

Regulacja napięcia w sieciach elektroenergetycznych

Regulacja napięcia w sieciach rozdzielczych

Zasadniczym zadaniem urządzeń do regulacji napięcia jest utrzymywanie właściwych poziomów napięcia na zaciskach przyłączonych do sieci odbiorników. Niektóre urządzenia regulacyjne mogą być również wykorzystywane do uzyskania korzystnego technicznie i gospodarczo rozptywu mocy w układach elektroenergetycznych i do poprawy warunków współpracy elektrowni.

W zależności od tego, czy chcemy regulować tylko poziomy napięcie, czy również rozptyw mocy biernej, można regulować:

1. moduł napięcia,
2. moduł i fazę napięcia.

W zależności od zmian obciążeń w sieci, możemy mieć regulację:

1. dopasowaną do stale zachodzących zmian obciążeń,
2. okresową, związaną z dobowymi lub sezonowymi zmianami obciążeń.

Innym podziałem sposobów regulacji jest podział na:

1. regulację pod obciążeniem,
2. regulację w stanie beznapięciowym.

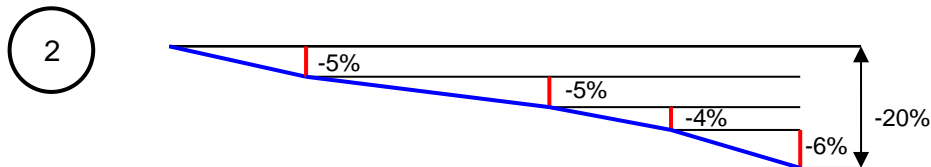
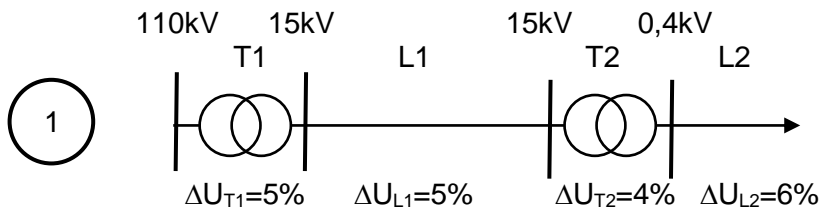
W elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych regulację napięcia można przeprowadzać następującymi metodami:

1. przez wprowadzanie napięć dodawczych,
2. przez zmianę oporności sieci,
3. przez zmianę rozptywu mocy biernej.

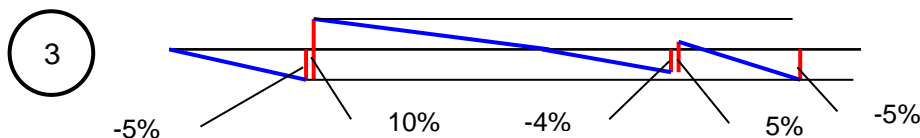
Regulacja napięcia za pomocą napięć dodawczych

Regulacja napięcia za pomocą napięć dodawczych, czyli poprzez zmianę przekładni transformatorów, jest najbardziej powszechnym sposobem regulacji napięcia. Jest ona najdogodniejsza technicznie i zwykle najkorzystniejsza gospodarczo.

Rozpatrzmy następujący przykład – mamy dany układ elektroenergetyczny, przedstawiony na rysunku



Gdyby na szynach 110kV utrzymywało się napięcie równe napięciu znamionowemu, to przy maksymalnym obciążeniu i znamionowych przekładniach transformatorów, otrzymalibyśmy spadki napięcia, przedstawione na rys. 2, czyli odchylenie napięcia u odbiorcy wynosiłoby -20% , co jest niedopuszczalne.



Aby poprawić warunki napięciowe przy obciążeniu maksymalnym, można podwyższyć napięcia na zaciskach transformatorów, stosując odpowiednio dobrane przekładnie. Na transformatorze 110/15kV podniesiono napięcie o 10%, na transformatorze 15/0,4 kV – o 5%. Po tych zmianach otrzymano odchylenie napięcia u odbiorcy przy obciążeniu maksymalnym, równe -5% , czyli prawidłowe (rys. 3). Sytuacja poprawiła się dla szczytu obciążenia.



