

ANTONI BOGUCKI

Katedra Sieci i Układów

Elektroenergetycznych

ANALIZA WPŁYWU ZMIANY CZĘSTOTLIWOŚCI
NA STRATY WZDŁUŻNE WYSTĘPUJĄCE
W UKŁADACH SIECIOWYCH

Streszczenie. W artykule przeprowadzono analizę wpływu zmiany częstotliwości na straty wzdłużne, uwzględniając występującą równocześnie ze zmianą częstotliwości, zmianę napięcia. W rozważaniach wykorzystano wyprowadzone przez autora wzory, po dające funkcjonalny związek między współczynnikami względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(f)$, $\Delta P = F(U)$ oraz $\Delta P = (f, U)$, a współczynnikami względnego nachylenia częstotliwościowych lub odpowiednio napięciowych charakterystyk statycznych odbioru.

W S T Ę P

Problemiowi wpływu zmiany częstotliwości na straty wzdłużne nie poświęcono w literaturze technicznej większej uwagi. W większości publikacji problem ten jest jedynie krótko omawiany, przy czym wysuwane tezy nie zawsze odpowiadają rzeczywistości. Przeprowadzona w niniejszym artykule analiza, stanowi więc przede wszystkim dalsze uzupełnienie problematyki strat.

Zmianie częstotliwości w układzie energetycznym towarzyszy zmiana poziomów napięć w węzłach sieciowych. Wpływ zmiany częstotliwości na straty wzdłużne jest więc podwójny, z jednej strony mamy bezpośredni wpływ zmiany częstotliwości, a z drugiej strony wpływ pośredni - wynikający ze zmiany napięcia pod wpływem zmiany częstotliwości. Dla otrzymania rzeczywistego obrazu wpływu zmiany częstotliwości na straty wzdłużne należy zatem przy przeprowadzaniu analizy, uwzględnić zarówno wpływ bezpośredni jak i pośredni.

W naszych rozważaniach - dla łatwiejszego przeprowadzenia analizy - omówimy w pierwszej kolejności bezpośredni wpływ zmiany częstotliwości na straty tzn. bez uwzględnienia jednoczesnej zmiany napięcia, dalej przeprowadzimy analizę wpływu samej tylko zmiany napięcia na straty, a następnie przejdziemy do analizy wpływu zmiany częstotliwości z uwzględnieniem występującej jednocześnie zmiany napięcia.

Analizę wymienionych wyżej zagadnień przeprowadzimy w oparciu o tzw. współczynniki względnego nachylenia częstotliwościowych i napięciowych charakterystyk statycznych [L.1, 2, 3 i 4] oraz o współczynniki względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(f)$, $\Delta P = F(U)$ i $\Delta P = F(f, U)$.

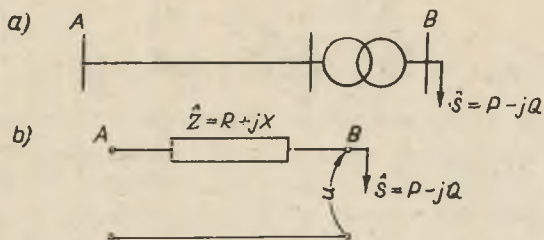
WSPÓŁCZYNNIK WZGLĘDNEGO NACHYLENIA ZALEŻNOŚCI STRAT WZDŁUŻNYCH OD CZĘSTOTLIWOŚCI

Na rys. 1a przedstawiono prosty układ przesyłowy, składający się z linii przesyłowej oraz transformatora obniżającego. Uproszczony schemat zastępczy tego układu podano na rys. 1b.

Na wstępie naszych rozważań założymy, że zmiana częstotliwości w układzie energetycznym nie wywołuje zmiany poziomu napięcia na szynach zbiorczych w elektrowniach. Przy tym założeniu możemy przyjąć, że poziom napięcia w punkcie B (rys. 1) ulega przy zmianie częstotliwości tak nieznacznej zmianie, że praktycznie w punkcie tym $dU/df = 0$.

