

# **Stabilizacja napięcia w sieciach elektrycznych**

**Autor: Piotr Olszowiec**

**(„Energia Gigawat” – 10/2011)**

**Jednym z najważniejszych problemów eksploatacji sieci niskiego napięcia jest zapewnienie odbiorcom zasilania o dopuszczalnych parametrach. Szczególnie duże trudności ze spełnieniem tych wymagań w Ameryce Płn. zmusiły do poszukiwania nowych, skuteczniejszych sposobów. Z uwagi na powszechne występowanie tego problemu na całym świecie, w tym również w naszym kraju, warto zapoznać się z działaniami podejmowanymi w energetyce zagranicznej.**

## **Problemy stabilizacji napięcia w sieciach amerykańskich**

Amerykańskie sieci niskiego napięcia pracują przy napięciu fazowym o znamionowych parametrach 120 V, 60 Hz, jednak wielu odbiorców jest zasilanych napięciem znacznie odbiegającym od tego poziomu. Zgodnie z przepisami napięcie u odbiorcy powinno zawierać się w granicach 120 V +/- 5% (tj. 114 – 126 V). Ustalono, że na początku XXI wieku około 8 mln gospodarstw domowych było stale (lub długotrwale) zasilanych napięciem niższym od 114 V czyli wartości uznanej za minimalną. Jednocześnie blisko 90% użytkowników było zmuszonych do okresowego korzystania z napięcia wyższego od znamionowego. W typowych sieciach promieniowych niskiego napięcia utrzymanie tego parametru powyżej minimalnego poziomu na końcu długiej linii wymaga bowiem podniesienia napięcia na początku toru nierzadko powyżej maksymalnego dopuszczalnego pułapu. Zjawisko to wynika bezpośrednio z występowania nieuniknionego spadku napięcia wzdłuż linii spowodowanego przepływem prądu. Wartość tego spadku zależy - jak wiadomo - od przesyłanej mocy czynnej i biernej oraz od rezystancji i reaktancji linii. Zalecenia producentów urządzeń elektrycznych precyzują optymalne zakresy ich pracy. Większość odbiorników zbudowanych na napięcie znamionowe 120 V osiąga najwyższą sprawność przy napięciu 114-115 V czyli przy jego minimalnej, dopuszczalnej wartości. Ponieważ dostawca energii stara się zapewnić ten poziom najdalej położonym użytkownikom, odbiorcy usytuowani bliżej źródła, z konieczności korzystają z zasilania znacznie przekraczającego optymalny poziom. Dla wrażliwych odbiorników, takich jak komputery i telewizory, stosuje się indywidualne urządzenia bezprzerwowego zasilania, które jednocześnie zapewniają stabilizację wartości napięcia. Takie UPS-y i zasilacze małej mocy nie mogą jednak zagwarantować zasilania optymalnym napięciem całych gospodarstw domowych lub zakładów przemysłowych. Badania amerykańskich wytwórców pozwoliły na ustalenie oszczędności zużycia energii elektrycznej przy podanym optymalnym napięciu. Oto przykładowe oszczędności energetyczne obniżenia napięcia o 10 V z wartości 124 do 114 V: pralki 24%, lodówki 14%, żarówki i świetlówki 12%, zmywarki naczyń 5%. Oszacowano, że obniżenie napięcia o 1% zmniejszyłoby zużycie energii o około 1%. Tak duże, możliwe do uzyskania oszczędności skłoniły do doskonalenia przyjętych reżimów pracy sieci. Wysiłki specjalistów koncentrują się nad usprawnieniem tradycyjnych metod stabilizacji napięcia, które – jak pokazuje praktyka - jeszcze nie wyczerpały swoich możliwości.

Należą do nich między innymi:

- modyfikacja działania i nastaw regulatorów napięcia sterujących przełącznikami zaczepów transformatorów zasilających ŚN/nn,
- kompensacja mocy biernej za pomocą kondensatorów równoległych,
- rozbudowa rozdzielni i linii rozdzielczych,
- skracanie linii promieniowych, wymiana ich przewodów na nowe o większym przekroju,
- podnoszenie napięcia.

