

Janusz SOBOTA
AEG Mefta, Sp. z o.o.

TRANSFORMATORY OLEJOWE O RDZENIU Z TAŚM AMORFICZNYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono kierunki postępu w budowie transformatorów olejowych rozdzielczych, wzajemne powiązania pomiędzy poziomem strat biegu jałowego a masą i kosztem części aktywnej transformatora. Następnie opisano nowy materiał magnetyczny „Metglas” oraz doświadczenia AEG Mefta Sp. z o.o. w stosowaniu tego materiału.

OIL TRANSFORMERS WITH AMORPHOUS STRIP CORE

Summary. The paper presents development trends in construction of distribution oil transformers; correlations between the level of no-load losses and the mass and cost of the transformer activ part. In the latter part of the paper a new magnetic material ‘Metglas’ has been discussed and the AEG Mefta Sp. z o.o.’s experiences with its use.

1. WPROWADZENIE

Postęp w budowie transformatorów olejowych rozdzielczych prowadzi do budowy transformatorów o coraz lepszych parametrach technicznych. Zmiany budowy przedstawiono na bazie doświadczeń firmy AEG Mefta Sp. z o. o., której autor jest pracownikiem. Szczególnie dużo miejsca w artykule poświęcono nowemu materiałowi magnetycznemu o nazwie Metglas, który ma szansę na dokonanie nowego przełomu w budowie transformatorów. Metglas jest materiałem produkowanym przez amerykańską firmę Allied Signal, a nazwa materiału jest zastrzeżona.

2. ROZWÓJ ROZDZIELCZYCH TRANSFORMATORÓW OLEJOWYCH

Postęp w budowie transformatorów odbywa się na drodze stosowania coraz lepszych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych oraz stosowania coraz lepszych materiałów.

2.1. Nowe rozwiązania konstrukcyjne i technologiczne

- Nowe układy izolacyjne powodujące zmniejszenie odległości izolacyjnych, przy zachowaniu dotychczasowej wytrzymałości dielektrycznej.
- Stosowanie kolumn rdzeni o niekołowym przekroju poprzecznym (owalnym, prostokątnym).
- Stosowanie nowego sposobu składania rdzeni, tzw. step-lap, prowadzącego do obniżenia strat biegu jałowego transformatorów.
- Nawijanie uzwojeń dolnego napięcia bezpośrednio na kolumnie rdzenia, co powoduje zmniejszenie odległości izolacyjnych oraz eliminuje konieczność stosowania szablonów nawojowych.
- Stosowanie nowoczesnych nawijarek uzwojeń górnego napięcia, umożliwiających stopniowanie izolacji międzywarstwowej, co powoduje zmniejszenie średniej grubości izolacji i zwiększa współczynnik wypełnienia uzwojeń.

2.2. Postęp w stosowaniu lepszych materiałów

Decydujące znaczenie w tym względzie mają materiały czynne, czyli materiały, z których wykonane są uzwojenia i rdzeń transformatora. Na uzwojenia stosowana jest głównie miedź elektrotechniczna i nie należy się spodziewać, by materiał ten mógł być zastąpiony innym lepszym. Natomiast można zaobserwować stałą poprawę parametrów technicznych materiałów używanych do budowy rdzeni magnetycznych. Na początku lat 70 do masowego użycia weszła w Polsce blacha transformatorowa walcowana na zimno, która zastąpiła blachę gorąco-walcowaną. Następnie pojawiła się blacha typu MOH, a później blacha z laserową obróbką powierzchni. Każdy nowy rodzaj blachy charakteryzuje się coraz niższą stratnością. Obecnie w budowie transformatorów stosowane są blachy zimnowalcowane, typu MOH i z laserową obróbką powierzchni. Blachy te różnią się parametrami i ceną i dla różnych zastosowań opłacalne jest stosowanie różnych rodzajów blach.

Skalę postępu w budowie transformatorów obrazuje tabela 1, w której przedstawiono straty transformatorów produkowanych w AEG Mefta Sp. z o.o. na przykładzie transformatora o mocy 100 kV·A. W pierwszym wierszu przedstawiono parametry transformatorów produkowanych do końca 1990 roku, w wierszu drugim transformatorów produkowanych obecnie na rynek krajowy, a w wierszach trzecim i czwartym produkowane obecnie na rynki eksportowe. Z tabeli 1 wynika tendencja do stałego obniżania poziomu strat, szczególnie strat biegu jałowego.

