

H02 1/08



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ OPIS PATENTOWY

Nr 43911

Kl. 21 d², 42/01

Zbigniew Kowalski

Łódź, Polska

Elektroenergetyczny układ przesyłowy lub sieć pięcioprzewodowa

Patent trwa od dnia 29 stycznia 1959 r.

Elektroenergetyczne układy przesyłowe i sieci pięcioprzewodowe według wynalazku przeznaczony są do przesyłania i rozdziału energii elektrycznej prądu zmiennego trójfazowego liniami przesyłowymi pięcioprzewodowymi. Linia pięcioprzewodowa zastępuje przede wszystkim powszechnie stosowane linie dwutorowe sześcioprzewodowe.

Linie pięcioprzewodowe według wynalazku w porównaniu z liniami sześcioprzewodowymi (dwutorowymi) prądu trójfazowego wykazują następujące zasadnicze zalety. zmniejszenie materiału przewodowego i osprzętu liniowego o $\frac{1}{6}$, zmniejszenie strat mocy o około $\frac{1}{3}$, gdy przez przewód neutralny nie płynie prąd, zmniejszenie ciężaru (wymiarów) konstrukcji wsporczych linii, zmniejszenie prawdopodobieństwa zwarcia doziemnych na skutek istnienia pięciu zamiast sześciu przewodów. W porównaniu z napowierzchniowymi liniami trójfazowymi jednotorowymi — kosztem podwieszenia dwu dodatkowych przewodów — linią pięcioprzewodową można przesyłać dwukrotnie większą moc, przy czym strata

ty mocy w linii pięcioprzewodowej wzrosną tylko o około 13,3%, gdy przez przewód neutralny nie płynie prąd. W przypadku nieprzemijającego zwarcia dwufazowego i dwufazowego doziemnego w linii trójfazowej trójprzewodowej linia musi być wyłączona do czasu usunięcia błędu. W przypadku analogicznego zwarcia w wymienionej linii pięcioprzewodowej, linia taka może pracować po przełączeniu jako pojedyncza linia trójfazowa trójprzewodowa. W porównaniu z linią typu „cztery przewody — ziemia” linia pięcioprzewodowa wykazuje poniżej wyszczególnione zalety. W przypadku wyłączenia jednego toru (dwu przewodów), linia „cztery przewody — ziemia” może w tym stanie pracować nadal jako linia typu „dwa przewody — ziemia”, lecz praca taka ma szkodliwy wpływ na urządzenia telekomunikacyjne i teletechniczne. W przypadku wyłączenia dwu przewodów tego samego obwodu linia pięcioprzewodowa może w tym stanie pracować jako linia trójfazowa trójprzewodowa, przy czym suma prądów we wszystkich trzech czynnych przewodach jest równa

zeru. Wskutek tego wpływ takiej linii na linie telekomunikacyjne i teletechniczne jest minimalny i podobny jak wpływ normalnej linii trójfazowej trójprzewodowej. Linie lub sieci pięcioprzewodowe mogą pracować z fazami normalnie izolowanymi. Takie rozwiązanie pozwala na budowanie uniwersalnych rozdzielni, z których można wyprowadzić linie trójfazowe trójprzewodowe i linie pięcioprzewodowe o izolowanych fazach. Sieć pięcioprzewodowa izolowana może pracować przez pewien okres czasu w uzasadnionych przypadkach w czasie trwałego jednofazowego zwarcia z ziemią w tej sieci. Sieci pięcioprzewodowe mogą pracować jako skompensowane i ze skutecznie uziemionym punktem zerowym.

Sieci pięcioprzewodowe mogą pracować według trzech następujących zasadniczych wariantów: izolowane, o uziemionym przewodzie neutralnym, o uziemionym punkcie zerowym.

Fig. 1 przedstawia uproszczony schemat ideowy prostego układu przesyłowego pięcioprzewodowego izolowanego. Fig. 2 przedstawia uproszczony schemat ideowy prostego układu przesyłowego pięcioprzewodowego o przewodzie neutralnym uziemionym (skutecznie lub za pośrednictwem cewki Petersena). Fig. 3 przedstawia uproszczony schemat ideowy prostego układu przesyłowego pięcioprzewodowego o punkcie zerowym uziemionym (skutecznie lub za pośrednictwem cewki Petersena). Fig. 4 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w układzie jak na fig. 1 przy założeniu że układy prądów i napięć są układami symetrycznymi. Fig. 5 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w układzie przedstawionym na fig. 2. Fig. 6 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w układzie podanym na fig. 3.

