

**REFERAT GENERALNY DO REFERATÓW PODSEKCJI IV.2  
URZĄDZENIA I SIECI ELEKTROENERGETYCZNE****Stanisław Czapp**

Politechnika Gdańska

Wydział Elektrotechniki i Automatyki

Referat generalny omawia referaty podsekcji IV.2 „Urządzenia i sieci elektroenergetyczne”. Wśród zakwalifikowanych do tej podsekcji referatów dominuje tematyka związana z sieciami średniego napięcia, ale pojawiają się też zagadnienia dotyczące sieci i instalacji niskiego napięcia. Autorzy referatów poruszają problemy związane z niezawodnością, mocą bierną i jej kompensacją, przyłączaniem do sieci elektrowni wiatrowych, prądami zwarciovym, instalacjami uziemiającym i zabezpieczeniami różnicowoprądowymi.

**1. WPROWADZENIE**

Do podsekcji IV.2 „Urządzenia i sieci elektroenergetyczne” zakwalifikowano dziewięć referatów. Referaty [1, 2, 3] dotyczą przepływu mocy biernej w sieciach średnich napięć i związanych z tym strat mocy i energii, referat [4] podejmuje problematykę wpływu przyłączenia elektrowni wiatrowych na pracę sieci elektroenergetycznej, referaty [5, 8] dotyczą prądów ziemnozwarciowych i ochrony przeciwporażeniowej, referat [6] ograniczania dużych prądów zwarciovych na szynach elektroenergetycznych stacji, referat [7] analizuje niezawodność układów rozdzielczych, a referat [9] zajmuje się ferorozonansom.

W wielu nadesłanych referatach przewijają się nazwy napięć i ich akronimy np. SN, WN, nN. Niestety nie zawsze są one zgodne z normami, jak np. akronim nN, który w zamierzeniu miał oznaczać napięcie niskie. W literaturze zauważa się dość dużą dowolność w oznaczaniu napięć. Warto więc przyrzeć się, jakie terminy i ich definicje oraz akronimy są zawarte w dokumentach normalizacyjnych. Poniżej przedstawiono nazewnictwo i odznaczanie napięć zawarte w normach i Międzynarodowym Słowniku IEV.

PN-92/E-50601 Słownik terminologiczny elektryki. Wytwarzanie, przesyłanie i rozdzielanie energii elektrycznej. Pojęcia ogólne:

**napięcie niskie** (def. 601-01-26): dowolne napięcie stosowane w sieci rozdzielczej, którego wartość w przypadku prądu przemiennego nie przekracza 1000 V;

**napięcie wysokie** (def. 601-01-27): 1) w znaczeniu szerszym: wszystkie napięcia powyżej napięcia niskiego; 2) w znaczeniu węższym: napięcie najwyższe, stosowane do przesyłania wielkiej ilości energii;

**napięcie średnie** (def. 601-01-28): wszystkie napięcia zawarte między napięciem niskim i napięciem wysokim (użytym w znaczeniu węższym zgodnie z definicją 601-01-27 p. 2). Uwaga. Granica między napięciem średnim i wysokim nie jest określona dokładnie i zależy od okoliczności i tradycji lokalnych. Granica ta mieści się zazwyczaj w przedziale 30...100 kV.

PN-EN 50160:2002 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych:

**1.3.7 niskie napięcie (skrótowiec: nn)** Dla celów niniejszej normy napięcie stosowane przy dostarczaniu energii elektrycznej, o znamionowej wartości skutecznej nieprzekraczającej 1 kV;

**1.3.8 średnie napięcie (skrótowiec: SN)** Dla celów niniejszej normy napięcie stosowane przy dostarczaniu energii elektrycznej, o znamionowej wartości skutecznej wynoszącej od 1 kV do 35 kV.