Tabela 1

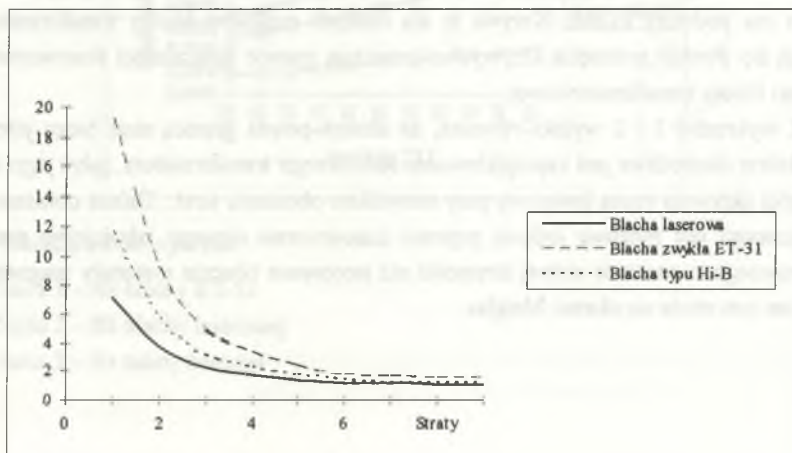
Straty i masy transformatorów olejowych na przykładzie transformatorów o mocy 100 kV·A

Typ transformatora	Straty jałowe W	Straty zwarcia W	Masa kg
TNOSA-100/15 Produkowany do 31.12.1990	360	1650	760
TNOSI-100/15 Produkowany obecnie	260	1650	620
TNOSM-100/15 o obniżonych stratach	210	1750	540
TNOSM-100/15 o bardzo niskich stratach	150	1450	860

Przy stosowaniu tych samych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych obniżanie strat biegu jałowego prowadzi do podwyższenia masy materiałów użytych do budowy transformatora i do podwyższenia kosztu jego wytworzenia. Dla różnych poziomów strat najniższy koszt wytworzenia uzyskuje się przy zastosowaniu różnych rodzajów blachy transformatorowej. Wzajemne zależności pomiędzy stratami biegu jałowego, masą części aktywnej transformatora i kosztem części aktywnej przedstawiają poniższe wykresy:

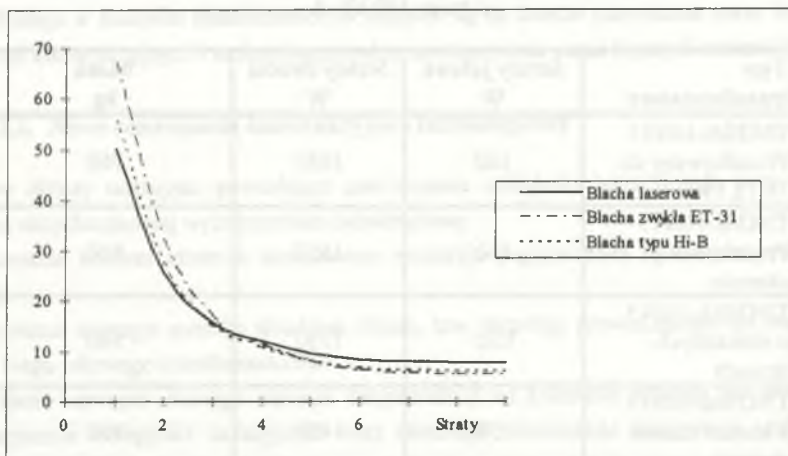
Wykres 1

Zależność masy części aktywnej transformatora od strat biegu jałowego



Wykres 2

Zależność kosztu części aktywnej transformatora od strat biegu jałowego



Na wykresach 1 i 2 straty transformatora, masa części aktywnej i koszt części aktywnej podane są w jednostkach względnych. Krzywe zależności mają taki sam przebieg niezależnie od mocy transformatora, przy czym straty biegu jałowego transformatora o poziomie normalnym odpowiadają wartości 5 na osi x, a straty o poziomie bardzo niskim wartości 2,5.