Fig. 7 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w systemie pięcioprzewodowym w układzie 0-stopniowym, fig. 8 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w systemie pięcioprzewodowym w układzie 60-stopniowym, fig. 9 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w systemie pięcioprzewodowym w układzie 120-stopniowym w przypadku izolowanego układu pięcioprzewodowego.

Fig. 10 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w układzie pięcioprzewodowym o uziemionym przewodzie neutralnym w układzie 0-stopniowym, fig. 11 przedstawia wykres wskazowy napięć i prądów w systemie pięcioprzewodowym o uziemionym przewodzie neutralnym

w układzie 60-stopniowym, a fig. 12 — jak fig. 10 i 11, lecz w układzie 120-stopniowym.

Fig. 13, 14, i 15 przedstawiają wykresy wskazowe napięć i prądów w systemie pięcioprzewodowym o uziemionym punkcie zerowym w przypadku układów odpowiednio 0-, 60- i 120-stopniowych.

Fig. 16 przedstawia schematycznie sposób pracy w stanie poawaryjnym (po wyłączeniu przewodów 1 i 2) układu przesyłowego pięcioprzewodowego izolowanego. Fig. 17 przedstawia schematycznie sposób pracy w stanie poawaryjnym (po wyłączeniu przewodów 1 i 2) układu przesyłowego pięcioprzewodowego o uziemionym przewodzie neutralnym. Fig. 18 przedstawia schematycznie sposób pracy w stanie poawaryjnym (po wyłączeniu przewodów 1 i 2) układu przesyłowego pięcioprzewodowego o uziemionym punkcie zerowym.

Fig. 19 przedstawia sposób wyprowadzenia linii trójfazowych trójprzewodowych jednotorowych z izolowanym punktem zerowym z szyn zbiorczych rozdzielni po stronie linii pięcioprzewodowych. Fig. 20 przedstawia sposób wyprowadzenia z rozdzielni po stronie linii pięcioprzewodowych linii trójfazowych trójprzewodowych jednotorowych z jedną fazą uziemioną, a fig. 21 przedstawia sposób wyprowadzenia z tej rozdzielni linii trójfazowych trójprzewodowych jednotorowych z uziemionym punktem zerowym.

Fig. 22 przedstawia przykład pracy generatorów na sieć pięcioprzewodową izolowaną.

Uziemienie przewodu neutralnego (przewód oznaczony liczbą 5 na schematach) lub punktu zerowego może być wykonane w stacji na jednym lub na obu końcach linii pięcioprzewodowej w zależności między innymi od kierunku przepływu energii w linii.

Układy przesyłowe (sieci) pięcioprzewodowe są sprzęgnięte za pośrednictwem transformatorów z innymi sieciami, np. z sieciami trójfazowymi trójprzewodowymi.

Istota wynalazku polega przede wszystkim na zastąpieniu sześciu przewodów linii trójfazowej dwutorowej linią pięcioprzewodową, przy czym prąd płynie tylko przez cztery przewody linii, gdy grupy połączeń transformatorów na każdej stacji w układzie różnią się o 180 stopni elektrycznych. Przewód piąty jest przewodem neutralnym i rezerwowym. Ziemia nie jest w tym układzie wykorzystana w warunkach normalnych jako jeden z przewodów fazowych. Taki sposób przesyłu energii elektrycznej jest możli-

wy dzięki dobraniu odpowiednich grup połączeń transformatorów na obu końcach linii. Jeżeli grupy każdej pary takich samych (z wyjątkiem grupy połączeń) transformatorów różnią się o 180 stopni elektrycznych, wówczas przy założeniu, że po stronie linii pięcioprzewodowej połączone są ze sobą i z przewodem neutralnym dwa zaciski należące do tych samych faz transformatorów jak w układzie „cztery przewody — ziemia“, przez przewód neutralny prąd nie płynie lub jest bardzo mały. Przez przewód neutralny prąd nie płynie (przy poczynionych założeniach) wówczas, gdy układy prądów w obu częściach linii (przewody 1, 2, i 5 oraz 3, 4 i 5 — fig. 1, 2, 3, i inne) są układami symetrycznymi. Jeśli ta symetria nie jest spełniona, wtedy przez przewód neutralny płynie prąd

