

WYMAGANIA DLA URZĄDZEŃ ŁĄCZENIOWYCH W SCHEMACIE GŁÓWNYM MORSKIEJ STACJI TRANSFORMATOROWEJ (KOLEKTOROWEJ) 66 kV/220 kV , ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM PRÓB WN ORAZ OCHRONY ANTYPRZEPIĘCIOWEJ .

WSTĘP

Morska Stacja Transformatorowa , częściej nazywana Morską Stacją Kolektorową (MSK) , zwykle podwyższająca napięcie z 66 kV do 220 kV dużej mocy (moc grupy „Offshorowych” Transformatorów od 800 do ...1600 MVA) , to obiekt odpowiedzialny i skomplikowany technicznie. Normalną praktyką jest kompletne wyposażenie MSK w urządzenia elektryczne , włączając „Offshorowe” Transformatory Mocy (OTM) , zazwyczaj na odpowiednio przygotowanym nabrzeżu portowym , gdyż z tego miejsca kompletna MSK albo jej „TOP-Unit” (średnia waga 5.000 ton) , jest transportowana na miejsce instalacji na morzu , przy użyciu specjalistycznych statków transportowo-montażowych. Po zakończeniu montażu kompletu urządzeń w MSK , stacja powinna przejść próby wysokonapięciowe , dopuszczające ten obiekt do eksploatacji . Z praktycznych względów dopuszcza się wykonanie prób zdawczo odbiorczych na nabrzeżu portowym , gdyż takie próby na morzu są czasochłonne i trudne w realizacji . To , że poszczególne komponenty wyposażenia MSK poddano próbom WN (próby fabryczne komponentów) nie zwalnia z wykonania prób WN kompletnej wyposażonej MSK. W referacie będzie analizowany poglądowy schemat główny MSK , oraz konfiguracja pól rozdzielnic w izolacji gazowej (GIS) , zoptymalizowanych również ze względu na przeprowadzenie prób WN w stacji MSK , w możliwie najkrótszym czasie , oraz z zachowaniem wymagań bezpieczeństwa podczas wykonywania tych niełatwych i odpowiedzialnych prac.

1. Pola (GIS) na napięcia $U_n = 72,5$ kV oraz $U_n = 300$ kV , dostosowane do funkcjonalnych wymagań Morskiej Stacji Kolektorowej (MSK) dużej mocy.

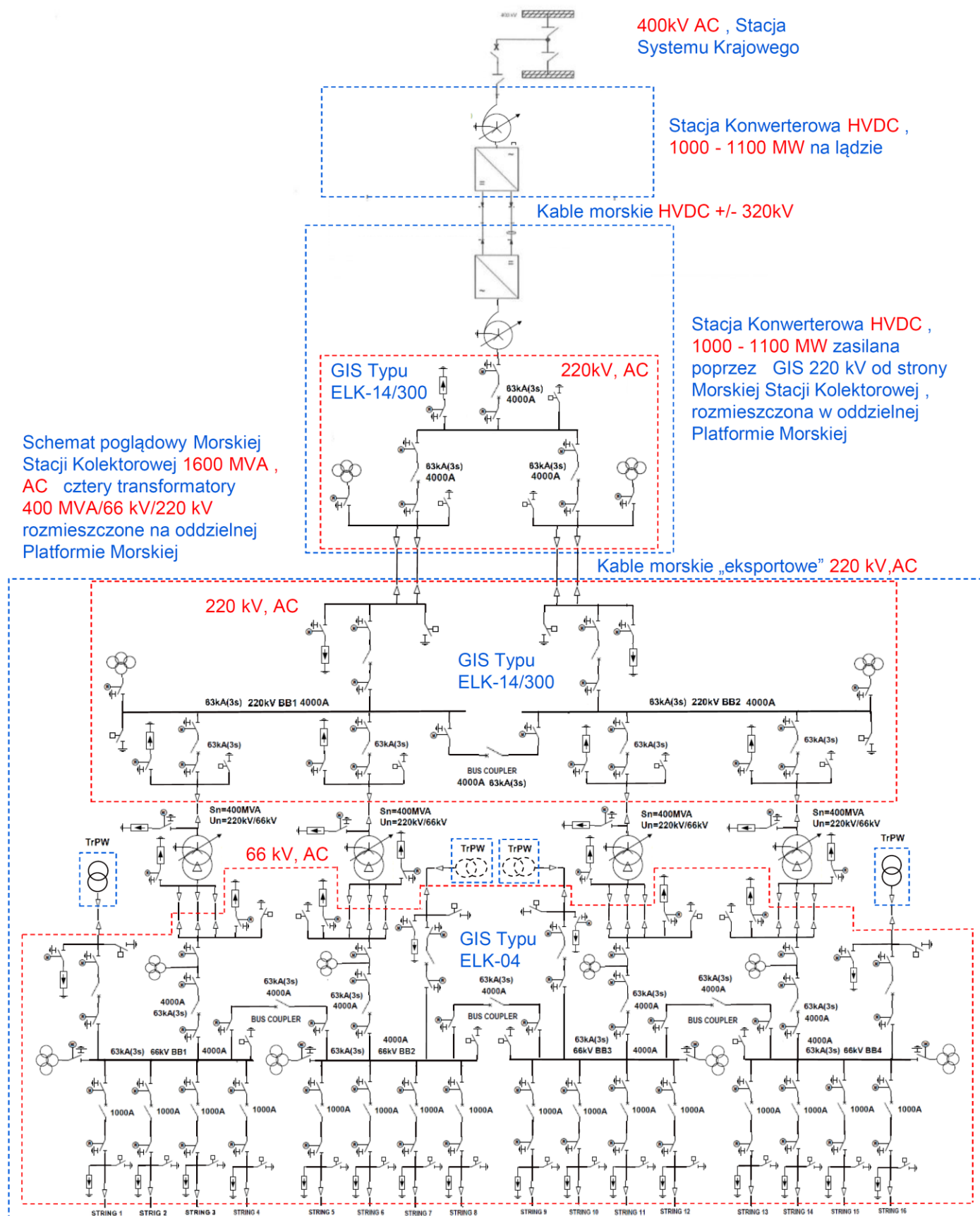
Sposób transportu kompletnej , Morskiej Stacji Konwerterowej HVDC , oraz jej posadowienie w morzu , pokazano na RYS. 1. To widok kompletnej , Morskiej Stacji Konwerterowej +/- 320 kV produkcji ABB , o mocy 924 MW.



