

# Aktywny Regulator Napięcia MMB-ARN-2



## Odpowiedź na problemy w elektroenergetyce

Bez rozbudowy sieci regulator napięcia eliminuje w punkcie podłączenia niekorzystne efekty występujące w sieciach nN poprzez:

- stabilizację napięcia na odplywie,
- symetryzację napięcia w fazach na odplywie,
- symetryzację prądów w fazach na doplywie,
- kompensację mocy biernej,
- zwiększenie obciążalności sieci,
- zmniejszenie strat w linii.

## Regulacja napięcia w sieci nN

Zwiększanie liczby odbiorców i prosumentów powoduje, że długie linie napowietrzne zbudowane z zastosowaniem przewodów o małych przekrojach nie zapewniają utrzymania napięcia w sieci w wymaganym zakresie tolerancji. Podczas wprowadzania energii do sieci napięcie na fazach wzrasta poza dopuszczalne granice i zabezpieczenia powodują wyłączenie falowników fotowoltaiki. Konieczna jest przebudowa linii w konwencjonalny sposób albo zastosowanie aktywnych regulatorów napięcia zbudowanych z falowników tranzystorowych. Jeden lub więcej aktywnych regulatorów stabilizuje napięcie w punkcie podłączenia lub w punkcie pomiaru odległym od regulatora.

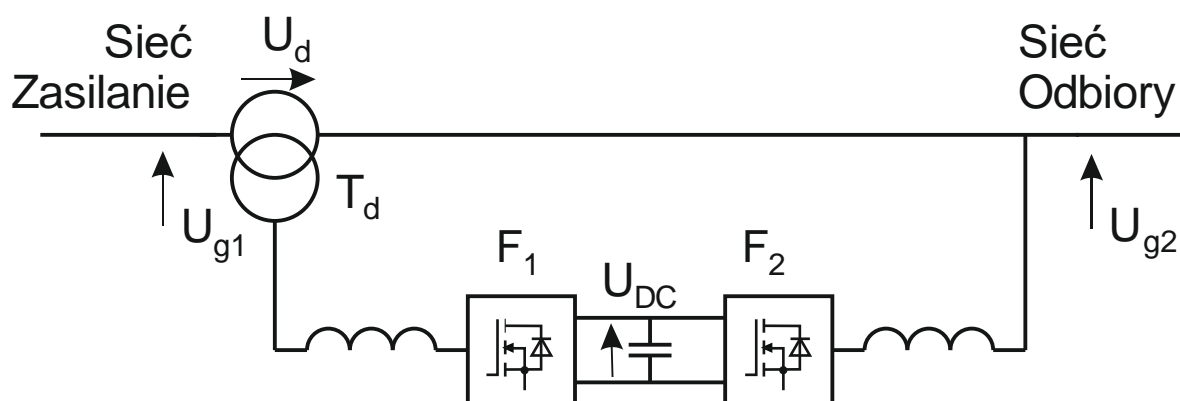
Regulacja napięcia w wybranym punkcie opiera się na dodawaniu napięcia z odpowiednim znakiem za pomocą

transformatorów dodawczych włączonych szeregowo w każdej fazie.

Napięcie pierwotnej strony transformatorów dodawczych regulowane jest za pomocą falownika  $F_1$ , do którego przez obwód DC dostarczana jest energia za pomocą falownika  $F_2$ . Kierunek przepływu energii przez falowniki zależy od kierunku przepływu energii z lub do odbiorów.

## Symetryzacja napięcia po stronie odbiorów

Niezależnie od wartości napięć  $U_{g1}$  w fazach po stronie sieci zasilającej napięcia  $U_{g2}$  w fazach po stronie odbiorów mają jednakową wartość. Napięcia po stronie zasilania zmieniają się przy tym w dopuszczalnym zakresie. Pierwotne strony transformatorów dodawczych  $T_D$  podłączone są do czterogwałtowego falownika  $F_1$  formującego niesymetryczne napięcia kompensujące różnice napięć fazowych po stronie sieci zasilającej.