Natomiast przy braku obciążenia, nie powstają spadki napięcia (nie płynie w układzie żaden prąd), ale pozostaje podwyższenie napięcia na transformatorach (rys. 4). Odchylenie napięcia u odbiorcy wynosi teraz $+15\%$, co jest niedopuszczalne.



Dobre wyniki regulacji można uzyskać, stosując czasowe zmiany napięcia na transformatorze. W czasie małych obciążeń można nie stosować podwyższenia napięcia na transformatorze 110/15 kV (rys. 5) przy zachowaniu podwyższenia napięcia na transformatorze 15/0,4 kV. Wtedy u odbiorcy powstanie odchylenie napięcia o 5%, a takie odchylenie jest dopuszczalne.

Dobór przekładni transformatorów sn/nn

Transformatory sn/nn wyposażone są w przełączniki zaczeów, umożliwiające zmianę przekładni w stanie beznapięciowym. Po stronie górnego napięcia mogą być w zasadzie tylko trzy lub pięć zaczeów ($U_n \pm 5\%$, $U_n \pm 2 \times 2,5\%$).

Napięcie znamionowe uzwojenia dolnego jest zazwyczaj o 5% wyższe od napięcia znamionowego sieci (czyli 0,42kV, a nie 0,4kV). W ten sposób występuje podwyższenie napięcia, które może skompensować spadek napięcia na transformatorze i częściowo w liniach nn. Przykładowo, transformatory mogą mieć następujące przekładnie:

$$\frac{15 \pm 5\%}{0,42} : \quad \frac{15 + 5\%}{0,42} \quad \frac{15}{0,42} \quad \frac{15 - 5\%}{0,42}$$

po stronie pierwotnej 15kV → 0,4kV 0,42kV 0,44kV

$$\frac{15 \pm 2 \times 2,5\%}{0,42} : \quad \frac{15 + 5\%}{0,42} \quad \frac{15 + 2,5\%}{0,42} \quad \frac{15}{0,42} \quad \frac{15 + 2,5\%}{0,42} \quad \frac{15 + 5\%}{0,42}$$

po stronie pierwotnej 15kV → 0,4kV 0,41kV 0,42kV 0,43kV 0,44kV

Zaczepy transformatorów sn/nn przestawia się, gdy ulegają zmianie warunki pracy sieci (zmiana obciążenia), np. wiosną – przy malejących obciążeniach i malejących spadkach napięcia – zmniejsza się poziom napięcia wtórnego, lub jesienią – gdy obciążenia i spadki napięcia wzrastają – zwiększa się poziom napięcia wtórnego.

Procentowa napięcie dodawcze na transformatorze określone jest następująco:

$$\Delta E_{T\%} = \frac{\frac{U_{1n} - U}{U_{2n}}}{\frac{U_{1n}}{U_{2n}}} \cdot 100\%$$

Na podstawie tego wzoru można obliczyć procentową wartość napięcia dodawczego dla każdego zaczeu transformatora

Zaczep	+5%	+2,5%	0	-2,5%	-5%
Przekładnia υ	$\frac{15,75}{0,42}$	$\frac{15,375}{0,42}$	$\frac{15}{0,42}$	$\frac{14,675}{0,42}$	$\frac{14,25}{0,42}$
$\Delta E_{T\%}$	0%	~2,5%	~5%	~7,5%	~10%

Najczęściej posługujemy się procentowym odchyleniem napięcia od wartości znamionowej

$$\delta U_{\%} = \frac{U - U_n}{U_n} \cdot 100\%$$

Napięcie u odbiorcy jest równe

$$U = U_0 - \sum \Delta U + \Delta E_T$$

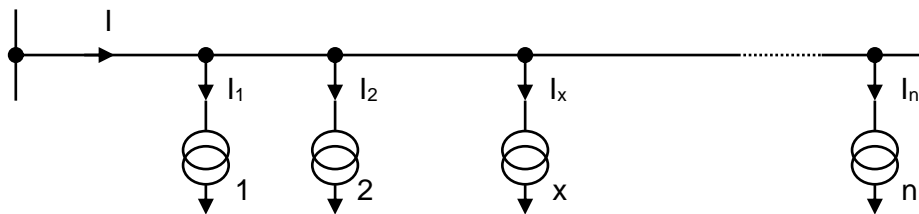
U_0 – napięcie na szynach transformatora zasilającego 110kV/sn, po stronie dolnego napięcia,
natomiast odchylenie napięcia u odbiorcy jest równe

$$\delta U = \delta U_0 - \sum \Delta U_{\%} + \Delta E_{T\%}$$

δU_0 – odchylenie napięcia na szynach transformatora zasilającego 110kV/sn, po stronie dolnego napięcia,

