

Napięcie jako parametr określający jakość energii

Cechy (zakłócenia) napięcia mające wpływ na jakość energii:

- odchylenia napięcia,
- wahania napięcia,
- odkształcenia krzywej napięcia,
- asymetria napięć układu 3-fazowego.

Poziom napięcia:

- wartość skuteczna napięcia w danym punkcie sieci w czasie jej pracy normalnej,
- zależy od napięcia źródła zasilającego oraz od spadków napięcia w liniach i transformatorach.

Odchylenia napięcia

Odchylenia od wartości znamionowej – różnica między wartością skuteczną napięcia U w danym punkcie sieci w dowolnej chwili a wartością znamionową U_r :

$$\Delta U = U - U_r$$

Względna wartość odchylenia napięcia:

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

PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych:

- w każdym tygodniu, 95% ze zbioru 10-minutowych, średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale $U_r \pm 10\%$,
- 100% 10-minutowych, średnich wartości skutecznych napięcia zasilającego powinno mieścić się w przedziale $U_r + 10\% - 15\%$.

Rodzaje instalacji elektroenergetycznych	Dopuszczalne spadki napięć, %				
	w wewnętrznych liniach zasilających		w instalacjach odbiorczych		
	zasilanych bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej o napięciu znamionowym 1 kV i niższym	wyprowadzonych bezpośrednio z głównej rozdzielniczy stacji transformatorowej usytuowanej w obiekcie budowlanym	zasilanych z wewnętrznych linii zasilających ¹⁾	zasilanych bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej o napięciu 1 kV i niższym	przy zasilaniu bezpośrednio z głównych rozdzielnic stacji transformatorowej lub innych źródeł energii
1	2	3	4	5	6
Instalacje o napięciu znamionowym wyższym od 42 V, wspólne dla odbiorników oświetleniowych i grzejnych	2	3	2	4	7
Instalacje o napięciu znamionowym wyższym od 42 V, wspólne lub oddzielne dla odbiorników siłowych i grzejnych	3	4	3	6	9
Instalacje o napięciu znamionowym 42 V i niższym	–	–	–	–	10
Instalacje oddzielne dla odbiorników oświetleniowych	zgodnie z przepisami dotyczącymi urządzeń oświetlenia elektrycznego				

Rodzaj odbiorów	Dopuszczalny spadek napięcia, %			
	średnie napięcie (SN)		niskie napięcie (nn główne obwody)	
	stan normalny	stan zakłóceniewy	stan normalny	stan zakłóceniewy
Miasta zasilane z głównego punktu zasilającego (GPZ) na terenie miasta	2	4	4,5	6,5
Miasta zasilane z odległego GPZ	8	10	3	5
Wsie	8	13	5	10
Odbiory przemysłowe zasilane z sieci rejonowej	8	13	3	5

Regulacja napięcia:

- regulacja bezpośrednia:
 - przez zmianę sił elektromotorycznych generatorów i przekładni transformatorów;
- regulacja pośrednia:
 - przez zmianę impedancji sieci,
 - przez wprowadzenie do sieci dodatkowych mocy biernych.

W sieciach otwartych:

- regulacja wartości napięcia.

W sieciach zamkniętych:

- regulacja wartości i fazy napięcia.

Regulacja napięcia przez zmianę przekładni transformatora:

