

BOHDAN NAROLSKI

Katedra Maszyn Elektrycznych i Transformatorów P.Ł.

POMIARY SZUMU TRANSFORMATORÓW

Streszczenie: Metoda i warunki pomiarów. Wyniki pomiarów 3 transformatorów o mocach i napięciach spotykanych w podstacjach, zlokalizowanych w miejskich budynkach mieszkalnych. Szum w transformatorze o rdzeniu z blachy zimnowalcowanej.

Wstęp

Prowadzenie badań nad szumem transformatorów ma na celu usunięcie lub zmniejszenie hałasów wytwarzanych przez transformatory w mieszkaniach i miejscach pracy znajdujących się w pobliżu podstacji transformatorowych. W wyniku tych badań opracowano dwa zasadnicze zagadnienia:

1) metody przybliżonego obliczania poziomu szumu projektowanych transformatorów i wytyczne do konstruowania jednostek transformatorowych posiadających niski poziom szumu,

2) metody pomiaru szumu transformatorów.

Źródłem fal dźwiękowych wytwarzanych przez transformator jest przede wszystkim rdzeń, którego drgania wiążą się z okresowymi zmianami indukcji w kolumnach i jarzmach. Ich przyczyną są przede wszystkim wydłużenia magnetostrykcyjne poszczególnych części obwodu magnetycznego transformatora a ponadto błędy konstrukcyjne i technologiczne. Podstawowa częstotliwość drgań rdzenia jest równa podwójnej częstotliwości napięcia, na które załączony jest transformator, amplituda drgań zależy

głównie od wymiarów i materiału rdzenia oraz od maksymalnej, występującej indukcji.

Tematem niniejszego referatu (pracy) jest omówienie metody i wyników pomiarów szumu transformatorów rozdzielczych małej mocy (do 500 kVA) produkcji krajowej. W niektórych państwach zostały wprowadzone przepisy normujące poziomu szumu transformatorów (głośność szumu) i przekroczenie tych przepisów przez wytwórcę wiąże się z sankcjami prawnymi. Nie istnieją polskie przepisy dotyczące dopuszczalnych wartości poziomu szumu transformatorów, ale istotną jest rzeczą ustalenie czy transformatory produkowane w kraju odpowiadają warunkom stawianym przez istniejące zagraniczne normy.

Badania szumu transformatorów są zagadnieniem stosunkowo nowym, opracowywanym jeszcze w chwili obecnej, a zatem zalecane pomiary nie należy uważać za definitywnie ustalone.

Zdaniem autora należałoby wprowadzić do istniejących przepisów uzupełnienia, dotyczące przede wszystkim pomiarów intensywności szumu i wskaźnika zawartości harmoniczných.

1. Metoda i warunki pomiarów

Intensywność i głośność szumu transformatorów wyznaczono stosując obiektywną metodę pomiarową, przy czym oparto się głównie na przepisach opracowanych przez Sekcję Transformatorową NEMA. Zgodnie z tymi przepisami, przy pomiarach szumu powinny być zachowane następujące warunki:

1) Pomiary wykonuje się w przestrzeni, w której występuje głośność szumu otoczenia przynajmniej 10 db mniejsza od sumarycznego szumu otoczenia i badanego transformatora. Różnica między tymi głośnościami nie powinna być mniejsza od 7 db.

2) Transformator powinien być umieszczony w wolnej przestrzeni, albo w pomieszczeniu, w którym ściany odbijające fale dźwiękowe znajdują się nie bliżej niż 3 m od transformatora (10 stóp).

3) Pomiary wykonuje się przy zasilaniu transformatora w stanie jałowym napięciem znamionowym i częstotliwością znamionową.

4) Pomiary powinny być wykonywane miernikiem odpowiadającym wymaganiom przepisów ASA Z 24.3. Należy posługiwać się krzywą A (40 db) miernika.

5) Mikrofon należy umieszczać w odległości 30 cm (1 stopa) od "głównej" powierzchni transformatora. Jako "główną" powierzchnię transformatora wysyłającą fale dźwiękowe uważa się powierzchnię opisaną na radiatorach, rurach chłodzących, kadzi falistej.

