku do parametrów paneli i inwerterów, jakie mają być zastosowane. Dla temperatur pracy paneli (w Polsce od -25°C do 70°C) określamy parametry paneli fotowoltaicznych w oparciu o zależności:

$$(1) \quad I_{sc}(T_M) = I_{sc} \left[1 + (T_M - 25) \frac{\alpha_T}{100} \right]$$

$$(2) \quad U_{oc}(T_M) = U_{oc} \left[1 + (T_M - 25) \frac{\beta_T}{100} \right]$$

$$(3) \quad P_{MPP}(T_M) = P_{MPP} \left[1 + (T_M - 25) \frac{\gamma_T}{100} \right]$$

gdzie: T_M – temperatura oświetlonego modułu PV [°C], $\alpha_T, \beta_T, \gamma_T$ – współczynniki temperaturowe dla prądu, napięcia i mocy [%/°C].

Przyjęta temperatura T_M to temperatura oświetlonego panelu, którą można wyznaczyć w oparciu o temperaturę otoczenia T_{OT} , natężenia promieniowania słonecznego E ($W \cdot m^{-2}$) oraz o warunki pracy paneli, co obrazuje wzór:

$$(4) \quad T_M = T_{OT} + \frac{(NOCT-20) \cdot E}{800}$$

gdzie: T_{OT} – temperatura oświetlonego modułu otoczenia modułu PV [°C], NOCT – temperatura pracy modułu w warunkach normalnych [°C], E – natężenie promieniowania słonecznego [$W \cdot m^{-2}$].

Maksymalna liczba paneli w tzw. stringu, czyli szeregowym połączeniu określonej liczby modułów paneli fotowoltaicznych, podłączonych do jednego wejścia inwertera określimy w oparciu o zależność odniesioną do napięcia jałowego obwodu otwartego liczonego dla różnych temperatur:

$$(5) \quad L_{MAX,M} = \begin{cases} \frac{U_{MAX,INV}}{U_{OC(-25^{\circ}C)}} \\ \frac{U_{MAX,INV}}{U_{OC(-10^{\circ}C)}} \\ \frac{U_{MPPT,MAX}}{U_{MPP(-15^{\circ}C)}} \end{cases}$$

gdzie: $U_{MAX,INV}$ – maksymalne napięcie wejściowe DC inwertera, $U_{MPPT,MAX}$ – maksymalne napięcie MPPT.

Minimalna liczba paneli w tzw. stringu, czyli szeregowym połączeniu określonej liczby modułów paneli

fotowoltaicznych, podłączonych do jednego wejścia inwertera, zostanie wyznaczona z zależności:

$$(6) \quad L_{MIN,M} = \frac{U_{MPPT,MIN}}{U_{MPP(70^{\circ}C)}}$$

gdzie: $U_{MPPT,MIN}$ – minimalne napięcie MPPT (ang. Maximum Power Point Tracking).

Liczba stringów (obwodów), które mogą przypadać na projektowany system paneli fotowoltaicznych wyznaczmy ze wzoru:

$$(7) \quad L_{OBW} = \frac{L_{ZLM}}{L_{OBL,M}}$$

gdzie: L_{ZLM} – powierzchnia do zagospodarowania przez panele fotowoltaiczne, $L_{OBL,M}$ – przyjęta obliczeniowa liczba modułów PV zbliżona do ich liczby maksymalnej $L_{MAX,M}$.

Znane muszą być dostępne MPPT (to zaawansowany układ śledzenia maksymalnego punktu mocy ang. Maximum Power Point Tracking) oraz maksymalne natężenie prądu inwertera przypadające na jeden MPPT.

Następnie należy dobrać zabezpieczenie zwarciove i przeciążeniowe dla poszczególnych stringów (obwody), zwykle są to topiki z charakterystyką gPV, dobór przewodów typu solarnego tworzących stringi, dobór ochronników przeciwprzepięciowych dla poszczególnych stringów typu DC oraz przewody/kable łączące inwerter z instalacją elektryczną (jeśli są to kable prowadzone na zewnątrz to z uwzględnieniem wpływu promieniowania UV oraz układania np. w ziemi, w przypadku układania w budynku to kable/przewody powinny odnosić się do metod układania oraz w jakich strefach budynku są układane, co może się wiązać z wyborem kabla/przewodu o odpowiedniej reakcji na ogień).

Wnioski

Projektowanie generatorów fotowoltaicznych nie jest sprawą oczywistą i prostą. Wymaga wiedzy zarówno na temat rodzajów i typów paneli, ich budowy i sprawności, co ostatecznie przełoży się na pracę całego układu. Należy mieć na uwadze także kwestie parametrów elektrycznych charakteryzujących panele, a w ich oparciu wykonanie szeregu obliczeń mających za zadanie dobrać ilość stringów, inwerter oraz okablowanie i aparaty współtowarzyszące całej instalacji. Na koniec należy rozważać kwestie związane z bezpieczeństwem

pożarowym. Widać, zatem, że ten ciąg czynności ma za zadanie pokazać rzetelność w doborze struktury generatora fotowoltaicznego, co przełoży się na jego prawidłową pracę i bezpieczeństwo użytkowania także w czasie pożaru.

Autor: dr inż. Tomasz Koźbiał, Politechnika Warszawska, Instytut Elektroenergetyki, E-mail: tomasz.kozbial@ien.pw.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Czym jest fotowoltaika?, <https://www.efrwp.pl/projekt-energia-ze-slonca/czym-jest-fotowoltaika>
- [2] Kuligiewicz M., Niedzielska E., Monokryształy Jana Czochralskiego, <https://www.centrumnaukiec1.pl/aktualnosci/m-onokryształy-jana-czochralskiego?language=pl>
- [3] Dlaczego między ogniwami monokrystalicznymi są przerwy?, <http://solaris18.blogspot.com/2010/12/dlaczego-miedzy-ogniwami.html>
- [4] Rodzaje paneli fotowoltaicznych, <http://planenergia.pl/post/rodzaje-paneli-fotowoltaicznych>
- [5] Góra T., PV-jak interpretować parametry ogniw?, <https://www.kompaniasolarna.pl/slowniczek-oze/pv-jak-interpretowac-parametry-ogniw/>
- [6] Parametry pracy paneli PV, <http://www.instsani.pl/513/parametry-pracy-paneli-pv>
- [7] Dz. U. 2019 poz. 1065 - obwieszczenie Ministra Inwestycji o Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie
- [8] Dz.U. 2020 poz. 471 – Ustawa z dnia 13 lutego 2020 r. o zmianie ustawy - Prawo budowlane oraz niektórych innych ustaw
- [9] Wiatr J., Instalacje fotowoltaiczne, dobór falownika, przewodów oraz ich zabezpieczeń, neutralizacja zagrożeń od instalacji PV w czasie pożaru, *Biuletyn Techniczny Oddziału Krakowskiego Stowarzyszenia Elektryków Polskich* nr 3 (66) 2016.
- [10] Dz.U. Nr 2014, poz. 888 - Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 3 czerwca 2014 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej
- [11] Sarniak M., Uproszczona metoda doboru inwertera do systemu fotowoltaicznego dołączonego do sieci, *Motrol Commision of motorization and energetics in agriculture* (2014), vol. 16, nr 1, 135-140
- [12] Szczerbowski R., Instalacje fotowoltaiczne – aspekty techniczno-ekonomiczne, *Przegląd Elektrotechniczny*, doi:10.12915/pe.2014.10.08