

dr inż. ARTUR KOZŁOWSKI

mgr inż. JULIAN WOSIK

mgr inż. JANUSZ BROL

Instytut Technik Innowacyjnych EMAG

mgr inż. MARCIN MISTARZ

Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Handlowo-Uslugowe MARTECH-PLUS

## Stacje transformatorowe typu MAR, MAR-G z wyłącznikami próżniowymi na odpływach

*W referacie przedstawiono rozwiązanie stacji transformatorowej z nowo opracowaną wieloodpływową komorą dolnego napięcia z wyłącznikami próżniowymi na odpływach. Zaprezentowano powstały w ten sposób typoszereg stacji oraz podstawowe parametry techniczne. Omówiono możliwości konfiguracyjne w zakresie wielowariantowości wersji wykonawczych uzależnionych od wymagań użytkownika. Zwrócono uwagę na zasilanie odbiorów energoelektronicznych z możliwością stosowania wieloparametrowych zabezpieczeń upływowch, a także na bardzo istotną kwestię autokontroli zewnętrznego obwodu pomiarowego zabezpieczeń centralnych.*

### 1. WSTĘP

---

Ciągłość i niezawodność zasilania jest nadal bardzo ważnym aspektem bezpieczeństwa z punktu widzenia użytkowników. Dlatego też od urządzeń, w szczególności elektrycznych, wymaga się m.in. podwyższonych parametrów technicznych związanych z trudnymi warunkami sieciowymi oraz środowiskowymi. Ważną kwestią jest także możliwość konfigurowalności, czy rekonfigurowalności, w zależności od warunków zasilania, specyfiki pracy oraz wymagań związanych z zasilanymi odbiorami, w tym szczególnie energoelektronicznymi. Ponadto nowoczesne wyposażenie układu elektrycznego, aparatura łączeniowo-zabezpieczeniowa z układami autokontroli to tylko, przykładowo, niewielki zakres oczekiwań użytkowników.

W artykule przedstawiono efekty realizowanego projektu celowego, którego wnioskodawcą było P.P.H.U. MARTECH-PLUS, a wykonawcą zadań badawczych – Instytut EMAG. Przedsięwzięcie jest kontynuacją wyznaczonego kierunku rozwoju stacji transformatorowych z zastosowaną aparaturą łączeniową niskiego napięcia, w tym z wyłącznikami mocy.

### 2. OSŁONY OGNIOSZCZELNE

---

W celu ograniczenia niebezpieczeństwa wybuchu osłony ognioszczelnych stacji transformatorowych (rys. 1) zostały podzielone na trzy zasadnicze komory:

- komora górnego napięcia (GN),
- komora dolnego napięcia (DN),
- komora transformatora.

Obudowy ognioszczelnych stacji transformatorowych produkcji P.P.H.U. MARTECH-PLUS zostały poddane badaniom w Głównym Instytucie Górnictwa w Kopalni Doświadczalnej „BARBARA” na zgodność z wymaganiami norm zharmonizowanych z Dyrektywą ATEX.

Poszczególne komory GN różnią się od siebie sposobem wykonania komory głównej oraz – ze względu na wyposażenie – pojemnością komory głównej i przyłączonej. Komory DN składają się z komory głównej i jednej, dwóch lub czterech komór przyłączonych.

Różna pojemność komór umożliwia zabudowanie w nich transformatorów o mocach 200, 315, 400, 630, 1000, 1400 i 1800 kVA. Komora GN może być dobudowana do osłony ognioszczelnej transformato-



Rys. 1. Stacja transformatorowa typu MARG [3]

ra z wykorzystaniem płyty pośredniej. Jest to szczególnie ważne przy dokonywanej modernizacji i remontach wyeksploatowanych stacji transformatorowych.

Pozytywne wyniki badań były podstawą nadania typoszeregowi obudów ognioszczelnych stacji transformatorowych typu MOST, MOSF certyfikatu badania typu WE.

Orientacyjne wymiary przykładowych komór [mm]:

- 1) komora górnego napięcia typu **MGN-4**: 1100×800×1510,
- 2) komora transformatora typu **MTroF-6** (1400 kVA, Yyn0): 2570×910×1316,
- 3) komora transformatora typu **MTro-9** (1800 kVA, Dyn5): 2700×1036×1330,
- 4) komora dolnego napięcia typu **MDN-4**: 1100×800×1510,
- 5) komora dolnego napięcia typu **MDN-6**: 1530×790×825.