6) Pomiary powinny być wykonywane z różnych stron transformatora: miejsca ustawienia mikrofonu nie mogą być w większej odległości od siebie niż 90 cm (3 stopy). Liczba pomiarów - przynajmniej 8.

7) Dla transformatorów, posiadających kadź o wysokości mniejszej od 240 cm mikrofon umieszcza się w połowie wysokości kadzi. Dla jednostek, których kadź jest równa lub wyższa od 240 cm mikrofon powinien być ustawiony w dwóch płaszczyznach poziomych: na wysokości $1/3$ i $2/3$ kadzi.

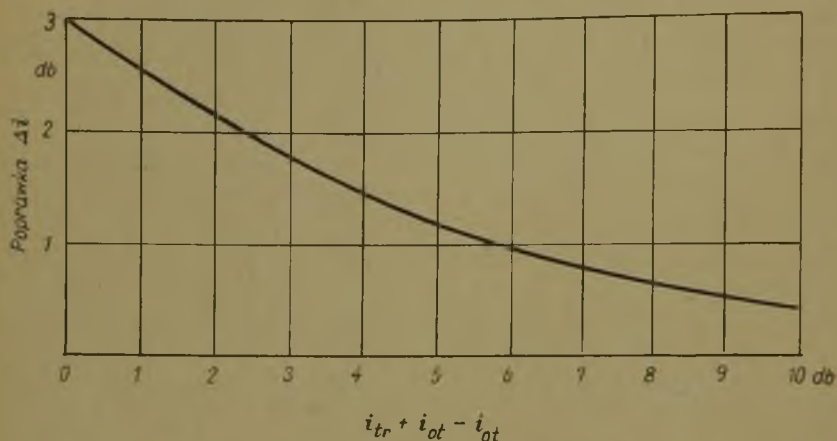
8) Poziom szumu transformatora jest zdefiniowany jako średnia arytmetyczna wszystkich wartości poziomu szumu transformatora, wyznaczonych podczas pomiarów (w różnych miejscach naokoło transformatora).

Warunki pomiarów szumu transformatorów małej mocy, badanych w Wytwórni Transformatorów M - 3 w Łodzi, zostaną omówione w podobnej kolejności w jakiej je opisano wg przepisów NEMA.

1. Transformatory badano na stacji prób Wytwórni M - 3 w Łodzi w dniach wolnych od pracy. Różnica między sumaryczną głośnością szumu transformatora i hałasu otoczenia oraz głośnością hałasu otoczenia (pomiar wg krzywej A miernika) wynosiła w najniekorzystniejszym przypadku 2 db.

Głośność hałasu otoczenia pomierzona wg krzywej A miernika na stacji prób wahała się w granicach od 34 do 40 db. Ponieważ niemożliwe było uzyskanie warunków stawianych przez przepisy, wartości poziomu szumu transformatorów otrzymane z pomiarów zostały skorygowane przez wprowadzenie poprawki uwzględniającej hałas otoczenia. Krzywa poprawek jest podana na rys.1.

W czasie normalnej pracy w fabryce nie można było wykonywać pomiarów, gdyż poziom hałasu otoczenia był większy o kilkanaście decybeli od poziomu szumu badanych transformatorów.



Rys.1. Korekta poziomu szumu transformatora przez wprowadzenie poprawki, uwzględniającej hałas otoczenia

2. Badane transformatory były ustawione w największej możliwej odległości od wszystkich ścian stacji prób. Odległość ta wynosiła około 3 m.

3. Transformatory były zasilane w stanie jałowym nie tylko przy napięciu znamionowym, ale również przy napięciu równym ok. $1,05 U_n$.

4. Do pomiaru intensywności i głośności szumu użyto zestawu przyrządów firmy Brüel i Kjaer, złożonego z analizatora częstotliwości typu 2105 i mikrofonu kondensatorowego typu 4111. Mikrofon połączony był z analizatorem kablem OA 0041 o długości 10 m. Wg danych firmy Bruel i Kjaer analizator typu 2105 wraz z mikrofonem typu 4111, użyty jako miernik poziomu szumu, odpowiada warunkom stawianym przez przepisy ASA Z 24.3 i również odpowiada przepisom niemieckim DJN 5045. Ograniczenie się przy pomiarach szumu transformatora jedynie do użycia krzywej A miernika (zgodnie z warunkami NEMA) pozwala na wyznaczenie w sposób obiektywny, umowny, głośności szumu w granicach od 30 - 60 fonów.