Zakładamy dalej, że na końcu układu odbieramy moc $\hat{S} = P - jQ$ przy napięciu U . Wówczas strata wzdłużna w rozpatrywanym układzie przesyłowym może być określona wg wzoru

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \quad (1)$$



Rys. 1. Układ przesyłowy oraz jego uproszczony schemat zastępczy

Analizę wpływu zmiany częstotliwości na straty wzdłużne przeprowadzimy w oparciu o współczynnik względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(f)$. W celu znalezienia wzoru, określającego wymieniony współczynnik, szukamy pochodnej wyrażenia (1) względem częstotliwości

$$\frac{d\Delta P}{df} = \frac{\partial \Delta P}{\partial P} \cdot \frac{dP}{df} + \frac{\partial \Delta P}{\partial Q} \cdot \frac{dQ}{df} + \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \cdot \frac{dU}{df} \quad (2)$$

Do równania (2) podstawiamy następujące zależności

$$\frac{dP}{df} = K_f \cdot \frac{P}{f}; \quad \frac{dQ}{df} = L_f \cdot \frac{Q}{f}; \quad \frac{dU}{df} = 0$$

gdzie

K_f - współczynnik względnego nachylenia częstotliwościowej charakterystyki statycznej odbioru $P = F(f)$,

L_f - współczynnik względnego nachylenia częstotliwościowej charakterystyki statycznej odbioru $Q = F(f)$.

Po podstawieniu podanych wyżej zależności do równania (2) oraz dokonaniu odpowiednich przekształceń otrzymujemy

$$\frac{d\Delta P}{df} = 2 \cdot \frac{K_f + L_f \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \cdot \frac{\Delta P}{f}$$

stąd

$$\vartheta_f = 2 \frac{K_f + L_f \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} = \frac{d\Delta P}{df} \cdot \frac{f}{\Delta P} \quad (3)$$

Jeśli współczynnik $\vartheta_f = 1,5$ - to oznacza, że wzrost częstotliwości o 1% wywołuje wzrost strat wzdłużnych o 1,5%.

Po poprawie naturalnego współczynnika mocy przez zastosowanie baterii kondensatorów statycznych, przebieg zależności straty wzdłużnej od napięcia ulegnie zmianie. Wartość współczynnika ϑ_f' określającego - przy zadanym poziomie częstotliwości - stromość nachylenia nowej zależności $\Delta P' = F(f)$, wyznaczamy z wzoru

$$\vartheta_f' = 2 \frac{K_f + L_f' \operatorname{tg}^2 \varphi'}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi'} = \frac{d\Delta P'}{df} \cdot \frac{f}{\Delta P'} \quad (4)$$

$$L_f' = \frac{L_f \cdot \operatorname{tg} \varphi - (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{\operatorname{tg} \varphi'} = \frac{dQ'}{df} \cdot \frac{f}{Q'} \quad (5)$$

gdzie

L_f' - współczynnik względnego nachylenia charakterystyki $Q' = F(f)$,

$\operatorname{tg} \varphi$ - tangens kąta przesunięcia fazowego przed kompensacją,

$\operatorname{tg} \varphi'$ - tangens kąta przesunięcia fazowego po kompensacji,

Q' - moc bierna pobierana przez odbiór po kompensacji.

Posługując się wzorem (4) możemy określić wartość współczynnika ϑ'_f przy każdym stopniu kompensacji mocy biernej. Należy podkreślić, że współczynnik ϑ'_f odniesiony jest do wielkości strat po kompensacji.

Jeśli znamy wartość straty wzdłużnej przed kompensacją (ΔP) to straty wzdłużne po kompensacji możemy określić wg wzoru

$$\Delta P' = \Delta P \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi'}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \quad (6)$$

W wielu przypadkach energetyka interesują nie straty bezwzględne, lecz straty względne. Te ostatnie określone są wzorem

$$\Delta P^* = \frac{\Delta P}{P} = \frac{P^2 + Q^2}{P \cdot U^2} \cdot R \quad (7)$$

Zmiana częstotliwości powoduje zmianę wartości ΔP oraz wielkości poboru mocy czynnej P , do której tę stratę wzdłużną odnosimy. Przez analogię do współczynnika ϑ_f , wprowadzamy obecnie do naszych rozważań współczynnik η_f , określający wpływ zmiany częstotliwości na względną wartość straty wzdłużnej (ΔP^*). Współczynnik ten określamy wzorem

$$\eta_f = \vartheta_f - K_f = \frac{d\Delta P^*}{df} \cdot \frac{f}{\Delta P^*} \quad (8)$$

Po zastosowaniu u odbiorcy kompensacji mocy biernej w celu poprawy naturalnego współczynnika mocy - wzór (8) przyjmie postać

$$\eta'_f = \vartheta'_f - K'_f = \frac{d\Delta P^{*'}}{df} \cdot \frac{f}{\Delta P^{*'}} \quad (9)$$

