ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Nr 82 Elektryka z.16 1963

GERARD BARTODZIEJ

Katedra Urządzeń Elektrycznych

WIELKOPRĄDOWE PRZYŁĄCZA GENERATORÓW

Streszczenie. Na tle zestawienia wymagań i czynników kształtujących konstrukcję przyłącza przeprowadzono przegląd istniejących typów przyłączy wraz z oceną zakresu stosowalności. Szczególną uwagę poświęcono rozwiązaniom przydatnym dla generatorów dużych mocy. Wskazano perspektywiczne kierunki rozwoju konstrukcji przyłączy.

1. Wymagania stawiane konstrukcji przyłącza

Wzrost mocy jednostek energetycznych instalowanych w nowoczesnych elektrowniach, podyktowany dążeniem do obniżania kosztów wyprodukowanej energii spowodował znaczny wzrost wymagań stawianych urządzeniom elektrycznym współpracującym z generatorami. Względy ekonomiczne wymagają obniżenia do minimum możliwości awarii urządzeń elektrycznych związanych z wyprowadzeniem mocy z generatorów. Wynikły stąd bardzo wszechstronne wymagania stawiane konstrukcjom przyłączy generatorów.

Dobrze skonstruowane przyłącze winno zapewnić:

a) maksymalne obniżenie możliwości wystąpienia zwarć,

b) pełną odporność na działania dynamiczne prądów zwarciowych,

c) maksymalne ograniczenie skutków działania łuku przy zwarciach, niedopuszczenie do przemieszczania łuku i zjonizowanych gazów,

d) ochronę personelu przed porażeniem,

e) małe straty energii w przyłączu i jego otoczeniu,

f) minimalne koszty eksploatacyjne,

g) możliwość łatwej kontroli i wymiany elementów narażonych na uszkodzenie,

h) ograniczenie lub wyeliminowanie konstrukcji wsporczych,

i) możliwość prefabrykacji dla ograniczenia prac montażowych w miejscu zainstalowania.

2. Czynniki kształtujące konstrukcję przyłącza

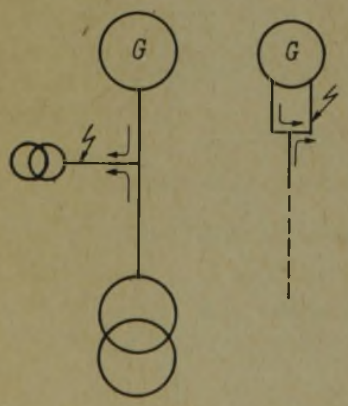
Wybór rozwiązania konstrukcyjnego przyłącza uzależniony jest od całego szeregu czynników związanych z warunkami w jakich pracować będzie przyłącze. Dobre rozwiązanie przyłącza winno w konkretnych warunkach lokalnych spełniać w jak największym stopniu stawiane mu wymagania.

2.1. Prąd znamionowy i napięcie znamionowe generatora

Wielkość prądu znamionowego generatora określa ilość ciepła wydzielaną w przyłączu. Od warunków cieplnych zaś zależy kształt i powierzchnia przekroju przewodów przyłącza oraz sposób odprowadzania ciepła. Napięcie znamionowe generatora określa izolację przyłącza.

2.2. Warunki zwarciowe

Siły elektrodynamiczne towarzyszące prądom zwarciowym przenoszą się na izolatory wsporcze i przepustowe przyłącza określając ich rodzaj, ilość i rozmieszczenie. Przewody przyłącza winny wytrzymywać działanie sił elektrodynamicznych nie ulegając trwałemu odkształceniu. Działanie cieplne prądów zwarciowych może wpłynąć na wymiary konstrukcji przyłącza. Należy pamiętać, że największy prąd zwarciowy może wystąpić w odgałęzieniach do transformatora potrzeb własnych i przekładników napięciowych. W generatorach posiadających dwa uzwojenia równoległe, obostrzone warunki zwarciowe wystąpią między zaciskami wyjściowymi obu uzwojeń (rys.1).



Rys.1. Miejsca w przyłączu o obostrzonych warunkach zwarciowych

2.3. Warunki klimatyczne

Przy doborze warunków odprowadzania ciepła z przyłącza konieczne jest uwzględnienie przebiegu temperatury otoczenia, w którym pracować będzie przyłącze. Dla części przyłącza położonych na zewnątrz budynku może być konieczne uwzględnienie obciążeń mechanicznych od śniegu, lodu, wiatru w zależności od warunków w miejscu zainstalowania. Warunki klimatyczne mogą wpływać na wybór materiałów stosowanych w konstrukcji przyłącza.