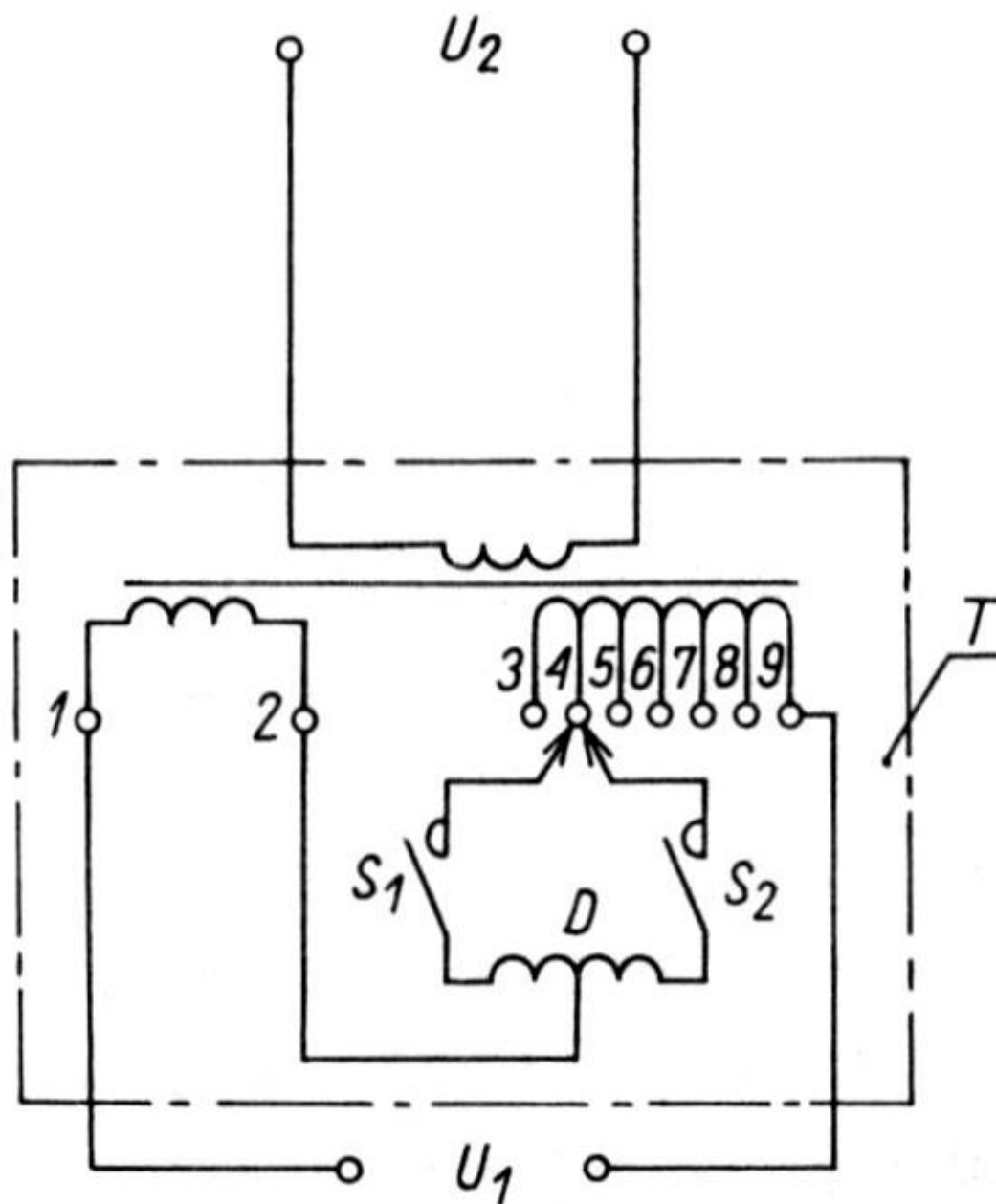
- w celu wyrównania spadków napięcia przy zmianach obciążenia,
- wydzielone zwoje uzwojenia zwykle górnego napięcia połączone z przełącznikiem zaczepów,
- zmiana liczby zwojów czynnych,
- regulacja:
 - w stanie beznapięciowym,
 - pod obciążeniem.