WSPÓŁCZYNNIK WZGLĘDNEGO NACHYLENIA ZALEŻNOŚCI STRAT WZDŁUŻNYCH OD NAPIĘCIA

Zakładamy, że w rozpatrywanym układzie przesyłowym (rys. 1) transformator obniżający jest zwykłym transformatorem mocy - pracującym na pewnej ustalonej przekładni. Przy tym założeniu, podniesienie poziomu napięcia na początku układu (pkt A na rys. 1), wywoła jednocześnie wzrost napięcia na krańcu odbiorczym i tym samym wzrost poboru mocy czynnej i biernej według napięciowych charakterystyk statycznych odbioru $P = F(U)$ i $Q = F(U)$. Zadaniem naszym jest zbadanie wpływu zmiany napięcia na straty wzdłużne - występujące w rozpatrywanym układzie przesyłowym - w oparciu o współczynnik względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(U)$. Współczynnik ten określony jest wzorem^x

$$\vartheta_u = 2 \left(\frac{K_u + L_u \operatorname{tg}^2 \varphi}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} - 1 \right) = \frac{d\Delta P}{dU} \cdot \frac{U}{\Delta P} \quad (10)$$

gdzie

K_u - współczynnik względnego nachylenia napięciowej charakterystyki statycznej odbioru $P = F(U)$,

L_u - współczynnik względnego nachylenia napięciowej charakterystyki statycznej odbioru $Q = F(U)$.

Po zastosowaniu kompensacji mocy biernej na krańcu odbiorczym - przebieg zależności $\Delta P^* = F(U)$ ulegnie zmianie. Wartość współczynnika ϑ'_u , określającego - przy zadanym poziomie napięcia - stromość nachylenia nowej zależności $\Delta P' = F(U)$ wyznaczamy wg wzoru

$$\vartheta'_u = 2 \frac{K_u + L_u \operatorname{tg}^2 \varphi'}{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi'} = \frac{d\Delta P'}{dU} \cdot \frac{U}{\Delta P'} \quad (11)$$

^x Wzór (10) otrzymujemy przez zróżniczkowanie wyrażenia (1) względem napięcia oraz po dokonaniu szeregu przekształceń i po podstawieniu następujących wyrażeń

$$\frac{dP}{dU} = K_u \cdot \frac{P}{U}; \quad \frac{dQ}{dU} = L_u \frac{Q}{U}; \quad P = Q \operatorname{tg} \varphi$$

Jeśli do kompensacji mocy biernej użyjemy baterii kondensatorów statycznych, to wzór określający wartość współczynnika L'_u przyjmie postać

$$L'_u = \frac{L_u \operatorname{tg} \varphi - 2(\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \varphi')}{\operatorname{tg} \varphi'} = \frac{dQ'}{dU} \cdot \frac{U}{Q'} \quad (12)$$

gdzie

$\operatorname{tg} \varphi'$ - tangens kąta przesunięcia fazowego po kompensacji mocy biernej,

Q' - moc bierna pobierana przez odbiór po kompensacji.

Przez analogię do współczynnika η_f (wzór 8) wprowadzimy obecnie do naszych rozważań współczynnik η_u - określający wpływ zmiany napięcia na względną wartość straty wzdłużnej (wzór 7). Współczynnik ten określony jest wzorem

$$\eta_u = \vartheta_u - K_u = \frac{d\Delta P^*}{dU} \cdot \frac{U}{\Delta P^*} \quad (13)$$

Po zastosowaniu u odbiorcy kompensacji mocy biernej - otrzymamy nową zależność $\Delta P^* = F(U)$. Wzór określający współczynnik względnego nachylenia tej zależności ma postać

$$\eta'_u = \vartheta'_u - K_u \quad (14)$$

Posługując się wzorami (11) i (14) możemy określić wartości współczynników ϑ'_u i η'_u przy każdym stopniu kompensacji mocy biernej na krańcu odbiorczym.