Krzywa zależności masy części aktywnej transformatora od strat biegu jałowego przypomina hiperbolę, która przy dużych stratach przechodzi w prostą równoległą do osi x. Przy zastosowaniu do budowy transformatora lepszego rodzaju blachy transformatorowej krzywa przesunę się na wykresie w lewo. Różnice w masie części aktywnej przy zastosowaniu różnych rodzajów blachy wynoszą dla strat o poziomie normalnym - kilka procent, dla strat bardzo niskich kilkadziesiąt procent. Krzywa zależności kosztu części aktywnej od strat biegu jałowego ma podobny kształt. Krzywe te dla różnych rodzajów blachy transformatorowej przecinają się. Punkty przecięcia krzywych wyznaczają granice opłacalności stosowania danego rodzaju blachy transformatorowej.

Z wykresów 1 i 2 wynika również, że istnieje pewna granica strat biegu jałowego, poniżej której niemożliwe jest zaprojektowanie sensownego transformatora, gdyż jego koszt i masa części aktywnej rosną lawinowo przy niewielkim obniżeniu strat. Dalsze obniżenie strat biegu jałowego jest możliwe jedynie poprzez zastosowanie nowego jakościowo materiału magnetycznego o znacznie niższej stratności niż stosowane obecnie materiały magnetyczne. Materiałem tym może się okazać Metglas.

3. ROZWÓJ KONSTRUKCJI TRANSFORMATORÓW Z ZASTOSOWANIEM BLACH AMORFICZNYCH

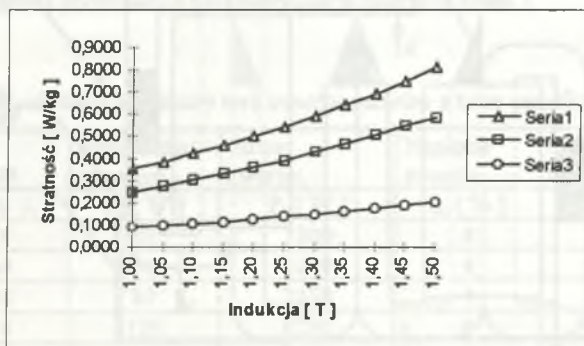
Transformatory o rdzeniach z Metglasu produkowane są już w skali masowej w Stanach Zjednoczonych i w Japonii. Metglas jest amorficznym materiałem magnetycznym miękkim, charakteryzującym się bardzo niską stratnością. Produkowany jest w postaci bardzo cienkich taśm o grubości kilkunastu mikronów. Taśmy są wytwarzane w procesie bardzo szybkiego studzenia stali, tak szybkiego i że w taśmie nie zdąży wytworzyć się struktura krystaliczna. Rdzenie wykonuje się metodą zwijania i rozcinania. Rdzenie amorficzne posiadają inne własności mechaniczne i magnetyczne w porównaniu z rdzeniami tradycyjnymi. Charakterystyczne ich cechy to:

- bardzo niska stratność,
- mała indukcja nasycenia - około 1,45 T,
- mała wytrzymałość mechaniczna i kruchość,
- konieczność stosowania obróbki cieplnej rdzeni w polu magnetycznym.

Najbardziej interesującą cechą z punktu widzenia budowy transformatorów jest bardzo niska stratność rdzeni. Porównanie stratności taśmy amorficznej i blachy transformatorowej tradycyjnej przedstawia wykres 3.

Wykres 3

Porównanie stratności różnych materiałów magnetycznych



Oznaczenia do wykresu:

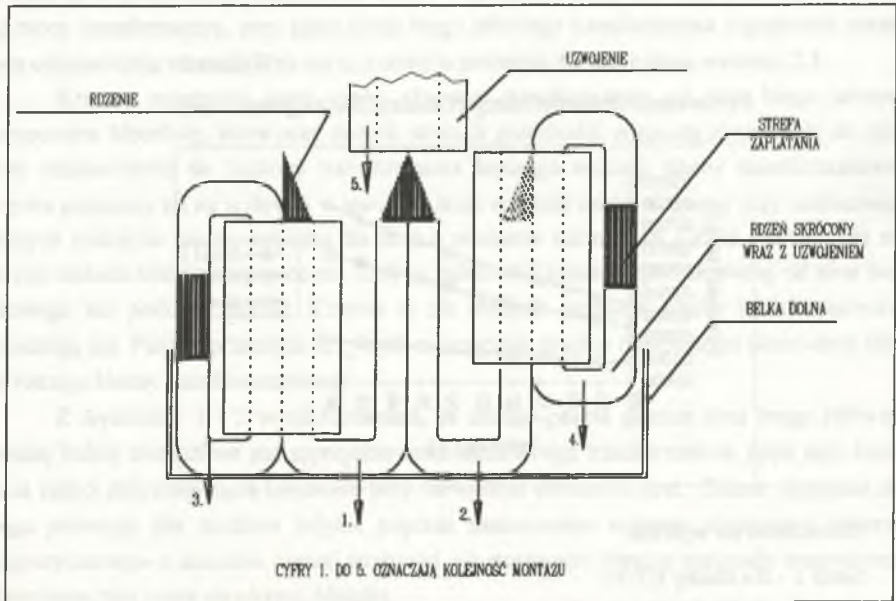
Seria 1 - dla blachy ET-31

Seria 2 - dla blachy laserowej

Seria 3 - dla taśmy Metglas

Z własności mechanicznych materiału Metglas, jego kruchości i małej wytrzymałości mechanicznej wynika konieczność stosowania innych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych przy produkcji transformatorów. Przede wszystkim stosunkowo łatwe jest wykonanie rdzenia jednofazowego, natomiast rdzeń trójfazowy trójkolumnowy jest technologicznie bardzo trudny do wykonania. Dlatego większość firm wytwarzających transformatory z rdzeniami z Metglasu wykonuje transformatory trójfazowe w układzie pięciokolumnowym - łącząc 4 rdzenie jednofazowe w rdzeń trójfazowy pięciokolumnowy. Przekrój kolumny takiego rdzenia jest prostokątem, a więc i uzwojenia transformatora muszą mieć przekrój prostokątny. Uzwojenia o takim kształcie są bardziej wrażliwe na działanie sił zwarciovych; dla zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości uzwojenia klei się. Wygląd rdzenia oraz jeden ze sposobów montażu uzwojeń transformatora z rdzeniem amorficznym przedstawiono na rys. 1.

Drugą niekorzystną cechą materiału Metglas jest jego kruchość. W transformatorze tradycyjnym rdzeń jest zarazem elementem mechanicznym przenoszącym naprężenia mechaniczne. Uzwojenia, belki prasujące, system zawieszenia mocowane są do rdzenia. Rdzeń Metglasowy nie może pełnić tej roli. Dlatego w tego rodzaju transformatorach stosuje się rozwiązania konstrukcyjne, w których naprężenia mechaniczne przenoszą uzwojenia, a rdzeń pozostaje mechanicznie nieobciążony.



Rys. 1. Przykład montażu uzwojeń na rdzeniu amorficznym
 Fig. 1. Example of winding assembly around the amorphous core

4. PARAMETRY UZYSKIWANE W TRANSFORMATORACH METGLAS

4.1. Parametry transformatorów o mocy 100 kV·A

W AEG Mefta wykonano i przebadano kilka transformatorów amorficznych, wszystkie o mocach 100 kV·A. Obecnie budowany jest transformator 400 kV·A. Jeden z transformatorów, po pozytywnym zakończeniu prób typu został zainstalowany w Górnośląskim Zakładzie Energetycznym SA w Gliwicach i pracuje już dwa lata. Parametry podstawowe tego transformatora przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Typ transformatora	TNOSAM-100/15
Straty biegu jałowego - po wykonaniu	75 W
Straty biegu jałowego - po próbach typu	82 W
Straty zwarcia	1771 W
Masa transformatora	755 kg

4.2. Plany na przyszłość

W AEG Mefta Sp. z o.o. planuje się dalsze prowadzenie prac rozwojowych w dziedzinie transformatorów amorficznych. Prace te zostaną zakończone wdrożeniem serii transformatorów amorficznych o mocach od 63 kV·A do 630 kV·A. Przewiduje się, że seria transformatorów będzie miała podstawowe parametry, jak w poniższej tabeli 3.

Tabela 3

Przewidywane parametry serii transformatorów z taśm amorficznych

Moc	Straty biegu jałowego	Straty zwarcia	Napięcie zwarcia	Masa całkowita
S_n [kV·A]	P_0 [W]	P_z [W]	u_z [%]	[kg]
63	45	1300	4	500
100	60	1650	4	675
160	85	2350	4	845
250	120	3250	4	1200
400	160	4600	4	1645
630	190	6750	6	2200

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Hickiewicz, prof. WSI w Opolu

Wpłynęło do Redakcji dnia 18 marca 1996 r.