## Symetryzacja prądów po stronie zasilania

Niesymetria prądów w przewodach liniowych powoduje przepływ prądu w przewodzie zerowym, który w najbardziej niekorzystnym przypadku może osiągać podwójną wartość prądów liniowych. Przepływ prądu w przewodzie zerowym wnosi straty energii w linii i spadek napięcia dodający się geometrycznie do napięć fazowych w punkcie przyłączenia regulatora. Niesymetria prądów w sieci powoduje niesymetryczne spadki napięć w liniach zasilających. Przekroczenia dopuszczalnych wartości wzrostu napięcia w sieciach z generacją rozproszoną powodują wyłączenie falowników fotowoltaiki. Symetria prądów po stronie sieci uzyskana w wyniku działania falownika  $F_2$  regulatora redukuje przekroczenia dopuszczalnych napięć fazowych. Zmniejszenie strat energii w wyniku przepływu symetrycznych prądów fazowych w porównaniu z przepływem prądów niesymetrycznych kompensuje straty w regulatorze i zwiększa efekt ekonomiczny zainstalowania regulatora napięcia.

## Kompensacja mocy biernej

Moc bierna po stronie odbiorów jest kompensowana przez generowanie przez falownik  $F_2$  składowych biernych prądów o przeciwnych znakach. W punkcie przyłączenia regulatora po stronie sieci moc bierna jest bliska zeru.

## Zwiększenie obciążalności linii zasilającej

Obciążalność linii zasilającej jest ograniczona największą wartością prądu występującą w przewodach fazowych i w przewodzie zerowym. Niesymetria obciążeń w fazach ogranicza przesyłaną moc do wartości wynikającej z najbardziej obciążonej fazy. Przy niesymetrii jeszcze większym ograniczeniem jest prąd płynący w przewodzie neutralnym. Symetryzacja prądów powoduje symetryzację spadków napięć w liniach. W rezultacie przesyłanie energii przy symetrycznych prądach zwiększa dopuszczalną moc linii.

## Zmniejszenie strat w linii zasilającej

Symetryzacja prądów w linii zasilającej powoduje, że moc jest przesyłana przy mniejszych stratach niż przy wystąpieniu niesymetrii. Dla faz symetrycznie obciążonych przy  $\cos\phi=1$  straty są proporcjonalne do  $1^2+1^2+1^2=3$ .

Nie występują straty w przewodzie neutralnym. Przy tej samej mocy i niesymetrii obciążenia, np. 0,5, 1, 1,5 i prądzie w N = 0,866 straty są proporcjonalne do  $0,5^2+1^2+1,5^2+0,866^2=4,25$ .

Jednoczesne wprowadzanie i odbiór energii, np. 0,5, -1, 1,5 powoduje, że prąd w przewodzie zerowym jest równy 2,179 i straty są proporcjonalne do 8,249.

Małe straty w regulatorze napięcia, zależące od mocy dodawanej za pośrednictwem transformatorów dodawczych, są porównywalne ze zmniejszeniem strat w linii zasilającej. W zależności od warunków pracy zainstalowanie regulatora nie wprowadza dodatkowych strat w sieci, a może nawet zmniejszyć straty w porównaniu z siecią o nieregulowanym napięciu.