### 3. OZNACZENIA STACJI TRANSFORMATOROWYCH

Typoszereg stacji transformatorowej posiada możliwość następującego oznaczenia:

**MAR – G – 2 – 1000 / 6 / 1 / 05 / R / W / PM**

gdzie poszczególne litery i cyfry oznaczają:

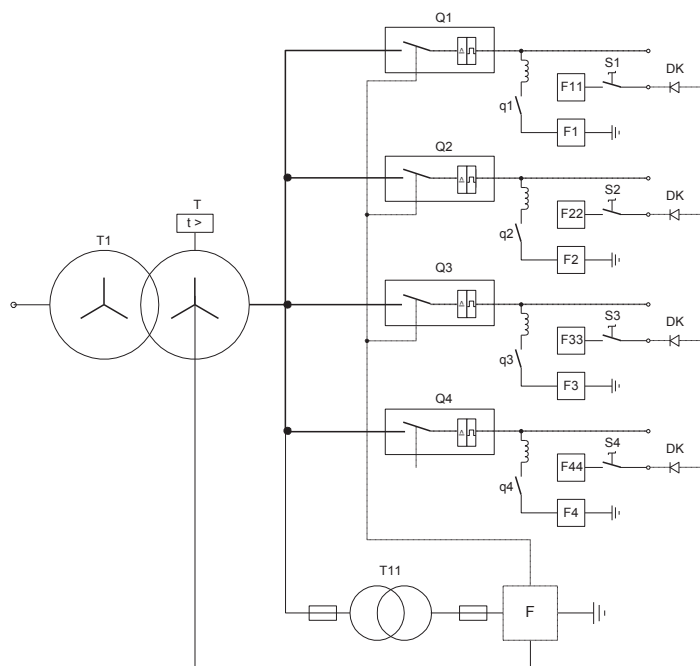
- MAR** – producent P.P.H.U. MARTECH-PLUS;  
**G** – stycznik po stronie GN; GI – brak styczników po stronie DN; brak oznaczenia – rozłącznik po stronie GN;  
**2** – liczba odpływów, brak oznaczenia – jeden odpływ;  
**1000** – moc stacji od 200 do 1800 kVA;  
**6** – napięcie zasilania od 3 do 6 kV;  
**1** – napięcie wtórne: brak oznaczenia 525 V, 1 – napięcie 1050 V;

- 05** – napięcie wtórne 525V, stacje dwunapięciowe;  
**R** – wersja z zabezpieczeniem RRgFx/M, brak oznaczenia – zabezpieczenie realizowane przez PM-2;  
**W** – wersja z wyłącznikiem próżniowym zamiast stycznika i bezpieczników, brak oznaczenia – stycznik z bezpiecznikami;  
**PM** – zabezpieczenie PM-2.

### 4. WYPOSAŻENIE UKŁADU ELEKTRYCZNEGO

Komora aparaturowa GN (rys. 2) wyposażona została w stycznik górnego napięcia Q11, uziemnik szybki Q41 lub rozłącznik z uziemnikiem, transformator potrzeb własnych T21 z bezpiecznikami F11 i F13, dwa przekładniki prądowe T11, T13 do współpracy z automatycznym zespołem zabezpieczeń A31 oraz ograniczniki przepięć F10 (ograniczniki przepięć instalowane są opcjonalnie). Stycznik górnego napięcia Q11 umieszczony został na członie wysuwym (wózku), który podczas czynności konserwacyjnych i napraw może być wyjęty ze stacji, co zwiększa bezpieczeństwo podczas prowadzonych prac oraz ułatwia wymianę stycznika. Jest on połączony z obwodem głównym poprzez złącza wieńcowe izolatorów wsporczych, które przy wyjęciu stycznika górnego napięcia spełniają rolę odłącznika strony GN [1].

Uziemnik szybki Q41 ma za zadanie – przy wyłączonej stacji – zwieranie linii zasilającej stację z ziemią i przez to zapewnia pełne bezpieczeństwo obsługi stacji przy pracach remontowo-konserwacyjnych (opcjonalnie uziemiamy stronę pierwotną transformatora). Zastosowany układ blokad elektromechanicznych tworzy wzajemne powiązania pomiędzy położeniem uziemnika, stanem załączenia stycznika Q11, możliwością dokonywania czynności łączeniowych bądź próbą otwarcia drzwi komór GN i DN.



