

Marek SZROT¹, Janusz PŁOWUCHA¹, Jan SUBOCZ^{1,2},
Sebastian BORUCKI³, Andrzej CICHON³

¹ ENERGO – COMPLEX SP. Z O.O.

² POLITECHNIKA SZCZECIŃSKA

³ POLITECHNIKA OPOLSKA

Planowanie eksploatacji transformatorów z zastosowaniem systemu TrafoGrade

Mgr inż. Marek SZROT

Absolwent Politechniki Śląskiej. Założyciel i Prezes firmy Energo-Complex Sp. z o.o. Autor 20 prac naukowych z zakresu eksploatacji transformatorów. Specjalizuje się w kompleksowej ocenie stanu technicznego transformatorów. Współtwórca miernika MT-3 do podstawowej diagnostyki transformatorów. Członek CIGRE.



e-mail: marek.szrot@energo-complex.pl

Mgr inż. Janusz PŁOWUCHA

Autor 16 prac naukowych z zakresu eksploatacji i diagnostyki transformatorów.



e-mail: janusz.plowucha@energo-complex.pl

Dr hab.inż. Jan SUBOCZ

Autor ponad 130 prac z zakresu elektrotechnologii, fizyki procesów relaksacyjnych w dielektrykach oraz diagnostyki urządzeń elektrycznych. Członek Komitetu Elektrotechniki PAN, Komisji Nauk Elektrycznych o/Poznań PAN, PKME SEP, IEEE.



e-mail: jan.subocz@ps.pl

Dr inż. Sebastian BORUCKI

Asystent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 50 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: s.borucki@po.opole.pl

Dr inż. Andrzej CICHON

Asystent Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 50 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: a.cichon@po.opole.pl

resulting from its use for a determined population of transformers are presented.

Keywords: assessment, technical condition, operation planning, transformer, TrafoGrade system.

1. Wstęp

Znaczącym składnikiem majątku podmiotów gospodarczych zajmujących się dystrybucją i przesyłem energii elektrycznej są transformatory energetyczne. Z reguły koszt bezpośredniej eksploatacji transformatorów jest relatywnie niewielki w stosunku ogólnych kosztów działania tych przedsiębiorstw. Jednak w przypadku transformatorów średnich i dużych mocy sytuacja jest odmienna. Bowiem występuje tu bardzo istotny składnik kosztów ciągnionych usunięcia skutków awarii katastrofalnej, które przeważnie znacznie przekraczają wieloletnie nakłady na eksploatację tych transformatorów. Efekt ten ma miejsce zwłaszcza w przypadku awarii jednostek zainstalowanych w strategicznych punktach sieci rozdzielczej. Analiza danych wskazuje, że w zależności od miejsca zainstalowania oraz stanu technicznego transformatora skumulowany koszt katastrofalnej awarii może stanowić bardzo duże obciążenie dla przedsiębiorstwa zajmującego się przesyłem lub dystrybucją energii. W Polsce eksploatowanych jest obecnie kilka tysięcy transformatorów średnich i dużych mocy, z których ponad 50% pracuje dłużej niż 30 lat, a więc przekroczyło projektowany „czas życia”. Wieloletnia analiza awaryjności wskazuje, że w tej grupie wskaźnik uszkodzeń przekracza 2%, co powoduje nadmierne straty finansowe z tytułu usuwania awarii oraz odszkodowań wypłacanych odbiorcom. Obecnie w Europie nie ma produkcyjnych i finansowych możliwości aby w rozsądnej perspektywie czasu gruntownie odmłodzić populację transformatorów. Pozostaje maksymalne wydłużenie eksploatacji już zainstalowanych jednostek o zaawansowanym wieku. Ocenia się przy tym, że większość z nich, po dokonaniu odpowiednich remontów, może pracować jeszcze przez następne 10÷15 lat [1].