Regulacja w stanie beznapięciowym:

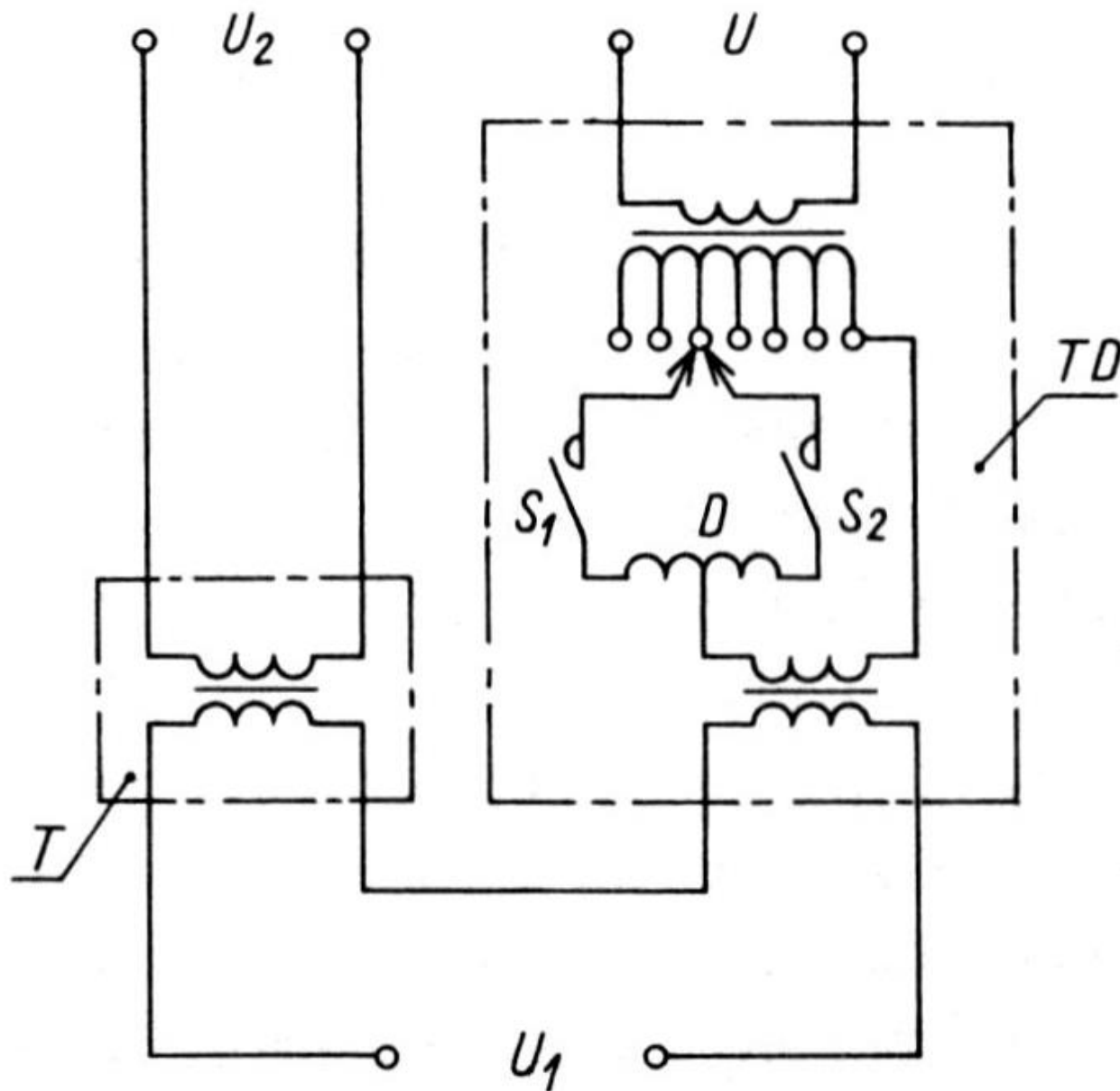
- w transformatorach o S_n do 1,6 MVA (10 MVA) i U_{1n} do 121 kV,
- 3-stopniowy przełącznik zaczepów: +5%, 0, -5% U_n
(lub 5-stopniowy: +5%, +2,5%, 0, -2,5%, -5% U_n),
- zmiana przekładni zwykle 2 razy w roku.