Rys. 2. Schemat blokowy wieloodpływowej komory DN [2]

$Q1÷Q4$  – wyłączniki próżniowe WP-630;  $F$  – centralne zabezpieczenie upływowe RRgFx/M;  
 $F1÷F4$  – zabezpieczenia upływowe blokujące typu RRgB;  $F11÷F44$  – przekaźniki ciążkości uziemienia;  
 $DK$  – układ zdalnego wyłączania;  $T$  – układ kontroli temperatury transformatora mocy

Opcjonalnie stycznik może być zabudowany na stałe. Widoczną przerwę izolacyjną uzyskujemy, stosując rozłącznik z uziemnikiem. Zastosowany układ blokad elektromechanicznych tworzy wzajemne powiązania pomiędzy położeniem rozłącznika z uziemnikiem, stanem załączenia stycznika Q11, możliwością dokonywania czynności łączeniowych bądź próbą otwarcia drzwi komór GN i DN.

Transformator potrzeb własnych T21 zasila obwody sterowania, blokad i sygnalizacji. Ochronę przed skutkami zwarć i przeciążeń zapewnia autonomiczny zespół zabezpieczeń A31, zasilany w układzie dwufazowym z przekładników prądowych T11 i T13.

Zabezpieczenie A31 składa się z:

- zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego o charakterystyce niezależnej, gdzie próg prądowy zabezpieczenia może być nastawiony w zakresie od 10 do 200 A z nastawczym czasem opóźnienia od 0 do 1 s. Po zadziałaniu człon zwarciový jest blokowany, a jego kasowanie dokonywane jest przyciskiem usytuowanym na płycie czołowej zabezpieczenia oraz przyciskiem „WYŁ”;
- zabezpieczenia przeciążeniowego o charakterystyce niezależnej bądź zależnej. Zabezpieczenie o charakterystyce niezależnej posiada zakres nastawczy prądu od 2,5 do 12,5 A i zakres czasu opóźnienia od 0,05 do 1,1 s lub od 0,5 do 11 s. Zabezpieczenie przeciążeniowe zależne ma zakres nastawczy prądu od 2,5 do 6 A. Nastawa czasu

opóźnienia zależy od współczynnika  $K$ , określonego z charakterystyk podanych w dokumentacji techniczno-ruchowej zabezpieczenia (łagodna, normalna, stroma, bardzo stroma).

W komorze transformatora stacji zabudowany jest transformator mocy T1 o przekładni zależnej od mocy transformatora.

Komora aparaturowa DN może być, jako dwunapięciowa, jedno-, dwu-, trój- lub czteroodpływowa, w zależności od przyjętej opcji (rys. 3).



Rys. 3. Komora dolnego napięcia projektowanej stacji transformatorowej [2]

Komora aparaturowa DN (rys. 3) może być wyposażona w:

- aparat łączeniowy DN Q (opcjonalnie bez aparatu łączeniowego DN Q),
- zabezpieczenie PM,
- uziemnik (opcja),
- zabezpieczenie centralne RRgFx/M (opcja z autokontrolą ciągłości zewnętrznego obwodu pomiarowego).

Aparatem łączeniowym może być w stacji (rys. 4):

- stycznik próżniowy sterowany przekaźnikiem mikroprocesorowym PM (opcjonalnie na styczniku może być zabudowany uziemnik, którego elementy manipulacyjne dostępne są na zewnątrz obudowy ognioszczelnej – styki uziemnika widoczne są poprzez ognioszczelne wzierniki),
- wyłącznik próżniowy WP-630 lub WP-1000.



Rys. 4. Zastosowane wyłączniki próżniowe [3]

Zwiększenie bezpieczeństwa podczas prowadzonych prac, jak i ułatwienie – w przypadku wystąpienia takiej konieczności – wymiany stycznika górnego napięcia zostało osiągnięte poprzez umieszczenie go na członie wysuwym (wózku), który podczas prac konserwacyjnych i napraw może być wyjęty ze stacji. Stycznik połączony jest z obwodem głównym poprzez złącza wieńcowe izolatorów wsporczych, które przy wyjęciu stycznika górnego napięcia spełniają rolę odłącznika strony GN.