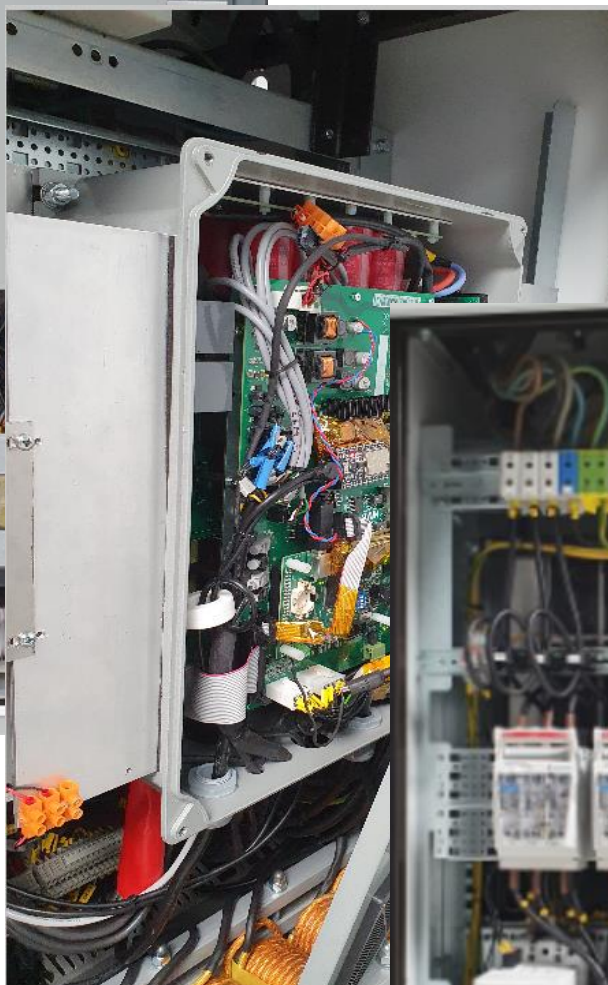
## Parametry regulatora MMB ARN-2

Parametr	Wartość
Napięcie znamionowe $U_N$	400 V / 230 V $\pm 20\%$ (L-L/L-N)
Moc znamionowa 3-fazowa	100 kVA (145 A)
Częstotliwość znamionowa $f_N$	50 Hz / 60 Hz
Sprawność	99,6%
Zakres regulacji napięcia	$\pm 10\%$ napięcia $U_N$
Temperatura pracy	-40°C do +40°C
Dopuszczalna wysokość instalacji nad poziomem morza	< 2000 m
Stopień ochrony	IP45
Chłodzenie	Pasywne
Znamionowa zdolność zwarciowa zabezpieczeń topikowych	115 kA

## Konstrukcja

Zwykła obudowa rozdzielni nN mieści w sobie dwa falowniki zamontowane na wspólnej konstrukcji. Przekształtniki regulatora zbudowane są z wykorzystaniem tranzystorów z węgla krzemu (SiC). Tranzystory SiC zapewniają wysoką sprawność przekształtników i małe wymiary układu.

Jednofazowe transformatory dodatkowe wykonane są jako toroidalne



o parametrach zapewniających pracę bez nasycenia w normalnych warunkach i nasycenie obwodu magnetycznego podczas przepływu prądów zwarciovych.

Układ regulatora podzielony jest na dwie części. Przez drzwi z przodu jest dostęp do falowników i filtrów. Dostęp do złącz do podłączenia linii zasilającej i linii odbiorów oraz aparatów łączeniowych zapewniony jest przez drzwi tylne.

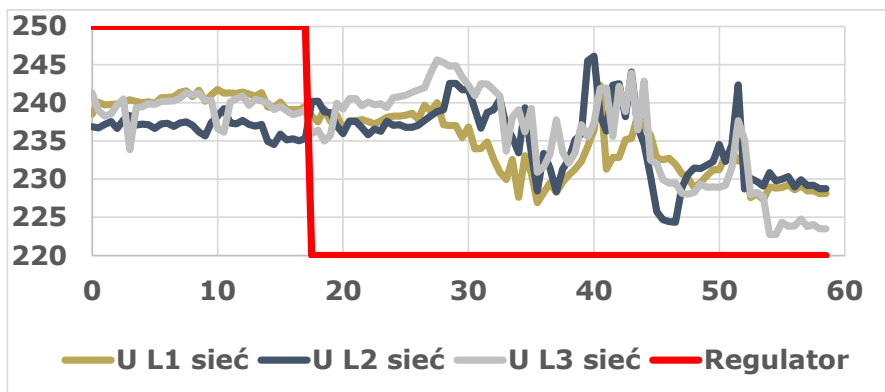
Chłodzenie regulatora zapewnione jest przez wymuszony przepływ powietrza.