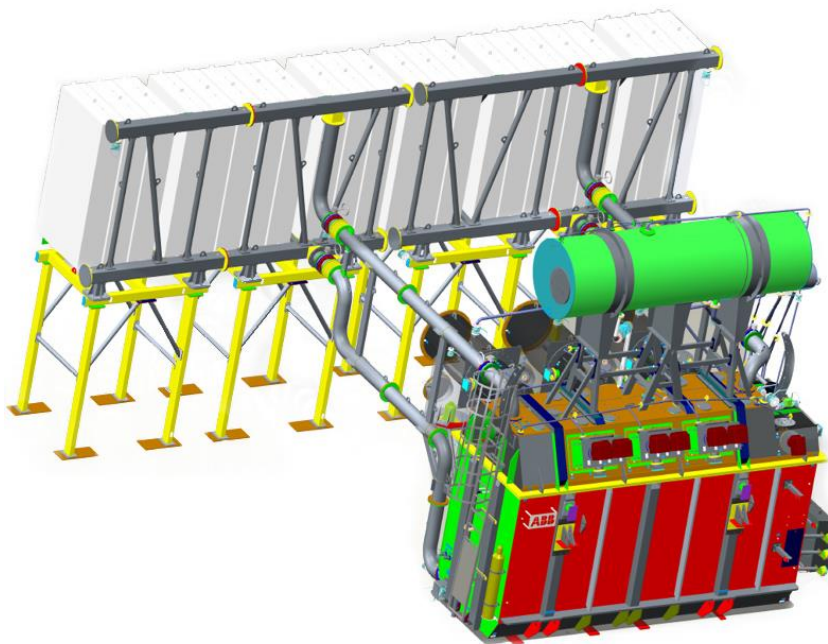
RYS. 1. Widok platformy DolWin-2 ze Stacją Konwerterową HVDC, z kompletem wyposażenia produkcji ABB o mocy 924 MW (masa platformy ok. 20.000 ton) [1].

Funkcjonalne wymagania dla pól GIS zostaną przedstawione w oparciu o poglądowy schemat Morskiej Stacji Kolektorowej (MSK) , patrz RYS. 2 . , gdzie cztery „Offshorowe” Transformatory Mocy 400 MVA/66kV/220 kV z atonicznym systemem chłodzenia (patrz RYS. 3) , oraz pola rozdzielcze GIS są rozmieszczone we wnętrzu pojedynczej obudowy MSK , posadowionej na platformie morskiej. Obecnie Maksymalna moc generowana w pojedynczym „STRINGU” 66 kV (patrz RYS. 2) może osiągać wartość 120 MW , w przyszłości nawet 200 MW . Na analizowanym schemacie (MSK) 1600 MVA /66 kV/220 kV , pokazano podłączenie 16 „STRING” -ów , po 4 do każdej sekcji

szyn. Zastosowanie czterech jednostek OTM 400 MVA/66 kV/220 kV jest związane z założeniem, że w przypadku odstawienia jednego z transformatorów, trzy pozostałe będą w stanie zasilić pobliską Stację Konwerterową



RYS. 2. Schemat poglądowy Morskiej Stacji Kolektorowej (MSK) 66 kV/220 kV z sumaryczną mocą transformatorów 1600 MVA, zasilanej z 16 „STRINGÓW” 66 kV, przewidzianej dla zasilania stacji konwerterowej HVDC o mocy 1000 MW, lub stacji lądowej napięcia przemiennego 220/400 kV krajowego systemu mocy [1].



