



Alfred KAŁUŻNY¹, Michał KAŁUŻNY², Jerzy SZLUFCEK³, Wojciech THOMAS³

Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów (1), Tech-Media (2), PP-U "Energoinwest" (3)

Analiza awarii wysokonapięciowych głowic kablowych w obwodach zasilania elektrofiltrów elektrownianych

Streszczenie. Końcówka kablowa stanowi układ izolacyjny o uwarstwieniu ukośnym, w którym opanowanie wyładowań ślizgowych jest bardzo ważnym problemem konstrukcyjnym i materiałowym. W referacie przeanalizowano rozwiązanie konstrukcyjne termokurczliwych głowic stosowanych w kablach zasilania elektrofiltrów elektrownianych w oparciu o dane wynikające z oględzin poawaryjnych głowic typu FCEV 111.

Abstract. (The analysis of failure, of the terminal boxes in the high voltage circuit supply of the electrofilters). The cable clip in an electrical structure, which has a non-uniform electrical field in which the control of the solid electrical discharges is a very important constructional and material problem. In this paper we would like to present some constructional solutions of the thermoshrink heads used in the electrofilters supply cables appeared in the power station in the support of the findings result from the after failure heads – type FCEV 111.

Słowa kluczowe: głowice kablowe, technika izolacyjna wysokich napięć, elektrofiltry.

Keywords: terminal box, high voltage insulation, electrofilters.

Wprowadzenie

Wysokonapięciowe tory prądowe zasilania elektrofiltrów elektrownianych wykonane są w postaci linii kablowych, które na końcach zaopatrzone są w specjalnej konstrukcji głowice termokurczliwe. Głowice termokurczliwe wykonywane są w technologii montażu w miejscu instalowania kabla. Zadaniem głowicy jest takie wystereowanie rozkładu pola elektrycznego na końcówce kablowej, aby w warunkach eksploatacyjnych elektrofiltru wyeliminować możliwość zapłonu wyładowań ślizgowych na warstwie izolacji stałej – polietylenu.

Głowice termokurczliwe charakteryzują się następującymi zaletami montażowymi i eksploatacyjnymi:

- mała masa i długość głowicy, co jest szczególnie ważne w urządzeniach gdzie jest ograniczona przestrzeń do instalowania toru zasilającego,
- prosty i bezpieczny montaż, lecz wymagający dużej precyzji i czystości wykonania,
- dobra odporność polimeru izolacyjnego na działania erozyjne czynników środowiskowych i zabrudzeniową,
- dobra odporność mechaniczna i elastyczność umożliwiają eksploatację toru prądowego przy jego wygięciu i wibracjach.

Mimo tych zalet głowice termokurczliwe kabli w obwodach zasilania elektrofiltrów ulegają awariom podczas eksploatacji. Analiza przyczyn i zjawisk fizycznych towarzyszących w procesie destrukcji układu izolacyjnego głowicy termokurczliwej są przedmiotem niniejszego referatu.

Warunki eksploatacji głowic kablowych w układach zasilania elektrofiltrów

Wysokonapięciowe tory prądowe zasilania elektrod wyładowczych elektrofiltrów pracują w atmosferze o dużym stopniu zawilgocenia oraz zanieczyszczenia aktywnymi chemicznie związkami gazowymi siarki i azotu oraz pyłami przemysłowymi z procesu spalania paliwa stałego. Tym trudnym warunkom zanieczyszczenia atmosfery towarzyszy wysoka temperatura. Pozostałości po procesie spalania w warunkach ponad 80% - owej wilgotności i wysokiej temperatury gazozolu stwarzają bardzo duże obciążenie czynnikami środowiskowymi układu izolacyjnego.

Narażenia pochodzące od pola elektrycznego stanowią sumę oddziaływań składowej stałej napięcia wyprostowanego o ujemnej biegunowości o wartości 78 kV lub w nowszych rozwiązaniach 106 kV i nakładające się na składową stałą powtarzające się impulsy wysokiej częstotliwości. Warunkom tym odpowiada duże natężenie pola elektrycznego w obszarze końcówki kablowej o uwarstwieniu ukośnym.

Charakterystyka konstrukcji termokurczliwej głowicy kablowej w instalacjach elektrofiltrów

Ekstremalnie trudne warunki środowiskowe i napięciowe eksploatacji głowic kablowych w układach zasilania elektrofiltrów stwarzają duże wyzwanie dla konstruktorów takich układów izolacyjnych.