Nie daje to jednak pełnego poglądu na wytwarzanie przez transformator dźwięków rozchodzących się w powietrzu. Szczególniej przydatna jest w wielu rozważaniach znajomość intensywności szumu transformatora i dlatego bardzo celowe jest korzystanie z krzywej C miernika. Przy pomiarach posługiwano się nie tylko krzywą A miernika (odpowiadającą krzywej DJN 30 - 60 fonów), ale również krzywą B (odpowiadającą krzywej DJN 60 - 120 fonów) oraz charakterystyką C (oznaczoną czasem na miernikach przez Lin).

Wartości intensywności szumu są wyrażane w decybelach, głośności w fonach. Głośność dźwięku pomierzona obiektywnym miernikiem może się różnić od wartości głośności wyznaczonej w sposób subiektywny (np. przy użyciu krzywych Fletcher - Munsona) i dlatego wydaje się rzeczą uzasadnioną podawanie głośności w db. w przypadku pomiarów szumu analizatorem typu 2105. Zgodnie z nowszymi zalecaniami, w pracy niniejszej zarówno wartości intensywności dźwięków jak również i głośności (przy użyciu charakterystyk częstotliwości A i B miernika) wyrażane są w decybelach.

Przy pomiarach szumu nie uwzględniano poprawki na czułość mikrofonu. Wartość tej poprawki zależy od częstotliwości mierzonego dźwięku i w zakresie częstotliwości od 50 Hz do ok. 4 kHz w najbardziej niekorzystnych przypadkach wynosi dziesiąte części 1 db. (poprawka $a < 0,5$ db.). Ponieważ wg danych firmowych dokładność samego przyrządu wynosi ± 1 db, nie należy się liczyć z większym błędem przy pomiarach, wynikającym z uchybu miernika niż $\pm 1,5$ db.

6. Ponieważ badano transformatory małej mocy, o stosunkowo niewielkich gabarytowych wymiarach, wykonywano 4 pomiary z czterech stron transformatora. Dla jednostek o mocy 500 kVA wykonano 8 pomiarów, po 2 z każdej strony transformatora i maksymalna różnica między wartościami poziomu szumu zmierzonymi z jednej strony transformatora wyniosła 3 db, przy czym wartość średnia z ośmiu pomiarów i z 4 pomiarów nie uległa zmianie. Ograniczono się więc do podawania wyników z 4 pomiarów.

7. Ponieważ wysokości kadzi wszystkich badanych transformatorów była mniejsza od 240 cm mikrofon był ustawiony w płaszczyźnie poziomej na połowie wysokości kadzi.

8. Intensywności i głośności szumu transformatora przyjęto jako równe wartościom średnim pomierzony w 4 różnych miejscach naokoło transformatora.

2. Przedmiot badań

Zbadano 9 transformatorów posiadających moce i napięcia spotykane w podstacjach transformatorowych, zlokalizowanych w miejskich budynkach mieszkalnych. Starano się poddać badaniom możliwie różne typy transformatorów, o różnych mocach. Dobór transformatorów uzależniony był jednak od rodzaju wyprodukowanych jednostek przez Wytwórnictwo M - 3 w Łodzi w miesiącu sierpniu i wrześniu, 1960r. Ważniejsze dane znamionowe badanych transformatorów zostały zestawione w tabeli nr 1.