Punktem zasilającym są szyny dolnego napięcia stacji 110kV/sn.

Zakładamy, że sieć rozdzielcza jest promieniowa z równomiernie rozłożonym obciążeniem oraz, że wszystkie przekładnie transformatorów są równe $15 \pm 5\%/0,42\text{kV}$ i nastawione są na 0% napięcie dodawcze.

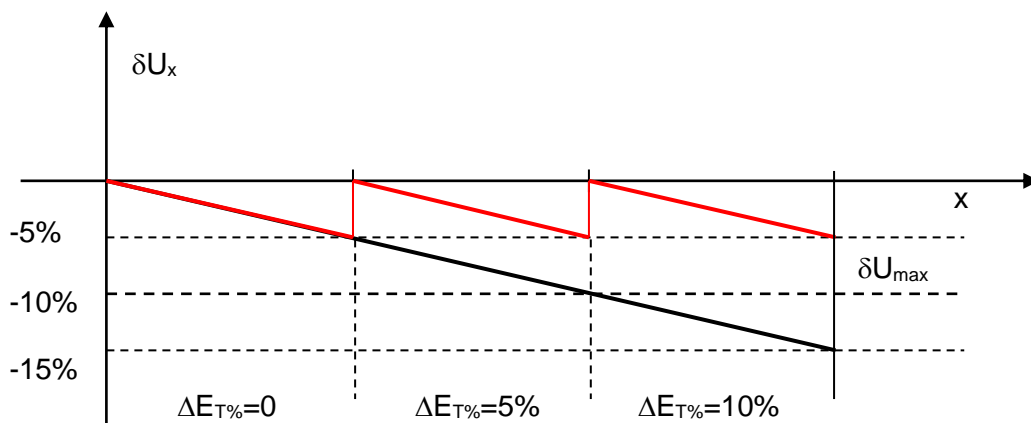


Wtedy odchylenie napięcia w poszczególnych punktach będzie równe

$$\delta U_x = \delta U_0 - \sum_1^x \Delta U_{L\%} - \Delta U_{T\%}$$

Można rozróżnić następujące przypadki

1. Maksymalny spadek napięcia jest bliski 15%. Wtedy całą trasę linii dzielimy na trzy części, odpowiadające w przybliżeniu $\delta U_{\max}/3$. Dla wszystkich transformatorów w pierwszym odcinku nastawiamy ich przekładnie na zaczepek +5%, a wtedy $\Delta E_{T\%}=0$. W drugim odcinku nastawiamy zaczepek zerowe, wtedy $\Delta E_{T\%}=5\%$. Dla odcinka trzeciego w transformatorach nastawiamy zaczepek -5% i wtedy $\Delta E_{T\%}=10\%$. Przy takich nastawieniach przekładni transformatorów, wykres odchyleń napięcia w układzie będzie następujący



2. Jeśli spadek napięcia nie przekracza 10%, linię dzielimy na dwie części. Dla wszystkich transformatorów w pierwszym odcinku nastawiamy ich przekładnie na zaczepek +5%, a wtedy $\Delta E_{T\%}=0$. W drugim odcinku nastawiamy zaczepek zerowe, wtedy $\Delta E_{T\%}=5\%$.
3. Jeśli spadek napięcia nie przekracza 5%, wtedy dla wszystkich transformatorów nastawiamy zaczepek +5% ($\Delta E_{T\%}=0$).