Konstrukcja głowicy składa się w części zasadniczej z dwóch rur termokurczliwych, które umożliwiają sterowanie rozkładu pola elektrycznego w obszarze końcówki kablowej oraz dwóch termokurczliwych płatów: izolacyjnego i drugiego, umożliwiającego sterowanie rozkładem pola elektrycznego. Wykonanie założeń konstrukcyjnych, związanych z możliwością sterowaniem osiowym rozkładu pola elektrycznego na końcówce kablowej wymaga zachowania dużej dokładności i staranności podczas prac montażowych.

Szkic poglądowy głowicy termokurczliwej ze sterowanym rozkładem osiowym pola elektrycznego pokazano na rysunku 1.

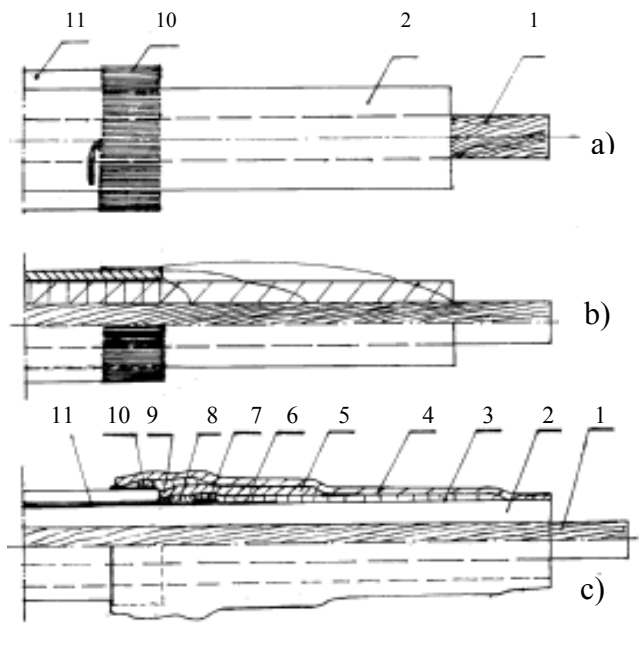
Elementy termokurczliwe głowicy wykonane są z materiału izolacyjnego, który jest odporny na:

- łuk elektryczny,
- promieniowanie ultrafioletowe,

Oprócz tego, elementy te posiadają:

- niską dyfuzję pary wodnej,
- zdolność do samooczyszczania się.

Na izolacji stałej kabla w pobliżu pierścienia wykonanego z drutów żyły powrotnej pozostawiono warstwę ekranu półprzewodzącego o długości 100 mm. Na warstwę ekranu półprzewodzącego kabla nałożona jest warstwa lakieru półprzewodzącego o długości 10 mm. Taka sama warstwa lakieru o długości 20 mm nałożona jest na izolację polietylenową kabla.



Rys. 1 Szczyt poglądowy konstrukcji głowicy kablowej FCEV 111

a) końcówka kabla przygotowana do montażu głowicy,

b) przebieg linii sił pola elektrycznego na końcówce kablowej,

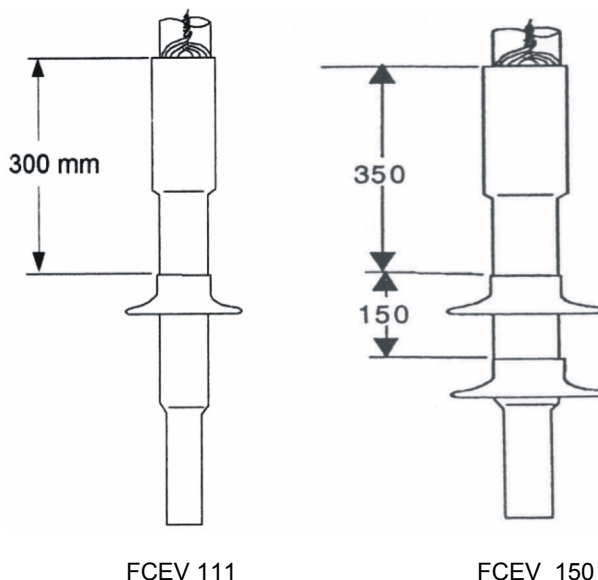
c) końcówka kablowa z warstwami izolacyjnymi i sterującymi .

1 - żyła, 2 - izolacja polietylenowa, 3 - warstwa długa ekran sterujący z wewnętrzną powłoką z tlenku cynku, 4 - warstwa izolacyjna czerwona, 5 - warstwa krótka ekran sterujący czarna, 6 - cienka warstwa silikonowa, 7 - warstwa lakieru przewodzącego, 8 - ekran grafitowy, 9 - obwód z taśmy uszczelniającej, 10- pierścień z drutów żyły powrotnej, 11- powłoka zewnętrzna kabla.