2.4. Zabrudzenia

W okręgach przemysłowych, w których należy liczyć się z występowaniem dużych ilości pyłów i gazów aktywnych chemicznie, zachodzi potrzeba zastosowania szczególnych środków zaradczych przeciwko zabrudzeniu izolacji przyłącza. Części przyłącza przebiegające poza budynkiem chronić można przez zastosowanie szczelnych osłon. Pozwala to na utrzymanie izolatorów w suchej i czystej atmosferze i uniknięcie niebezpieczeństwa kondensacji pary wodnej na izolatorach. Wewnątrz budynku można uniknąć zabrudzenia izolatorów wytwarzając lekkie nadciśnienie w pomieszczeniach przez które przebiega przyłącze. Izolację przyłącza należy dobrać z uwzględnieniem możliwości zawilgocenia całego izolatora.

2.5. Warunki przestrzenne

W wielu przypadkach istnieje konieczność ustawienia transformatora podwyższającego w znacznej odległości od maszynowni. Stan taki może wyniknąć ze względów komunikacyjnych (drogi transportowe, rurociągi, kanały wody chłodzącej itp.), lub ze względu na potrzebę zapewnienia odpowiedniej strefy ochronnej na wypadek pożaru transformatora. Zwiększone odległości wpływają na konstrukcję przyłącza. Celowe jest stosowanie konstrukcji samonośnych, prowadzonych możliwie wysoko nad ziemią. Przyłącza nie osłonięte winny być prowadzone tak, by spełniały te same wymagania co linia wysokiego napięcia odnośnie odległości od pobliskich konstrukcji.

2.6. Wzgledy architektoniczne

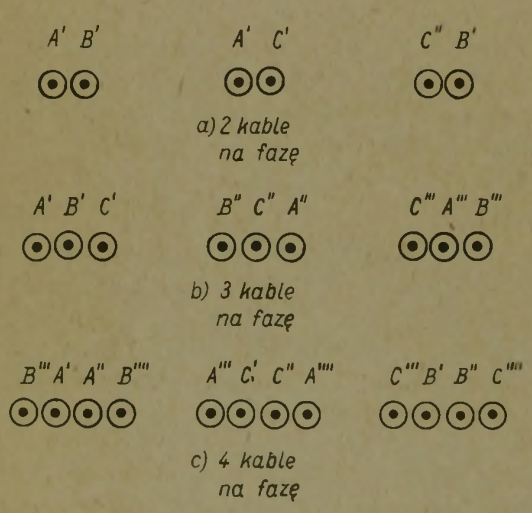
Przyłącza prowadzone są często z frontowej ściany maszynowni. Ich konstrukcja winna być dopasowana pod względem architektonicznym do całości budynku. Ciężkie i niekształtne konstrukcje mogą psuć wrażenie dobrej architektury budynku.

3. Przegląd konstrukcji przyłączy

W zależności od rozpatrywanych poprzednio czynników powstał szereg typów przyłączy. Zakres stosowalności poszczególnych typów przyłączy wynika z ich własności oraz kosztów eksploatacyjnych rozpatrywanych w powiązaniu z odpowiednimi kosztami generatora i urządzeń rozdzielczych z którymi przyłącze współpracuje.

3.1. Przyłącza kablowe

Wykonane są przy użyciu wiązek kabli trój- lub jednożyłowych. Wzrost przekroju kabli napotyka na poważne przeszkody natury technicznej. Zwiększenie obciążalności przyłącza drogą powiększenia liczby kabli pracujących równolegle w wiązce, prowadzi do obniżenia pewności ruchowej przyłącza. Rośnie bowiem liczba elementów narażonych na uszkodzenia. Podział wiązki kablowej na kilka części z możliwością odłączania uszkodzonych grup kabli nie jest rozwiązaniem zadowalającym, ze względu na dodatkowe zapotrzebowanie aparatury łączeniowej (odłączników) i miejsca. W przypadku użycia kabli jednożyłowych w konstrukcji przyłącza zachodzi dodatkowo konieczność mechanicznego umocowania kabli, by zapobiec ich przemieszczeniom przy działaniu sił elektrodynamicznych od prądów zwarciowych. Rozmieszczenie kabli jednożyłowych tworzących przyłącze jest jednoznacznie podyktowane koniecznością zapewnienia równomiernego rozkładu obciążeń prądowych na poszczególne kable w wiązce (rys.2). Stwarza to dodatkowe utrudnienia w stosowaniu tego rozwiązania. Wzrost liczby kabli w wiązce pogarsza warunki odprowadzania ciepła powodując konieczność obniżenia roboczych gęstości prądu w kablach, a zatem pogarsza wyko-