Międzynarodowy Słownik IEV:

**napięcie niskie (akronim: nn)**, IEV number 601-01-26: low voltage (abbreviation: LV) a set of voltage levels used for the distribution of electricity and whose upper limit is generally accepted to be 1 000 V a.c.;

**napięcie wysokie (akronim: WN)**, IEV number 601-01-27: high voltage (abbreviation: HV) – 1) in a general sense, the set of voltage levels in excess of low voltage. 2) in a restrictive sense, the set of upper voltage levels used in power systems for bulk transmission of electricity;

**napięcie średnie**, IEV number 601-01-28: medium voltage (abbreviation: MV) any set of voltage levels lying between low and high voltage. NOTE – The boundaries between medium and high voltage levels overlap and depend on local circumstances and history or common usage. Nevertheless the band 30 kV to 100 kV frequently contains the accepted boundary.

W podręczniku *Musiał E.: Urządzenia elektroenergetyczne* z roku 1975 Autor przyjął następującą klasyfikację, która nie jest sprzeczna z później wydanymi, a powyżej wymienionymi dokumentami:

**niskie napięcie (nn)** – napięcia o wartości nieprzekraczającej 1 kV,

**wysokie napięcie (WN)** – napięcia o wartości przekraczającej 1 kV, które podzielił na:

**średnie napięcie (SN)** – napięcia o wartości nieprzekraczającej 100 kV,

**najwyższe napięcie (NN)** – napięcia o wartości przekraczającej 100 kV.

Te nazwy i oznaczenia wprowadzają pewien porządek i warto brać je pod uwagę.

## 2. OMÓWIENIE POSZCZEGÓLNYCH REFERATÓW

### 2.1. Kot A., Szpyra W.: Problemy mocy biernej w systemach dystrybucyjnych

Referat stanowi przegląd problemów związanych z przepływem mocy biernej. Omawia techniczne i ekonomiczne skutki przepływu mocy biernej takie, jak: zmniejszenie przepustowości sieci, nagrzewanie urządzeń, wzrost strat mocy czynnej i spadków napięć, zjawiska rezonansowe oraz konieczność zwiększania nakładów inwestycyjnych na budowę czy rozbudowę sieci. Zwraca uwagę na optymalne rozmieszczenie źródeł mocy biernej w sieciach.

Jako że jest to referat przeglądowy, o czym w już streszczeniu informują Autorzy, nie należało oczekiwać, że zostanie przedstawiona analiza, czy rozwiązanie konkretnego problemu. Referat w sposób uporządkowany przedstawia istotne dla elektroenergetyki

zagadnienia, odwołuje się do wcześniejszych prac Autorów i sygnalizuje, w jakim kierunku powinny być podejmowane dalsze badania w tematyce mocy biernej.

Nawiązując do podsumowania referatu – jakie konkretne rozwiązania proponują Autorzy w temacie inwentaryzacji zapotrzebowania na moc bierną w węzłach sieci?

### **2.2. Szpyra W., Nowak W., Moskwa S., Tarko R., Bąchorek W., Benesz M.: Efektywność kompensacji mocy biernej w sieciach dystrybucyjnych**

Referat skupia się nad technicznymi i ekonomicznymi aspektami kompensacji mocy biernej za pomocą kondensatorów. Przedstawiono wpływ kompensacji mocy biernej na straty mocy i energii, a także analizę kosztów w układzie z kompensacją. Przeprowadzono wielowariantową analizę dla przykładowej sieci SN. Z analizy wynika, że w niektórych stacjach SN/nn instalowanie kondensatorów jest nieopłacalne. Powyższe stwierdzono przy założeniu, że kompensowana jest tylko moc bierna biegu jałowego transformatorów. Czy nie byłoby uzasadnione instalowanie w stacjach transformatorowych baterii kondensatorów większych mocy wyposażonych w regulator współczynnika mocy tak, jak np. zakładach przemysłowych? Pozwoliłoby to znacząco zmniejszyć straty w transformatorze i w sieci zasilającej przy dowolnym stopniu obciążenia transformatora. Czy w stacjach zawierających dwa lub więcej transformatorów, nie zaproponować harmonogramu pracy tych transformatorów (w zależności od ich stopnia obciążenia), który pozwoliłby na zmniejszenie łącznych strat mocy i energii czynnej w stacji?