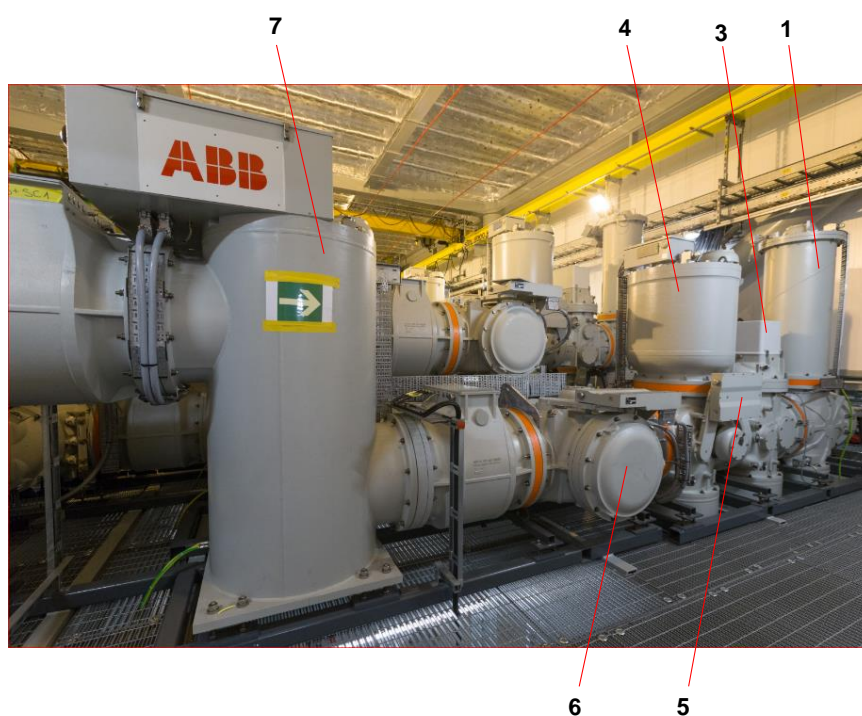
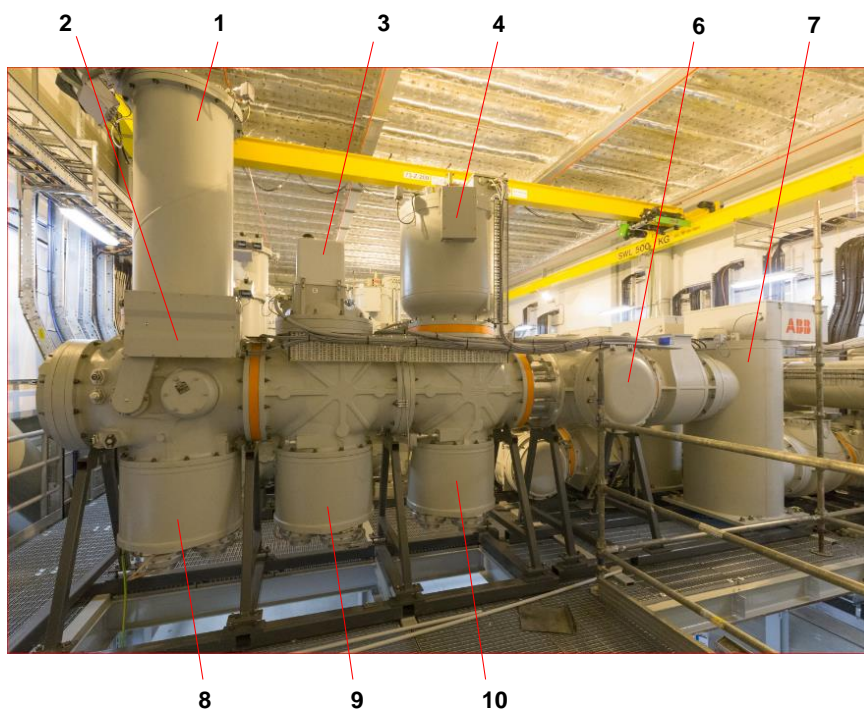
RYS. 3. Widok „Offshorowego” Transformatora Mocy (OTM) z autonomicznym systemem chłodzenia transformatora (radiatory na zewnątrz stacji), jednostka bez wentylatorów, oraz bez wymuszonego obiegu oleju transformatorowego [1].

wą HVDC o mocy 1000 – 1100 MW. Do OTM / 400 MVA po stronie 66 kV podłączono trzy kable jednożyłowe na fazę (patrz RYS. 2), w rezultacie do trzech przedziałów kablowych GIS typu ELK-04 ($U_n = 72,5$ kV) można podłączyć 9 kabli (patrz RYS. 4), co dopuszcza obciążenie pola prądem roboczym do 4000 A. W celu ułatwienia prób zdawczo-odbiorczych (próby WN/50Hz/60s kompletnie zmontowanej MSK) ograniczniki przepięć ZnO, oraz przekładniki napięciowe VT na napięciu 66 kV oraz 220 kV, są podłączone poprzez trójpołożeniowy odłącznik-uziemiennik (patrz RYS. 2; RYS. 4; RYS. 5), co eliminuje konieczność demontażu tych komponentów GIS na czas prób, skutkującego koniecznością odpompowania gazu izolacyjnego z danego przedziału GIS, następnie wytworzenia próżni przed ponownym napełnieniem gazem. W przypadku pola ELK-04 zasilającego transformator 400 MVA (patrz RYS. 2 oraz RYS. 4) przekładnik napięciowy VT jest odłączany z obydwu stron, po otwarciu odłącznik-uziemienników 5 oraz 6, a następnie uziemiany. Po stronie 220 kV transformatorów 400 MVA, zastosowano pola rozdzielnic GIS typu ELK-14/300 z wyłącznikami $I_n = 4000$ A; $I_{sc} = 63$ kA (patrz RYS. 2 oraz Rys. 5). Do pól GIS typu ELK-14/300 wyprowadzających moc z MSK, są podłączone dwa morskie kable „eksportowe” 220 kV na fazę, aby w przypadku uszkodzenia jednego z nich, odłączyć uszkodzony kabel od GIS, a nie uszkodzonym kontynuować przesył energii w takiej ilości, aby Stacja Kolektorowa mogła przekazać maksymalną moc generowaną w Moeskiej Farmie Wiatrowej. Powszechnie wiadomo, że najbardziej awaryjnym elementem urządzeń łączeniowych są ich napędy, zwłaszcza pracujące w warunkach otoczenia z wilgotnym i zasolonym powietrzem. Napędy hydrauliczno-sprężynowe typu HMB stosowane w wyłącznikach GIS na napięcia 72,5 kV ... 550 kV (patrz RYS. 6), wyróżniają się wysoką niezawodnością w porównaniu z innymi typami napędów, co potwierdza parametr MTBF, czyli odstęp czasowy od awarii do awarii, który dla napędów typu HMB wynosi 300 lat. Konstrukcja napędów hydrauliczno-sprężynowych typu HMB została sprawdzona z bardzo dobrym rezultatem w przypadku GIS z U_n : 72,5 kV; 220 kV; 275 kV oraz 400 kV, eksploatowanych w MSK, rozmieszczonych na Platformach Morskich.