WSPÓŁCZYNNIK WZGLĘDNEGO NACHYLENIA ZALEŻNOŚCI STRAT WZDŁUŻNYCH OD CZĘSTOTLIWOŚCI I NAPIĘCIA

Zmianie częstotliwości w układzie energetycznych towarzyszy jednocześnie zmiana napięcia. W rzeczywistych warunkach pracy układu mamy zatem podwójny wpływ zmiany częstotliwości na stra-

ty wzdlużne - bezpośredni, wynikający ze zmiany częstotliwości i pośredni wynikający ze zmiany napięcia pod wpływem zmiany częstotliwości. Ogólnie więc możemy napisać, że

$$\frac{d\Delta P}{df} = \frac{\partial \Delta P}{\partial f} + \frac{\partial \Delta P}{\partial U} \cdot \frac{dU}{df} \quad (15)$$

stąd

$$\beta_{f,u} = \beta_f + \beta_u \cdot K_R$$

gdzie

K_R - współczynnik względnego nachylenia zależności $U=F(f)$.
Wartości tego współczynnika mieszczą się w zakresie 0,65-1,10.

Należy zaznaczyć, że współczynniki β_f , β_u i K_R odniesione są do określonej wartości częstotliwości i napięcia.

Współczynnik względnego nachylenia zależności $\Delta P' = F(f, U)$ - otrzymanej po zastosowaniu kompensacji mocy biernej w celu poprawy naturalnego współczynnika mocy - może być określony wzorem

$$\beta'_{f,u} = \beta'_f + \beta'_u \cdot K_R \quad (16)$$

Przez analogię do wzorów (15) i (16), możemy obecnie napisać wzory określające współczynniki względnego nachylenia zależności względnych strat wzdlużnych od częstotliwości i napięcia. Wzory te mają postać

$$\eta_{f,u} = \eta_f + \eta_u \cdot K_R \quad (17)$$

lub

$$\eta_{f,u} = (\beta_f - K_R) + (\beta_u - K_u) \cdot K_R \quad (18)$$

- a po kompensacji mocy biernej

$$\eta'_{f,u} = \eta'_f + \eta'_u \cdot K_r \quad (19)$$

lub

$$\eta'_{f,u} = (\vartheta'_f - K_f) + (\vartheta'_u - K_u) \cdot K_r \quad (20)$$

ANALIZA BEZPOŚREDNIEGO WPLYWU ZMIANY CZĘSTOTLIWOŚCI NA STRATY WZDŁUŻNE

Analizę bezpośredniego wpływu zmiany częstotliwości na straty wzdłużne przeprowadzimy w oparciu o wyprowadzone uprzednio wzory (3), (4), (8) i (9) oraz o zestawione - w kolumnie pierwszej tablicy 1 - wartości współczynników względnego nachylenia częstotliwościowych charakterystyk statycznych pobieranej mocy czynnej i biernej dla zakładów przemysłowych^{x)}. Wartości tych współczynników odniesione są do częstotliwości znamionowej.

W pierwszej kolumnie tablicy 1 zestawiono wartości współczynników ϑ'_f , obliczone w oparciu o naturalne charakterystyki pobieranej mocy biernej. Jak wynika z tego zestawienia - w miarę obniżania się wartości naturalnych współczynników mocy, rosną bardzo wyraźnie bezwzględne wartości współczynników ϑ'_f . Wniosekujemy stąd, że im jest niższa wartość naturalnego współczynnika mocy, tym zależność $\Delta P = F(f)$ ma bardziej stromy przebieg. Należy zaznaczyć, że począwszy od wartości naturalnego współczynnika mocy równej 0,8 - współczynniki ϑ'_f mają wartości ujemne. Zatem obniżanie częstotliwości poniżej poziomu znamionowego powoduje - w tych wypadkach - wzrost bezwzględnych wartości strat wzdłużnych. Obniżenie częstotliwości w układzie powoduje również wzrost względnych wartości strat wzdłuż-

^{x)} Wartości wymienionych współczynników wyznaczono na podstawie pomiarów przeprowadzonych w krajowym układzie energetycznym [L. 3 i 4].