Następną warstwę na izolacji polietylenowej i lakieru półprzewodzącego na długości 5 mm stanowi cienka warstwa smaru silikonowego o długości 200 mm. Na tak przygotowaną końcówkę kabla nałożono rurę termokurczliwą – czarną, o właściwościach półprzewodzących, na długości: od pierścienia przewodzącego z drutów żyły powrotnej do połowy długości odkrytej izolacji polietylenowej końcówki kabla. Na obkurczoną rurę półprzewodzącą nałożona jest krótka rura termokurczliwa – czerwona, tak, aby jej dolna krawędź znajdowała się 50 mm od krawędzi pierścienia przewodzącego. Na rurze izolacyjnej (czerwona) nałożona jest krótka termokurczliwa rura półprzewodząca – sterująca - czarna, w taki sposób, aby jej krawędź dolna znajdowała się przy krawędzi pierścienia przewodzącego. Zewnętrzną warstwę stanowi termokurczliwa rura izolacyjna czerwona, która na powierzchni wewnętrznej pokryta jest warstwą tlenku cynku ZnO – zielona.

Wszystkie zakończenia kolejno nakładanych rur izolacyjnych i sterujących rozkładem pola elektrycznego, po ich obkurczeniu, uszczelniano obwojem z taśmy uszczelniającej. Na tak przygotowaną końcówkę kabla nałożona jest termoizolacyjna rura izolacyjna zewnętrzna w kolorze czerwonym o długości od dolnej krawędzi pierścienia przewodzącego z drutów żyły powrotnej do górnej krawędzi końcówki żyły kablowej. Po jej obkurczeniu na głowicę nałożono dwa termokurczliwe klosze typu daszkowego o podziałce 150 mm (rys. 2).

Elementy składowe głowicy kablowej; rury izolacyjne i rury do sterowania rozkładem pola elektrycznego w połączeniu z materiałami końcówki kabla są uszczelniane termokurczliwymi szczeliwami. Zastosowanie wysokonapięciowych szczeliw pozwala na uzyskanie trwałej konstrukcji o dobrych właściwościach izolacyjnych – bez szczelin i pęcherzy gazowych oraz odporną na trudne warunki otoczenia.



Rys. 2. Widok głowic kablowych termokurczliwych FCEV 111 oraz FCEV 150

Badania kwalifikacyjne głowicy

Rodzaj i zakres badań kwalifikacyjnych - wyrobu głowic termokurczliwych zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie rodzaju i zakresu badań głowic

Lp.	Rodzaj badań	Wymagania techniczne dla głowicy:	
		FCEV 111	FCEV 150
1	Poziom wyładowań niepełnych przy AC	< 5 pC przy 40 kV	< 5 pC przy 52 kV
2	Badania napięciem wyprostowanym kV	1 godz. +200 1 godz. - 200	1godz. +200 1godz. - 200
3	Badania napięciem udarowym 1,2 /50 μs kV	50 x +250 50 x -250	50 x +325 50 x -325
4	Badania napięciem wyprostowanym kV	50 godz.+ 210 50 godz. - 210	50godz.+325 50godz.-325
5	Badania napięciem udarowym 1.2/50μs kV	50 x + 250 50 x - 250	50 x + 325 50 x - 325
6	Badanie napięciem przemiennym 50Hz kV	10 minut 120	10 minut 150

Ogłędziny poawaryjne głowic typu FCEV 111

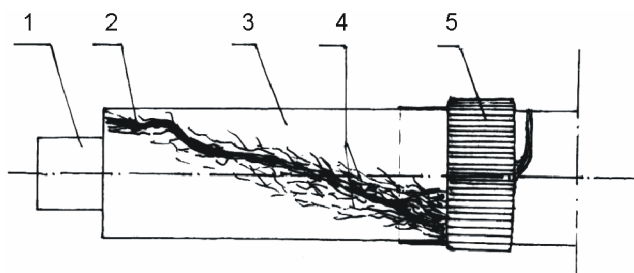
Demontaż głowic, które uległy awarii – zwarcia w układzie izolacyjnym, wykonano w obecności przedstawicieli producenta, inwestora i służb eksploatacji elektrofiltrów. W protokole z demontażu stwierdzono, że głowice były zmontowane prawidłowo, zgodnie z instrukcją montażową opracowaną przez producenta. W wyniku utraty zdolności izolacyjnych głowicy nastąpiło zwarcie doziemne w torze zasilania elektrofiltrów. Wyniki oględzin poawaryjnych pozwalają na przyjęcie następującego mechanizmu wyładowania elektrycznego:

Podczas eksploatacji kabla na izolacji stałej – polietylenie w części oczyszczonej i z ekranem przewodzącym miały miejsce intensywne wyładowania niepełne powierzchniowe, które spowodowały silną erozję powierzchni izolacji polietylenowej, którego następstwem było krótkotrwałe wyładowanie zupełne. Duża intensywność wyładowań niepełnych powierzchniowych w pobliżu pierścienia utworzonego z drutów żyły powrotnej spowodowała erozję powierzchniową izolacji polietylenowej w pasie około 1/3 obwodu i długości około 120 mm.