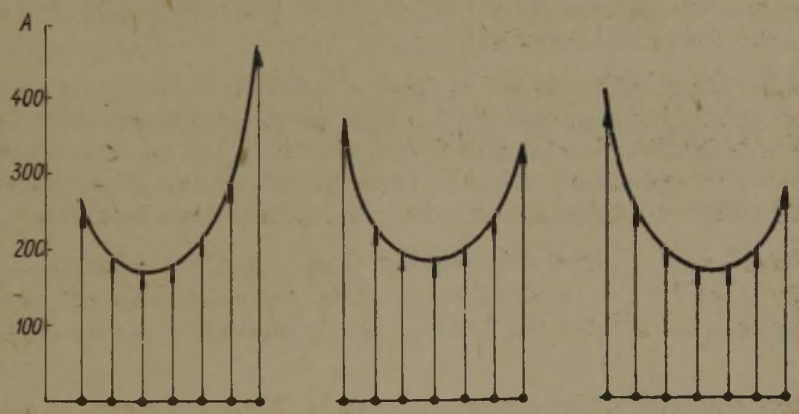


Rys.2. Racjonalne rozłożenie kabli jednożyłowych w przyłączu kablowym

rzystanie materiału przewodowego. Górna granica stosowalności przyłączy kablowych narzucona jest również warunkami zwarciowymi, które określają przekrój pojedynczego kabla ze względu na działanie cieplne prądów zwarciowych. Omówione czynniki ograniczają w praktyce stosowanie przyłączy kablowych dla generatorów o mocy do 50 MW, co odpowiada prądowi około 3,5 kA. W naszych warunkach za dalszym obniżeniem granicy stosowalności przyłączy kablowych przemawia deficytowość kabli i mała pewność ruchowa kabli produkcji krajowej.

3.2. Przyłącza linowe

W przyłączach tego typu używa się wiązek lin aluminiowych lub stalo-aluminiowych rzadziej miedzianych. Liny rozmieszcza się w wiązce w jednej płaszczyźnie przy liczbie lin do 7 sztuk na fazę lub też w wierzchołkach wielokąta foremnego.



Rys.3. Rozkład prądów w przyłączu linowym z fazami rozłożonymi w jednej płaszczyźnie

Użycie wiązek płaskich upraszcza osprzęt i zmniejsza nakład pracy przy montażu wiązki, jednakże wskutek nierównomiernego obciążenia prądowego poszczególnych lin w wiązce wzrasta zużycie materiału przewodowego. Wiązki przestrzenne umożliwiają osiągnięcie bardziej równomiernego obciążenia prądowego poszczególnych lin i lepszego wykorzystania materiału przewodowego. Ich montaż jest droższy i bardziej złożony niż wiązek płaskich, a wygląd mniej estetyczny.

Zalety przyłączy linowych:

a) Najniższe nakłady inwestycyjne w stosunku do innych typów przyłączy.

b) Użycie znormalizowanych przewodów i osprzętu sieciowego do budowy przyłącza.

c) Możliwość pokonywania dużych rozpiętości bez dodatkowych pośrednich konstrukcji wsporczych (ok. 40 m przy prądzie znamionowym 5 kA).

d) Korzystne własności mechaniczne - brak elementów pracujących na zginanie.

e) Duża odporność na wpływ zabrudzeń w porównaniu z innymi nieosłoniętymi przyłączami, wynikająca z stosowania izolatorów wiszących.

Wady przyłączy linowych:

a) Ograniczona stosowalność - tylko dla przyłączy prowadzonych na zewnątrz budynku.

b) Duże zapotrzebowanie miejsca. Odstępy między fazami rosną ze wzrostem rozpiętości i wartości prądu zwarciowego. Spotyka się odstępy między fazami rzędu 1,5-3 m. Przyłącze musi poza tym spełniać te same wymagania co linia wysokiego napięcia odnośnie odległości od pobliskich konstrukcji.

c) Konieczność używania rozpór izolacyjnych w postaci podwieszonych na izolatorach drążków, zapobiegających zwarciom międzyfazowym w przyłączu przy przepływie prądu zwarciowego.

d) Konieczność ustawienia dodatkowej bramki przy transformatorze podwyższającym.

e) Nieestetyczny wygląd konstrukcji.

Powyższe wady powodują ograniczenie stosowalności przyłączy linowych dla prądów znamionowych do około 5 kA, przy rozpiętościach rzędu 40 metrów.

3.3. Przyłącza rurowe

Przyłącza wykonane z samonośnych rur miedzianych lub aluminiowych stosuje się głównie na zewnątrz budynków. Umożliwiają one pokonanie rozpiętości rzędu 15 m bez użycia pośrednich konstrukcji wsporczych. Zrealizowano szereg konstrukcji na prądy znamionowe rzędu 5 kA. Istnieje możliwość

stosowania tego rozwiązania również dla większych prądów zwarciowych przy odpowiednim dobraniu wymiarów konstrukcji.

Zalety przyłączy rurowych:

a) Względnie niskie nakłady inwestycyjne.

b) Mały wpływ promieniowania słonecznego na nagrzewanie konstrukcji. Wynika stąd zastosowanie tej konstrukcji w rejonach Europy południowej i w strefie tropikalnej.

c) Możliwość stworzenia konstrukcji samonośnej.

d) Estetyka konstrukcji.