Zapewnienie bezpieczeństwa obsługi stacji przy pracach remontowo-konserwacyjnych zostało osiągnięte poprzez uziemnik szybki, który ma za zadanie przy wyłączonej stacji zwieranie linii zasilającej stację z ziemią. Opcjonalnie stycznik może być zabudowany na stałe. Bezpieczną przerwę izolacyjną otrzymujemy, stosując w wyposażeniu elektrycznym rozłącznik z uziemnikiem.

Po stronie GN stacja transformatorowa wykonana w ramach projektu celowego wyposażona została w szereg blokad.

Zastosowany układ blokad elektromechanicznych uwzględnia wzajemne powiązania pomiędzy położeniem uziemnika (rozłącznika z uziemnikiem), stanem załączenia stycznika, możliwością dokonywania

czynności łączeniowych bądź próbą otwarcia drzwi komór GN i DN.

Ochronę przed skutkami zwarć i przeciążeń zapewnia autonomiczny zespół zabezpieczeń, zasilany w układzie dwufazowym z przekładników prądowych.

#### **Blokada mechaniczna otwierania komór GN i DN**

Przy drzwiach komór aparaturowych GN i DN zainstalowane są zamki, do których jest jeden klucz. Klucz z zamka komory GN można wyjąć tylko wtedy, gdy uziemnik (rozłącznik z uziemnikiem) jest zamknięty i napęd uziemnika (rozłącznika z uziemnikiem) jest zablokowany. Po otwarciu drzwi komory aparaturowej DN klucz tkwi w zamku i nie da się go wyjąć. Jednocześnie przerwany jest obwód sterowania stycznika i nie ma możliwości podania napięcia na stację.

#### **Blokada drzwi komory GN**

Drzwi komory GN posiadają blokadę elektryczną, która powoduje wyłączenie stycznika oraz napięcia w polu rozdzielczym zasilającym stację transformatorową.

#### **Blokady powodujące samoczynne wyłączenie stycznika GN**

Stycznik Q powinien wyłączać się samoczynnie w przypadku:

- próby otwarcia drzwi komory GN,
- zadziałania członu zwarciovego lub przeciążeniowego autonomicznego zespołu zabezpieczeń A31.

#### **Blokady powodujące samoczynne wyłączenie aparatu łączeniowego strony DN Q**

Aparat łączeniowy strony DN Q powinien wyłączać się samoczynnie w przypadku:

- zadziałania członu elektromagnetycznego lub termicznego wyzwalacza (wyłącznik mocy),
- zadziałania elektromagnetycznego, przeciążeniowego i asymetrowego zabezpieczenia (wyłącznik próżniowy),
- przekroczenia progowej temperatury próżniowych komór gaszeniowych (wyłącznik próżniowy),
- zadziałania centralnego zabezpieczenia upływowego,
- zadziałania przekaźnika kontroli ciągłości uziemienia,
- uruchomienia blokady mechanicznej w obwodzie pomiarowym przekaźnika ciągłości uziemienia.

#### **Blokady uniemożliwiające załączenie stycznika GN**

Stycznik GN nie powinien dać się załączyć, gdy:

- uziemnik jest zamknięty (rozłącznik z uziemnikiem otwarty),

- drzwi komór aparaturowych GN lub DN są otwarte,
- nastąpiło zadziałanie członu zwarciego autonomicznego zespołu zabezpieczeń A31 – powtórne załączenie stycznika powinno być możliwe po odblokowaniu (skasowaniu) przycisku blokady zadziałania.

### Strona DN

Aparatem łączeniowym w stacji (w zależności od przyjętego rozwiązania) może być:

- wyłącznik mocy z wyzwalaczami termicznymi, elektromagnetycznymi i wyzwalaczem wzrostowym napięciowym,
- wyłącznik próżniowy zabezpieczeniowy z cyfrowym zespołem zabezpieczeń, prądowym czujnikiem temperatur próżniowych komór oraz zespołem sygnalizacji i sterowania,
- stycznik próżniowy z ogranicznikami prądowymi i przekaźnikiem mikroprocesorowym PM.