$$I_5 = - (I_1 + I_2 + I_3 + I_4).$$

W układach praktycznych, w których mogą pracować linie i sieci pięcioprzewodowe, wartość prądu I_5 w normalnych warunkach może być równa w tym przypadku co najwyżej kilka procentów prądu w jednym z pozostałych przewodów, gdy grupy połączeń transformatorów różnią się o 180 stopni elektrycznych.

Fakt wyeliminowania jednego przewodu i to, że przez przewód neutralny prąd nie płynie lub jest pomijalnie mały przy założeniu, że grupy połączeń transformatorów różnią się o 180 stopni, jest okupiony na ogół wzrostem napięć faz układu pięcioprzewodowego w stosunku do ziemi i napięć międzyprzewodowych w tym układzie w stosunku do napięć w układzie normalnym trójfazowym. Ten wzrost ze względów gospodarczych ogranicza w niektórych wariantach zakres napięć na jakie mogą być budowane układy przesyłowe i sieci pięcioprzewodowe.

Na stacjach w układach przesyłowych pięcioprzewodowych grupy połączeń transformatorów mogą nie różnić się między sobą lub różnić się nie tylko o 180 stopni, a o np. 60 lub 120 stopni. W pierwszym przypadku, tj. w tzw. układzie zero-stopniowym, prąd w przewodzie neutralnym jest równy podwójnej wartości prądu fazowego w jednym z pozostałych czterech przewodów linii. W przypadku drugim, gdy grupy połączeń różnią się o 60 stopni (układ 60-stopniowy) prąd w przewodzie neutralnym jest większy $\sqrt{3}$ razy od prądu w jednym z przewodów roboczych linii, natomiast w układzie 120-stopniowym prąd w przewodzie neutralnym jest równy prądowi fazowemu w przewodzie roboczym.

Podane stosunki prądu w przewodzie neutralnym i w jednym z przewodów roboczych są spełnione gdy układy prądów w obu częściach linii pięcioprzewodowej są układami symetrycznymi. Dobierając odpowiednie grupy połączeń transformatorów można wpływać na wartość prądu w przewodzie neutralnym (wspólnym dla obu części linii) i na wartości napięć w układzie, przy czym ze wzrostem prądu w przewodzie neutralnym maleją niektóre napięcia w układzie, a także rosną straty mocy w przewodzie neutralnym. W układzie 180-stopniowym straty mocy w przewodzie neutralnym są równe zero lub pomijalnie małe.

Linie pięcioprzewodowe, o których tu mowa, są źródłem asymetrii napięć i prądów w układzie elektroenergetycznym w którym pracują. Asymetria ta, o wartości kilku procentów, nie ma istotnego znaczenia w praktyce.

Linie pięcioprzewodowe mogą znaleźć zastosowanie w pojedynczych układach przesyłowych, przedstawionych schematycznie na fig. 16, 17 i 18 (wyłącznik WA_1 zamknięty) oraz w sieciach elektroenergetycznych o liniach pięcioprzewodowych (otwartych i zamkniętych), jak również w sieciach mieszanych — o liniach pięcioprzewodowych i liniach trójfazowych trójprzewodowych jak na fig. 19, 20 i 21.