Tablica 1

Wartości współczynników względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(f)$ i $\Delta P^* = F(f)$
 - wyznaczone w oparciu o charakterystyki $P = F(f)$ i $Q = F(f)$ dla zakładów przemy-
 słowych

Przed kompensacją					Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,85$			Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,90$			Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,95$		
K_f	L_f	$\cos\varphi_{zn}$	φ_f	η_f	L'_f	φ'_f	η'_f	L'_f	φ'_f	η'_f	L'_f	φ'_f	η'_f
1,1	-2,30	0,85	0,31	-0,79	-	-	-	-3,23	0,56	-0,54	-5,21	0,96	-0,14
1,1	-2,50	0,80	-0,39	-1,49	-3,23	-0,20	-1,30	-4,42	0,10	-1,00	-6,98	0,62	-0,48
1,1	-2,84	0,75	-1,24	-2,34	-4,46	-1,03	-2,13	-6,00	-0,48	-1,58	-9,29	0,16	-0,94
1,1	-2,84	0,70	-1,82	-2,92	-5,32	-1,36	-2,46	-7,10	-0,90	-2,00	-10,92	-0,14	-1,24
1,1	-3,10	0,65	-2,65	-3,75	-6,72	-2,15	-3,25	-8,72	-1,59	-2,69	-13,58	-0,66	-1,76
1,1	-3,10	0,60	-3,17	-4,27	-7,80	-2,74	-3,84	-10,29	-2,11	-3,21	-15,60	-1,08	-2,18

nych, gdyż wszystkie wartości współczynników η_f zestawione w omawianej kolumnie mają znak ujemny.

W kolumnie drugiej, trzeciej i czwartej zestawiono wartości współczynników ϑ_f' - otrzymane po dokonaniu poprawy naturalnych współczynników mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,85$, $\cos \varphi'_{zn} = 0,90$ i $0,95$. Porównując wartości ϑ_f' w poszczególnych kolumnach widzimy, że wszystkie wartości tych współczynników - po poprawie naturalnych współczynników mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,85$ - mają wartości ujemne. Natomiast po poprawie do $\cos \varphi'_{zn} = 0,95$, ujemne wartości mają dopiero współczynniki ϑ_f' , odpowiadające naturalnym współczynnikom mocy mniejszym od $0,75$. W miarę więc wzrostu stopnia kompensacji przesuwa się granica ujemnych wartości współczynników ϑ_f' . Wnioskujemy stąd, że z wzrostem stopnia kompensacji minimum zależności $\Delta P' = F(f)$ przesuwa się w kierunku rosnących wartości częstotliwości.

ANALIZA WPŁYWU ZMIANY NAPIĘCIA NA STRATY WZDŁUŻNE

W tabelicy 2 zestawiono wartości współczynników względnego nachylenia $\Delta P = F(U)$ i $\Delta P^* = F(U)$, określone według napięciowych charakterystyk statycznych pobieranej mocy czynnej i biernej dla zakładów przemysłowych [L. 1, 2]. W tabelicy tej oprócz wartości współczynników ϑ_u i η_u , podano również wartości współczynników ϑ_u' i η_u' . Te ostatnie wyznaczono dla 3 stopni kompensacji, a mianowicie; po poprawie naturalnego współczynnika mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,85$, $\cos \varphi'_{zn} = 0,90$ oraz do $\varphi'_{zn} = 0,95$.

W pierwszej kolumnie tabelicy 2 zestawiono wartości ϑ_u i η_u obliczone - dla naturalnych charakterystyk pobieranej mocy biernej - w oparciu o wzory (10) i (13). Z zestawienia tego wynika że w miarę obniżania się wartości naturalnych współczynników mocy rośnie stromość zależności $\Delta P = F(U)$ - wskazują na torosnące wartości współczynników ϑ_u . W omawianej kolumnie wszystkie współczynniki ϑ_u mają wartości dodatnie, a zatem wzrost napięcia zasilania powyżej poziomu znamionowego powoduje zawsze wzrost bezwzględnych wartości strat wzdłużnych. Niskie wartości współczynników ϑ_u przy wyższych wartościach natu-

Tablica 2

Wartości współczynników względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(U)$ i $\Delta P = F(U)$
 - wyznaczone w oparciu o charakterystyki $P = F(U)$ oraz $Q = F(U)$
 dla zakładów przemysłowych

Przed kompensacją					Po kompensacji do $\cos \varphi'_{zn} = 0,85$			Po kompensacji do $\cos \varphi'_{zn} = 0,90$			Po kompensacji do $\cos \varphi'_{zn} = 0,95$		
K_u	$\cos \varphi_{zn}$	L_u	δ_u	η_u	L'_u	δ'_u	η'_u	L'_u	δ'_u	η'_u	L'_u	δ'_u	η'_u
0,60	0,85	2,30	0,14	-0,46	-	-	-	2,38	-0,12	-0,72	2,55	-0,42	-1,020
0,60	0,80	2,50	0,56	-0,04	2,60	0,31	-0,29	2,77	0,02	-0,62	3,12	-0,30	-0,900
0,60	0,75	2,84	1,16	0,56	3,19	0,64	0,04	3,53	0,31	-0,29	4,25	-0,08	-0,608
0,60	0,70	2,84	1,48	0,88	3,38	0,74	0,14	3,77	0,40	-0,20	4,56	-0,03	-0,603
0,60	0,65	3,10	2,09	1,49	4,07	1,13	0,53	4,66	0,74	0,14	5,91	0,24	-0,360
0,60	0,60	3,10	2,40	1,80	4,36	1,29	0,69	5,03	0,89	0,29	6,44	0,34	-0,260