Tabela nr 1

Lp.	Moc	Napięcie	Często- tliwość	Układ połą- czeń	Nr fabr. transf.	Uwagi
	kVA		Hz			
1.	75	6000 _{+5%} /525	50	Yyo	32178	kadź rurowa
2.	75	6000 _{+5%} /400	50	Yz5	29985	" falista
3.	75	6000 _{+5%} /400	50	Yz5	29986	" "
4.	200	6000 _{+5%} /231 -133	50	Yyo	32024	" rurowa
5.	200	10000 _{+5%} /400	50	Yz5	32477	kadź rurowa rdzeń z bla- chy zimnowalc.
6.	200	6000 _{+5%} /400	50	Yz5	32307	kadź rurowa
7.	250	6000 _{+5%} /231 -133	50		32590	" "
8.	500	6000 _{+5%} /400 - 231	50	Dy5	32219	" "
9.	500	6000/3000/400	50	Dy5	32544	" "

3. Wyniki pomiarów

Wartości intensywności i głośności szumu transformatorów i hałasu otoczenia zostały podane na rys.2. Ponieważ ucho ludzkie nie rozróżnia zwykle przyrostów intensywności i głośności mniejszych od 1 db. i biorąc pod uwagę uchyb miernika poziomu szumów, nie podano w pracy wyników pomiarów z dokładnością do dziesiątych części decybel.

4. Omówienie wyników pomiarów

4.1. Zależność intensywności i głośności szumu transformatora od jego mocy znamionowej

W literaturze (patrz poz. piśm. 4,5,9,15,18,19) spotykane są wzory na obliczenie przybliżonych wartości intensywności i głośności szumu transformatora. Można wyrazić intensywność szumu w funkcji wymiarów transformatora, częstotliwości napięcia, indukcji i własności magnetostrykcyjnych blach rdzenia. Wzory takie mogą być przydatne dla biura konstrukcyjnego.

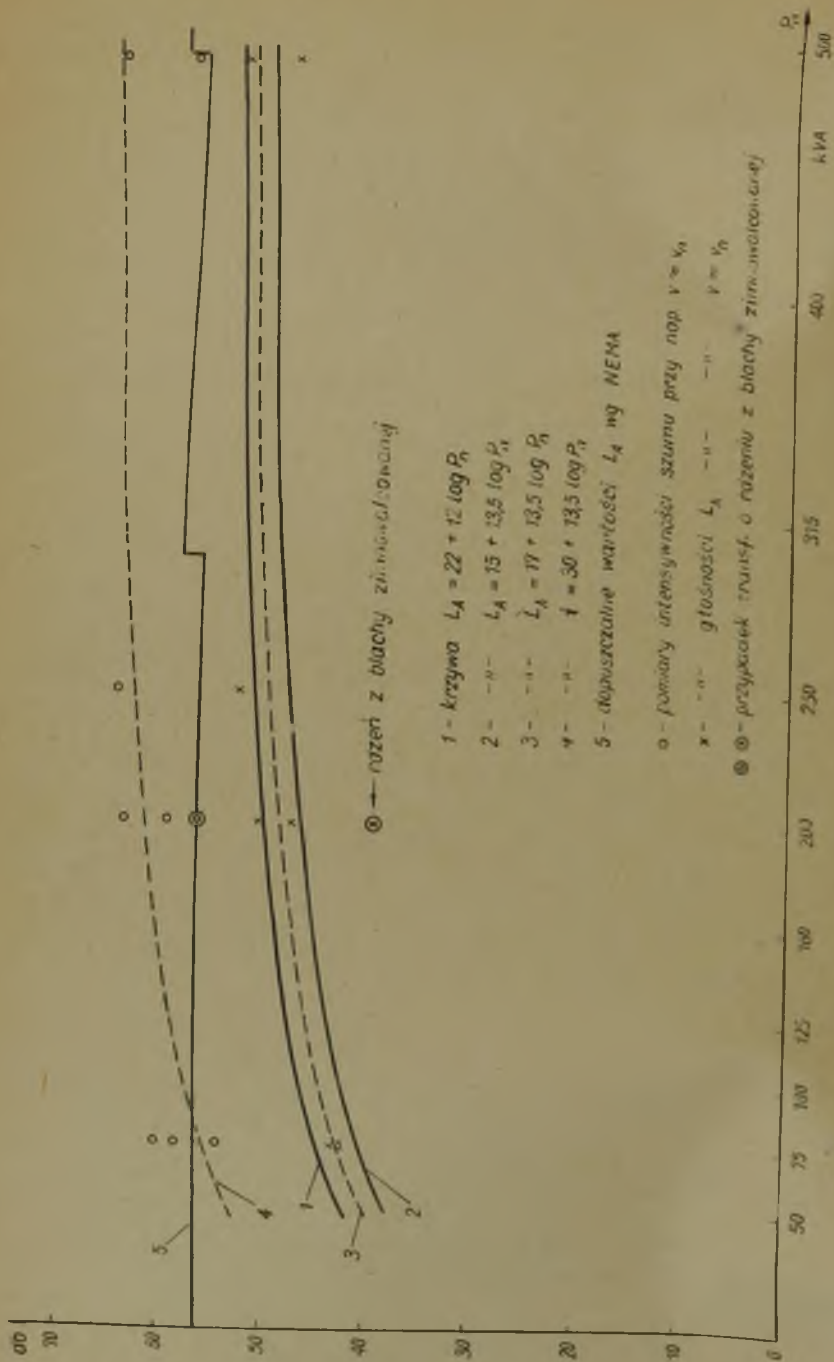
W pracy niniejszej było istotną rzeczą ustalenie zależności między głośnością szumu transformatora i jego mocą znamionową P_n . Umożliwia to bowiem porównanie wartości głośności szumu transformatorów produkcji krajowej z danymi zaczerpniętymi z literatury obcej oraz stanowi podstawę do orientacyjnego obliczenia szumu w podstacjach transformatorowych. Wg danych amerykańskich (NEMA) głośność szumu transformatora może być obliczona w sposób przybliżony ze wzoru