### **2.3. Rosenbeiger D.: Optymalizacja położenia punktów rozcięć w sieci rozdzielczej SN**

Referat dotyczy sposobu zmniejszenia strat przesyłowych w sieci poprzez optymalizację położenia punktów rozcięć. Analizowano zastosowanie do obliczeń algorytmów genetycznych. Zwrócono uwagę, że dla przykładowej sieci po optymalizacji uzyskano istotne zmniejszenie strat energii. Nasuwa się tu pytanie, czy oba przypadki (bez optymalizacji i z optymalizacją) porównywano przy założeniu, że obciążenie w charakterystycznych punktach sieci (u odbiorców) było takie samo lub przynajmniej zbliżone. Pewne porównanie przedstawiono na rys. 1, ale niestety jest on mało czytelny, ponieważ nie zaznaczono, które słupki dotyczą wartości zmierzonych, a które wyliczonych. Jako kryterium optymalizacji przyjęto zmniejszenie kosztów strat mocy i energii. Czy kryterium kosztowe jest wystarczające, czy wymagania związane z niezawodnością zasilania odbiorców nie będą w niektórych przypadkach istotnie wpływać na wyniki optymalizacji?

### **2.4. Cieślik A., Markiewicz A.: Ocena wpływu elektrowni wiatrowych małej mocy na elektroenergetyczną sieć dystrybucyjną średniego napięcia**

W referacie rozpatruje się wpływ przyłączenia trzech turbozespołów wiatrowych o mocy 200 kW każdy, na pracę sieci elektroenergetycznej. Przedstawiono wybrane wyniki badań symulacyjnych oraz wyniki badań eksperymentalnych. Brak pełnych wyników symulacji nie pozwala ocenić wszystkich kryteriów, które należy rozpatrywać analizując skutki przyłączenia turbozespołów wiatrowych. W przypadku prądu zwarciovego wspomniano tylko o największym prądzie zwarciovym i związanej z nim mocą zwarciovą, a brakuje informacji o zmianie wartości prądu zwarcia doziemnego i skutków z tym związanych. W podsumowaniu Autorzy piszą o porównaniu wyników badań symulacyjnych z wynikami badań eksperymentalnych, jednak sposób przedstawienia wyników nie sprzyja łatwemu porównaniu. Podczas prezentacji na konferencji warto w sposób syntetyczny przedstawić przykładowe wyniki symulacji i pomiarów (na jednym wykresie), aby wykazać różnice i podobieństwa.

## **2.5. Czapp S., Horiszny J.: Badania symulacyjne układu wyzwiania wyłącznika różnicowoprądowego w warunkach zwiększonej częstotliwości prądu różnicowego**

recenzent: prof. dr hab. inż. Zbigniew Lubośny

Referat dotyczy skuteczności ochrony przeciwporażeniowej w obwodach niskiego napięcia chronionych wyłącznikami różnicowoprądowymi, w których prądzie ziemnozwarciowym występują wyższe harmoniczne. Taki problem pojawia się, przykładowo, w obwodach zasilania silników elektrycznych o prędkości obrotowej regulowanej za pomocą przekształtnika energoelektronicznego. A jak wiadomo zawartość wyższych harmonicznych w prądzie ziemnozwarciowym wpływa niekorzystnie na czułość zabezpieczeń różnicowoprądowych.

W referacie przedstawiono model typowego wyłącznika różnicowoprądowego oraz przedstawiono wyniki symulacji komputerowych dla różnych częstotliwości prądu różnicowego. Rozważano typową strukturę obwodu wyłącznika oraz strukturę z kondensatorem szeregowym (nazywanym tu układem dopasowania mocowego), kompensującym reaktancję obwodu wtórnego, tj. reaktancję strony wtórnej przekładnika prądowego i wyłączacza różnicowego. Autorzy pokazują, że dla wyższych częstotliwości prądu różnicowego układ wyzwiania wyłącznika różnicowoprądowego pracuje w warunkach odbiegających od optymalnych, co prowadzi do odchylenia wartości prądu zadziałania od prądu znamionowego. Dotyczy to zarówno struktury podstawowej jak i struktury z kondensatorem szeregowym.

Autorzy rozważają dopasowanie mocowe obwodu przekładnika sumującego do obwodu wyłączacza różnicowego co jest zasadne. Ponieważ jednak wielkością powodującą zadziałanie wyłącznika (wyzwalacza) jest prąd to występujące w referacie określenie „moc potrzebna do zadziałania układu” wydaje się niezbyt precyzyjne.