Wady przyłączy rurowych:

a) Mała odporność na zabrudzenia wynikające z użycia izolatorów wsporczych.

b) Duże zapotrzebowanie miejsca.

c) Konieczność ustawiania dodatkowej bramki przy transformatorze podwyższającym.

d) Trudność zamocowania rur ze względu na bardzo duże siły działające przy zwarciach na izolatory wsporcze. Zachodzi konieczność użycia kilku izolatorów wsporczych pracujących równolegle w punkcie podparcia rury.

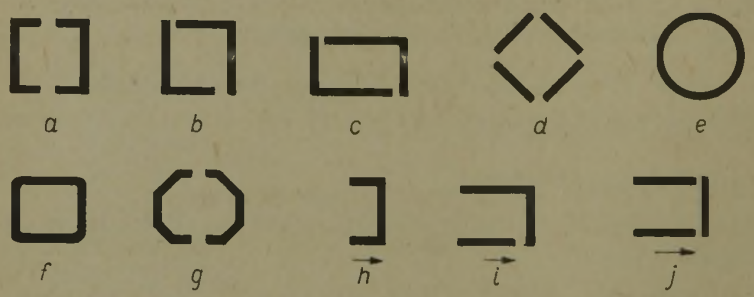
3.4. Przyłącza szynowe nieekranowane

Przyłącza wykonane z szyn płaskich lub profilowych nieekranowanych prowadzi się zwykle na specjalnej konstrukcji wsporczej. Całość tworzy tzw. "most szynowy". Konstrukcję mostu szynowego dobiera się w zależności od liczby ciągów szyn prowadzonych mostem, zapotrzebowania przestrzeni pod mostem oraz stopnia występowania zabrudzeń. Ten ostatni czynnik decyduje o wyborze konstrukcji otwartej lub osłoniętej. Konstrukcja mostu winna umożliwiać kontrolę stanu złączy szynowych oraz izolatorów pod napięciem. Osiąga się to przez stosowanie galeryjek wzdłuż ciągu szyn lub umożliwienie swobodnego przejścia wewnątrz mostu.

W naszych warunkach najczęściej spotyka się przyłącza szynowe wykonane przy użyciu wiązek szyn płaskich. Rozwiązania takie są nieekonomiczne przy prowadzeniu dużych prądów, ze względu na małe wykorzystanie materiału przewodowego i duże straty energii.

Wyraźnie lepsze wyniki daje stosowanie szyn profilowych. Przy ułożeniu faz w jednej płaszczyźnie najlepsze wyniki daje użycie w fazie środkowej profili zbliżonych do koła lub

kwadratu, a więc symetrycznych, zaś w fazach skrajnych korzystne są profile niesymetryczne np. ceowe (rys.4). Wynika to z rozkładu natężenia pola magnetycznego wokół przyłącza i oddziaływania tego pola na rozkład prądów w poszczególnych



Rys.4. Profile szyn. Przy płaskim ciągu szynowym dla fazy środkowej polecane są profile a÷g, pozostałe są korzystne dla faz skrajnych. Strzałki wskazują kierunek fazy środkowej

szynach (zjawisko bliskości). Obciążalność przewodu szynowego jest więc nie tylko funkcją jego kształtu i powierzchni przekroju, lecz zależy również w znacznym stopniu od odległości sąsiednich faz. Wpływ faz sąsiednich występuje wyraźnie przy dużych prądach i nieznacznych odległościach między fazami (poniżej 1 m przy prądzie 3 kA). Warto zwrócić uwagę na zjawisko silnego nagrzewania konstrukcji stalowych i stalobetonowych znajdujących się w pobliżu ciągu szynowego przewodzącego prąd o natężeniu praktycznie powyżej 3 kA. Konstrukcje stalowe i stalobetonowe nagrzewają się wskutek strat na histerezę i prądy wirowe. Straty te są znaczne i mogą wynosić do około 80% strat mocy w samych szynach. Powoduje to konieczność unikania stali i stalobetonu w konstrukcjach mostu szynowego i pobliskich elementach budynku w którym prowadzony jest ciąg szynowy. Zasadniczą trudność w stosowaniu zwykłych ciągów szynowych dla dużych generatorów sprawia opanowanie działań dynamicznych prądów zwarciowych. Stosuje się dużą liczbę izolatorów wsporczych o dużej wytrzymałości mechanicznej, używa się specjalnych rozpór izolacyjnych dla przenoszenia sił zwarciowych działających między fazami. Duża liczba izolatorów stanowi poważną wadę przyłączy szynowych. Każdy izolator stanowi bowiem potencjalne źródło awarii ze względu na zabrudzenia, proces starzenia porcelany lub uszkodzenia mechaniczne przy działaniu prądów zwarcio-

wych. Duża liczba izolatorów w konstrukcji przyłącza obniża więc jego pewność ruchową - najistotniejszą właściwość przy współpracy z dużymi generatorami.

Zalety przyłączy szynowych nieekranowanych:

a) Szeroki zakres stosowalności - wewnątrz budynków i poza budynkami dla prądów znamionowych do ok. 8 kA przy udarowych prądach zwarciowych do 200 kA.

b) Możliwość stosowania tradycyjnych elementów i metod pracy przy montażu.

c) Dobre wykorzystanie materiału przewodowego.

d) Łatwość kontroli przyłącza w czasie eksploatacji.

