

# Automatyczny Regulator Napięcia MMB-ARN-1

## Dobór regulatorów i rozmieszczenie w sieci

Zbigniew Krzemiński  
MMB Drives sp. z o.o.

Regulator napięcia realizuje kilka funkcji. Podstawową jest regulacja napięcia w fazach za pomocą falownika sieciowego i transformatorów dodawczych. Dodatkową jest symetryzacja prądów po stronie sieci i kompensacja mocy biernej. W zależności od warunków występujących w sieci miejsce zainstalowania regulatora, moc falownika dodawczego, moc falownika sieciowego i prąd gałęzi zasilającej linię neutralną dobierane są na różne wartości. W określonych sytuacjach korzystne jest zainstalowanie więcej niż jednego regulatora na jednej linii. Optymalizacja rozmieszczenia regulatorów przeprowadzana jest na podstawie analizy odbiorów i mikroźródeł podłączonych do sieci. Kolejność włączenia falowników w obwodzie Falownik dodawczy zainstalowany jest za lub przed falownikiem sieciowym w zależności tego, który wariant jest korzystniejszy ze względu na straty energii. Uwzględniane są różne przypadki, przy czym niektóre opisano poniżej przy założeniu, że łączna moc przesyłana przez linię wynosi 100 kVA:

1. Regulator zainstalowany przy transformatorze wykorzystany jest wyłącznie do regulacji napięcia. W zależności od kierunku przepływu mocy w poszczególnych fazach napięcie jest dodawane lub odejmowane. Nie jest realizowana symetryzacja prądów i kompensacja mocy biernej. Moc falownika dodawczego – 10 kW, moc falownika sieciowego – 11 kW.
2. Regulator zainstalowany przy transformatorze wykorzystany jest do regulacji napięcia i kompensacji mocy biernej. W zależności od kierunku przepływu mocy w poszczególnych fazach napięcie jest dodawane lub odejmowane. Realizowana jest kompensacja mocy biernej dla  $\text{tg}\varphi < 0,4$ , nie jest realizowana symetryzacja prądów. Moc falownika dodawczego – 10 kW, moc falownika sieciowego – 39 kVA.
3. Regulator zainstalowany przy transformatorze wykorzystany jest do regulacji napięcia i symetryzacji prądów. W zależności od kierunku przepływu mocy w poszczególnych fazach napięcie jest dodawane lub odejmowane. Realizowana jest symetryzacja prądów, nie jest realizowana kompensacja mocy biernej. Do fazy o kierunku przepływu energii przeciwnym niż w dwóch pozostałych dostarczana lub pobierana jest moc o wartości  $4/3$  mocy w jednej z pozostałych faz. W zależności od stopnia niesymetrii i wartości mocy przez sieć zasilającą regulator przepływa  $1/3$  mocy przepływającej przez sieć za regulatorem. Moc falownika dodawczego – 10 kW, moc falownika sieciowego – 132 kVA.
4. Regulator zainstalowany przy transformatorze wykorzystany jest do regulacji napięcia, symetryzacji prądów i kompensacji mocy biernej. W zależności od kierunku przepływu mocy w poszczególnych fazach napięcie jest dodawane lub odejmowane. Realizowana jest symetryzacja prądów i kompensacja mocy biernej dla  $\text{tg}\varphi < 0,4$ . Do fazy o kierunku przepływu energii przeciwnym niż w dwóch pozostałych dostarczana lub pobierana jest moc o wartości  $4/3$  mocy w jednej z pozostałych faz. W zależności od stopnia niesymetrii i wartości mocy przez sieć

zasilającą regulator przepływa 1/3 mocy przepływającej przez sieć za regulatorem. W przypadku mocy przepływającej za regulatorem moc symetryzacji jest mniejsza przy tej samej obciążalności sieci. Moc falownika dodatkowego – 10 kW, moc falownika sieciowego – 132 kVA.