Analizę dotyczącą zdolności zadziałania wyłącznika dla wyższych częstotliwości prądu wyzwającego należy uznać za uzasadnioną, ponieważ pozwala ona na zobrazowanie zdolności zadziałania wyłącznika różnicowego w tych stanach. Jednak w układach rzeczywistych nie należy spodziewać się braku składowej podstawowej w prądzie ziemnozwarciowym. To powoduje, że wskazywane w referacie stany należy uznać za skrajne i mało prawdopodobne. Rozumiem, że przedstawione rozważania są swego rodzaju wstępem do dalszych prac w których rozważane będą wymuszenia o różnej, spotykanej w rzeczywistości, zawartości harmonicznych prądu.

Można tu również postawić pytanie o związek wymaganej, ze względu na zagrożenie fibrylacją serca, wartości prądu zadziałania z częstotliwością prądu. Zwłaszcza, że granica fibrylacji serca dla prądu sinusoidalnego o częstotliwości ponadtechnicznej i prądu niesinusoidalnego wynikającego z działania przekształtnika energoelektronicznego może być różna.

## **2.6. Małyszko O., Zeńczak M.: Ograniczanie prądów zwarciovych na szynach zbiorczych w elektroenergetycznych stacjach przemysłowych**

Referat analizuje problem dużego spodziewanego prądu zwarciovego na szynach przemysłowych stacji elektroenergetycznych. Rozważany jest układ dwóch sekcji szyn połączonych sprzęgłem. Wykazano, w jakich przypadkach występują najniekorzystniejsze warunki zwarciovowe z punktu widzenia obciążalności zwarciovych urządzeń. Przedstawiono propozycję interesującego układu do ograniczania prądu zwarciovego, który dokonuje monitoringu poziomu mocy zwarciovych i jest wyposażony w element kierunkowy. W przedstawionych rozważaniach Autorzy operują wartościami prądu zwarciovego oznaczanymi  $I_k''$ ,  $I_k''_p$ . Czy chodzi o prąd zwarciovowy początkowy? Jeżeli tak, to czy kryterium określonej wartości składowej okresowej prądu zwarciovego jest wystarczające? Jak będzie w przypadku, gdy składowa nieokresowa przyjmie dużą wartość, co w konsekwencji będzie się przekładać na dużą wartość prądu wyłączeniowego niesymetrycznego, prądu udarowego

i prądu zastępczego cieplnego? Co z udziałem w prądzie zwarciovym maszyn synchronicznych i maszyn asynchronicznych oraz związanych z tym współczynnikami  $\mu$ ,  $q$ , które z punktu widzenia prądu wyłączeniowego są korzystne?

### **2.7. Bargiel J., Sowa P., Zając K., Sierociński T.: Metoda analizy niezawodności układów rozdzielczych średnich napięć**

W referacie scharakteryzowano stan obecny sieci rozdzielczych SN w Polsce i zwrócono uwagę na konieczność ich modernizacji. W sposób opisowy przedstawiono model niezawodnościowy sieci i poszczególne etapy analizy przeprowadzanej na podstawie tego modelu. Przedstawiono przykładową analizę dla wybranego fragmentu sieci. Analizowano cztery warianty pracy sieci. W wariacie z zastosowanymi reklozarami potwierdzono znane z praktyki zwiększenie niezawodności sieci w stosunku do wariantu bez tych urządzeń. Dalszego zwiększenia niezawodności poszukiwano w przyłączaniu lokalnych źródeł energii elektrycznej, które w stanach awaryjnych mogłyby zasilać określony fragment sieci. Jakiego typu generator rozważali autorzy? Czy chodzi o turbiny wiatrowe? Jeżeli tak, to jak ich ograniczenia związane z warunkami pogodowymi wpływają na wyniki analizy? Czy w rachubę wchodzi lokalne elektrownie wodne bądź zespoły spalinowo-elektryczne? Jak będzie wyglądała stabilność rozważanego fragmentu sieci podczas zasilania z lokalnego źródła? Co z nastawami automatyki zabezpieczeniowej i jakością energii elektrycznej podczas pracy wydzielonego fragmentu sieci?