2. Rozmieszczenie ograniczników przepięć ZnO w Morskiej Stacji Kolektorowej (MSK), ze względu na skuteczną ochronę urządzeń od przepięć, zwłaszcza generowanych przez częste wyładowania piorunowe.

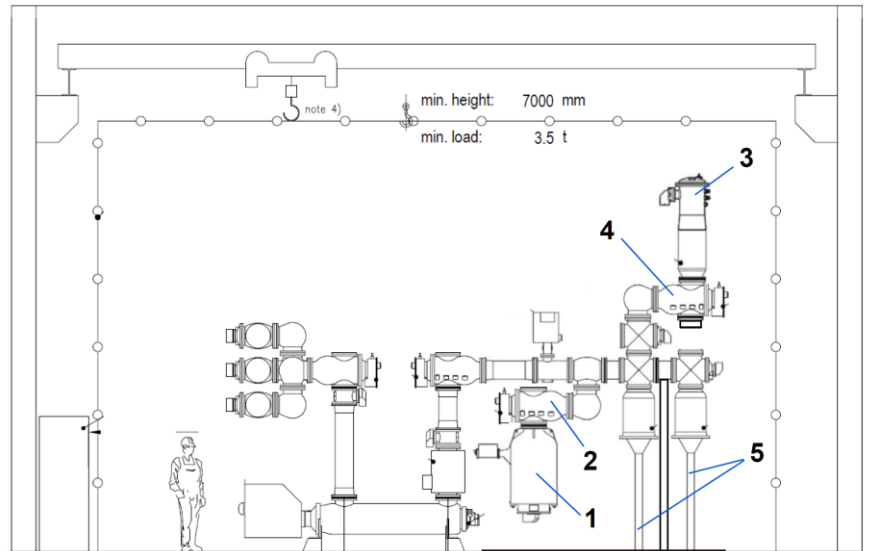
W Morskich Farmach Wiatrowych (MFW) szczególnie ważnym zagadnieniem do rozwiązania jest właściwy dobór, oraz miejsce zainstalowania ograniczników przepięć ZnO. Na schemacie poglądowym Morskiej Stacji Kolektorowej (MSK), patrz RYS. 2, zasugerowano miejsca zainstalowania ograniczników przepięć ZnO. MSK są narażone na szybko zmienne przepięcia, generowane w rezultacie wielokrotnych uderzeń piorunowych w Morskie Turbiny Wiatrowe (MTW) albo w metalowe komponenty obudowy MSK. Wyładowania piorunowe w obszarach morskich, są niebezpieczne dla wszystkich urządzeń, zainstalowanych w MSK, jak: „Offshorowe” Transformatory Mocy (OTM) komponenty GIS, a w szczególności przekładniki pomiarowe oraz rozłączne przyłącza kablowe typu wtykowego. Jednym z elementów oceny gotowości GIS do pracy, jest kontrola stanu ograniczników przepięć ZnO, zainstalowanych w oddzielnym przedziale GIS, i z tego powodu w MSK zaleca się zastosować liczniki aktywacji ZnO (patrz RYS. 7), a dane z tych urządzeń pozwalają ocenić okres, jakim należy wymienić ZnO, ze względu na prawdopodobne

zmiany w strukturze chemicznej ZnO , ze względu na tzw. „starzenie elektryczne”, związane ze skumulowaną energią częstych wyładowań silnoprądowych.