Wyładowania niepełne rozwijały się początkowo w formie kanału z licznymi rozgałęzieniami od pierścienia

przewodzącego, a następnie o zmniejszającej się szerokości pasma objętego erozją przechodząc następnie w kanał o głębokości około 4 mm. Powierzchnia objęta erozją spowodowaną wyładowaniem niepełnym przemieszcza się po obwodzie izolacji polietylenowej – około ¼ obwodu w kierunku końcówki kabla.

Zarówno liczba rozgałęzień kanału wyładowania, jak i głębokość wżerów w polietylenie świadczą o dużej intensywności i długim czasie trwania tych wyładowania wzdłuż powierzchni granicznej izolacji polietylenowej. Efektem występujących wyładowań niepełnych są zwęglenia i wytopienia w polietylenie. Poglądowy szkic skutków wyładowań ślizgowych na izolacji polietylenowej kabla w części objętej głowicą pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Rysunek poglądowy stanu erozji izolacji po awarii głowicy
1 - żyła kablowa, 2 - kanał zwęglony, 3 - izolacja polietylenowa,
4 - zwęglenia po wyładowaniach niepełnych, 5- pierścień z drutów miedzianych żyły powrotnej.

Wielkość obszaru objętego erozją powierzchni izolacji głównej kabla jak i stopień zwęglenia oraz głębokość wżerów kanałów wyładowań świadczą o dużej intensywności tych wyładowań, dużej gęstości strug prądowych iskier ślizgowych i energii cieplnej wydzielonej w czasie trwania wyładowań niepełnych.

Przepalenie warstwy materiałów stanowiących głowicę, odbarwienia zewnętrznej powierzchni izolacyjnej głowicy lub jej odkształcenia są wynikiem przepływu prądu zwarciovego, po utworzeniu się trwałego kanału przewodzącego na powierzchni granicznej izolacji polietylenowej kabla i warstw izolacyjno-sterujących głowicy.

Podsumowanie i wnioski

Analiza rozwiązania konstrukcyjnego i materiałowego termoutwardzalnych głowic kablowych oraz warunków eksploatacyjnych i wyniki oględzin poawaryjnych pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków.

1. Jeżeli można wykluczyć błędy popełnione podczas montażu głowic, co potwierdza protokół z demontażu poawaryjnego zainteresowanych firm, to jako czynniki umożliwiające zapłon i rozwój wyładowań ślizgowych wewnątrz głowicy można określić:

- niewłaściwe materiały użyte do montażu głowic. Właściwości fizyczne i technologiczne tych materiałów mogły ulec zmianie (zestarzeniu),
- niedoskonałość rozwiązania konstrukcyjnego i technologicznego dla zadanych warunków eksploatacyjnych, a przede wszystkim poziomu i charakteru narażeń napięciowych (impulsowe) głowicy kablowej.

2. Wyniki badań kwalifikacyjnych wyrobu nie pozwalają na właściwą ocenę pracy głowic w warunkach eksploatacyjnych i tym samym skuteczności zastosowanych środków konstrukcyjno-technologicznych dla opanowania wyładowań niepełnych (ślizgowych), bowiem pomiary intensywności wyładowań niepełnych wykonano przy napięciu zaledwie 40 kV, co stanowi ok. 50% poziomu napięciowych narażeń stacjonarnych głowic kablowych w układach zasilania elektrofiltrów, nie uwzględniając amplitudy impulsów napięciowych nałożonych na składową wyprostowaną napięcia.

LITERATURA

- [1] Protokół z demontażu poawaryjnego głowic (materiały nie publikowane)
- [2] Dokumentacja montażowa głowicy termoutwardzalnej typu FCEV 111 (materiały nie publikowane)

Autorzy: dr hab. Inż. Alfred Kałużny, Politechnika Śląska, Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, ul. B. Krzywoustego 2, 44-100 Gliwice, e-mail: elektroizolacja@interia.pl; mgr inż. Michał Kałużny, Tech-Media, ul. I. Daszyńskiego 446, 44-151 Gliwice; mgr inż. Jerzy Szlufcik, PP-U „Energo-Inwest”, ul. Podmiejska 7, 44-207 Rybnik; mgr inż. Wojciech Thomas, PP-U „Energo-Inwest”, ul. Podmiejska 7, 44-207 Rybnik.