Wady przyłączy szynowych nieekranowanych:

a) Konieczność stosowania dużej liczby izolatorów w konstrukcji przyłącza pracującego w ciężkich warunkach zwarciowych, co obniża jego pewność ruchową.

b) Duża ilość prac budowlanych i duży nakład wykwalifikowanej pracy przy montażu. Wydatnie obniżona możliwość prefabrykacji.

c) Konieczność odgraniczania przestrzeni, w której przebiega ciąg szynowy, od reszty otoczenia.

d) Konieczność częstej konserwacji przyłącza (czyszczenie izolatorów).

3.4. Przyłącza szynowe ekranowane

Ojczyzną przewodów szynowych ekranowanych są Stany Zjednoczone, gdzie pierwsze konstrukcje tego typu pojawiły się już na początku lat trzydziestych. W Europie zastosowano szyny ekranowane w konstrukcjach przyłączy generatorów dopiero w latach pięćdziesiątych, w wyniku dążenia do poprawy pewności ruchowej dużych jednostek energetycznych pracujących w trudnych warunkach zwarciowych i klimatycznych.

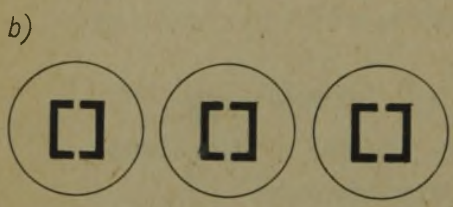
Istnieją dwa typy szyn ekranowanych:

a) z ekranem wspólnym dla wszystkich faz,

b) z ekranem oddzielnym dla każdej fazy.

Rozwiązanie z ekranem wspólnym dla wszystkich faz posiada szereg wad, które wykluczają jego stosowanie dla generatorów dużych mocy. Należą do nich: wysokie straty energii na prądy wirowe we wspólnym ekranie, występowanie dużych sił przy

zwarciach, niebezpieczeństwo zwarć międzyfazowych, silne oddziaływanie cieplne faz. Ekran zapewnia jednak ochronę połączenia przed zabrudzeniem. Materiałem używanym najczęściej przy tym rozwiązaniu na ekran jest blacha stalowa. Zakres stosowalności tego rozwiązania jest ograniczony praktycznie do prądu znamionowego rzędu 2 kA. Interesujące właściwości posiada rozwiązanie z ekranami oddzielnymi dla każdej fazy. Termin "szyny ekranowane" używany w dalszych rozważaniach odnosi się wyłącznie do tego rozwiązania.



Rys.5. Szyny ekranowane

a - z ekranem wspólnym wszystkich faz, b - z ekranem oddzielnym każdej fazy

Zalety szyn ekranowanych:

a) Najwyższa pewność ruchowa, wynikająca z uniemożliwienia przejścia zwarcia doziemnego w przyłączu w zwarcie międzyfazowe, przy zachowaniu pełnej ochrony izolacji przyłącza przed wpływami zewnętrznymi.

b) Nieograniczone względemi technicznymi możliwości zastosowania. Rozwiązanie nadaje się do każdych warunków klimatycznych i zwarciowych. Nadaje się do prowadzenia prądów praktycznie dowolnie wysokich. Może być stosowane wewnątrz budynków i poza budynkami.

c) Duże zmniejszenie sił zwarciowych działających na szyny i izolatory. Umożliwia to wydatne zmniejszenie liczby izolatorów w konstrukcji przyłącza.

d) Obniżenie natężenia pola magnetycznego w pobliżu ciągu szyn, co daje zmniejszenie strat energii w sąsiednich konstrukcjach metalowych.

e) Szerokie możliwości prefabrykacji.

f) Redukcja kosztów obsługi przyłącza prawie do zera.

Możliwe jest zwiększenie okresów międzyprzeglądowych przy nowoczesnych rozwiązaniach do 5-6 lat.

Wady szyn ekranowanych:

a) Pogorszony odpływ ciepła z szyn w stosunku do szyn nieekranowanych, wskutek obecności ekranów.

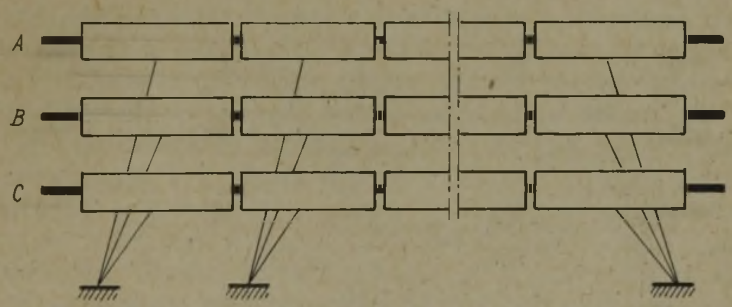
b) Dodatkowe straty energii pochodzące od prądów w ekranach.

c) Dla prądów znamionowych od 9-10 kA wzwyż przy zastosowaniu w konstrukcji znormalizowanych profili szyn istnieje potrzeba sztucznego chłodzenia przyłącza.

d) Gorsze wykorzystanie przekroju szyn w ekranach niż szyn nieekranowanych. Współczynnik wykorzystania przekroju szyn w ekranach w odniesieniu do szyn bez ekranów waha się w granicach 0,7 do 0,8 dla ekranów aluminiowych.

e) Wysokie nakłady inwestycyjne.