## Działanie regulatora

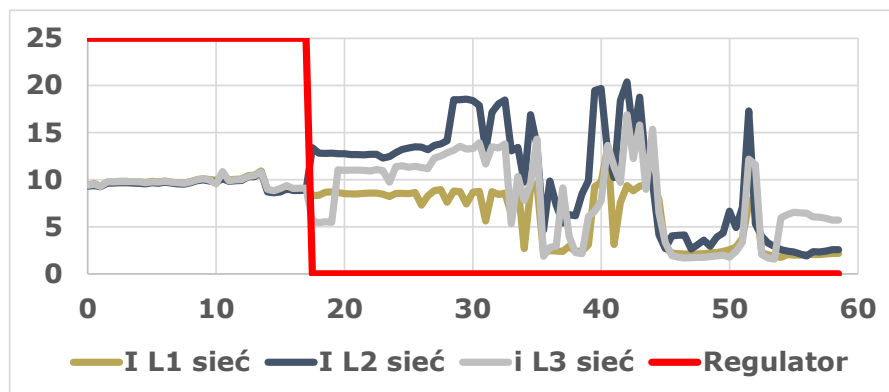
Działanie regulatora widoczne jest na przebiegach prądów i napięć. Regulator był załączony, co pokazano czerwoną linią, do 17. sekundy zarejestrowanych przebiegów. Podczas pracy regulatora napięcia fazowe sieci są zbliżone i przekraczają wartość 230 V. Różnice pomiędzy napięciami poszczególnych faz nie są duże. Prądy fazowe po stronie sieci mają tę samą

wartość. Napięcia fazowe po stronie odbiorów są symetryczne i równe 230 V z małymi odchyleniami regulacyjnymi. Prądy po stronie odbiorów są niesymetryczne.

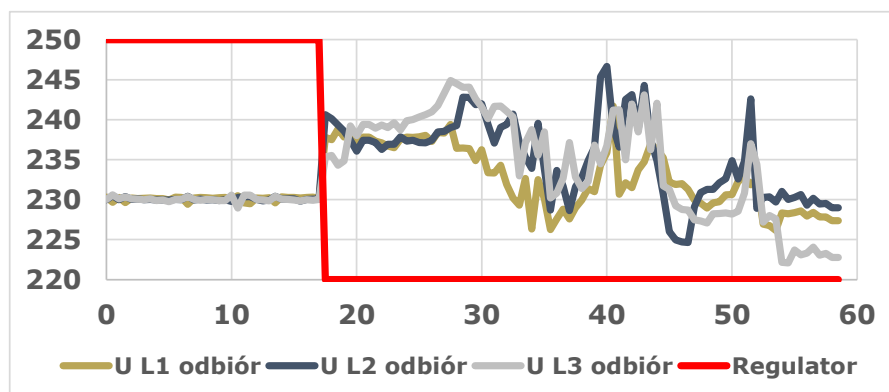
Po wyłączeniu regulatora w 17. sekundzie występuje niesymetria prądów w fazach sieci zasilającej i pojawiają się spadki napięć. Napięcia fazowe sieci i odbiorów stają się niesymetryczne. Napięcia fazowe zbliżają się do wartości granicznych. Przy włączonym regulatorze napięcia fazowe są prawie jednakowe.



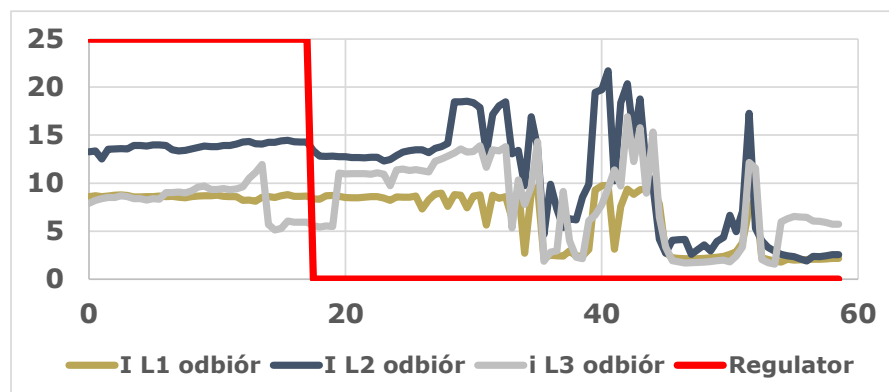
Przebiegi napięć po stronie sieci – wyłączenie regulatora w 17.sekundzie



Przebiegi prądów po stronie sieci – wyłączenie regulatora w 17.sekundzie



Przebiegi napięć po stronie odbiorów – wyłączenie regulatora w 17. sekundzie



Przebiegi prądów po stronie odbiorów – wyłączenie regulatora w 17. sekundzie