Na schematach przedstawionych na fig. 16, 17 i 18 uwidoczniono również przykłady pracy poawaryjnej układów przesyłowych pięcioprzewodowych — po wyłączeniu jednej części linii pięcioprzewodowej (wyłącznik WA_1 otwarty). W zależności m. in. od kierunku przepływu energii elektrycznej może być otwarty wyłącznik WB_1 lub WB_2 i WA_1 . Układ na fig. 16 może mieć odłączniki OA_1 i OA_2 i połączenia pokazane na tej figurze linią przerywaną, które umożliwiają pracę układu w systemie „cztery przewody — ziemia“ w przypadku uszkodzenia przewodu neutralnego. W przypadku sposobu pracy przedstawionego schematycznie na fig. 17 odłącznik $OA_{1,2}$ zamknięty w normalnym stanie w celu uziemienia przewodu neutralnego, może być otwarty w stanie poawaryjnym. Jeżeli przewód neutralny jest uszkodzony, np. zwarty z ziemią, wówczas (bez połączeń) układ nadal będzie pracował poprawnie lub może być przełączony na system „cztery przewody — ziemia“ (po załączeniu OB_1 przy zamkniętym OA_1) lub może pracować również w układzie czteroprzewodowym (przewody 1, 2, 3 i 4). W przypadku sposobu pracy przedstawio-

nego schematycznie na fig. 18 układ w stanie poawaryjnym pracuje jak normalny układ trójfazowy trójprzewodowy o uziemionym punkcie zerowym na jednym końcu linii. Jeżeli nastąpi wyłączenie przewodów 3 i 4, układ może pracować jak układ normalny trójfazowy trójprzewodowy o izolowanym (odłącznik O_A , otwarty) lub o uziemionym punkcie zerowym (odłącznik O_A , zamknięty). Przez zainstalowanie odłączników uziemiających punkty zerowe na obu końcach układu układ może pracować w stanie poawaryjnym z uziemionymi punktami na obu końcach układu przesyłowego. W przypadku uszkodzenia przewodu neutralnego układ jak na fig. 18 może pracować w systemie „cztery przewody — ziemia” po uprzednim uziemieniu na obu końcach układu szyn neutralnych i wyłączeniu O_A , lub w systemie czteroprzewodowym (bez konieczności wyłączenia szyn neutralnych).

Sieci i układy przesyłowe pięcioprzewodowe izolowane mogą znaleźć zastosowanie przede wszystkim w zakresie średnio wysokich napięć (40 ÷ 60 kV), tj. napięć znamionowych linii normalnych trójfazowych trójprzewodowych pracujących przede wszystkim w sieciach o izolowanym lub skompensowanym punkcie zerowym. Izolacja uzwojeń transformatorów między sobą po stronie linii pięcioprzewodowej może być w tym przypadku przystosowana do napięcia znamionowego sieci U_n . (Napięciem znamionowym układu przesyłowego pięcioprzewodowego (U_n) nazwane jest napięcie znamionowe każdej części linii pięcioprzewodowej, np. napięcie znamionowe części linii o przewodach 1, 2 i 3). Można przypuszczać, że normalnie produkowane transformatory z pełnoizolowanym punktem zerowym mogą być zastosowane do pracy w układach przesyłowych i sieciach pięcioprzewodowych izolowanych na te same napięcia znamionowe co w sieciach normalnych trójfazowych trójprzewodowych lub izolacja uzwojeń po stronie sieci pięcioprzewodowej w stosunku do ziemi musi być nieco lepsza od izolacji przystosowanej do pracy w sieci normalnej o napięciu U_n . Podobnie należy przypuszczać, że linia pięcioprzewodowa o napięciu znamionowym U_n może być tak samo izolowana jak linia normalna trójfazowa trójprzewodowa o napięciu U_n lub izolacja linii pięcioprzewodowej musi być nieco zwiększona zwłaszcza w przypadku gdy grupy połączeń transformatorów będą się różnić o 180 stopni. Jeżeli w układzie pięcioprzewodowym izolowanym zastosowana jest kompensacja prądów

ziemnozwarciowych za pomocą cewki Petersena, wtedy w normalnych warunkach pracy napięcia faz układu pięcioprzewodowego w stosunku do ziemi są mniejsze w porównaniu z układem izolowanym bez kompensacji.