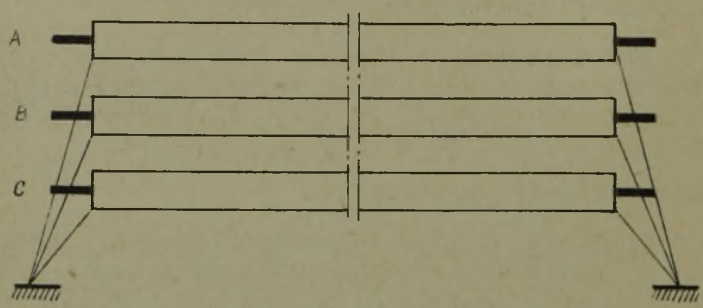
Korzystne właściwości szyn ekranowanych spowodowały, że znajdują one szerokie zastosowanie jako połączenia dużych generatorów z układem rozdzielczym. Również w Polsce pojawiły się pierwsze konstrukcje szyn ekranowanych (1960). Zastosowanie znajdują trzy sposoby wykonania obwodów elektrycz-



Rys.6. Szyny ekranowane z ekranami dzielonymi

nych ekranów. Najczęściej spotykanym i najstarszym rozwiązaniem jest dzielenie ekranu na odcinki odizolowane od siebie (rys.6). Każdy odcinek jest uziemiony tylko w jednym punkcie. Prądy wirowe indukowane w odcinkach ekranów redukują siły elektrodynamiczne działające na szyny umieszczone wewnątrz ekranu. Powstają jednak znaczne siły pomiędzy ekranami poszczególnych faz przy zwarciach. Straty energii w ekranach przy tym sposobie rozwiązania ekranów są znaczne (patrz

tabl.I), co podważa celowość stosowania tego rozwiązania dla prądów znamionowych większych od 6 kA. Istnieje szereg konstrukcji tego typu pracujących przy prądach znamionowych 8 kA, w przyszłości niewątpliwie zastąpią je nowsze i ekonomiczniejsze rozwiązania. Utrzymywaniu się tego rozwiązania sprzyja niewątpliwie możliwość stosowania tradycyjnych metod montażu.

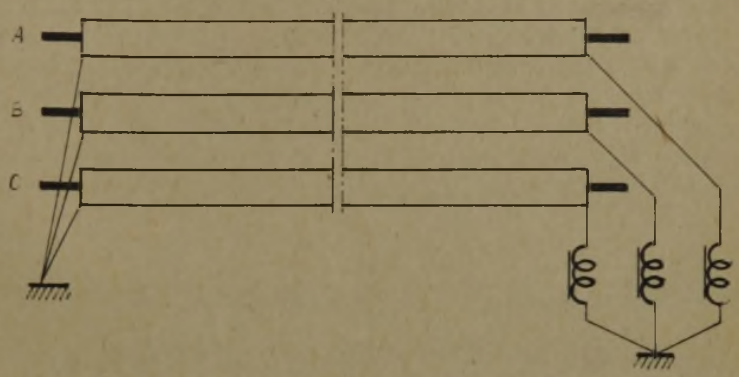


Rys.7. Szyny ekranowane z ekranami ciągłymi uziemionymi bezpośrednio

Nowsze rozwiązanie przedstawia rys.7. Ekran fazy jest ciągły pod względem elektrycznym i uziemiony z obydwu końców. W ekranach indukują się prądy wzdłużne o wielkości zbliżonej do prądów w szynie, które powodują silne obniżenie natężenia pola magnetycznego działającego na szyny. W przestrzeni między fazami również zostaje zredukowane natężenie pola magnetycznego. Płynący w ekranach w czasie pracy normalnej prąd o wielkości zbliżonej do prądu w szynie wywołuje duże straty energii i ogranicza zakres stosowalności tego rozwiązania dla prowadzenia prądów znamionowych do około 6 kA. Rozwiązanie to stało się jednak punktem wyjścia do opracowania nowego wariantu (rys.8), w którym dzięki zastosowaniu dławików nasycanych uzyskano niskie straty energii w ekranach przy zachowaniu wszystkich korzystnych właściwości poprzedniego wariantu.

