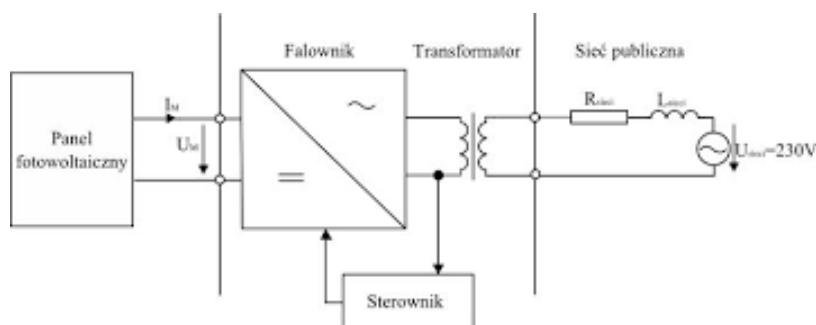


OGRANICZENIA MOCY GENERATORA PV, PRZYŁĄCZANEGO DO SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ

mgr inż. Julian Wiatr

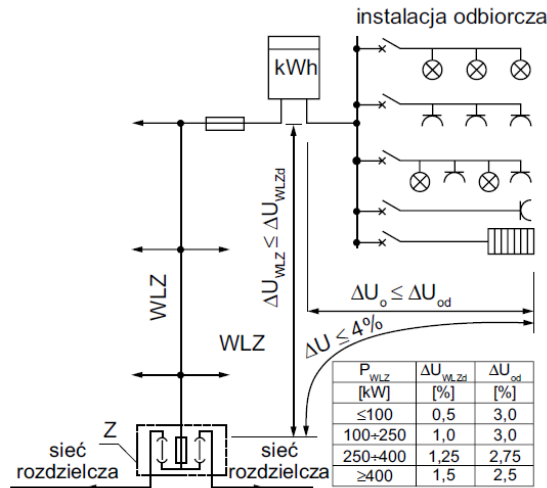
Po wybudowaniu i uruchomieniu instalacji PV przyłączanej do sieci elektroenergetycznej często występuje zjawisko odłączania przez falownik od Systemu Elektroenergetycznego. Przyczyna tego zjawiska wynika z braku dopasowania generowanej mocy w układzie PV do możliwości sieci elektroenergetycznej, do której dołączony jest prosument. Projektanci często spełniają oczekiwania inwestora projektując układ PV o wymaganej mocy, możliwej do uzyskania w danych warunkach nasłonecznienia oraz usłonecznienia, bez analizy układu sieci elektroenergetycznej.

W dobie poszukiwania alternatywnych źródeł energii, przyjaznych dla środowiska, powszechnym stało się przyłączanie przydomowych instalacji fotowoltaicznych do sieci elektroenergetycznej, do której może zostać przekazany nadmiar wyprodukowanej energii elektrycznej przez system PV. Napięcie w miejscu przyłączenia falownika do sieci elektroenergetycznej ulega zmianom wskutek interakcji falownika oraz sieci elektroenergetycznej. Napięcie to zależy w dużej mierze od wartości napięcia zasilającego w sieci elektroenergetycznej. Przyjmuje się dopuszczalny spadek napięcia pomiędzy falownikiem a miejscem przyłączenia do Systemu Elektroenergetycznego, którego częścią jest elektroenergetyczna sieć zasilająca nn, wynoszący nie więcej niż **1%** ze względu na minimalizację strat. Wymóg ten jest prosty do spełnienia na etapie projektowania systemu PV przez dobór właściwego przekroju przewodu. Nieco trudniej jest zapanować nad dopuszczalnym spadkiem napięcia w sieci zasilającej, który zgodnie z wymaganiami normy **PN-HD 60364-5-52:2011**, przy zasilaniu z publicznej sieci elektroenergetycznej nie powinien przekraczać **5%** od dolnych zacisków transformatora do podstaw bezpiecznikowych w złączu budynku. Natomiast zgodnie z normą **N SEP-E 004** dopuszczalny spadek napięcia od złącza do najbardziej obciążonego odbiornika nie może przekraczać **4%**. Norma ta określa dopuszczalny spadek napięcia od złącza do zacisków rozdzielnicy za licznikiem zużytej energii elektrycznej. W tym miejscu następuje przyłączenie przewodów wyprowadzających energię z falownika przyłączanego do SEE układu PV. **Rys. 1** przedstawia uproszczony schemat przyłączenia systemu PV do Systemu Elektroenergetycznego.



Rys. 1: Uproszczony schemat przyłączenia układu PV do SEE

Na **rys. 2** zostały przedstawione wymagania dotyczące dopuszczalnego spadku napięcia w instalacji odbiorczej budynku określone w normie **N SEP-E 002**.