Wdrażanie tych sprawdzonych metod wymaga znacznych nakładów finansowych, pracy wykwalifikowanych brygad i długiego czasu, lecz bynajmniej nie we wszystkich przypadkach gwarantuje pełny sukces. Tymczasem na amerykańskim rynku przynajmniej od dwóch dekad dostępne są technologie, które okazały się atrakcyjną alternatywą dla tradycyjnego podejścia do rozwiązania przedstawionego problemu.

## **HVR i LVR**

### **Stabilizatory napięcia dużej mocy**

Amerykańska firma MicroPlanet produkuje urządzenie typu HVR (Home Voltage Regulator) służące do obniżania i regulacji napięcia zasilania użytkownika. Jest to zdaniem wytwórcy najtańszy i najskuteczniejszy ze stosowanych sposobów stabilizacji napięcia w sieciach nn. Urządzenie HVR utrzymuje stałą wartość tego parametru na nastawionym poziomie (zwykle 114.5 V), dzięki czemu właściciel może obniżyć swoje rachunki za energię elektryczną o kilkanaście procent. Oprócz niższego zużycia energii, praca przy mniejszym napięciu wydłuża trwałość odbiorników, co stanowi następną, znaczącą korzyść ekonomiczną.

HVR jest niewielkim urządzeniem instalowanym obok licznika energii w przyłączy zasilania odbiorcy. Głównym jego podzespołem jest transformator o napięciu wyjściowym sterowanym przez mikroprocesorowy układ regulacji. Sygnałem wejściowym dla tego układu jest napięcie linii w miejscu zabudowy stabilizatora. Firma produkuje stabilizatory napięcia fazowego o zakresie pracy 106–125 V. Przy napięciu linii zasilającej zmieniającym się w tych granicach napięcie wyjściowe do instalacji odbiorcy jest stabilizowane w przedziale 115+/-1 V przy prądzie do 160 A. Przy spadku napięcia wejściowego poniżej 45 V stabilizator wyłącza się z trybu regulacji i przechodzi na obejście (by-pass). Tym samym odbiorca zostaje przyłączony bezpośrednio do linii zasilającej. Po powrocie napięcia do wspomnianego przedziału HVR samoczynnie wznawia działanie ze zwłoką 3 s. Podobnie zachowuje się urządzenie przy przekroczeniach dopuszczalnej wartości prądu. Przy przepływie prądu większego od 200 A HVR również przechodzi na obejście; w przypadku obniżenia prądu poniżej tej wartości wznawia regulację napięcia. Realizowana przez HVR regulacja napięcia odznacza się nie tylko dokładnością, lecz także szybkością działania, gdyż czas reakcji nie przekracza 200 ms. Samo urządzenie wyróżnia się wysoką sprawnością przekraczającą 99%, nie wywołuje też praktycznie żadnych zakłóceń - zawartość wyższych harmonicznnych wprowadzanych przez HVR nie przekracza 0.2%. Łączny koszt zakupu i montażu stabilizatora typu HVR lub LVR dla odbiorcy komunalnego nie przekracza 1500 USD, a zwrot poniesionych nakładów następuje po około roku.

## Harmonizer

### Trójfazowy filtr pasywny dużej mocy

Na rynku amerykańskim oferowane są też liczne inne urządzenia do stabilizacji napięcia jednofazowego, tłumienia przepięć i wyższych harmonicznych, poprawy współczynnika mocy itp. Natomiast wśród trójfazowych układów wyróżnia się elektromagnetyczny filtr Harmonizer firmy Legend Power Systems Inc. Urządzenie zrealizowano na bazie trójfazowego transformatora z podobciążeniowym przełącznikiem zacze- pów sterowanym mikroprocesorowym regulatorem. Służy do stabilizacji napięcia i ogólnie do poprawy jakości energii zasilania. Dostępne są układy o znamionowym prądzie do 750 A i napięciu do 600 V. Harmonizer zapewnia optymalizację poziomu napięcia, obniża zawartość wyższych harmonicznych i asymetrię napięć, koryguje wartość współczynnika mocy. Według producenta, jego użycie przynosi oszczędności energii rzędu 10% przy sprawności samego urządzenia 99.9% (!). Harmonizer przyłącza się między licznikiem, a tablicą rozdzielczą instalacji odbiorczej.