Indukcyjność dławików wtrącanych w obwód ekranów mieści się w granicach 0,7-1,3 mikrohenrów 1/mb przyłącza, w zależności od wymiarów poprzecznych konstrukcji. Wykonanie dławików na rdzeniach z blach transformatorowych nie nastręcza poważnych trudności, zwłaszcza że wymagania izolacyjne są bardzo niskie.

Rozwiązanie z dławikami nasycanymi podobnie jak pierwowzór tego rozwiązania, wymaga szerokiego stosowania spawania



Rys.8. Szyny ekranowane z ekranami ciągłymi uziemianymi przez dławiki nasycane

przy montażu. Jedynie spawanie umożliwia zachowanie w racjonalny sposób szczelności i ciągłości elektrycznej ekranów. Wydaje się, że rozwiązanie to ma największe szanse szerokiego zastosowania przy konstrukcji przyłączy wielkoprądowych. W tablicy I porównano wielkości strat mocy przy pracy przyłącza szynowego ekranowanego o danych jak w tablicy II poz.6 w różnych układach ekranów. Prąd obciążenia przyłącza 7250 A. Z tabeli widać korzyści wynikające z zastosowania dławików w obwodzie ekranów.

Tablica I

Ekrany	Straty w przewodach	Straty w ekranach	Razem
	W/mb.3f	W/mb 3f	W/mb 3f
Dzielone	760	600	1360
Ciągłe, bezpośr. uziemiony	767	723	1490
Ciągłe uziemione przez dławik	729	115	844

Warto poruszyć problem sztucznego chłodzenia szyn ekranowanych. Stosuje się chłodzenie powietrzne z otwartym lub zamkniętym obiegiem powietrza chłodzącego. Jak wykazały przeprowadzone obliczenia, możliwe jest zwiększenie obciążalności szyn ekranowanych o danych jak w tablicy I poz.6 do około 11 kA, przy użyciu jednego wentylatora o mocy silnika 0,88 kW przy otwartym obiegu powietrza chłodzącego i długości przyłącza około 40 m. Jak widać z tego przykładu skuteczność chłodzenia sztucznego jest duża, przy niewielkich nakładach inwestycyjnych na prosty zresztą układ chłodzenia.

4. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych przyłączy

Dla ilustracji przeprowadzonych rozważań zebrano w tablicy II dane techniczne różnych zrealizowanych rozwiązań konstrukcyjnych przyłączy.

5. Perspektywy rozwoju konstrukcji przyłączy

Rozwój konstrukcji szyn ekranowanych nie jest jeszcze zakończony. Prowadzi się prace nad ich normalizacją i typizacją. Pozwoli to na rozszerzenie zakresu stosowania i obniżkę kosztów szyn ekranowanych. Dalszy rozwój przyłączy szyn ekranowanych związany jest nieodłącznie z szerokim wprowadzeniem spawania przy montażu przyłączy.

Wydatne obniżenie zużycia metali kolorowych w konstrukcjach szyn ekranowanych można osiągnąć przez wprowadzenie sztucznego chłodzenia szyn. Chłodzenie powietrzne jest dość szeroko rozpowszechnione w konstrukcjach dla prądów znamionowych od 8-10 kA wzwyż. Zarysowuje się perspektywa zastosowania chłodzenia wodnego w konstrukcjach przyłączy, w związku z budową generatorów z chłodzeniem wodnym. Użycie wody jako czynnika chłodzącego pozwoliłoby na bardzo wydatne zmniejszenie wymiarów poprzecznych przyłączy, szczególnie przy zastosowaniu do chłodzenia szyn ekranowanych. Niezbędne są dalsze prace nad zastosowaniem tego sposobu chłodzenia w konstrukcjach przyłączy.

W dziedzinie przyłączy kablowych prowadzi się również prace nad wprowadzeniem chłodzenia sztucznego. Pierwsze eksperymentalne konstrukcje kabli z wymuszonym obiegiem wody lub oleju stworzono w Anglii. W Polsce zrealizowano eksperymentalną konstrukcję kabla według pomysłu prof. Bladowskiego, w którym zastosowano wymuszony obieg oleju. Bada-

Tablica 2

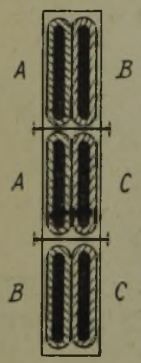
Dane techniczne niektórych rozwiązań konstrukcyjnych przyłączy