Układy przesyłowe i sieci pięcioprzewodowe o uziemionym przewodzie neutralnym mogą znaleźć zastosowanie w zakresie średnio i bardzo wysokich napięć. W normalnych warunkach pracy — pomijając zagadnienie przepięć łączeniowych — izolacja uzwojeń transformatorów między sobą po stronie sieci pięcioprzewodowej może być przystosowana do napięcia międzyprzewodowego U_n , zaś w stosunku do ziemi — do napięcia także U_n . Punkty zerowe uzwojeń transformatorów połączonych w gwiazdę od strony linii pięcioprzewodowej mogą mieć izolację przystosowaną do napięcia $U_n/\sqrt{3}$. Izolacja przewodów linii pięcioprzewodowej może być przystosowana do napięcia U_n w normalnych warunkach pracy. Zatem ze względu na izolację transformatorów układy przesyłowe i sieci pięcioprzewodowe o uziemionym przewodzie neutralnym mogą być budowane na średnie i bardzo wysokie napięcia przy zastosowaniu tych samych transformatorów w układach i sieciach pięcioprzewodowych co i w sieciach trójfazowych trójprzewodowych na te same napięcia znamionowe. Izolacja liniowa w stosunku do ziemi w liniach pięcioprzewodowych do 220 kV w normalnych warunkach pracy może być na ogół taka sama jak w liniach normalnych na te same napięcia lub nieco większa w zależności m. in. od przepisów, natomiast w liniach na bardzo wysokie napięcia (od 380 kV włącznie) musiałaby być zwiększona w stosunku do izolacji linii normalnych.

Opisywane układy i sieci pięcioprzewodowe mogą posiadać przewód neutralny uziemiony bezpośrednio (skutecznie) lub przez dławik do ograniczania lub kompensacji prądów zwarciovych doziemnych. W zakresie średnio i bardzo wysokich napięć kompensacja lub ograniczanie prądów zwarciovych przy zwarciach doziemnych przewodów fazowych linii pięcioprzewodowej za pomocą cewki Petersena lub innego dławika może okazać się potrzebna.

Układy przesyłowe i sieci pięcioprzewodowe o uziemionym punkcie zerowym mogą znaleźć zastosowanie przede wszystkim w zakresie średnio wysokich napięć. Ich zastosowanie może obejmować również bardzo wysokie napięcia po ewentualnym wzmocnieniu izolacji nieuzie-

nionego punktu zerowego transformatora i ewentualnie izolacji liniowej. Również w tym przypadku układ pięcioprzewodowy lub sieć pięcioprzewodowa może pracować z punktem zerowym bezpośrednio (skutecznie) uziemionym lub uziemionym poprzez cewkę Petersena lub inny dławik do kompensacji lub ograniczania prądów zwarcia z ziemią w linii pięcioprzewodowej.

Z szyn zbiorczych rozdzielni po stronie linii pięcioprzewodowych mogą być również wyprowadzone linie trójfazowe trójprzewodowe jednotorowe. Linie trójfazowe mogą w tym przypadku pracować jako linie izolowane (fig. 19), z jedną fazą uziemioną (fig. 20) i z uziemionym punktem zerowym (fig. 21).

Sieci pięcioprzewodowe lub układy przesyłowe pięcioprzewodowe mogą współpracować również bezpośrednio z prądnicami (fig. 22). Każda grupa generatorów G_1 , G_2 (fig. 22) musi być dostosowana do pracy równoległej z każdym transformatorem. Punkty zerowe jednej grupy generatorów mogą być uziemione. Izolacja punktów zerowych w stosunku do ziemi pozostałej grupy generatorów w warunkach normalnych musi być dostosowana do napięcia $1,16 U_n$.

Zastrzeżenia patentowe

1. Elektroenergetyczny układ przesyłowy lub sieć z izolowanym względnie uziemionym przewodem neutralnym albo z uziemionym punktem zerowym, znamienne tym, że posiadają linie pięcioprzewodowe, połączone w każdej stacji z siecią trójfazową poprzez przynajmniej dwa transformatory, należące do grup połączeń, różniących się o 180 stopni elektrycznych, których uzwojenia po stronie układu pięcioprzewodowego mają dwa zaciski, należące do tych samych faz, połączone ze sobą i z przewodem neutralnym (5), a zaciski, należące do pozostałych faz, po tej samej stronie — z pozostałymi czterema przewodami (1, 2, i 3, 4) układu lub sieci pięcioprzewodowej oraz, że układ lub sieć pięcioprzewodowa jest wyposażona odpowiednio w łączniki dla umożliwienia, w przypadku wyłączenia części przewodów układu lub

sieci, pracy w systemie trójfazowym (1, 2, 5 lub 3, 4, 5) lub w przypadku wyłączenia przewodu neutralnego (5) — w systemie „cztery przewody (1, 2, 3, 4) — ziemia“.

