

Automatyczny Regulator Napięcia MMB-ARN-1

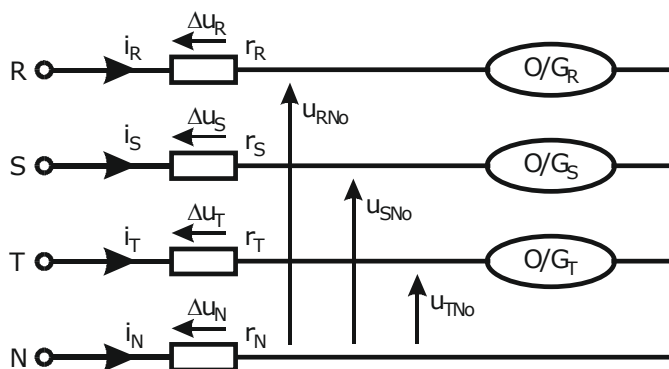
Dlaczego wzrasta napięcie w sieciach nn z instalacjami fotowoltaicznymi?

Zbigniew Krzemiński
MMB Drives sp. z o.o.

Spadek napięcia na rezystancji lub, szerzej, na impedancji, jest podstawowym efektem występującym w elektrotechnice. Pojawia się w wyniku przepływu prądu i może powodować niekorzystne efekty w urządzeniach elektrycznych, ale jest też wykorzystywany w analogowych układach przetwarzania sygnałów.

Istotne problemy stwarzają spadki napięcia w sieciach elektroenergetycznych niskiego napięcia. Powodują zmianę napięcia u użytkownika, obniżenie lub zwiększenie wartości napięcia w obiekcie podłączonym do sieci. Ocenę warunków napięciowych przeprowadza się z uwzględnieniem wpływu spadków napięcia na impedancjach sieci. Obliczanie spadków napięcia jest proste dla sieci jednofazowych. Stopień złożoności obliczeń dla sieci trójfazowych o symetrycznych napięciach i prądach jest podobny. Spadki napięcia w sieciach z niesymetrycznymi napięciami i prądami obliczane są z wykorzystaniem transformacji na składowe kolejności zgodnej, przeciwnej i zerowej. Innym sposobem jest przeprowadzenie symulacji na modelu cyfrowym.

Wyjaśnienie efektów spowodowanych spadkami napięcia zostanie oparte na upraszczających założeniach, że w linii zasilającej występuje wyłącznie rezystancja, a prądy przesyłane przez sieć są w fazie lub przeciwfazie z napięciami zasilającymi. Założenia te nie wpływają na przedstawione wnioski.



Rys. 1. Uproszczony schemat czteroprzewodowej sieci nn

Schemat czteroprzewodowej sieci nn pokazano na rysunku 1. Napięcia zasilające sieć U_R , U_S , U_T przyłożone są odpowiednio pomiędzy zaciski R-N, S-N, T-N. W fazach płyną prądy i_R , i_S , i_T o chwilowych wartościach dodatnich lub ujemnych. Suma prądów fazowych i prądu w przewodzie neutralnym jest w każdej chwili równa zero, stąd:

$$i_N = -(i_R + i_S + i_T).$$

Spadki napięcia na rezystancjach są równe:

$$\Delta u_R = i_R R_R; \quad \Delta u_S = i_S R_S; \quad \Delta u_T = i_T R_T; \quad \Delta u_N = i_N R_N;$$

Obciążeniem sieci są niesymetryczne odbiorniki lub generatory O/G_R , O/G_S , O/G_T podłączone do faz zasilania.

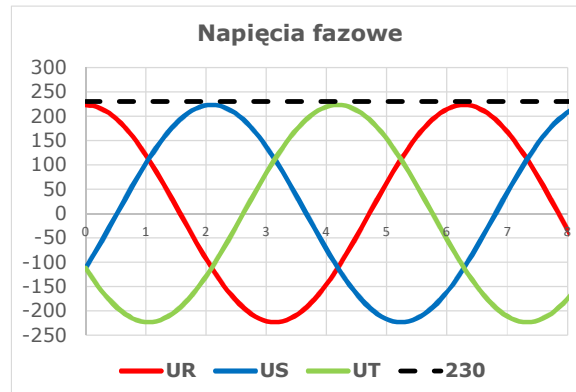
Napięcia na odbiornikach są równe:

$$U_{RNo} = U_R - \Delta U_R + \Delta U_N,$$

$$U_{SNo} = U_S - \Delta U_S + \Delta U_N,$$

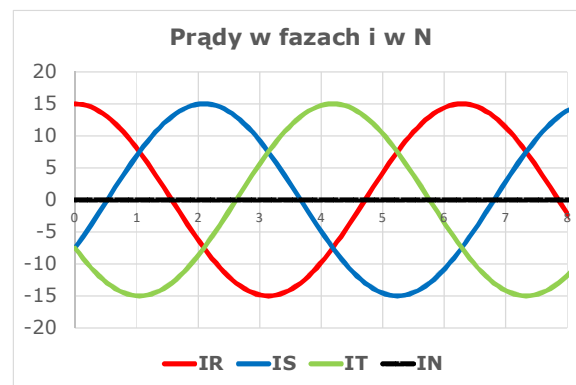
$$U_{TNo} = U_T - \Delta U_T + \Delta U_N$$

i zależą od spadków napięcia na rezystorach faz i rezystorze przewodu neutralnego.