Zastosowany przekaźnik PM tworzy system sterowania i zabezpieczenia obwodów zasilania odbiorników przed skutkami zwarć, przeciążeń oraz asymetrii prądu obciążenia.

### Blokady uniemożliwiające załączenie aparatu łączeniowej strony DN

Aparat łączeniowy nie powinien dać się załączyć w przypadku:

- zadziałania wyzwalacza elektromagnetycznego (wyłącznik mocy) – powtórne załączenie wyłącznika powinno być możliwe po skasowaniu blokady zadziałania i zablożeniu wyłącznika,
- zadziałania zabezpieczenia zwarciego, przeciążeniowego i asymetrowego,
- zadziałania zabezpieczenia progowej temperatury próżniowych komór gaszeniowych (wyłącznik próżniowy) – powtórne załączenie wyłącznika próżniowego powinno być możliwe po skasowaniu blokady zadziałania zabezpieczeń nadprądowych i asymetrowych oraz przy obniżeniu się temperatury komór poniżej 10% nastawionej wartości progowej,
- zadziałania centralnego zabezpieczenia upływowego – powtórne załączenie łącznika powinno być możliwe po skasowaniu przycisku blokady i, dodatkowo, po zablożeniu wyłącznika mocy,
- gdy rezystancja izolacji doziemnej sieci jest mniejsza od 50 k $\Omega$ ,
- gdy rezystancja obwodu pomiarowego przekaźnika ciągłości uzziemienia jest większa od 100  $\Omega$ ,
- gdy łącznik blokady mechanicznej jest otwarty.

Aparat łączeniowy strony DN powinien wyłączać się samoczynnie w przypadku:

- zadziałania członu elektromagnetycznego lub termicznego wyzwalacza (wyłącznik mocy),
- zadziałania elektromagnetycznego, przeciążeniowego i asymetrowego zabezpieczenia (wyłącznik próżniowy),
- przekroczenia progowej temperatury próżniowych komór gaszeniowych (wyłącznik próżniowy),
- zadziałania zabezpieczenia prądowego (styczniki próżniowe),
- zadziałania centralnego zabezpieczenia upływowego,
- zadziałania przekaźnika kontroli ciągłości uzziemienia,
- uruchomienia blokady mechanicznej w obwodzie pomiarowym przekaźnika ciągłości uzziemienia.

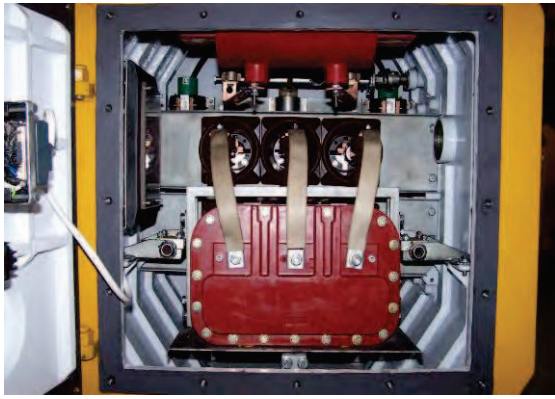
## 5. MOŻLIWOŚCI KONFIGURACYJNE

### Komora GN

Komora GN (rys. 5) wyposażona jest w drzwi uchylne (rys. 6) przykręcane za pomocą śrub imbusowych (rys. 7), a ta sama komora aparaturowa GN – w stycznik górnego napięcia (rys. 8), uziemnik szybki lub rozłącznik z uziemnikiem (rys. 9), transformator potrzeb własnych z bezpiecznikami, dwa przekładniki prądowe do współpracy z automatycznym zespołem zabezpieczeń oraz ograniczniki przepięć (ograniczniki instalowane są opcjonalnie). W komorze tej dokonuje się również regulacji dolnego napięcia poprzez przełączenie przewodów do odpowiednich odczepów uzwojenia pierwotnego transformatora wyprowadzonych na izolatorach przepustowych (opcjonalnie regulacji dolnego napięcia dokonuje się w komorze transformatora mocy). Komora ta wyposażona jest w dwa wpusty kablowe (opcja), dopuszczone do stosowania i przystosowane do podłączenia kabla o średnicy zewnętrznej 11÷21 mm.