ralnych współczynników mocy jednocześnie wskazują, że odpowiadające im zależności $\Delta P = F(U)$ mają w pobliżu napięcia znamionowego przebiegi płaskie oraz, że minimum tych zależności leżą stosunkowo blisko napięcia znamionowego.

W pozostałych kolumnach tablicy 2 zestawiono wartości współczynników β'_u oraz η'_u - uzyskane po poprawie naturalnych współczynników mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,85, 0,90$ i $0,95$. Porównując wartości β'_u zestawione w tych kolumnach widzimy, że wszystkie współczynniki β'_u - po poprawie naturalnych współczynników mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,85$ - mają nadal wartości dodatnie. Natomiast przy $\cos \varphi'_{zn} = 0,95$ współczynniki β'_u - odpowiadające wyższym wartościom naturalnych współczynników mocy - mają wartości ujemne. W miarę więc wzrostu stopnia kompensacji przesuwa się granica ujemnych wartości współczynników β'_u . Wnioskujemy stąd, że z wzrostem stopnia kompensacji minimum zależności $\Delta P' = F(U)$ przesuwa się w kierunku rosnących wartości napięcia.

Po poprawie naturalnych współczynników mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,85$ tylko wartości współczynników η'_u , odpowiadające naturalnym $\cos \varphi_{zn} = 0,85$ i $0,80$, mają znak ujemny. Pozostałe współczynniki η'_u w tej kolumnie mają nadal znak dodatni, ale ich wartości w porównaniu z wartościami η_u w kolumnie pierwszej są już mniejsze. Jak wynika z kolumny trzeciej, dalszy wzrost stopnia kompensacji powoduje przesunięcie ujemnej granicy wartości η'_u . Po poprawie naturalnych współczynników mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,90$, jedynie wartości współczynników η'_u odpowiadające naturalnym $\cos \varphi_{zn} = 0,65$ i $0,60$ mają nadal znak dodatni. Dopiero po kompensacji mocy biernej do $\cos \varphi'_{zn} = 0,95$ - wszystkie współczynniki η'_u mają znak ujemny, a zatem wzrost napięcia zasłaniania powyżej poziomu znamionowego powoduje - w tych przypadkach - obniżenie względnych wartości strat wzdłużnych. Warto podkreślić, że nawet po poprawie naturalnych współczynników mocy do $\cos \varphi'_{zn} = 0,95$ - współczynniki β'_u , odpowiadające niższym wartościom naturalnych współczynników mocy $\cos \varphi_{zn} = 0,65$ i $0,60$ - mają nadal wartości dodatnie, chociaż w porównaniu z odpowiednimi wartościami współczynników β_u z poprzednich kolumn, są one znacznie mniejsze.

Zestawienie wartości współczynników $v_{f,u}$ i $v'_{f,u}$
dla zakładów przemysłowych

Przed kompensacją				Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,85$			Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,90$			Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,95$			
K_r	$\cos\varphi_{zn}$	v_f	v_u	$v_{f,u}$	v'_f	v'_u	$v'_{f,u}$	v'_f	v'_u	$v'_{f,u}$	v'_f	v'_u	$v'_{f,u}$
0,65	0,85	0,31	0,14	0,40	-	-	-	0,56	-0,12	0,47	0,96	-0,42	0,69
1,10				0,46									
0,65	0,80	-0,39	0,56	0,03	-0,20	0,31	0,00	0,10	0,02	0,11	0,62	-0,30	0,43
1,10				0,22									
0,65	0,75	-1,24	1,16	-0,49	-1,03	0,64	-0,62	-0,48	0,31	-0,28	0,16	-0,08	0,11
1,10				0,03									
0,65	0,70	-1,82	1,48	-0,86	-1,36	0,74	-0,88	-0,90	0,40	-0,64	-0,14	-0,03	-0,16
1,10				-0,20									
0,65	0,65	-2,65	2,09	-1,30	-2,15	1,13	-1,42	-1,59	0,74	-1,11	-0,66	0,24	-0,51
1,10				-0,35									
0,65	0,60	-3,17	2,40	-1,61	-2,74	1,29	-1,91	-2,11	0,89	-1,54	-1,08	0,34	-0,86
1,10				-0,53									