5. Regulator zainstalowany w głębi sieci wykorzystany jest tylko do symetryzacji prądów, nie jest realizowana regulacja napięcia. Moc falownika sieciowego – 132 kVA.
6. Regulator zainstalowany w głębi sieci wykorzystany jest tylko do regulacji napięcia. Moc falownika dodatkowego – 10 kW, moc falownika sieciowego – 11 kW.
7. Regulator zainstalowany w głębi sieci wykorzystany jest do regulacji napięcia i do symetryzacji prądów. Napięcia fazowe na wyjściu regulatora są jednakowe. Moc falownika dodatkowego – 10 kW, moc falownika sieciowego – 132 kVA.
8. Regulator zainstalowany w głębi sieci wykorzystany jest do regulacji napięcia, symetryzacji prądów i do kompensacji mocy biernej dla  $\text{tg}\varphi < 0,4$ . Napięcia fazowe na wyjściu regulatora są jednakowe. Moc falownika dodatkowego – 10 kW, moc falownika sieciowego – 132 kVA.

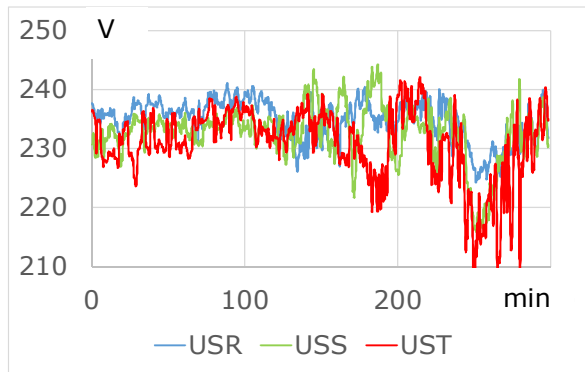
Zestawienie parametrów regulatora dobieranego dla różnych miejsc zainstalowania i funkcjonalności podano w tabelicy 1. Na uwagę zasługuje duża wartość mocy falownika sieciowego zaprojektowanego do symetryzacji prądów oraz duża wartość projektowa prądu w gałęzi zasilającej przewód neutralny. Prowadzi to do znacznego przewymiarowania falownika sieciowego, ponieważ przy niesymetrii obciążenie dwóch faz jest mniejsze niż fazy o przeciwnym kierunku przepływu energii. Analiza obciążeń sieci i spadków napięcia umożliwia zmniejszenie mocy falownika sieciowego i obniżenie kosztów.

Tablica 1. Parametry regulatorów

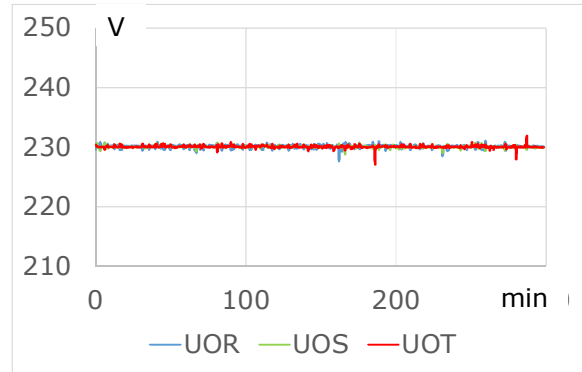
Lp.	Moc przesyłana przed / za regulatorem	Miejsce instalacji	Funkcjonalność	Konfiguracja	Moc falownika dodatkowego	Moc falownika sieciowego	Prąd gałęzi N przekształtnika sieciowego [A]	Prąd fazy przekształtnika sieciowego [A]
1	101 kW / 100 kW	Przy transformatorze	Regulacja napięcia $\pm 10\%$ . $\text{tg}\varphi = 0$	FS - FD	10 kW	11 kW	5	16
2	94 kW / 100 kVA	Przy transformatorze	Regulacja napięcia $\pm 10\%$ . Kompensacja mocy biernej $\text{tg}\varphi < 0,4$	FD - FS	10 kW	39 kVA	5	56
3	od 33 kW do 101 kW / 100 kW	Przy transformatorze,	Regulacja napięcia $\pm 10\%$ . Symetryzacja. $\text{tg}\varphi = 0$	FD - FS	10 kVA	132 kW	287	191
4	od 33 kW do 101 kW / 100 kVA	Przy transformatorze	Regulacja napięcia $\pm 10\%$ . Symetryzacja. Kompensacja mocy biernej $\text{tg}\varphi < 0,4$	FD - FS	10 kW	132 kVA	287	191
5	od 33 kW do 101 kW / 100 kVA	Za długim odcinkiem linii	Symetryzacja	FS	0	132 kW	287	191
6	101 kW / 100 kVA	Za długim odcinkiem linii	Regulacja napięcia $\pm 10\%$ .	FS - FD	10 kW	11 kW	5	16
7	od 33 kW do 101 kW / 100 kVA	Za długim odcinkiem linii	Regulacja napięcia $\pm 10\%$ . Symetryzacja.	FD - FS	10 kVA	132 kW	287	191
8	od 33 kW do 101 kW / 100 kVA	Za długim odcinkiem linii	Regulacja napięcia $\pm 10\%$ . Symetryzacja. Kompensacja mocy biernej $\text{tg}\varphi < 0,4$	FD - FS	10 kW	132 kVA	287	191