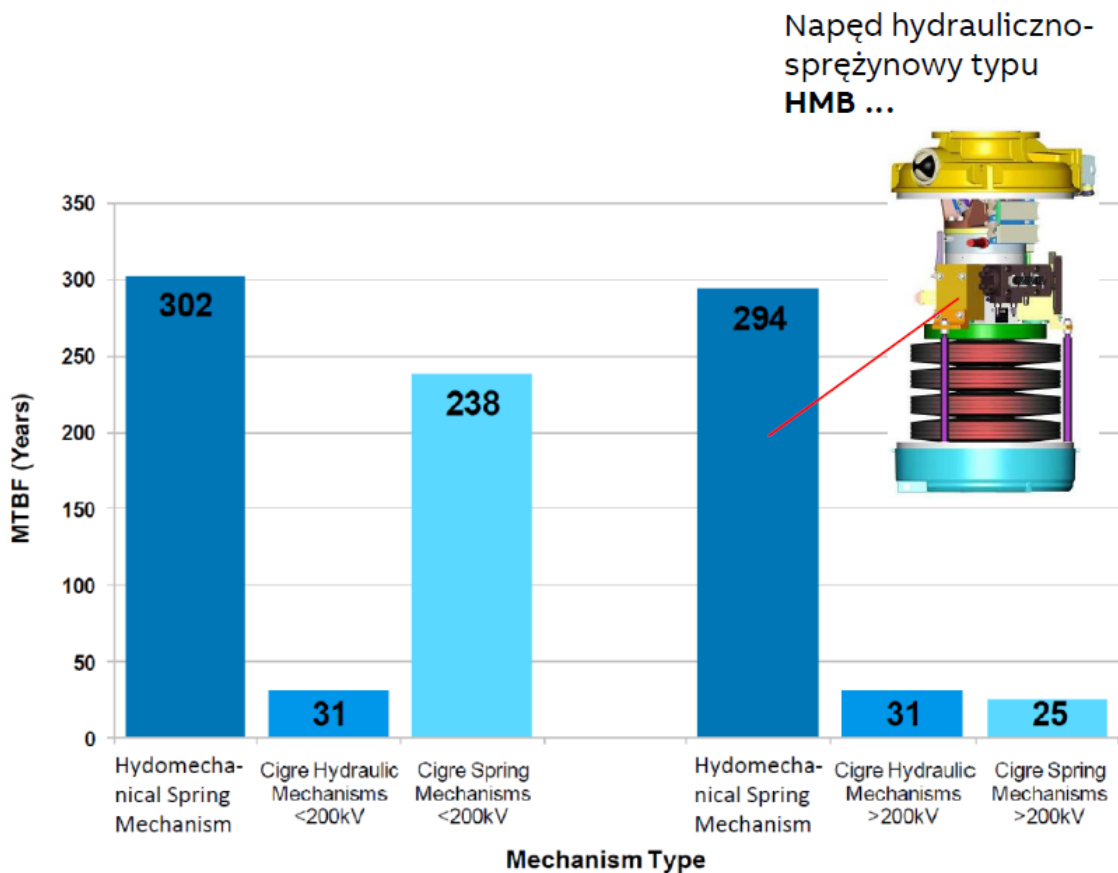
RYS. 4. Przykład konfiguracji „silnoprądowego” pola 72,5 kV ($I_n = 4000 \text{ A}$; $I_{sc} = 63 \text{ kA}$) rozdzielnic gazowej typu ELK-04 w Morskiej Stacji Kolektorowej (MSK) dla zasilania „Offshorowych” Transformatorów Moc 400 MVA/66 kV/220 kV [1] .

- 1- ograniczniki przepięć ZnO poszczególnych faz we wspólnej obudowie
- 2- napęd odłączniko-uziemia dla odłączenia ZnO od kabli 66 kV , a następnie jego uziemienia
- 3- napęd uziemia szybkiego dla uziemienia kabli 66 kV , podłączonych do wspólnej szyny
- 4- przekładnik napięciowy (VT)
- 5- napęd odłączniko-uziemia dla odłączenia VT od kabli a następnie jego uziemienia
- 6- odłączniko-uziemia za wyłącznikiem
- 7- wyłącznik (4000 A/63 kA)
- 8,9,10 - przedziały dla podłączenia kabli (po trzy kable na fazę , w sumie 9 kabli)

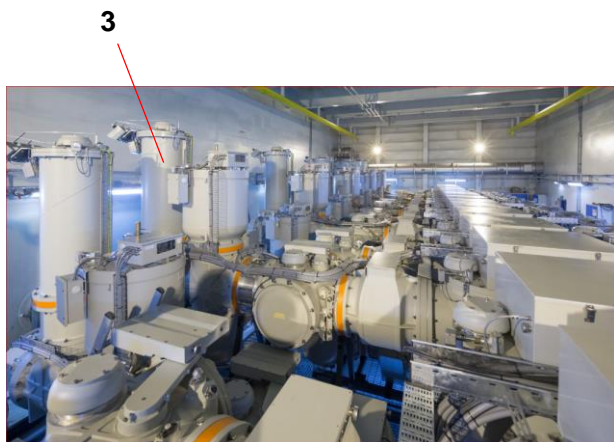
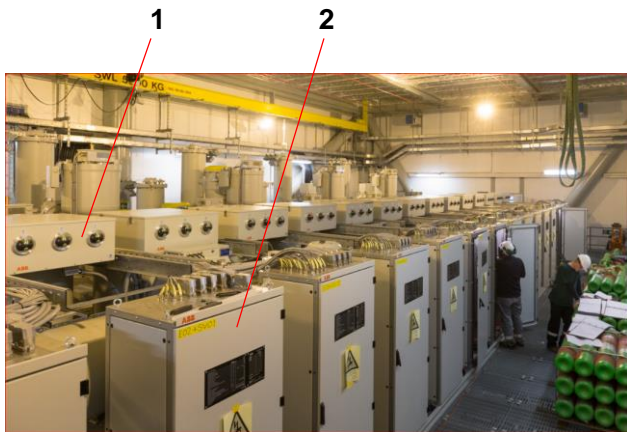


RYS. 5. Konfiguracja kompletnego pola rozdzielnic 220 kV w izolacji gazowej Typu ELK-14/300 stosowana w Morskich Stacjach Kolektorowych (MSK) prądu przemiennego HVAC dużej mocy.