ANALIZA WPŁYWU ZMIANY CZĘSTOTLIWOŚCI I NAPIĘCIA NA BEZWZGLĘDNE I WZGLĘDNE WARTOŚCI STRAT WZDŁUŻNYCH

Analizę wpływu zmiany częstotliwości i napięcia na straty względne, przeprowadzimy w oparciu o wzory (15), (16), (17), (19) oraz o zestawione w tablicach 1 i 2 wartości współczynników względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(f)$ i $\Delta P = F(U)$. Wartości współczynników względnego nachylenia zależności $\Delta P = F(f, U)$ i $\Delta P^* = F(f, U)$ wyznaczono dla wartości $K_R = 0,65$ i $1,10$, a więc dla skrajnych wartości zakresu w którym mieszczą się wartości współczynników K_R .

W kolumnie pierwszej tablicy 3 zestawiono wartości współczynników $\varphi_{f,u}$ obliczone dla naturalnych współczynników mocy. Z zestawienia tego wynika, że niższym wartościom naturalnych współczynników mocy odpowiadają ujemne wartości współczynników $\varphi_{f,u}$, a zatem obniżenie częstotliwości w układzie powoduje w tych przypadkach wzrost wartości strat wzdłużnych. Dla naturalnych współczynników mocy $\cos \varphi_{zn} \geq 0,80$ współczynniki $\varphi_{f,u}$ mają znak dodatni, a więc obniżeniu częstotliwości towarzyszy w tych przypadkach obniżenie wartości strat wzdłużnych.

Z porównania wartości współczynników zestawionych w pozostałych kolumnach widzimy, że w miarę wzrostu stopnia kompensacji mocy biernej przesuwa się granica ujemnych wartości współczynników $\varphi'_{f,u}$. I tak np. po poprawie naturalnego $\cos \varphi_{zn} = 0,75$ do wartości 0,85 i 0,90 współczynniki $\varphi'_{f,u}$ mają znak ujemny, ale już przy $\cos \varphi'_{zn} = 0,95$ współczynnik ten przyjmuje wartość dodatnią. Przy naturalnych $\cos \varphi_{zn} \leq 0,70$ - wzrostowi stopnia kompensacji towarzyszy obniżenie bezwzględnych wartości współczynników $\varphi'_{f,u}$. Wnioskujemy stąd, że dla podanych wyżej wartości naturalnych współczynników mocy - w miarę wzrostu kompensacji mocy biernej - zależności $\Delta P' = F(f, U)$ mają w pobliżu częstotliwości znamionowej coraz bardziej płaskie przebiegi.

W tablicy 4 zestawiono współczynniki względnego nachylenia zależności względnych strat wzdłużnych od częstotliwości i napięcia. Wartości tych współczynników wyznaczono w oparciu o wzory (17) i (19). Z uprzednio przeprowadzonej analizy wiadomo

Tablica 4

Zestawienie wartości współczynników $\eta_{f,u}$ i $\eta'_{f,u}$ dla zakładów przemysłowych

Przed kompensacją					Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,85$			Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,90$			Po kompensacji do $\cos\varphi'_{zn} = 0,95$		
K_r	$\cos\varphi_{zn}$	η_f	η_u	$\eta_{f,u}$	η'_f	η'_u	$\eta'_{f,u}$	η'_f	η'_u	$\eta'_{f,u}$	η'_f	η'_u	$\eta'_{f,u}$
0,65	0,85	-0,79	-0,46	-1,09	-	-	-	-0,54	-0,72	-1,00	-0,14	-1,020	-0,80
1,10				-1,29									
0,65	0,80	-1,49	-0,04	-1,51	-1,30	-0,29	-1,48	-1,00	-0,62	-1,40	-0,48	-0,900	-1,06
1,10				-1,53			-1,68			-1,47			
0,65	0,75	-2,34	0,56	-1,98	-2,13	0,04	-2,11	-1,58	-0,29	-1,77	-0,94	-0,608	-1,33
1,10				-1,73			-2,09			-1,90			-1,60
0,65	0,70	-2,92	0,88	-2,25	-2,46	0,14	-2,37	-2,00	-0,20	-2,13	-1,24	-0,603	-1,63
1,10				-1,96			-2,31			-2,22			-1,90
0,65	0,65	-3,75	1,49	-2,78	-3,25	0,53	-2,91	-2,69	0,14	-2,60	-1,76	-0,360	-1,99
1,10				-2,11			-2,67			-2,54			-2,15
0,65	0,60	-4,27	1,80	-3,10	-3,84	0,69	-3,39	-3,21	0,29	-3,03	-2,18	-0,260	-2,34
1,10				-2,29			-3,07			-2,89			-2,46