$$L_A = 22 + 12 \log P_n \quad (\text{db}) \quad (1)$$

gdzie P_n jest mocą znamionową transformatora wyrażoną w kVA.

W literaturze (poz. piśm. 4,18) podawany jest również inny, podobny wzór na głośność

$$L_A = 15 + 13,5 \lg P \quad (\text{db}) \quad (2)$$



Rys. 2. Zależność intensywności i głośności szumu transformatora od jego mocy znamionowej

Wartości L_A obliczone ze wzorów (1) i (2) dla tej samej mocy P_n różnią się o około 4 db. w granicach mocy od 50 do 500 kVA.

Wartości L_A pośrednie między wartościami głośności obliczonymi ze wzorów (1) i (2) można otrzymać ze wzoru

$$L_A = 17 + 13,5 \lg P_n \quad (\text{db}) \quad (3)$$

W tabeli nr 2 zestawiono wartości głośności obliczonych ze wzorów (1), (2) i (3) oraz podano wyniki pomiarów głośności transformatorów zbadanych w fabryce M - 3. Obliczenia wykonano dla transformatorów o mocy od 50 do 500 kVA.

Tabela nr 2

Lp.	Moc 'zn.transf. Głośność szumu transf.w db			Pomiar krzywa A	
	kVA	wg wzoru (1)	wg wzoru (2)		wg wzoru (3)
1.	50	42,0	38,0	40,0	42,43,42
2.	75	44,5	40,3	42,3	
3.	100	46,0	42,0	44,0	
4.	125	47,1	43,3	45,3	47,50,39
5.	160	48,4	44,7	46,7	
6.	200	49,6	46,0	48,0	
7.	250	50,8	47,3	49,3	55
8.	315	52,0	48,7	50,7	57,49
9.	400	53,2	50,1	52,1	
10.	500	54,4	51,4	53,4	

Na rys.2 (str.) przedstawione są krzywe $L_A = f(P_n)$. Krzyżykami oznaczono pomierzone wartości głośności, kółkami - pomierzone wartości intensywności szumu transformatorów. Porównując wyniki pomiarów z wartościami L_A otrzymanymi ze (1), (2) i (3) można przyjąć, że dla

przebadanych transformatorów produkcji fabryki M - 3 najlepszy pogląd o głośności ich szumu daje wzór (3).

Głośność transformatora o numerze porządkowym 5 (patrz tabela nr 1), najbardziej odbiega od krzywej $L_A = f(P_n)$ obliczonej ze wzoru (3). Transformator ten posiadał jednak rdzeń z blachy zimnowalcowanej, o odmiennych własnościach magnetostrykcyjnych niż rdzenie z blachy gorącowalcowanej. Jak już wspomniano, oprócz głośności L_A transformatora jest bardzo ważna znajomość intensywności szumu. Przepisy NEMA nie normują jednak intensywności i prawdopodobnie dlatego w literaturze mniej uwagi poświęca się pomiarom intensywności szumu transformatora.