### **2.8. Gębala J.: Wyniki obliczeń istniejącego i nowoprojektowanego układu uziomowego kopalni**

Referat przedstawia obszernie wyniki analizy dotyczące rozbudowanej instalacji uziemiającej na terenie kopalni. Przedstawiono strukturę instalacji uziemiającej i wyniki obliczeń dla stanu istniejącego. Duża liczba wyników obliczeń sprawia, że analiza treści opracowania jest utrudniona. Brakuje syntetycznego zestawienia wyników, pozwalającego na ocenę stanu istniejącego. Brakuje też zależności, na podstawie których analizowano omawiany układ. Wprawdzie w powołanej literaturze zawarto je, ale dla przejrzystości tekstu referatu warto było zawrzeć przynajmniej ich końcową postać. Podobnie jest z analizą nowego układu instalacji uziemiającej. Czy w analizie uwzględniano sprzężenia rezystancyjne pomiędzy uziomami? W treści referatu poruszono problem dopuszczalnej przez przepisy wartości napięć dotykowych. Niestety nie ma żadnej informacji, o jakie przepisy chodzi. Nie ma precyzyjnej informacji, ile wynosi ta wartość i z czego wynika. Czy Autor kierował się normą PN-E-05115:2002, czy innym opracowaniem?

### **2.9. Tarko R., Nowak W., Szpyra W., Benesz M., Makuch A.: Ferrerezonans jako źródło zakłóceń i awarii w sieciach dystrybucyjnych średnich napięć**

Referat dotyczy analizy fragmentu sieci elektroenergetycznej o napięciu 6 kV, w której wystąpił ferrerezonans. Przedstawiono strukturę sieci, opracowano model komputerowy. Opracowany model komputerowy posłużył do wykonania symulacji, mających odtworzyć stan zakłóceń w analizowanej sieci. Zaprezentowane wyniki symulacji wskazują, w jakich warunkach może dojść do ferrerezonansu. W referacie omówiono możliwości wytłumienia ferrerezonansu w analizowanej sieci. Czy przedstawiona analiza rzeczywiście dotyczy dystrybucyjnej sieci publicznej, czy może sieci zakładowej? Jeżeli sieci publicznej, to jaki procent takich sieci w kraju pracuje z izolowanym punktem neutralnym. Obecnie w praktyce występują sieci o kompensacji ziemnozwarciowej (ew. z dodatkowym wymuszaniem składowej czynnej) oraz coraz częściej sieci o punkcie neutralnym uziemionym przez rezystor. Jakie jest ryzyko wystąpienia ferrerezonansu w takich sieciach?

## WYKAZ REFERATÓW

- [1] Kot A., Szpyra W.: Problemy mocy biernej w systemach dystrybucyjnych.
- [2] Szpyra W., Nowak W., Moskwa S., Tarko R., Bąchorek W., Benesz M.: Efektywność kompensacji mocy biernej w sieciach dystrybucyjnych.
- [3] Rosenbeiger D.: Optymalizacja położenia punktów rozcięć w sieci rozdzielczej SN.
- [4] Cieślik A., Markiewicz A.: Ocena wpływu elektrowni wiatrowych małej mocy na elektroenergetyczną sieć dystrybucyjną średniego napięcia.
- [5] Czapp S., Horiszny J.: Badania symulacyjne układu wyzwiania wyłącznika różnicowoprądowego w warunkach zwiększonej częstotliwości prądu różnicowego.
- [6] Małyszko O., Zeńczak M.: Ograniczanie prądów zwarciovych na szynach zbiorczych w elektroenergetycznych stacjach przemysłowych.
- [7] Bargiel J., Sowa P., Zając K., Sierociński T.: Metoda analizy niezawodności układów rozdzielczych średnich napięć.
- [8] Gębala J.: Wyniki obliczeń istniejącego i nowoprojektowanego układu uziomowego kopalni.
- [9] Tarko R., Nowak W., Szpyra W., Benesz M., Makuch A.: Ferrerezonans jako źródło zakłóceń i awarii w sieciach dystrybucyjnych średnich napięć.