Regulacja pod obciążeniem:

- w transformatorach o $S_n \geq 2$ MVA:
 - $\pm 10\%$, 13 stopni, $S_n = 2 \dots 10$ MVA,
 - $\pm 16\%$, 24 stopnie.
- wydzielone uzwojenia regulacyjne górnego napięcia,
- przełączenie bez przerw i zwarć uzwojeń,
- regulacja:
 - ręczna,
 - sterowana zdalnie ,
 - automatyczna (współpraca z regulatorami napięcia);
- regulacja za pomocą transformatora dodatkowego:
 - rozwiązanie kosztowne,
 - płynna regulacja napięcia,
 - stosowane przy dużych wahaniach napięcia.



Układ połączeń transformatora z regulacją zaczeopową pod obciążeniem; T - transformator, D - dławik, S_1 , S_2 - styczniki.

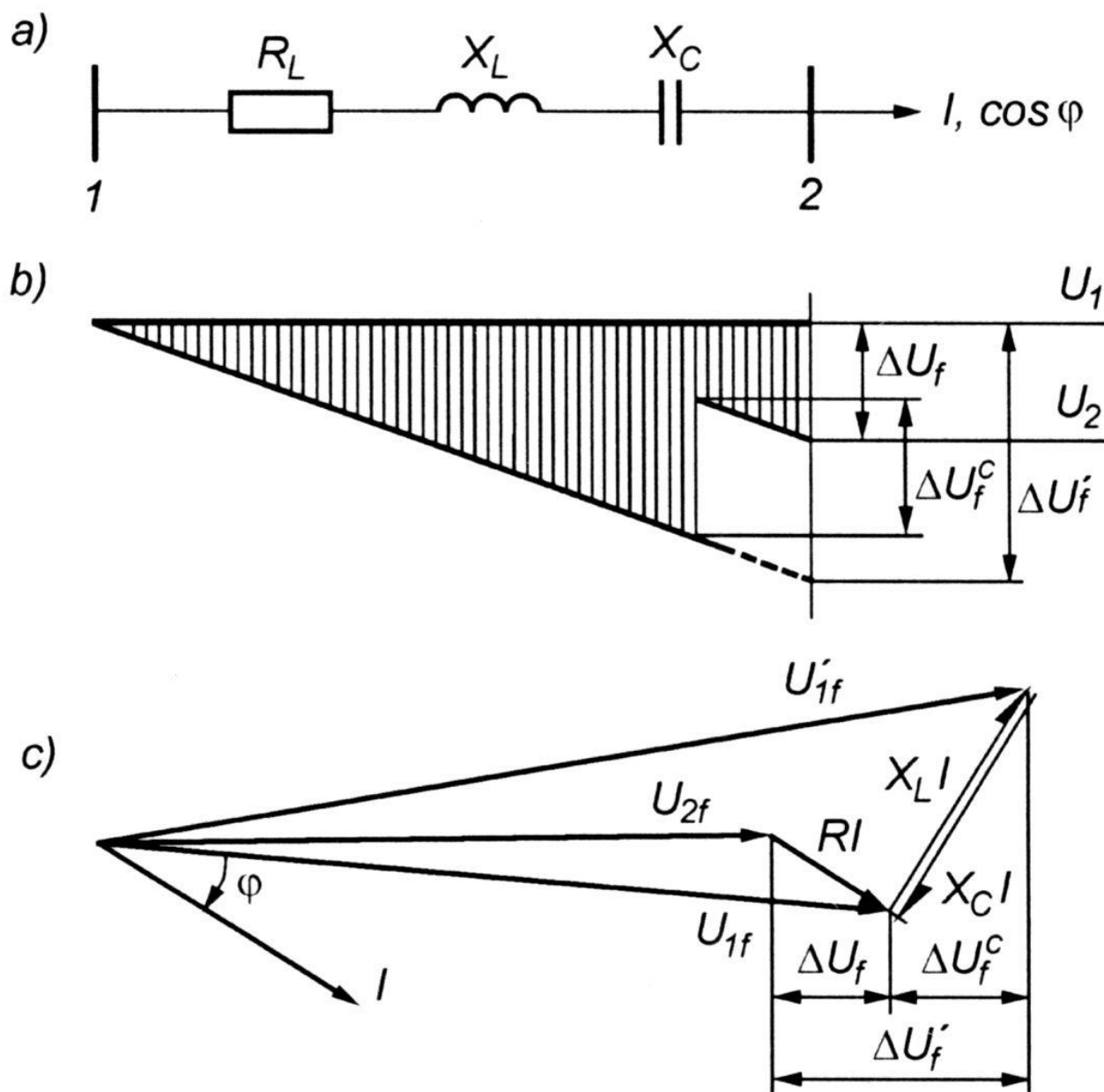


Układ połączeń transformatora z regulacją pod obciążeniem za pomocą transformatora dodatkowego; T - transformator, TD - transformator dodatkowy, D - dławik, S_1 , S_2 - styczniki.