Na podstawie wykonanych pomiarów wyznaczono charakterystykę intensywności "i" transformatorów w funkcji ich znamionowej mocy P_n (krzywa 4 na rys.2). Charakterystyka ta odpowiada zależności:

$$i = 30 + 13,5 \lg P_n \quad (\text{db.}) \quad (4)$$

gdzie "i" jest intensywnością szumu transformatora, P_n - moc znamionowa transformatora w kVA.

Krzywa 4 na rys.2 jest charakterystyką przybliżoną, większa liczba pomiarów dla wielu transformatorów pozwoliłaby na ściślejsze ustalenie wzoru (4).

4.2. Dopuszczalne wartości głośności szumu transformatorów

Przepisy NEMA podają dopuszczalne wartości głośności szumu transformatorów. Średnia wartości głośności, pomierzonych obiektywnym miernikiem przy użyciu krzywej A przyrządu nie powinna przekraczać wartości podanych w tabeli nr 3.

Tabela nr 3

Moc transfor. kVA	Głośność w db	
	Transf. bez wentylatorów	transf. z wentylatorami
0 - 300	56	70
301 - 500	58	70
501 - 700	60	70
701 - 1000	62	70

Wartości głośności podane w tabeli nr 3 dotyczą transformatorów mocy jedno lub trójfazowych, których częstotliwość znamionowa wynosi 50 lub 60 Hz, a napięcia znamionowe nie są większe od 69 kV i zasilanych w stanie jałowym napięciem znamionowym i częstotliwością znamionową. Krzywa schodkowa na rys.3 (krzywa 5) przedstawia dopuszczalne wartości głośności wg przepisów NEMA.

Na podstawie pomiarów należy stwierdzić, że głośność szumu żadnego z 9 przebadanych transformatorów nie przekroczyła wartości dopuszczalnych, podanych w przepisach NEMA.

4.3. Zależność intensywności i głośności szumu od napięcia

Ponieważ napięcie na zaciskach transformatora zainstalowanego w podstacji może ulegać zmianom w ciągu doby, intensywność i głośność szumu zmienia się. Przy wzroście napięcia zwiększa się indukcja występująca w rdzeniu, wzrastają wydłużenia magnetostrykcyjne rdzenia i powiększa się poziom szumu. Interesujący jest przede wszystkim wzrost napięcia powyżej wartości znamionowej napięcia transformatora, gdyż wtedy zwiększą się zakłócenia akustyczne.

W celu stwierdzenia jaki wpływ mają zmiany napięcia na poziom szumu, wykonano pomiary dla dwóch napięć: U_n i $1,05 U_n$.

Dla jednego przypadku (transformator o numerze porządkowym 6) napięcie zasilania podczas prób było równe 3 różnym wartościom:

$$0,95 U_n \text{ i ok. } 1,05 U_n$$

Przyrosty intensywności i głośności szumu transformatorów przy zmianie napięcia są podane w tabeli Nr 4.

Tabela nr 4

Nr porz. transf.	Przyrost napięcia		Przyrost intens.	Przyrost głośn.	
	%	‰	Lin	w krzywej B	A
1	+ 30	+ 5,7	+ 2	+ 3	+ 5
2	+ 29	+ 7,2	+ 2	+ 1	+ 5
3	+ 29	+ 7,2	+ 2	+ 2	+ 2
4	+ 10,6	+ 4,6	+ 3	+ 3	+ 5
5	+ 24	+ 6,0	+ 2	+ 1	+ 2
6	- 20	- 5,0	- 2	- 3	- 4
6	+ 17	+ 4,2	+ 1	+ 1	+ 2
7	+ 10,6	+ 4,6	+ 3	+ 1	+ 3
8	+ 21	+ 5,2	+ 3	+ 3	+ 3
9	+ 22,5	+ 5,6	+ 4	+ 3	+ 4

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że wzrost napięcia o 5% U_n powoduje przyrost intensywności szumu transformatora o około 2 db, głośność szumu L_A zwiększa się średnio o około 4 db.