Rys. 2. Napięcia fazowe

Na rysunku 2 pokazano przebiegi zasilających napięć fazowych przeskalowane tak, że amplituda przebiegu jest równa wartości skutecznej. Dalej zastosowano takie samo skalowanie dla napięć i prądów. Linia przerywaną pokazano wartość 230 V.

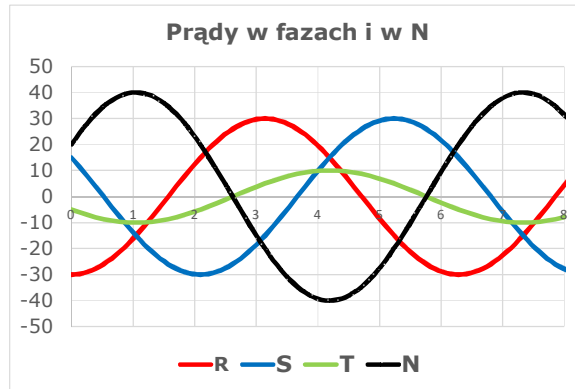


Rys. 3. Symetryczne prądy w fazach

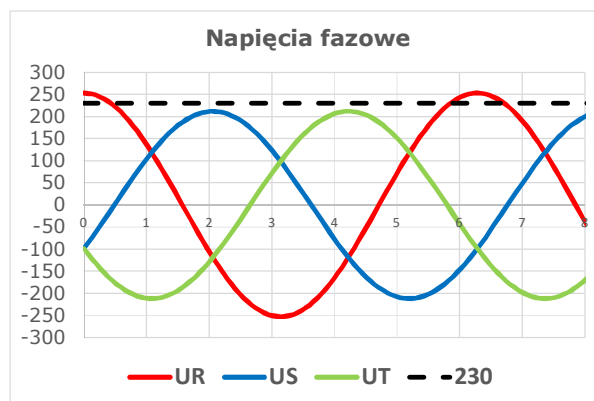
Na rysunku 3 pokazano symetryczne prądy w fazach, powodujące symetryczne spadki napięcia. Prąd w przewodzie neutralnym jest równy 0. Jeżeli prąd jest w przeciwfazie z napięciem, spadki napięć w fazach mają przeciwny znak, a w przewodzie neutralnym nie płynie prąd i spadek napięcia jest równy zero.

Ten idealny przypadek jest zakłócony, jeżeli amplitudy prądów w fazach nie są równe. Występuje niesymetria, analizowana często przez rozkład na składowe symetryczne kolejności zgodnej, przeciwnej i zerowej. Prąd kolejności zerowej występuje w przewodzie neutralnym i powoduje dodatkowe spadki napięcia.

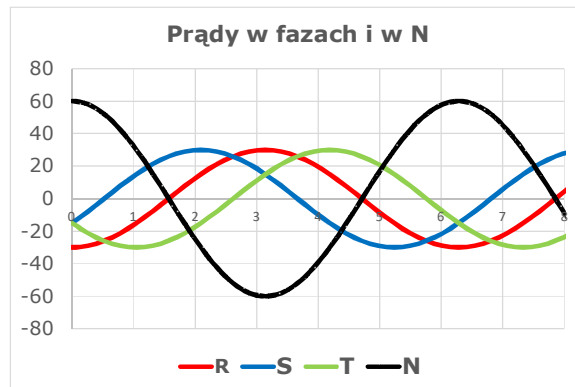
Szczególnym przypadkiem niesymetrii pokazanym na rysunku 4 jest jednoczesne wprowadzanie energii i odbiór w różnych fazach. Prąd w przewodzie neutralnym, którego chwilowa wartość jest równa sumie prądów fazowych z przeciwnym znakiem, osiąga wartość 40 A, jest więc większy od największego prądu w fazie.



Rys. 4. Prądy w fazach: R – wprowadzanie 30 A, S – wprowadzanie 30 A, T – pobór 10 A



Rys. 5. Napięcia fazowe dla przypadku z wiersza 4. z tablicy 1



Rys. 6. Prądy fazowe dla przypadku z wiersza 4. z tablicy 1

Graniczny przypadek pokazano na rysunkach 5 i 6. Prąd w fazie R jest w przeciwfazie do napięcia i posiada znak chwilowej wartości taki sam jak w pozostałych fazach. Bezwzględne wartości prądów są takie same. W rezultacie prąd w przewodzie zerowym jest dwukrotnie większy niż w fazach, co powoduje znaczne spadki napięcia i znaczny wzrost napięcia u użytkownika.