Streszczenie

W artykule przedstawiono system oceny stanu technicznego transformatorów TrafoGrade, który opracowano w firmie Energo-Complex i wdrożono w praktyce. Omówiono podstawy tworzenia części technicznej oceny transformatorów, która składa się z trzech etapów ocen grupowych oraz etapu końcowej oceny transformatora. Przedstawiono zasady określania znaczenia transformatorów w sieci elektroenergetycznej. Podano przykłady zastosowania systemu TrafoGrade w praktyce eksploatacyjnej oraz wnioski wypływające z jego użycia dla określonej populacji transformatorów.

Słowa kluczowe: stan techniczny, ocena, eksploatacja transformatorów, planowanie, system TrafoGrade.

Planning of transformer operation with use of the TrafoGrade system

Abstract

The paper presents the TrafoGrade system for assessment of transformer technical condition, designed by Energo-Complex and implemented into operation. The basics for preparing the technical part of assessment consisting of three stages of group grades and the final stage of transformer assessment are given. There are also described the principles of determining the transformer importance in the system. Some examples of application of TrafoGrade to operation conditions and the conclusions

W tej sytuacji podstawowym zagadnieniem jest opłacalność i konieczny zakres modernizacji lub remontu transformatorów oraz ograniczenie kosztów związanych z bezpośrednim ich serwisem. Decyzja w obu tych sprawach powinna być podjęta na podstawie rzetelnie wykonanej kompleksowej oceny stanu technicznego transformatora, przy czym należy przyjąć zasadę, że eksploatacja transformatora o dobrym stanie technicznym powinna być znacznie tańsza od kosztu serwisowania pozostałych jednostek. Należy przy tym podkreślić, że obecnie brak jest jednoznacznych kryteriów, które byłyby pomocne przy ocenie pozostałego czasu życia starszych jednostek oraz decydowaniu o ich losie.

W firmie Energo-Complex opracowano podstawy kompleksowego systemu zarządzania transformatorami o nazwie *TrafoGrade*. Ideą systemu, który wprowadza punktową ocenę stanu technicznego transformatora oraz jego znaczenia w sieci elektroenergetycznej jest powiązanie technicznych aspektów diagnostyki z czynnikami ekonomiczno – finansowymi w celu optymalizacji decyzji w zakresie bieżącej eksploatacji, gospodarki remontowej oraz polityki inwestycyjnej. Co prawda podobny system stosowany jest w USA, lecz wynika on z amerykańskich doświadczeń eksploatacyjnych oraz konstrukcyjnych [2] i tym samym nie może być wprost aplikowany do polskich warunków.

2. System TrafoGrade

Przy tworzeniu systemu TrafoGrade wykorzystano wieloletnie analizy dotyczące najczęściej występujących przyczyn awarii, a ocenę stanu technicznego oparto na 15 parametrach, które są najbardziej istotne w eksploatacji transformatorów.

Na pierwszą część systemu składa się metoda TrafoGrade kompleksowej oceny stanu technicznego transformatorów. W skali od 1 do 15 punktów charakteryzuje ona stopień zużycia transformatora w trzech zasadniczych grupach:

Grupa I - Podstawowa diagnostyka transformatora

Jest to grupa zawierająca najbardziej podstawowe cechy transformatora, których zła ocena w istotny sposób nie wpływa na zdolność do pracy w ruchu elektrycznym. Tylko w skrajnych przypadkach, katastrofalnie zły stan którejkolwiek z nich stwarza konieczność odłączenia jednostki od sieci. Założono przy tym, że usunięcie usterek w tej grupie nie powinno stwarzać większych problemów technicznych i być relatywnie tanie. Przykładowo, można tu wymienić takie cechy jak jakość osprzętu lub podobciążeniowych przełączników zaczepek PPZ.