Regulacja napięcia przez zmianę impedancji sieci:

- przez okresowe zmiany konfiguracji sieci:
 - włączanie i wyłączanie równoległych linii i transformatorów;
- przez włączanie kondensatorów szeregowych:
 - kompensacja indukcyjnego spadku napięcia,
 - natychmiastowa reakcja regulacyjna.

Szczególnie przydatne do regulacji napięcia w sieciach zasilających odbiorniki niespokojne (piece łukowe, zespoły napędowe walcarek, spawarki).



Zasada regulacji napięcia za pomocą kondensatorów szeregowych: $\Delta U'_f$ - spadek napięcia w linii bez kondensatora, ΔU_f - spadek napięcia w linii z kondensatorem.

Regulacja napięcia przez zmianę rozplywu mocy biernej

Zainstalowanie dodatkowych odbiorników mocy biernej pojemnościowej:

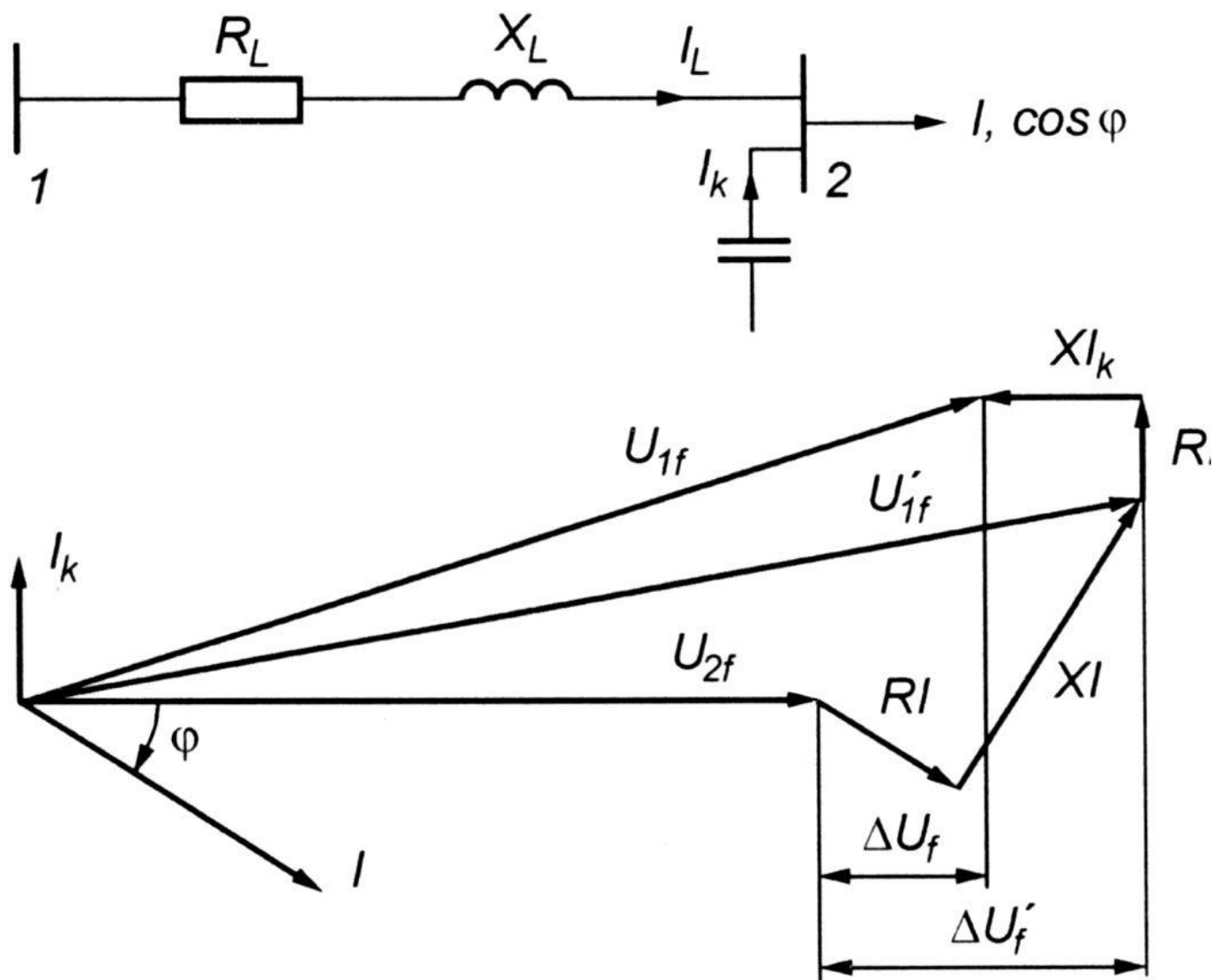
- kondensatory równoległe,
- kompensatory synchroniczne.