2. Odmiana elektroenergetycznego układu przesyłowego lub sieci według zastrz. 1, znamienne tym, że linie pięcioprzewodowe połączone są w każdej stacji poprzez co najmniej dwa transformatory, należące do grup połączeń różniących się o 120 stopni elektrycznych.
3. Odmiana elektroenergetycznego układu przesyłowego lub sieci według zastrz. 1, znamienne tym, że linie pięcioprzewodowe połączone są w każdej stacji poprzez co najmniej dwa transformatory, należące do grup połączeń różniących się o 150 stopni elektrycznych.
4. Elektroenergetyczna sieć według zastrz. 1, znamienne tym, że do szyn rozdzielni po stronie linii pięcioprzewodowej lub linii pięcioprzewodowych posiada galwanicznie przyłączone linie trójfazowe trójprzewodowe jednotorowe o izolowanym lub uziemionym punkcie zerowym, lub o izolowanym punkcie zerowym i uziemionej fazie w zależności od tego czy sieć pięcioprzewodowa względnie linia pięcioprzewodowa pracuje z izolowanym przewodem neutralnym i izolowanym lub uziemionym punktem zerowym, lub z izolowanym punktem zerowym i uziemionym przewodem neutralnym tak, iż w przypadku wyłączenia charakterystycznych części linii pięcioprzewodowej lub linii pięcioprzewodowych, na przykład dwóch przewodów, należących do jednego charakterystycznego obwodu trójfazowego (przewody 1 i 2 lub 3 i 4) linii pięcioprzewodowych, wszystkie linie wyprowadzone ze wspólnej rozdzielni, a więc linie trójfazowe trójprzewodowe i linie pięcioprzewodowe mogą pracować jako normalne trójfazowe trójprzewodowe linie o izolowanym lub uziemionym punkcie zerowym lub o izolowanym punkcie zerowym i uziemionej fazie, przy czym ziemia w tym ostatnim przypadku może nie brać udziału w przewodzeniu prądu fazowego.