Grupa II - Stan techniczny części aktywnej

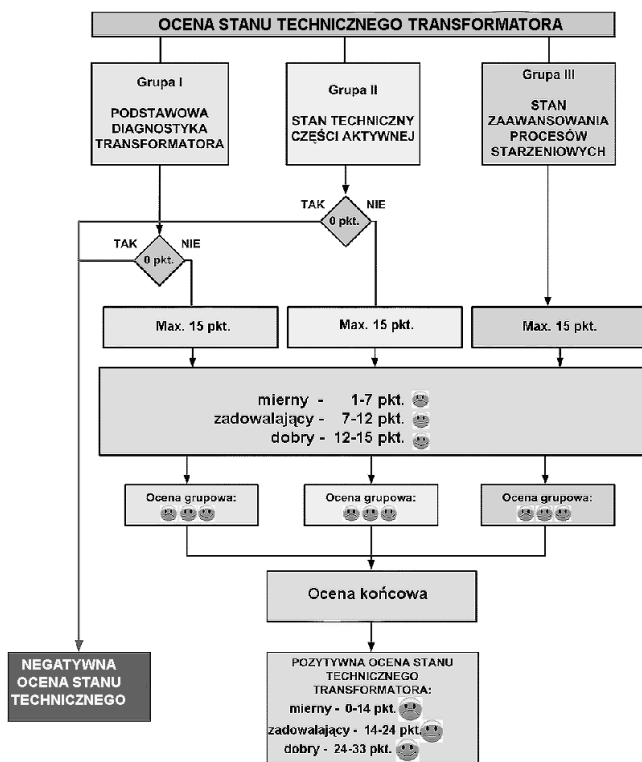
Do grupy II należy zespół tych właściwości, które spełniają istotną rolę w funkcjonowaniu transformatora. Zła ocena większości z nich eliminuje transformator z ruchu elektrycznego, a do przywrócenia akceptowalnego stanu konieczne są na ogół znaczne nakłady rzeczowo-finansowe oraz duży wysiłek organizacyjny. Do tej grupy można zaliczyć np. chromatograficzną analizę gazów rozpuszczonych w oleju (DGA), której negatywny wynik wymaga odłączenia transformatora od sieci i co najmniej rewizji wewnętrznej.

Grupa III - Zaawansowanie procesów starzeniowych

Grupa III właściwości w zasadzie nie dotyczy bieżących problemów eksploatacji, lecz ukierunkowana jest na ocenę stopnia zużycia oraz planowanie remontów i modernizacji. Dlatego nawet negatywna ocena któregośkolwiek parametru w tej grupie nie eliminuje transformatora z pracy, natomiast wymaga zaplanowania odpowiedniej rewitalizacji. Do tej grupy cech włączono np. wiek transformatora oraz fizyko-chemiczne właściwości oleju.

W metodzie TrafoGrade przyjęto, że w każdej z trzech grup maksymalna ocena wynosi 15 pkt., przy czym w przedziale 1÷7 pkt. stan techniczny grupy oceniany jest jako mierny, w przedziale 7÷12 pkt. jako zadowalający, natomiast dla 12÷15 pkt. jako dobry. Przyjęto również, że negatywna ocena (0 pkt.) jakiegokolwiek cechy w grupie I oraz grupie II eliminuje jednostkę z dalszego rozpatrywania według metody TrafoGrade do czasu wykonania odpowiednich prac remontowych i konserwacyjnych.

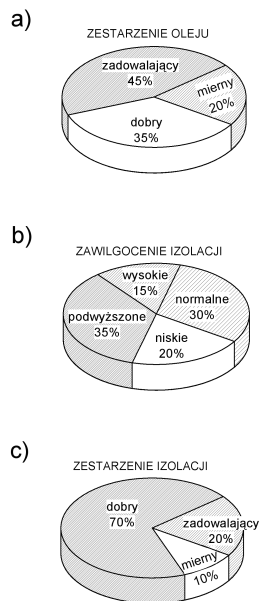
Ostateczna ocena stanu technicznego tworzona jest na podstawie ocen grupowych i zawiera się w przedziale 0÷33 punkty, przy czym w przedziale 0÷14 pkt. stan techniczny transformatora określany jest jako mierny oraz odpowiednio dla 14÷24 pkt. i 24÷33 pkt. jako zadowalający oraz dobry (rys. 1).