Rys.2: Dopuszczalne spadki napięć w instalacji odbiorczej budynku w zależności od mocy pobieranej z SEE [2]

Zgodnie z obowiązującymi normami, w miejscu przyłączenia falownika systemu **PV**, dopuszczalny spadek napięcia nie powinien przekraczać wartości $\Delta U_{dop} = (5+1,5) = 6,5\%$.

W praktyce występujące spadki napięcia w sieciach zasilających mogą odbiegać od wymagań norm. Jest spowodowane stanem technicznym sieci, które wielu miejscach wymagają przebudowy a mimo to przyłączani są do nich nowi odbiorcy. Na wartość spadku napięcia mają wpływ dwa parametry: przekrój przewodów oraz przesyłana moc.

Zgodnie z wymaganiami normy niemieckiej **DIN VDE 0126-1-1:2013-08 *Selbsttätige Schaltstelle zwischen einer netzparallelen Eigenerzeugungsanlage und dem öffentlichen Niederspannungsnetz***,

maksymalny wzrost napięcia w miejscu przyłączenia falownika do sieci elektroenergetycznej nie może przekroczyć **253 V**. Jeżeli średnia wartość napięcia w czasie **10 minut** przekroczy wartość **253 V** miejscu przyłączenia falownika do sieci elektroenergetycznej, falownik odłączy się automatycznie od sieci. Natomiast przekroczenie napięcia **260 V** powoduje natychmiastowe odłączenie falownika od sieci elektroenergetycznej. Podczas projektowania układu przyłączenia falownika do sieci elektroenergetycznej należy zachować dopuszczalny spadek napięcia pomiędzy falownikiem a miejscem przyłączenia $\Delta U \leq 1\%$, czyli $\Delta U = 253 - U_{rz}$ (gdzie: U_{rz} – rzeczywista wartość napięcia w miejscu przyłączenia instalacji PV). Maksymalna moc generatora PV jest uzależniona od impedancji obwodu dla zwarcia jednofazowych, obejmujących transformator SN/nn, linię elektroenergetyczną, przyłącze oraz odcinek obwodu łączący rozdzielnicę budynku z falownikiem systemu PV. Maksymalną wartość mocy generatora **PV** możliwą do przyłączenia do sieci elektroenergetycznej należy wyznaczyć z następującego wzoru:

$$P_{max} = 1,1 \cdot U_n \cdot \frac{\Delta U}{Z_{k1}} = 1,1 \cdot 230 \cdot \frac{253 - U_{rz}}{Z_{k1}}$$

Gdzie:

U_{rz} – rzeczywista wartość napięcia w miejscu przyłączenia układu PV do sieci elektroenergetycznej, w [V]
 Z_{k1} – impedancja obwodu zwarcia jednofazowego od transformatora SN/nn do rozdzielnicę budynku z uwzględnieniem obwodu zwarcia jednofazowego od falownika do rozdzielnicę budynku, w [Ω].

Przykład

Określić możliwą do przyłączenia moc generatora fotowoltaicznego do budynku jednorodzinnego zasilanego, zasilanego z sieci elektroenergetycznej nn przyłączonej do transformatora 15/0,4 kV o mocy $S_n=160$ kVA. Budynek jest przyłączony przewodem napowietrznym ASXS_n 4x16, długości 25 m do napowietrznej linii elektroenergetycznej 3x400/230 V wykonanej przewodem ASXS_n 4x50 w odległości 250 m od stacji transformatorowej. Rozdzielnica główna budynku jest połączona z falownikiem systemu PV kablem YKY 5x10 długości 20 m, układanym w ziem. Przyjąć średnie wskazanie miernika dla napięcia w miejscu przyłączenia $U_{rz} = 230$ V.

- parametry zwarciove transformatora (Poradnik Projektanta Elektryka - tabela Z.3.1):

$$X_T = 0,0469 \Omega$$

$$R_T = 0,0126 \Omega$$

- parametry zwarciove linii napowietrznej:

$$R_l = \frac{l}{\gamma \cdot S} = \frac{250}{35 \cdot 50} = 0,091 \Omega$$

- parametry zwarciove przyłącza do linii napowietrznej:

$$R_p = \frac{l}{\gamma \cdot S} = \frac{25}{35 \cdot 16} = 0,028 \Omega$$

- parametry zwarciove linii kablowej łączącej falownik z rozdzielnicą budynku:

$$R_{pPV} = \frac{l}{\gamma \cdot S} = \frac{20}{55 \cdot 10} = 0,036 \Omega$$

$$\begin{aligned} Z_{k1} &= \sqrt{[R_T + 2 \cdot (R_l + R_p + R_{pPV})]^2 + X_T^2} = \\ &= \sqrt{[0,0469 + 2 \cdot (0,091 + 0,028 + 0,026)]^2 + 0,0126^2} \approx 0,34 \Omega \end{aligned}$$

$$P_{maxPV} = \frac{\Delta U}{Z_{k1}} \cdot 253 = \frac{253 - 230}{0,34} \cdot 253 = 17114 \text{ W} \Rightarrow P_{maxPV} = 17 \text{ kW}$$

Uwaga

Przy wyznaczaniu impedancji obwodu zwarciovego dla przewodów miedzianych o przekroju nie większym od 50 mm² oraz przewodów aluminiowych o przekroju nie większym od 70 mm², można pominąć ich reaktancję.