Zbigniew Kowalski

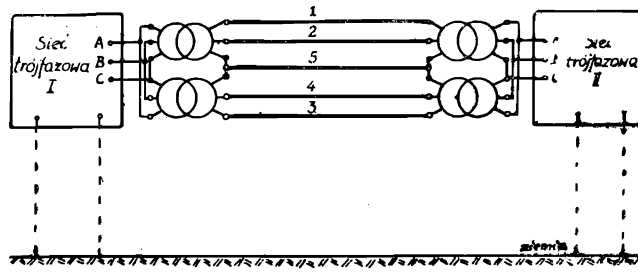


Fig. 1

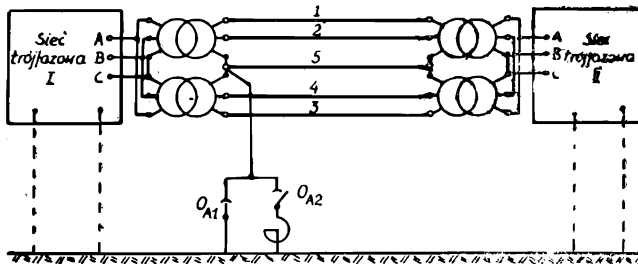


Fig. 2

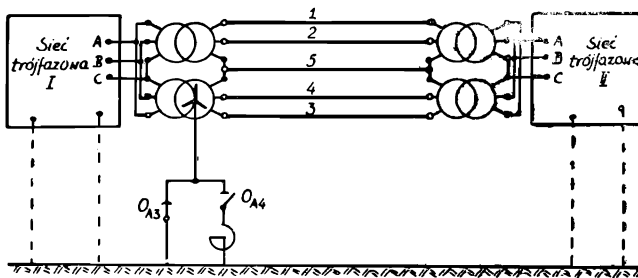


Fig. 3

Fig. 5

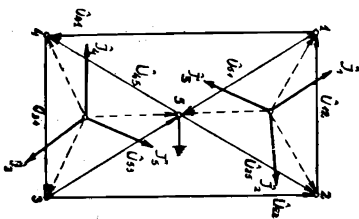


Fig. 4

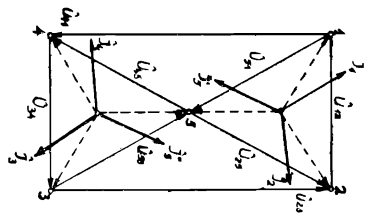
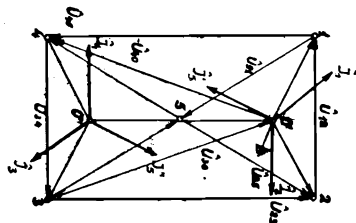