Dopuszczalny zakres odchyłeń napięcia w punkcie zasilającym

W dowolnej sieci, w której przekładnie transformatorów sn/nn zostały dobrane wg przedstawionych zasad, w odpowiedni sposób musi być również dobrana przekładnia transformatora zasilającego. W celu wyznaczenia zakresu regulacji w punkcie zasilającym, należy zestawić bilans napięć dodawczych i spadków napięć w rozważanej sieci. Dla każdego punktu sieci muszą być spełnione następujące zależności

$$\delta U_{dop}^d \leq \delta U_{0\%}' + \sum \Delta E_{T\%}' - \sum \Delta U_{\%}' \leq \delta U_{dop}^g$$

$$\delta U_{dop}^d \leq \delta U_{0\%}'' + \sum \Delta E_{T\%}'' - \sum \Delta U_{\%}'' \leq \delta U_{dop}^g$$

$\delta U_{dop}^d, \delta U_{dop}^g$ - procentowe dopuszczalne górne i dolne odchylenie napięcia w rozpatrywanym punkcie sieci,

$\delta U_{0\%}', \delta U_{0\%}''$ - procentowe odchylenie napięcia od wartości znamionowej w punkcie zasilającym przy obciążeniu maksymalnym i minimalnym,

$\sum \Delta E_{T\%}', \sum \Delta E_{T\%}''$ - suma procentowych wartości napięć dodawczych na transformatorach przy obciążeniu maksymalnym i minimalnym,

$\sum \Delta U_{\%}', \sum \Delta U_{\%}''$ - suma procentowych spadków napięć na elementach toru przy obciążeniu maksymalnym i minimalnym.

W powyższych zależnościach, dopuszczalne odchylenia napięcia $\delta U_{dop}^d, \delta U_{dop}^g$ wynikają z wymagań co do jakości dostarczanej energii elektrycznej. Sumy spadków napięć

$\sum \Delta U_{\%}', \sum \Delta U_{\%}''$ w istniejących sieciach zależą tylko od obciążeń i nie mogą ulec zmianie.

Natomiast w sieciach projektowanych powinno się tak dobierać spadki napięć, a więc przekroje przewodów, aby żądane warunki regulacji napięcia mogły być dotrzymane. Sumy napięć dodawczych $\sum \Delta E_{T\%}', \sum \Delta E_{T\%}''$ zależą od nastawienia zaczepek na

transformatorach, przy czym transformatory sn/nn są ustawione wg podanych wcześniej zasad i nie mają możliwości zmian przekładni pod obciążeniem. Najczęściej są one regulowane dwa razy w roku (wiosna, jesień) lub tylko w przypadkach istotnych zmian obciążeń. Wobec tego, napięcia mogą być regulowane na bieżąco na transformatorach 110kV/sn. Mają one możliwość regulacji napięcia pod obciążeniem. Zmiana zaczepek jest przeprowadzana po otrzymaniu sygnału regulacyjnego z regulatora napięcia na transformatorze i odbywa się cały czas pod napięciem.

Na podstawie nierówności przedstawiających bilans napięć dodawczych i spadków napięć można stwierdzić, że odchylenia napięcia w punkcie zasilającym muszą spełnić następujące zależności:

$$\delta U_{0\%}' \leq \delta U_{dop}^g - \sum \Delta E_{T\%}' + \sum \Delta U_{\%}'$$

$$\delta U_{0\%}'' \geq \delta U_{dop}^d - \sum \Delta E_{T\%}'' + \sum \Delta U_{\%}''$$

a ogólnie

$$\delta U_{0\%}^{\min} \leq \delta U_{0\%}' \leq \delta U_{0\%}^{\max}$$

Przebieg ćwiczenia

1. Zamodelować układ sieci SN.
2. Określić odbierane moce w poszczególnych punktach odbiorczych dla trzech przedziałów doby.
3. Określić dopuszczalne zakresy napięcia u poszczególnych odbiorców.
4. Wyznaczyć nastawienia przekładni transformatorów 110 kV na SN oraz SN/nN.
5. Określić odchylenia napięcia w poszczególnych punktach odbiorczych.
6. Wyznaczyć nastawienia przekładni transformatorów SN/nN tak, aby napięcia u poszczególnych odbiorców nie przekraczały dopuszczalnych wartości.