Moc bierna kondensatorów zależy od kwadratu napięcia:

$$Q_k = U^2 \omega C$$

Moc kompensacyjna maleje wraz ze wzrostem zapotrzebowania na moc bierną indukcyjną (wzrost obciążenia – zmniejszenie napięcia).

Zwiększanie pojemności baterii kondensatorów przy wzroście obciążenia – regulacja liczby pracujących członów baterii za pomocą tyrystorów.



Zasada regulacji napięcia przez zmianę rozptywu mocy biernych: $\Delta U'_f$ - spadek napięcia w linii bez kondensatora, ΔU_f - spadek napięcia w linii z kondensatorem.

Wahania napięcia

Szybkie zmiany napięcia przekraczające 2% na sekundę:

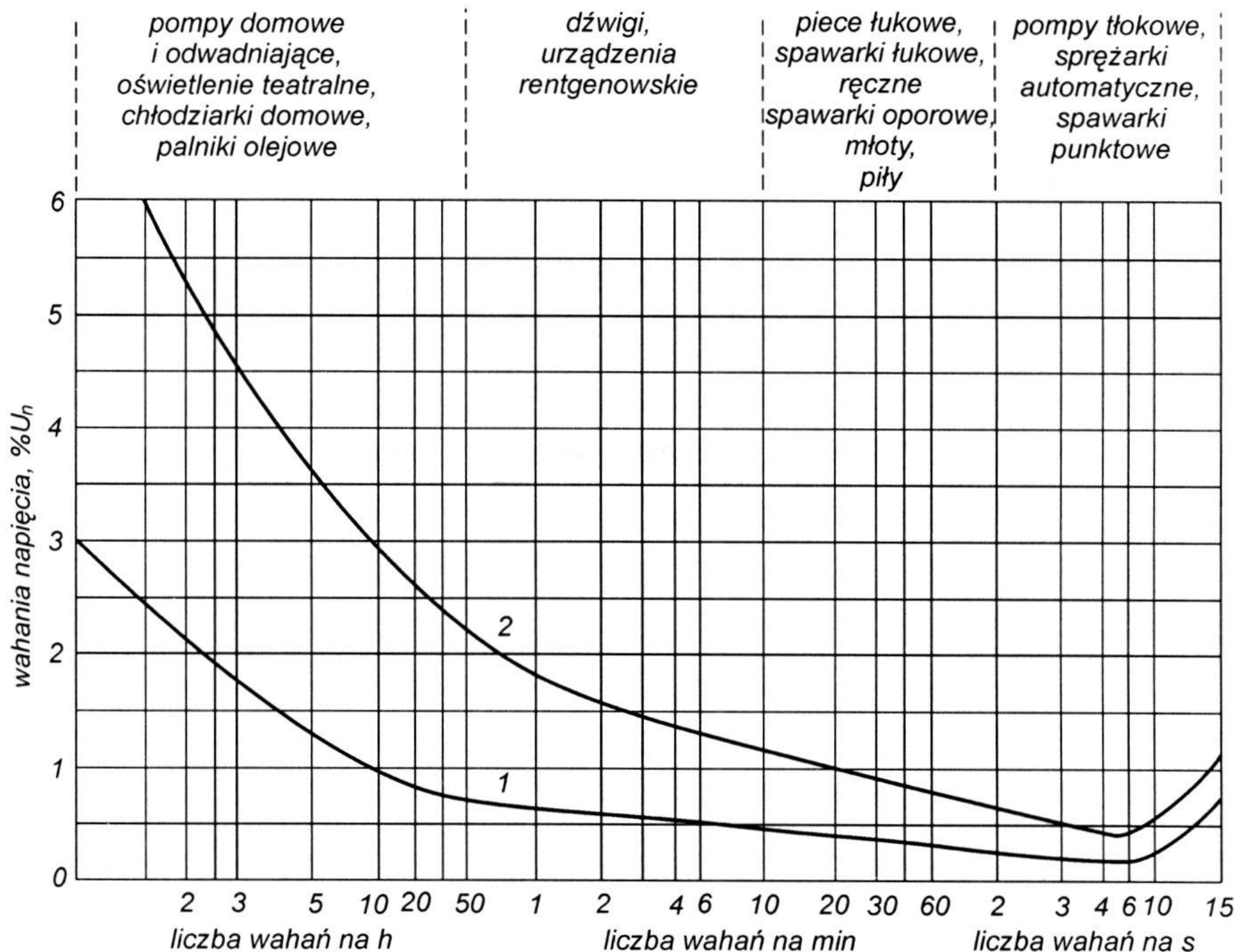
$$\Delta U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_r} \cdot 100 \%$$

Przyczyny:

- zwarcia o dużych prądach,
- przełączenie zaczeów transformatora,
- odbiorniki niespokojne:
 - silniki asynchroniczne,
 - spawarki (zwłaszcza punktowe),
 - sprężarki tłokowe,
 - piece łukowe.

Parametry wahań napięcia:

- amplituda wahanania,
- częstość występowania:
 - bardzo częste, rzadkie, bardzo rzadkie,
 - najbardziej uciążliwe o częstotliwości 6...10 Hz.
- czas trwania.



Wrażliwość wzroku na zmiany oświetlenia spowodowane wahaniami napięcia; 1 – próg odczuwalności, 2 – granica dokuczliwości.

Proponowane wartości dopuszczalnych wahań napięcia w Polsce.

Rodzaj wahań	Częstość wahań	Dopuszczalna wartość, %
Regularne bardzo częste	większa niż 2/s	0,5
Nieregularne bardzo częste	większa niż 2/s	0,7 ÷ 1
Częste	kilka na minutę do 2/s	2 ÷ 2,5
Rzadkie	mniejsze niż kilka na minutę	4 ÷ 5
Bardzo rzadkie	1 na kilka dni	10 ÷ 15

Ograniczanie wahań napięcia:

- zwiększenie mocy zwarcia w miejscu zainstalowania odbiorników niespokojnych,
- zmniejszenie zmian mocy biernej przez zastosowanie kompensatorów dynamicznych,
- zasilanie odbiorników niespokojnych z oddzielnych transformatorów,
- zastosowanie dławików szeregowych o zmiennym stopniu nasycenia.