Wpływ jednoczesnego wprowadzania i odbioru energii na podwyższenie napięcia pokazano na zestawieniu w tablicy 1. Przyjęto skrajne warunki z jednakowymi wartościami prądów dla wprowadzania i odbioru energii. Założono rezystancję przewodów fazowych linii równą $0,46\Omega$, co przy symetrycznych odbiorach o łącznej mocy 10 kW daje 3% spadek napięcia u użytkownika pokazany w pierwszym wierszu tablicy 1. Z kolei zgodnie z zaleceniami 3% wzrost napięcia nie powinien być przekroczony w przypadku wprowadzania energii do sieci przez pojedynczą instalację fotowoltaiczną. Jeżeli w tym samym punkcie sieci przyłączone

są dwie instalacje po 10 kW, łącznie 20 kW, to ze względu na symetryczny prąd trójfazowy o dwukrotnie większej wartości wzrosty napięcia wyniosą 6%, a więc będą mieściły się w dopuszczalnym przedziale jak podano w wierszu 2..

Tablica 1. Zestawienie prądów, napięć i spadków napięcia w fazach (ujemne prądy oznaczają wprowadzanie energii do sieci)

Lp.	Rezystancje	Prądy				Napięcia fazowe			Procentowe spadki napięć		
		R	S	T	N	R	S	T	R	S	T
1	RF= R; RN=R;	15	15	15	0	223	223	223	-3,00%	-3,00%	-3,00%
2	RF= R; RN=R;	-30	-30	-30	0	244	244	244	6,00%	6,00%	6,00%
3	RF= R; RN=R;	-30	-30	30	60	259	259	189	12,40%	12,40%	-18,00%
4	RF= R; RN=R;	-30	30	30	60	271	204	204	18,00%	-11,40%	-11,40%
5	RF= R; RN=R;	-30	0	0	30	258	223	223	12,00%	-3,00%	-3,00%
6	RF=R; RN=R/3	-30	30	30	60	253	212	212	10,00%	-8,00%	-8,00%
7	RF=R/2; RN=R/2	-30	30	30	60	251	216	216	9,00%	-6,00%	-6,00%

Przypadek jednoczesnego wprowadzania energii do sieci w dwóch fazach i odbioru w jednej fazie pokazano w wierszu 3. Prąd w przewodzie neutralnym wynosi 60 A, w fazach, w których wprowadzana jest energia napięcie wzrasta o 12,4% o w fazie obciążonej spada o 18%. Odwrotnie, jeżeli w jednej fazie jest wprowadzanie energii, a w pozostałych fazach odbiór, to napięcie wzrasta o 18%, a w pozostałych fazach spada o 11,4%. Jeżeli natomiast wprowadzanie energii następuje w jednej fazie, a w pozostałych fazach prąd nie płynie, to napięcie w tej fazie wzrasta u odbiorcy o 12%.

Z zestawienia podanego w Tablicy 1 wynika, że jednoczesne wprowadzanie energii i pobór w różnych fazach, a nawet wprowadzanie energii tylko w jednej fazie z zerowymi odbiorami w fazach pozostałych, prowadzi w dużym zakresie prądów do przekroczenia dopuszczalnych wartości napięć fazowych. Efekt ten pojawia się już przy zbilansowanej w fazach mocy o wartości dużo mniejszej niż przy symetrycznych prądach fazowych.

Zmniejszenie wzrostów i spadków napięcia może być uzyskane przez zwiększenie przekrojów przewodów. W wierszu 6. pokazano napięcia przy prądach jak dla wiersza 4. i trzykrotnie większym przekroju przewodu neutralnego. Wzrosty i spadki napięcia u odbiorców mieszczą się w dopuszczalnych granicach. Również dwukrotne zwiększenie przekrojów wszystkich przewodów linii powoduje, jak podano w wierszu 7., zachowanie wartości napięć w dopuszczalnych granicach.

Wnioski

Z powyższych rozważań wynika, że symetryzacja prądów w sieci nn zapewnia utrzymanie napięć fazowych w ograniczonym zakresie wartości. Podobny efekt można uzyskać zwiększając przekroje przewodów, przy czym wskazane jest, żeby przekrój przewodu neutralnego powinien być co najmniej dwa razy większy niż przekrój przewodów fazowych.

Zwiększanie przekroju przewodów nie eliminuje wzrostów i spadków napięcia w sieci nn.

Nie istnieją pasywne sposoby symetryzacji prądów w sieci w przypadku jednoczesnego wprowadzania i odbioru energii.

Najlepszym sposobem symetryzacji prądów w fazach jest aktywna regulacja za pomocą przekształtników energoelektronicznych.