Rys. 5. Komora GN stacji transformatorowej – widok blokady mechanicznej i elektrycznej [2]



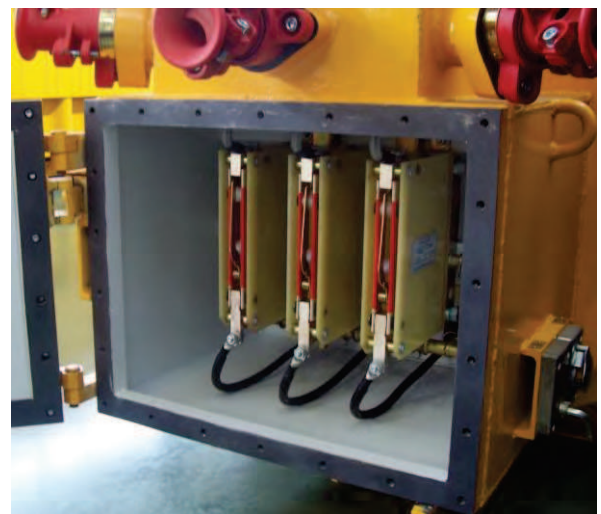
Rys. 6. Komora GN stacji transformatorowej – stycznik zabudowany na członie wysuwnym [2]



Rys. 7. Komora GN stacji transformatorowej [2]



Rys. 8. Komora GN stacji transformatorowej – widok stycznika próżniowego i zabezpieczenia prądowego [2]

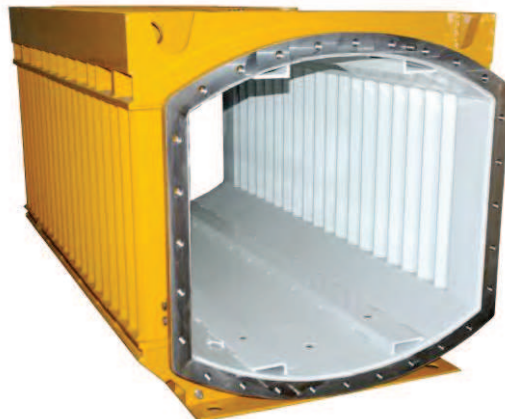


Rys. 9. Komora GN stacji transformatorowej – widok rozłącznika z uziemnikiem [2]

### Komora transformatora mocy

W komorze transformatorowej umieszczony jest transformator główny. Do powierzchni zewnętrznej komory przyspawane są rury stalowe lub blachy faliście, tworzące radiator zwiększający intensywność oddawania ciepła. W górnej zewnętrznej części ko-

mory umieszczono otwory ułatwiające rozładunek i transport stacji za pomocą urządzeń dźwigowych. Opcjonalnie można ją podwiesić – wykorzystując do tego celu specjalne otwory – na paletach transportowych bądź zawieszakiach.

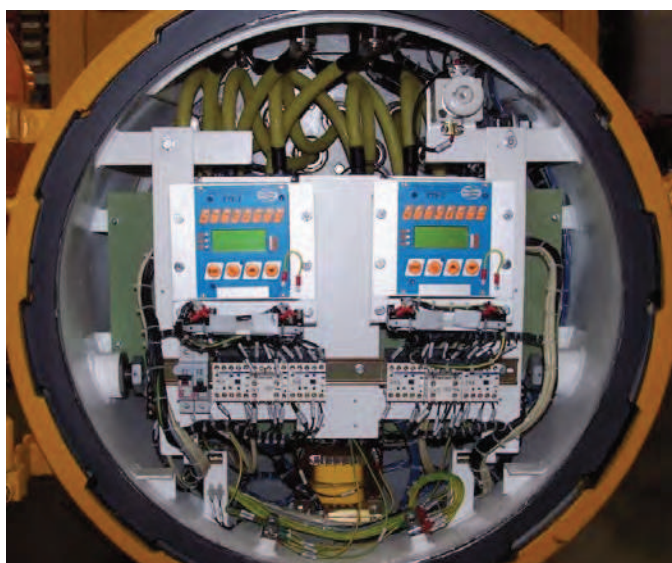


Rys. 10. Komora transformatora [2]