Rys. 1. Algorytm oceny stanu technicznego transformatora w systemie TrafoGrade
Fig. 1. Algorithm of transformer technical condition assessment with TrafoGrade system

Drugą częścią systemu TrafoGrade jest metoda punktowej oceny znaczenia transformatora w sieci elektroenergetycznej i dotyczy ona przede wszystkim transformatorów o napięciu roboczym 110 kV i wyższym. Podobnie jak w pierwszej części systemu TrafoGrade przyjęto 3-punktową skalę charakteryzującą poszczególne składniki, do których można zaliczyć takie elementy jak np. moc transformatora, rodzaj odbiorcy czy też konfiguracja stacji elektroenergetycznej. W rezultacie maksymalną notę, którą może otrzymać transformator o najwyższym strategicznym znaczeniu w sieci przesyłowej lub dystrybucyjnej wynosi 16 punktów.

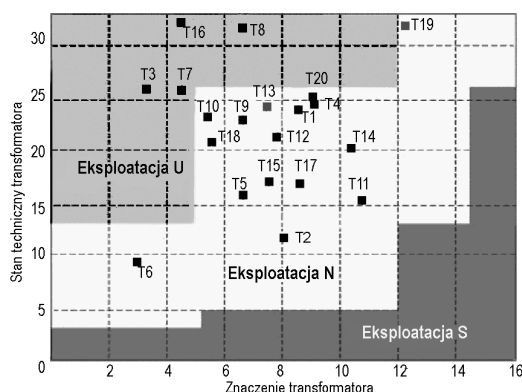
Zastosowanie metody TrafoGrade stwarza możliwość identyfikacji najważniejszych bieżących i przyszłych problemów związanych z eksploatacją określonej populacji transformatorów. Pozwala również uzyskać realne oszczędności finansowe z tytułu ograniczenia np. nadmiernie szerokiego zakresu okresowych pomiarów w transformatorach o dobrym stanie technicznym. Integralnym składnikiem systemu jest analiza perspektywy eksploatacji każdej jednostki oraz zabiegów koniecznych dla wydłużenia czasu życia bądź utrzymania stanu technicznego na minimalnie akceptowalnym poziomie. Analiza ta sporządzana przede wszystkim w oparciu o punktację poszczególnych właściwości zawartych w III grupie parametrów diagnostycznych, czyli na podstawie zaawansowania procesów starzeniowych.



Rys. 2. Przykład zastosowania TafoGrade do oceny zesterzenia oleju (a), zawilgocenia oraz zesterzenia izolacji (b,c) w wybranej populacji transformatorów

Fig. 2. Example of TafoGrade application to assessment of oil aging (a), water content and insulation aging (b,c) of selected transformer population

Korzyści płynące ze stosowania metody można przedstawić na przykładzie analizy stopnia zesterzenia oleju i izolacji stałej oraz zawilgocenia celulozy pewnej populacji transformatorów (rys. 2). Wykazała ona, że w przypadku 20% jednostek jakość oleju oceniono jako mierną i w najbliższym czasie należy liczyć się z koniecznością jego wymiany bądź regeneracji. Natomiast zawilgocenie izolacji aż połowy transformatorów było wyższe od normalnego, lecz tylko w kilku przypadkach (10%) stopień jej degradacji kwalifikował jednostki do wymiany uzwojenia. Zespół tych danych oznacza, że w perspektywie 5÷7 lat właściciel transformatorów znacząco część budżetu remontowego powinni przeznaczyć przede wszystkim na sukcesywne suszenie izolacji oraz wymianę oleju.



Rys. 3. Przykład analizy populacji transformatorów z zastosowaniem systemu TafoGrade

Fig. 3. Example of analysis of transformer population with use of TafoGrade system

Na potrzeby planowania i racjonalizowania eksploatacji stan techniczny transformatorów można powiązać z ich znaczeniem w systemie elektroenergetycznym. Zabieg taki pozwala dokonać podziału określonej populacji na trzy zasadnicze grupy eksploatacyjne (rys. 3):

- transformatory o eksploatacji uproszczonej (U),
- transformatory o eksploatacji normalnej (N),
- transformatory o eksploatacji pod szczególnym nadzorem (S).