- 1- przekładnik napięciowy (VT) podłączony do GIS poprzez odłączniko-uziemnik
- 2- odłączniko-uziemnik zintegrowany z VT
- 3- ogranicznik przepięć ZnO podłączony do GIS poprzez odłączniko-uziemnik
- 4- odłączniko-uziemnik zintegrowany z ZnO
- 5- podłączenie dwóch kabli 220 kV do jednej fazy



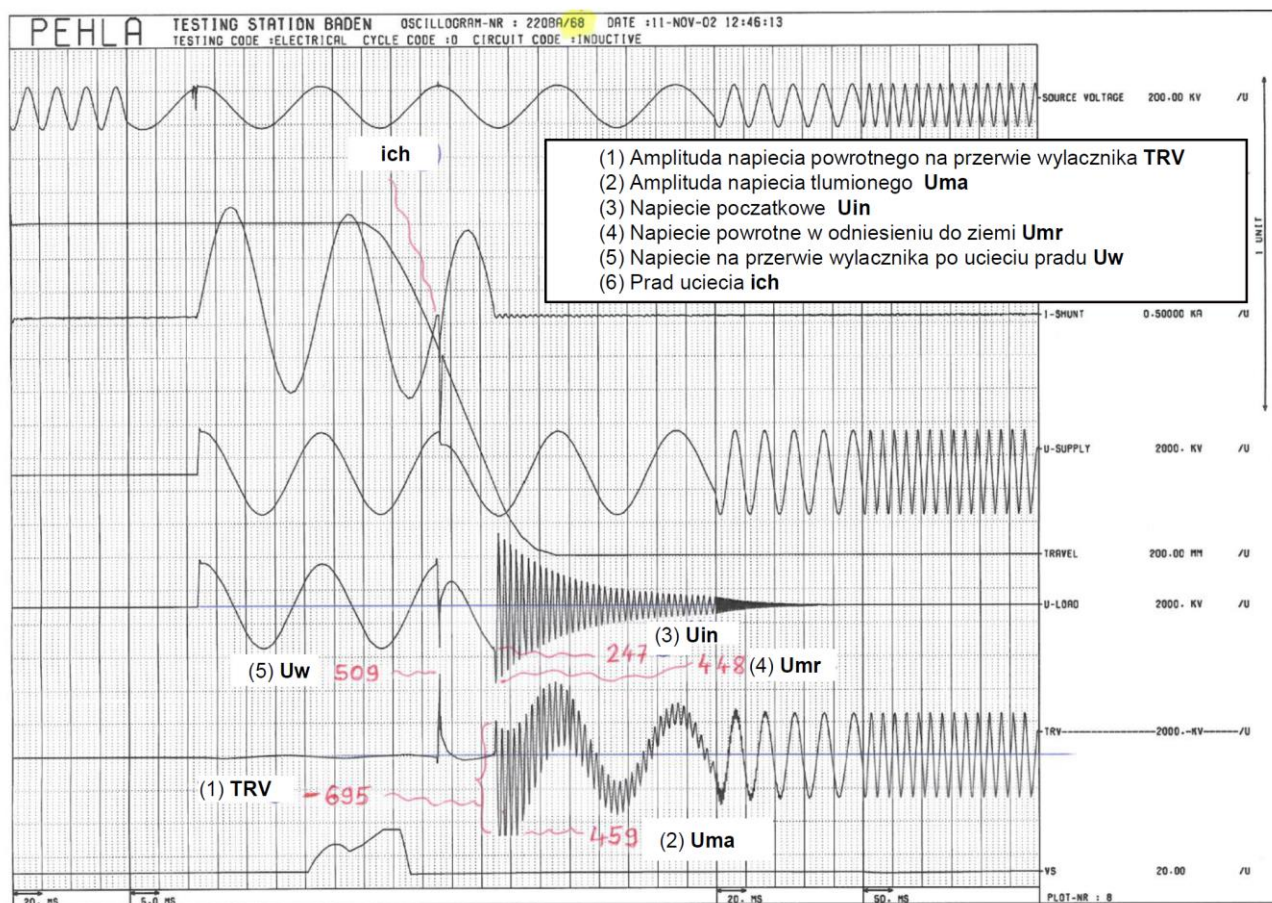
RYS. 6. Parametr MTBF potwierdzający niezawodność napędów hydrauliczno-sprężynowych typu HMB , przystosowanych do długotrwałej eksploatacji GIS w Morskich Stacji Kolektorowych (MSK).



RYS. 7. Przykład wielopolowej rozdzielniczy w izolacji gazowej typu ELK-04, zainstalowanej w morskiej Stacji Kolektorowej HVAC wielkiej mocy po stronie 66 kV (prąd szyn zbiorczych 4000 A prąd wyłączalny 63 kA) [1]

- 1- napęd hydrauliczno-sprężynowy wyłącznika typu HMB
- 2- szafy sterujące z przekaźnikami zabezpieczeniowymi
- 3- ograniczniki przepięć ZnO trzech faz we wspólnej obudowie
- 4- liczniki zadziałań ograniczników ZnO w poszczególnych fazach
- 5- uziemniki szybkie szyn zbiorczych