Z rozważań teoretycznych (poz. piśm. 2,5,9,11,14,18) wynika, że przyrostowi napięcia o 5% U_n odpowiada przyrost intensywności $\Delta I \approx 1,5$ db. Ponieważ nie należy się spodziewać większego przyrostu napięcia na zaciskach transformatorów w podstacjach miejskich niż 5% U_n , przeciętny wzrost intensywności szumu nie powinien być większy od 2 db.

4.4. Wpływ zmian częstotliwości napięcia na intensywność szumu transformatora

Z rozważań teoretycznych i danych zaczerpniętych z literatury wynika, że wzrostowi częstotliwości od 50 Hz do 60 Hz odpowiada wzrost intensywności szumu o około 2 db.

Dla praktycznie występujących w sieci miejskiej zmian częstotliwości rzędu 1 Hz intensywność szumu transformatora nie ulega dostrzegalnej zmianie.

4.5. Wskaźnik zawartości harmonicznego szumu transformatora

Wskaźnik zawartości harmonicznego H_A jest zdefiniowany jako różnica intensywności szumu transformatora "i" oraz głośności szumu L_A (pomierzonego przy użyciu charakterystyki częstotliwości A miernika)

$$H_A = i - L_A \quad (\text{db}) \quad (5)$$

Jeżeli założymy się, że fale dźwiękowe wysyłane przez transformator mają częstotliwość 100 Hz i nie występują wyższe harmoniczne drgań transformatora, to wskaźnik zawartości harmonicznego H_A , wyznaczony na podstawie pomiarów miernikiem odpowiadającym normom ASA Z 24.3, byłby równy 18 db. W szumie transformatora występują jednak fale dźwiękowe o częstotliwości wyższej od 100 Hz i dlatego wartość H_A powinna być zawsze mniejsza od 18 db. Wniosek ten jest słuszny w założeniu, że transformator nie wysyła fal dźwiękowych o częstotliwości mniejszej niż 100 Hz.

Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono wartości H_A dla badanych transformatorów przy różnych napięciach. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli nr 5.

Tabela nr 5

Nr poz.		1		2		3		4		5	
Nap. V		525	555	396	425	396	425	231,4	242	396	420
H_A db		12	9	17	14	16	16	12	10	17	17

Nr poz.		6			7		8		9	
Nap. V		380	400	417	232	442,6	401	422	400	422,5
H_A db		15	13	12	12	12	12	10	10	10

Z podanych wartości w tabeli nr 5 wynika, że dla badanych transformatorów zasilanych podczas próby napięcie znamionowym lub zbliżonym do znamionowego, wartości H_A zawierają się w granicach od 10 db do 17 db. Im mniejszy jest współczynnik H_A , tym większy jest udział fal dźwiękowych o częstotliwościach wyższych od 100 Hz w szumie transformatora.

Ciekawe są zmiany wartości H_A przy zmianie napięcia zasilania transformatora. Przy wzroście napięcia w większości przypadków zmalała wartość współczynnika zawartości harmonicznych, dla żadnego jednak transformatora wartość H_A przy podwyższonym napięciu nie była większa od wartości H_A przy napięciu znamionowym. Można stąd wysnuć wniosek, że na ogół wzrost napięcia powoduje powstawanie silniejszych wyższych harmonicznych drgań transformatora. W związku z tym zmienia się widmo częstotliwości dźwięków wytwarzanych przez transformator.

Ponieważ ucho ludzkie bardziej reaguje na dźwięki o częstotliwości kilkuset Hz niż na dźwięki o częstotliwości 100 Hz, staje się zrozumiałe, dlaczego przyrosty głośności są przeważnie większe od przyrostów intensywności (obiektywny miernik głośności odzwierciadla w pewnym stopniu ucho ludzkie).

Na marginesie uwag dotyczących współczynnika zawartości harmonicznych warto dodać, że zmiany wartości H_A dla danego transformatora (przy stałych warunkach zasilania transformatora) mogą być wskaźnikiem pewnych zmian w budowie transformatora zachodzących podczas jego eksploatacji jak np. rozluźnieniu się blach rdzenia, osiadaniu uzwojeń, odkręcaniu się śrub itp.