Przebiegi zmiennych podczas niepełnej symetryzacji prądów pokazano na rysunkach 1 - 4. Ujemne prądy w fazach oznaczają wprowadzanie energii do sieci. Po czasie ok. 110 minut od początku rejestracji wzrosło obciążenie i nastąpiło zadziałanie ograniczenia prądu w przewodzie neutralnym falownika sieciowego. Efekt jest widoczny na rysunku 2, prąd w przewodzie neutralnym nie jest redukowany do zera. Prądy w fazach nie są w pełni symetryzowane. Pomimo niepełnej symetryzacji nastąpiło znaczne zredukowanie prądów

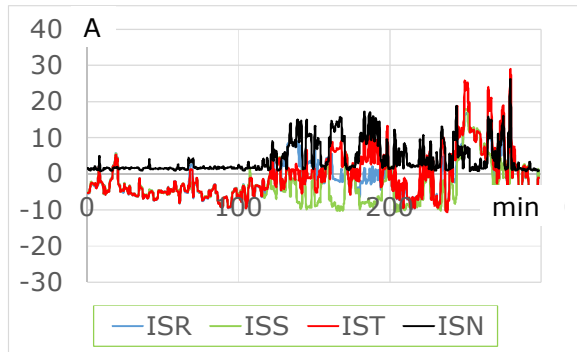
w fazach i w przewodzie neutralnym. Napięcia fazowe po stronie odbiorów są stabilizowane na wartości 230 V. Jak pokazano na rysunku 1, napięcia po stronie sieci pozostają w dopuszczalnym zakresie.



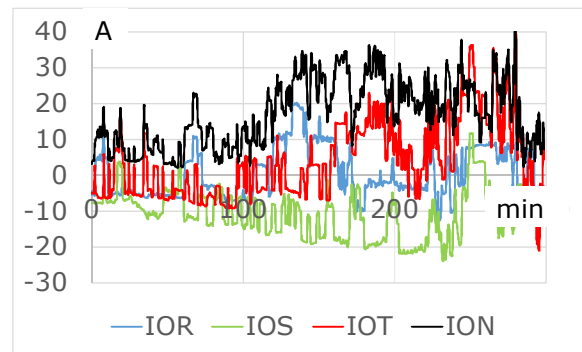
Rys. 1. Napięcia po stronie sieci



Rys. 3. Napięcia po stronie odbiorów



Rys. 2. Prądy po stronie sieci



Rys. 4. Prądy po stronie odbiorów

Instalowanie regulatorów napięcia powinno być poprzedzone analizą odbiorów i generatorów podłączonych do sieci. Odpowiednie dobranie mocy części regulującej napięcie i części symetryzującej prądy oraz gałęzi zasilającej przewód neutralny zapewnia regulację napięcia i ograniczenie strat w sieci przy akceptowalnym poziomie nakładów inwestycyjnych.