że współczynnik $K_Y > 0$ - natomiast współczynniki η_u i η'_u mogą mieć wartości dodatnie lub ujemne. Wiemy również, że współczynniki η_f i η'_f są zawsze ujemne. Jeśli więc iloczyny $\eta_u \cdot K_Y < 0$ i $\eta'_u \cdot K_Y < 0$ - to wtedy $|\eta_{f,u}| > |\eta_f|$ i $|\eta'_{f,u}| > |\eta'_f|$, a zatem krzywe zależności $\Delta P^* = F(f, U)$ i $\Delta P^{**} = F(f, U)$ będą miały w tych przypadkach przebiegi bardziej strome, niż krzywe zależności $\Delta P^* = F(f)$ i $\Delta P^{**} = F(f)$. Jeśli natomiast iloczyny $\eta_u \cdot K_Y > 0$ i $\eta'_u \cdot K_Y > 0$ - to wówczas $|\eta_{u,f}| < |\eta_f|$ oraz $|\eta'_{f,u}| < |\eta'_f|$ i w przeciwieństwie do poprzednich przypadków krzywe zależności $\Delta P^* = F(f, U)$ i $\Delta P^{**} = F(f, U)$ będą miały przebiegi bardziej łagodne. Warto zaznaczyć, że wszystkie współczynniki $\eta_{f,u}$ i $\eta'_{f,u}$ - zestawione w omawianej tabelicy - mają wartości ujemne. Wnioskujemy stąd, że obniżenie częstotliwości w układzie poniżej wartości znamionowej powoduje wzrost wartości względnych strat wzdłużnych.

Rękopis złożono w redakcji w listopadzie 1963 r.

LITERATURA

- [1] A. BOGUCKI, M. WÓJCIK: Napięciowe charakterystyki statyczne pobieranej mocy czynnej dla typowych grup odbiorów energetycznych. Energetyka Nr 7, 1962.
- [2] A. BOGUCKI, M. WÓJCIK: Równania naturalnych statycznych charakterystyk napięciowych mocy biernej pobieranej przez typowe grupy odbiorców. Energetyka Nr 2, 1962.
- [3] A. BOGUCKI, M. WÓJCIK: Równania częstotliwościowych charakterystyk statycznych pobieranej mocy czynnej dla typowych grup odbiorów. Energetyka Nr 8, 1962.
- [4] A. BOGUCKI, M. WÓJCIK: Równania częstotliwościowych charakterystyk statycznych pobieranej mocy biernej dla typowych grup odbiorców. Energetyka Nr 5, 1963.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ НА ПРОДОЛЬНОЕ ПОТЕРИ ВСТУПАЮЩИЕ В СЕТЕВЫХ СИСТЕМАХ

Резюме

В статье приведен анализ влияния изменения частоты на продольные потери с учетом выступающих одновременно с изменением частоты изменений напряжения. В рассуждениях использованы выведены автором формулы, указывающие на функциональную связь между коэффициентами относительного наклона зависимости $\Delta P = F(U)$, $\Delta P = F(f)$, а также $\Delta P = F(f, U)$, а коэффициентами относительного наклона статических характеристик потребления по частоте или соответственно по напряжению.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF FREQUENCY CHANGES ON THE LONGITUDINAL LOSSES IN THE NETWORK SYSTEMS

Summary

Description of the analysis of the effect of the frequency changes on the longitudinal losses considering the voltage change, taking place at the same time with the frequency change. In his paper were applied formulas derived by the author, giving the functional relation between the factor of the relative inclination of the relation $\Delta P = F(f)$, $\Delta P = F(U)$ and $\Delta P = F(f, U)$ and relative inclination factors of the frequency characteristics or adequately static voltage characteristics of the reception.