Fig. 6



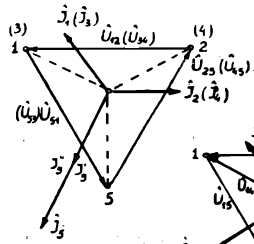


Fig. 7

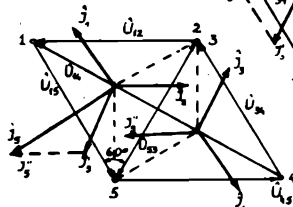


Fig. 8

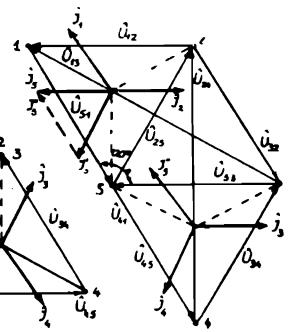


Fig. 9

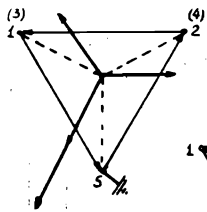


Fig. 10

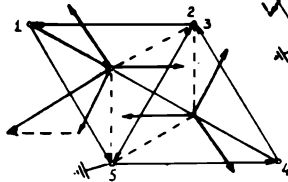


Fig. 11

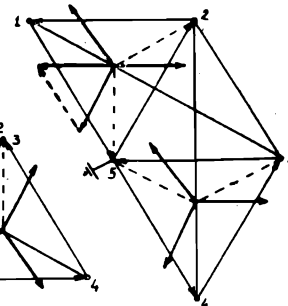


Fig. 12

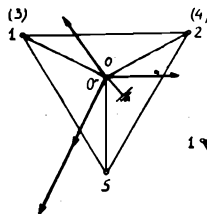


Fig. 13

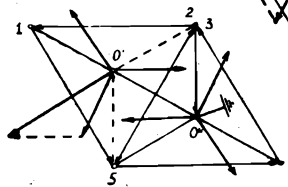


Fig. 14

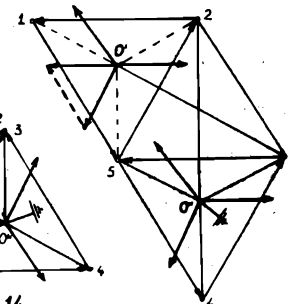


Fig. 15

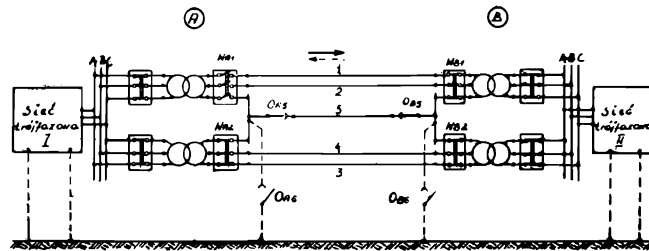


Fig 16

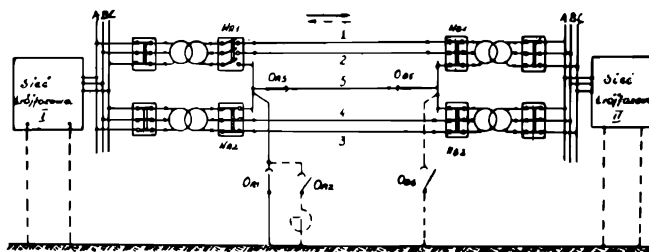


Fig 17

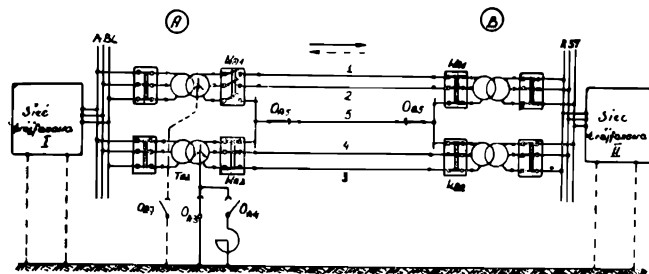


Fig 18

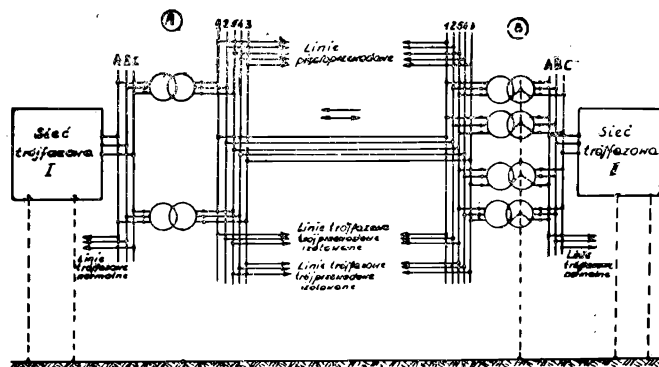


Fig 19

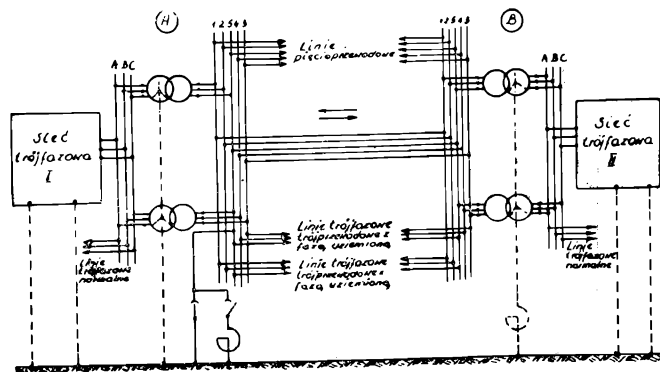


Fig 20

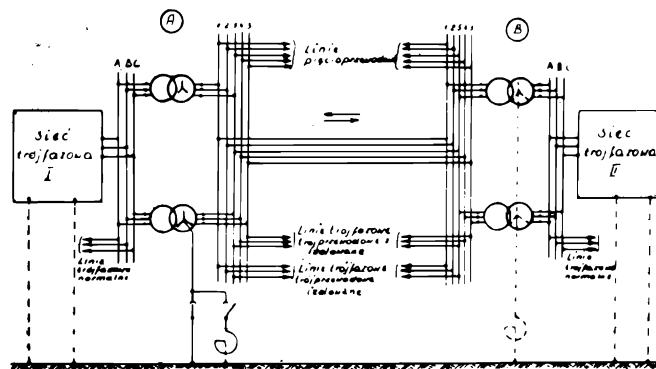


Fig 21

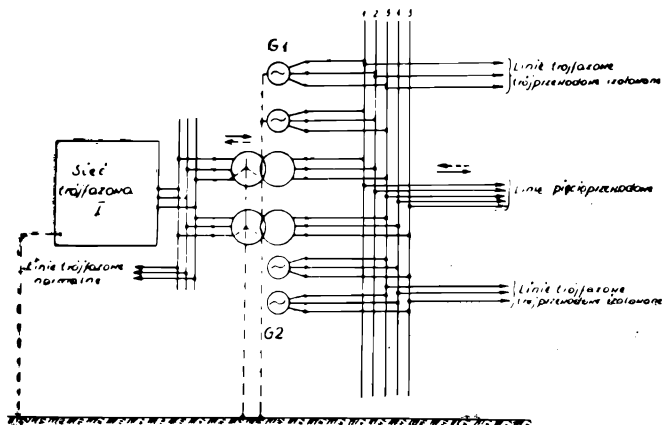


Fig 22