### Regulacja napięcia linii ŚN

Problem niedopuszczalnych wahań napięcia u odbiorców niskonapięciowych można rozwiązywać także na poziomie wyższym tj. w sieci średniego napięcia (ŚN) zasilającej sieci niskiego napięcia (nn) przez transformatory obniżające. Podejście to jest jednak utrudnione z powodu usytuowania tych transformatorów obniżających ŚN/nn w różnych punktach wzdłuż trasy linii ŚN. Dodatkową komplikacją staje się ostatnio przyłączanie autonomicznych źródeł mocy również w różnych miejscach linii. Kolejnym utrudnieniem bywa duża zmienność i nieprzewidywalność poboru mocy, jak i generacji wspomnianych źródeł rozproszonych. Z tych powodów tradycyjne środki stabilizacji napięcia takie jak zastosowanie szeregowych kondensatorów o regulowanej pojemności lub transformatora zasilającego z podobciążeniowym przełącznikiem zacze- pów, często nie spełniają swego zadania, co zmusza do kosztownych inwestycji. Skuteczniejszym rozwiązaniem jest użycie dedykowanego regulatora z szeregowym włączeniem napięcia dodatkowego w przewody fazowe linii. Sposób ten wykorzystano m.in. w regulatorach typu VR-32 amerykańskiej firmy Cooper Power Systems, stosowanych również w sieciach 15 kV naszego kraju. Napięcie dodatkowe reguluje się tu za pomocą podobciążeniowego przełącznika zacze- pów sterowanego mikroprocesorowym sterownikiem. Inną nowatorską konstrukcję, która może okazać się przełomowym wynalazkiem, wdrożono w norweskich sieciach ŚN.

W rejonie Trysil przy granicy ze Szwecją wystąpiły problemy z utrzymaniem wymaganych wartości napięcia w długiej (52 km) linii napowietrznej o napięciu 22 kV. Linia ta zasilą odbiorców komunalnych, których pobór mocy stawał się coraz bardziej zróżnicowany z narastającym zużyciem w weekendy. Mimo malejącego poboru energii w całym roku stale rosło obciążenie szczytowe. Dostawca energii elektrycznej stanął przed trudnym zadaniem zapewnienia napięcia zasilania w dopuszczalnych granicach. Dla realizacji szybkiej regulacji napięcia w linii rozdzielczej 22 kV wybrano sprawdzone w sieciach niskiego napięcia rozwiązanie magnetycznego regulatora norweskiej firmy Magtech. W odległości 22 km od końca linii zainstalowano magnetyczny regulator typu Magtech Voltage Booster (MVB) na bazie sterowanych cewek indukcyjnych. Cewka ta posiada uzwojenie sterujące zasilane prądem stałym z półprzewodnikowego regulatora porównującego aktualne napięcie wyjściowe MVB z wartością zadaną. Realizowana w ten sposób ciągła regulacja indukcyjności uzwojenia roboczego cewki wymusza pożądane zmiany napięcia na uzwojeniu

wtórnym autotransformatora, włączonym szeregowo w przewód fazowy linii. Napięcie indukowane w uzwojeniu wtórnym dodaje się geometrycznie do napięcia wejściowego urządzenia MVB, dzięki czemu reguluje się wartość napięcia wyjściowego (tj. zasilającego linię) będącego sumą wspomnianych napięć. Autotransformator (olejowy) wyposażono w wyłącznik obejściowy, otwierany automatycznie w przypadku zakłóceń wewnętrznych w MVB lub operacyjnie przez obsługę. Po ustąpieniu zakłócenia (np. przeciążenia, przegrzania) następuje samoczynny powrót regulatora do pracy. Opisane jednofazowe urządzenia regulacyjne można łączyć w układy trójfazowe z zachowaniem regulacji poszczególnych napięć fazowych. MVB płynnie stabilizuje i symetryzuje napięcia linii z szybkością 1000 V/s. Uruchomienie magnetycznego regulatora w Trysil jest **pierwszą w świecie** aplikacją tej wersji koncepcji stabilizacji za pomocą szeregowego napięcia dodatkowego w sieciach ŚN. Przewiduje się, że zakres wykorzystania podobnych magnetycznych regulatorów napięcia obejmie linie kablowe i napowietrzne zasilające odległych odbiorców o dużej zmienności obciążenia. Wynalazek powinien okazać się szczególnie przydatny w sieciach z przyłączonymi rozproszonymi źródłami mocy (np. wiatrowymi, słonecznymi itp.) o trudno przewidywalnej generacji.