Lp.	Przyłącza	Dane generatora S_n	Dane generatora U_n	I_n	Prąd zwarciowy udar.	Prąd zwarciowy ustal.	Opis przewodów	Przekrój przew. 1 fazy	Odl. osi faz	Rozpiętość przesła	Zużycie mater. przew.	Inne dane
		MVA	kV	A	kA_{max}	kA	-	mm^2	mm	m	kg/kA.mb	
1	Kablowe	62,5	10,5	3440			16 kabli Cu 3x150 mm^2	2400			Cu 18,4	Zużycie ołowiu 16,3 kg/kA.mb. Kable prowadzone w tunelu kablowym wentylowanym sztucznie
2	Linowe	81,2	10,5	4470		7,5	4 liny Cu 400 mm^2	1600	1600	38	Cu 9,55	Strzałka zwisu przy temp. 40°C 1150 mm
3	Rurowe	100	13,2	4800	80	7,6	Rura Cu Ø 200 mm ścianka gr. 4 mm	2544	1200	14,5	Cu 15,9	Napięcie znam. izolacji 20 kV Obliczeniowa temp. otoczenia +40°C
4	Szynowe nieekr.	143	10,5	7880	280		2 ceowniki Al 250x100x 12,5 mm	9100	650		Al 10,6	Fazy ułożone w jednej płaszczyźnie. Izolatory o wytrzymałości na siły osiowe 10 T
5	Szynowe ekran.	143	10,5	7880	200		2 ceowniki Al 250x100 x16 mm	13046	1000	12 x)	Al 15,2	Ekrany okrągłe z blachy aluminiowej Ø 920 mm grubość ścianek 3 mm. Przekrój ekranu 8640 mm^2. Długość odcinka prefabrykowanego 5,8 m. Zużycie materiału ekranów 10,0 kg/kA.mb. Łączne zużycie Al 25,2 kg/kA.mb

x) Dotyczy konstrukcji całkowicie spawanej bez specjalnych wzmocnień ekranów. Przy zastosowaniu żeber wzmacniających ekrany, możliwe jest osiągnięcie rozpiętości 20 m bez pośrednich konstrukcji wsporczych.

nia kabla przeprowadzone przez dr Szpilkę wykazały, że możliwe jest 2-3-krotne zwiększenie obciążalności kabla w porównaniu z kablami zwykłymi, przy długościach odcinków kabla 40-20 metrów. Obciążalność takich kabli zależy od stosunku długości odcinka kabla do prędkości przepływu czynnika chłodzącego. W jednej z elektrowni angielskich pracuje kabel łączący generator 120 MW 13,8 kV z transformatorem podwyższającym, chłodzony wodą.

Ciekawe i obiecujące własności ma konstrukcja przyłącza szynowego wykonana z odpowiednim przepleceniem równoległych gałęzi poszczególnych faz i zastosowaniem izolacji stałej na całej długości przyłącza (rys.9). Materiałem izolacyjnym może być tkanina z włókna szklanego, polietylen lub inne materiały włókniste nasycone żywicami syntetycznymi.



Rys.9. Przekrój szyn z izolacją stałą i przeplecionymi fazami

Rozwiązanie to ma szereg zalet.

a) Natężenie pola magnetycznego na zewnątrz konstrukcji zredukowane jest praktycznie do zera.

b) Reaktancja szyn jest wydatnie obniżona w stosunku do innych rozwiązań.

c) Zapewniona jest pełna symetria elektryczna przyłącza.

d) Współczynnik strat dodatkowych wynosi tylko 1,3 podczas gdy dla zwykłych przyłączy szynowych może wahać się w granicach 2,0-2,2.

e) Możliwe jest wyeliminowanie kompensatorów i uniknięcie transpozycji faz.

f) Wymiary poprzeczne konstrukcji są nieduże, możliwe jest stworzenie konstrukcji samonośnych, istnieją szerokie możliwości prefabrykacji.

Wydaje się, że w naszych warunkach celowe byłoby podjęcie prac nad konstrukcją szyn z izolacją stałą ze względu na ich cenne własności i możliwość stosowania dostępnych u nas profili i materiałów konstrukcyjnych. Konieczne są prace nad poprawą obciążalności konstrukcji tego typu i przystosowaniem ich do prowadzenia dużych prądów.

Rękopis złożono w redakcji w marcu 1963 r.

LITERATURA

[1] B. S c h m i d: "Generatorableitungen" ETZ-A 3/1957.

[2] W. L e h m a n n: "Metallgekapselte Stromleiter für Hochspannung" VDE-Fachberichte I/60.

[3] "Jeux de barres sous les gaines coaxiales pour fortes intensites du courant" Revue Generale de l'Electricite 3/61.

[4] "A new Isolated Phase Bus design" Power Apparatus and Systems AIEE Vol.40/59.

[5] J. M u k o s e e w: "Raspredielenie pieremiennogo toka w tokoprowodach" Gosenergoizdat. 1959.

МНОГОАМПЕРНЫЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

На основании сводки требований и факторов, влияющих на конструкцию присоединения, был проведен анализ существующих типов присоединений вместе с оценкой объема применимости.

Особое внимание обращается на решения, пригодные для генераторов большой мощности. Указаны перспективные направления развития конструкции присоединений.

LES JOINTS DE GRANDS COURANTS DES GÉNÉRATEURS

En considérant les exigences et les facteurs qui influent sur la construction des joints, on a passé en revue les types des joints qui existent en appréciant aussi la portée de leur application. L'attention particulière a été consacrée aux générateurs de grande puissance. On a en perspective indiqué, les tendances du développement des constructions des joints.