Jak łatwo zauważyć, do pierwszej grupy (U) zaliczono jednostki wyróżniające się dwiema cechami: są to transformatory o bardzo dobrej kondycji technicznej, bądź też ich znaczenie w systemie elektroenergetycznym jest niewielkie. W takich przypadkach bieżący serwis mógłby ograniczyć się jedynie do okresowych oględzin połączonych z analizą DGA oleju. Z drugiej strony do grupy „specjalnej troski” włączono jednostki pełniące strategiczną rolę w systemie lub też o miernym stanie technicznym. Zasady ich eksploatacji powinny być formułowane indywidualnie. Podział transformatorów na określone grupy eksploatacyjne stwarza możliwość uzyskania znacznych oszczędności finansowych nawet poprzez stosunkowo proste zabiegi organizacyjne. Przykładowo, wzajemna zamiana miejsc zainstalowania transformatora T13, którego stan techniczny oceniono na 24,5 pkt., z T19 (32 pkt.) pozwala ograniczyć zakres serwisu tego ostatniego jedynie do okresowego wykonywania analizy DGA oleju oraz bieżących oględzin.

3. Podsumowanie

Prezentowany system TafoGrade jest nowoczesnym narzędziem stosowanym w diagnostyce i zarządzaniu transformatorami. Kompleksowa ocena stanu technicznego dostarcza wiele cennych informacji przydatnych w działaniach logistycznych i polityce finansowej przedsiębiorstw eksploatujących transformatory. Istotną zaletą systemu TafoGrade jest prosta forma prezentacji wykonanej oceny, która pozwala analizować wyniki badań zarówno przez kadrę inżynierską, jak i nie posiadających szerokiej wiedzy technicznej służby ekonomiczne.

Wykonanie analizy perspektywy eksploatacji indywidualnie dla każdej jednostki daje możliwość obniżenia kosztów okresowej diagnostyki. Szczególnie dotyczy to transformatorów o dobrym stanie technicznym, dla których stwarza realne podstawy do zmniejszenia częstotliwości i zakresu wykonywanych badań. Należy jednak podkreślić, że taka decyzja powinna być skorelowana z opracowaniem kilku odrębnych instrukcji eksploatacji (przynajmniej jedna dla każdej grupy eksploatacyjnej).

Zastosowanie metody TafoGrade daje techniczne uzasadnienie rezygnacji z powszechnie stosowanego obecnie systemu eksploatacji TBM i stwarza podstawy do wdrożenia bardziej efektywnego systemu RCM, który oparty jest o rzeczywisty stan techniczny.

Metoda TafoGrade może być również wykorzystana do uogólnionej, ilościowej oceny wpływu obciążenia, czasu i sposobu eksploatacji na stan techniczny populacji transformatorów.

4. Literatura

- [1] Malewski R., Subocz J., Szrot M., Płowucha J., Zaleski R.: „Podstawy oceny opłacalności modernizacji transformatorów”, *Energetyka*, 12, (2006), s.884-891
- [2] Facilities Instructions, Standards, and Techniques, vol. 3-31, Transformer Diagnostics, June 2003, US Department of the Interior Bureau of Reclamation
- [3] „Transformatory w eksploatacji”. Praca zbiorowa pod red. J. Subocza, ISBN 978-83-924464-0-8. Energo-Complex, (2007)
- [4] „Analiza awaryjności stacji transformatorowych SN/nn na przykładzie wybranych Spółek Dystrybucyjnych”. Raport PTPiREE, Poznań, (2001,2002)
- [5] Монастырский А.Е.: „Экономические аспекты эксплуатации трансформаторного оборудования”, *Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования* – ред. А.И. Таджикибаева, Выпуск 27, Санкт-Петербург, (2005), с. 7-11
- [6] Krüger M.: “Transformer diagnosis – practical experience using simple methods like winding resistance measurement, dynamic tap changer testing, ratio, leakage reactance capacitance and dissipation factor measurement”, Omicron Electronics GmbH Austria
- [7] CIGRE-WG 12-05: “An international survey on failures in large power transformers in service”, *Electra* No. 88 1983, s. 21-48