4.6. Przypadek transformatora o rdzeniu wykonanym z blachy zimnowalcowanej

Wśród badanych transformatorów jeden z nich (nr 5) posiadał rdzeń wykonany z blachy zimnowalcowanej. Konstrukcja tego transformatora o mocy 200 kVA była podobna do konstrukcji dwóch innych badanych transformatorów o tej samej mocy (nr 4,6). Indukcje we wszystkich trzech jednostkach były zbliżone, transformator nr 5 nie posiadał podwyższonej indukcyjności.

Intensywność i głośność szumu transformatora nr 5 były niskie (patrz rys.2 na str.24). Różnice między przeciętnymi wartościami intensywności (krzywa 4 na

rys.2) i głośności (krzywa 3 na rys.2) oraz pomierzoną wartością intensywności i głośności dla tego transformatora wynosiły odpowiednio 3,5 db i 9 db.

Wartość współczynnika H_A dla tego przypadku była największa i wynosiła 17 db zarówno przy napięciu zbliżonym do znamionowego jak i przy napięciu podwyższonym (tabela nr 5). Wysoka wartość H_A świadczy o tym, że udział fal dźwiękowych o wyższych częstotliwościach był mały w szumie wytwarzanym przez transformator.

Z przesłanek teoretycznych wynika, że przy indukcji podwyższonej o około 15% intensywność szumu tego transformatora wzrosłaby nieco powyżej wartości przeciętnej dla jednostek o mocy 200 kVA, głośność jednak byłaby nieco mniejsza od wartości przeciętnej.

Oczywiście ostatni wniosek musiałby znaleźć potwierdzenie w badaniach przeprowadzonych na większej liczbie transformatorów.

LITERATURA

1. Leo L.Beranek - Acoustic Measurements - New-York, London 1949
2. C.M.Harris - Handbook of Noise Control - N.V.Toronto, London 1957.
3. E.Judin - Głuszenie szuma wentylacyjnych установок Gosstrolizdat 1958
4. W.Nürnberg - Ispytanie elektriczeskich maszin - Gosenergoizdat 1959.
5. R.Küchler - Die transformatoren - Springer Verlag 1956
6. J.Malecki - Akustyka radiowa i filmowa - PWT Warszawa 1950
7. I.I.Sławin - Proizwodstwiennyj szum i borba s nim - Profizdat 1955
8. Z.Zyszkowski - Podstawy elektroakustyki - PWT Warszawa 1953.

9. Allis - Chalmers - Transformer Reference Book - Allis Chalmers Elektrical - Review, Milwaukee, 1951
10. Brüel & Kjaer - Frequency Analyzer Type 2105
11. Ferranti - Noise in Power Transformers
12. V.Aigner - Mittel zur Dämpfung von Transformatoren-geräuschen - VDE Fachber 1954
13. T.D.Gordy - Audible Noise of Power Transformers AIEE Transactions, 1950
14. E.Grunder - Das Geräuschproblem bei Transformatoren Bull Oerlikon 1952
15. H.Jordan, -H.Rothert - Über den magnetischen Lärm von Drehstrongeräuschen - ETZ 1954.
16. H.Jordan - Über den magnetischen Lärm von Drehstrom-Kerntransformatoren ETZ!: A Bd 81 1960.
17. E.Reiplinger - Möglichkeiten weiterer Geräuschbekämpfung bei Grosstransformatoren - ETZ - A.B.81 1960.
18. E.Tobin - Étude des problemes posés par le bruit des transformateurs - (SJGRE).
19. B.Narolski - Approximate calculation of the noise emitted by power transformers - Electroacoustique N° 1960.

Шумы в трансформаторах

Происхождение шумов. Измерения шумов на 9 отечественных трансформаторах. Шумы в трансформаторе из холоднокатанной стали.

Les bruits des transformateurs

L'origine des bruits et leurs mesures. Les résultats des mesures des bruits dans 9 transformateurs d'origine polonaise.