### Komora DN

Komora DN wyposażona jest w drzwi uchylne przykręcane za pomocą śrub imbusowych lub otwierane za pomocą specjalnego klucza. W komorze tej (rys. 11) umieszczono aparaty niskiego napięcia, takie jak bezpieczniki, ograniczniki, stycznik próżniowy lub wyłącznik próżniowy, przekaźnik mikroprocesorowy sterowniczo-zabezpieczeniowy oraz inne elementy sterowania i kontroli. W drzwiach komory umieszczone są wzierniki kontrolne, przez które możliwa jest obserwacja stanów pracy urządzenia, sygnalizacji stanów awaryjnych oraz wartości prądów obciążenia prezentowanych na wyświetlaczu ciekłokrystalicznym LCD. Na drzwiach umieszczono

również łącznik z kluczem specjalnym „STOP/KASOWANIE” oraz przycisk kontroli zabezpieczeń „KONTROLA”. Z boku obudowy (rys. 12) umieszczono wziernik, przez który możliwa jest obserwacja wskazań woltomierza mierzącego napięcie odpływowe stacji transformatorowej, oraz łącznik awaryjnego wyłączenia „STOP AWARYJNY” (alternatywnie z przodu obudowy). Po przeciwnej stronie obudowy umieszczono łącznik sterowania lokalnego „START” (alternatywnie po obu stronach lub z przodu obudowy). Opcjonalnie komora może posiadać wziernik do obserwowania styków uziemnika (wziernik i uziemnik budowany jest opcjonalnie).

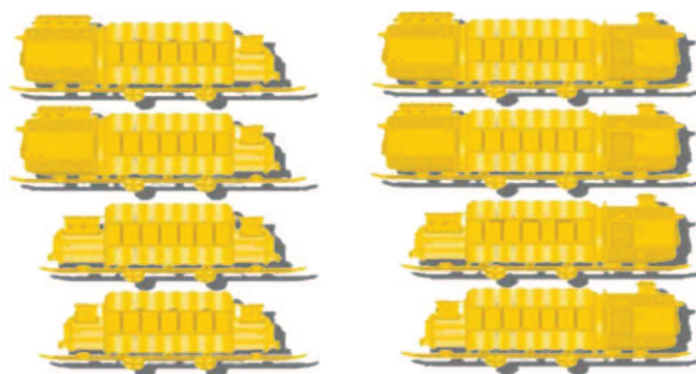


*Rys. 11. Komora DN stacji transformatorowej  
– zabezpieczenia typu PM [2]*



*Rys. 12. Komora DN stacji transformatorowej  
– zabezpieczenia typu PM [2]*

Sposób połączeń poszczególnych komór ognioszczelnych przedstawia rysunek 13.



Rys. 13. Wybrane przykłady połączeń poszczególnych komór ognioszczelnych

## 6. PODSUMOWANIE

Przedstawione w artykule rozwiązanie typoszeregu stacji charakteryzuje się wielowariantowością rozwiązań wersji wykonawczych.

Zastosowanie aparatury łączeniowej niskiego napięcia wyłączników próżniowych na odpływach znacząco zwiększa poziom bezpieczeństwa. Należy zauważyć, że już samo zastosowanie aparatu łączeniowego strony DN znacząco zwiększa funkcjonalność urządzenia.

Zaproponowany dla odbiorów energoelektronicznych wariant z wieloparametrowym zabezpieczeniem upływowym wraz z autokontrolą ciągłości zewnętrznego obwodu pomiarowego ma niewątpliwie wpływ na bezpieczeństwo oraz możliwości prognozowania stanów awaryjnych.

P.P.H.U. MARTECH-PLUS realizuje również inne projekty urządzeń energetycznych z wykorzystaniem wyłączników próżniowych. Przykładem takiego zrealizowanego projektu jest ognioszczelna rozdzielnica kopalniana typu MAR-OR na napięcie znamionowe do 7,2 kV.

### Literatura

1. Kozłowski, M. Hefczyc, M. Mistrz: *Rozwiązanie układu elektrycznego nowych konstrukcji stacji transformatorowych z wyłącznikami próżniowymi*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej EMTECH 2011 nt. „Zasilanie, informatyka techniczna i automatyka w przemyśle wydobywczym”, Zawiercie 11-13.05.2011, Wyd. ITI EMAG, Katowice 2011, s. 112-122.
2. Dokumentacja projektowa typoszeregu stacji transformatorowych typu MAR, 2012.
3. Opracowania własne Instytutu EMAG.

*Artykuł został zrecenzowany przez dwóch niezależnych recenzentów.*