Morska Stacja Kolektorowa (MSK) dużej mocy jest obecnie zasilana ze 100 - 120 Morskich Turbin Wiatrowych o mocy 10 MW, a niedługo z jednostek o mocy 12 MW. To rozproszone źródła generacji energii - względnie małej mocy (w porównaniu z generatorami elektrownianymi), a dodatkowo energia jest z nich przekazywana do MSK poprzez względnie długie połączenia kablowe, czyli połączenia o dużej pojemności własnej. Do „Offshorowych” Transformatorów Mocy (OTM) po stronie 220 kV są podłączone morskie kable „eksportowe” (3060 km !), zwykle z kompensacją strat mocy biernej. W takim systemie przekazywania dużej mocy, należy brać pod uwagę złożone przebiegi słabo tłumionych stanów przejściowych. Dla przykładu pokazano oscylogram z próby typu GIS, polegającej na wyłączeniu prądu dławika dużej mocy, patrz RYS. 8, z zatem komponentu stosowanego dla kompensacji strat w dużej pojemności połączeń kablowych na terytorium MFW. W przypadku zwarcia doziemnego pojemność danego kabla jest „zwarta” ale do tego kabla nadal jest podłączony dławik kompensacyjny, i przebieg słabotłumionych oscylacji napięcia powrotnego TRV, pokazany na RYS. 8 - nie jest daleki o rzeczywistości. Jeśli w komorze wyłącznika nastąpi zapłon ponowny, i to nie z powodu bardzo dużej wartości wyłączanego porądu (zwykle kilkaset amper) a z powodu np. słabotłumionego przebiegu napięcia powrotnego TRV (patrz RYS. 8), to generacja bardzo wysokich przepięć w sieci MFW będzie występowała z bardzo dużym prawdopodobieństwem, i w takiej sytuacji pobudzenie do działania ograniczników ZnO może zapobiedz uszkodzeniu izolacji podstawowych komponentów MSK oraz kabli morskich WN. To bezpośredni powód sugestii autora, aby nie oszczędzać na stosowaniu ograniczników przepięć ZnO, i stosować je z bezpośrednim sąsiedztwie OTM, zarówno po stronie niskiego jak i wysokiego napięcia (patrz RYS. 2), oraz zintegrować ZnO ze wszystkimi przyłączami kablowymi - rozłącznymi GIS typu wtykowego. Tak duża ilość ograniczników przepięć ZnO w względnie złożonym schamacie MSK, utrudnia przeprowadzenie prób WN takiego kompletnie zmontowanego obiektu, ale zastosowanie trójpołożeniowych, zintegrowanych aparatów w postaci odłączniko-uziemników, przez które ZnO podłączono do innych elementów MSK (patrz RYS. 2), znakomicie ułatwia



Przykład próby wyłączenie prądu dławika kompensacyjnego 98A z prądem uciecia 10.8 A (przepiecie $U_w = 509$ kV , nizsze od napecia na przerwie miedzystykowej wyłącznika TRV = 695 kV)

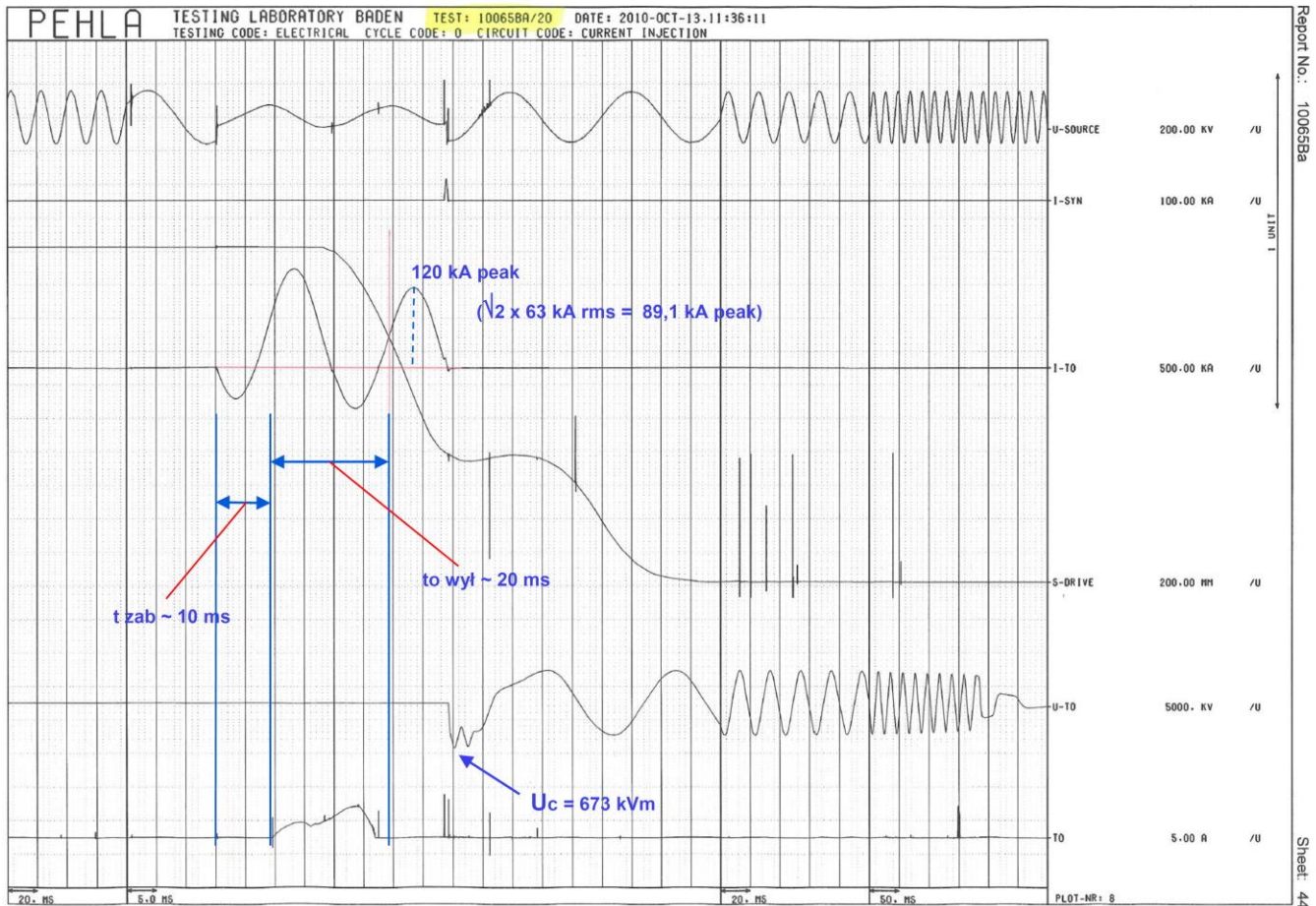
RYS. 8 Przykład przebiegu słabo tłumionego napięcia powrotnego TRV , po wyłączeniu prądu obciążenia dławika kompensacyjnego [2].

wykonanie tych niezbędnych prac przed uruchomieniem MSK . Prawidłowo dobrane oraz zamontowane ograniczniki przepięć ZnO mogą kilkukrotnie przedłużyć czas życia izolacji wszystkich komponentów Morskiej Stacji Kolektorowej.