W przypadku zamiaru przyłączenia generatora PV o większej mocy, należy:

- zwiększyć moc transformatora SN/nn,
- zwiększyć przekrój przewodów linii zasilającej.

W przypadku gdy zwiększenie mocy transformatora oraz zwiększenie przekroju przewodów linii zasilającej nie jest możliwe, należy układ PV łączyć z SEE za pomocą transformatora o przekładni $\mathcal{G} = 1:1$, instalowanego za falownikiem o mocy uzależnionej od mocy przyłączanego systemu PV.

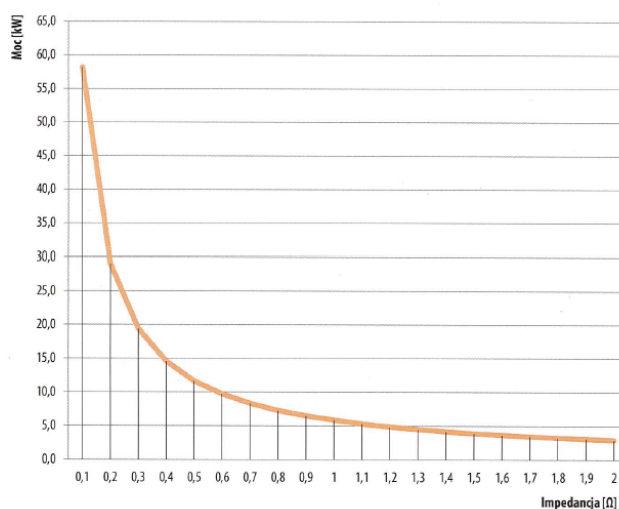
W prezentowanym przykładzie został przedstawiony prosty układ zasilania, w którym nie występowały obciążenia pośrednie powodowane przez inne odbiorniki energii elektrycznej przyłączone do sieci elektroenergetycznej nn. W przypadku bardziej złożonych układów sieci elektroenergetycznej nn należy przeprowadzić szczegółową analizę obciążenia, które wpływa na spadki napięć. Metodyka obliczania spadków napięć w złożonych układach sieci elektroenergetycznych została opisana w **rozdziale 6 Poradnika Projektanta Elektryka**, którego VI wydanie, rozszerzone i uaktualnione zasilę rynek księgarski na początku 2021 roku.

Wnioski

Wraz ze wzrostem odległości falownika od dolnych zacisków transformatora SN/nn rośnie spadek napięcia, który jest funkcją dwóch parametrów: długości przewodów – l [m] oraz przesyłanej mocy - S [VA].

Przy założeniu dopuszczalnego spadku napięcia pomiędzy falownikiem a dolnymi zaciskami transformatora SN/nn: $\Delta U = 23$ V, można przedstawić zależność mocy systemu PV możliwą do przyłączenia do SEE w funkcji impedancji występującej pomiędzy zaciskami falownika oraz dolnymi zaciskami transformatora SN/nn: $P_{\max PV} = f(Z_{k1})$.

Zależność $P_{\max PV} = f(Z_{k1})$ przedstawia graficznie **rysunek 4**. W przypadku przyłączania mocy większej niż pozwala rzeczywisty spadek napięcia pomiędzy falownikiem a transformatorem SN/nn należy przebudować sieć zasilającą zwiększając moc transformatora SN/nn oraz przekroje przewodów linii zasilających.



Rys. 4: Dopuszczalna wartość mocy układu PV przyłączanego do SEE w funkcji $P_{\max PV} = f(Z_{k1})$ przy dopuszczalnym spadku napięcia pomiędzy falownikiem a transformatorem SN/nn wynoszącym $\Delta U = 23$ V [1]

Literatura:

1. B. Szymański – Instalacje Fotowoltaiczne; wydanie VI – GLOBENERGIA Sp. z o.o. 2017
2. PN-HD 60364-5-52:2011/Ap2 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Część 5-52. Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego. Oprzewodowanie.
3. N SEP-E-002. Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Instalacje elektryczne w budynkach mieszkalnych. Podstawy planowania.