3. Szybkie wyłączniki stosowane w GIS dla Morskich Stacji Kolektorowych (MSK) , wymagane uzasadnione warunkami pracy chronionych urządzeń.

Jednym z najważniejszych kryteriów doboru danego typu GIS do pracy w Morskiej Stacji Konwerterowej (MSK) , zwłaszcza dużej mocy jest sumaryczny czas wyłączenia zwarcia , co jest szczególnie uzasadnione jeśli wziąć pod uwagę fakt , że MSK mogą zasilać Morskie Stacje Konwerterowe HVDC z bardzo drogimi elementami półprzewodnikowymi np. z tranzystorami mocy typu IGBT , z natury wrażliwymi na czas przepływu dużego prądu.

Wyłączniki , stosowane w polach GIS 72,5 kV ...550 kV produkcji ABB są szybkie , co w połączeniu w krótkim czasem zabezpieczeń cyfrowych , efektywnie skraca całkowity czas wyłączenia zwarcia , również w przypadku wyłączenia asymetrycznego prądu zwarciego , patrz RYS. 9. Jeśli założyć : czas własny zabezpieczenia : 10 ms (np. zabezpieczenie różnicowe transformatora) ; zmierzony czas własny wyłącznika ok. 20 ms (patrz RYS. 9) oraz dodać zmierzony czas łukowy ok. 10 ms po wyłączeniu prądu zwarciego asymetrycznego , to całkowity czas wyłączenia zwarcia nie przekroczy 40 ms ! [3].



Oscylogram № 10065BA/20 potwierdzający wyłączenia prądu asymetrycznego przez wyłącznik 420 kV typu ELK-SP3-1, stosowany w GIS typu ELK-3/420C z amplitudą ostatniej półfali 120 kAm.

RYS. 9 Potwierdzenie krótkiego, całkowitego czasu wyłączenia zwarcia, charakterystyczna cecha wyłączników GIS produkcji ABB, stosowanych w Morskich Stacjach Kolektorowych dużych mocy [3].

WNIOSKI

Jeśli wziąć pod uwagę sposób ograniczenia kosztów wieloletniego utrzymania w ruchu Morskiej Stacji Kolektorowej dużej mocy, to dobór urządzeń łączeniowych oraz transformatorów mocy, w oparciu o przestrzeganie prawidłowo sformułowanych wymagań technicznych - porównywalnych w wymaganiami dla urządzeń pracujących w obwodach potrzeb własnych elektrowni jądrowych, jest niezwykle ważny dla osiągnięcia tego celu.

Z racji miejsca usytuowania oraz warunków pracy Morskiej Stacji Kolektorowej (MSK), należy zastosować bardzo skuteczną ochronę izolacji urządzeń stacyjnych WN, nie tylko przed przepięciami generowanymi w rezultacie częstych uderów piorunowych dużej mocy, ale i ze względu na możliwość występowania słabo tłumionych przepięć łączeniowych, jakie mogą być przyczyną zapłonów ponownych w komorach gaszeniowych wyłączników, co nieuchronnie prowadzi do generacji bardzo wysokich przepięć. Dlatego miejsce zainstalowania oraz właściwy dobór ograniczników przepięć ZnO, bezpośrednio wpływa na wieloletnią pracę MSK – bez częstych uszkodzeń izolacji jej podstawowych elementów.

Projektując schemat główny MSK należy wziąć pod uwagę próby WN, jakie należy wykonywać w MSK przed dopuszczeniem tego obiektu do eksploatacji, co jest związane ze specyfiką prób GIS o względnie złożonej konfiguracji oraz z utrudnionym dostępem do komponentów GIS oraz elementów „Offshorowych” Transformatorów Mocy (OTM) ze względu na bardzo ograniczone wymiary wnętrza MSK, dodatkowo respektując wymagania odnośnie redundancji w grupie OTM oraz w doborze morskich „kablów” eksportowych.

Szczególnie w MSK jest uzasadnione stosowanie szybkich wyłączników w GIS oraz szybkich zabezpieczeń, z możliwie najkrótszym, sumarycznym czasem wyłączenia zwarcia, zwłaszcza jeśli wziąć pod uwagę fakt, że MSK mogą zasilać Morskie Stacje Konwerterowe HVDC z bardzo drogimi elementami półprzewodnikowymi (np. z tranzystorami IGBT), wrażliwymi na czas przepływu dużego prądu.

Literatura :

- [1] A. Gul , „Innowacyjne rozwiązania zastosowane w Kompleksie Morskich Farm Wiatrowych Wielkiej Mocy , z uwzględnieniem wymagań dla zabezpieczenia morskiej sieci kablowej prądu stałego” . Studium rozmieszczone na stronie SEP , 2019.
- [2] Raport Próby Typu , PEHLA No.11088Ba , Laboratorium PEHLA Baden , Szwajcaria
- [3] Raport Próby Typu , PEHLA No.10065Ba , Laboratorium PEHLA Baden , Szwajcaria