

Politechnika Lubelska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Katedra Sieci Elektrycznych i Zabezpieczeń



Laboratorium Sieci Elektroenergetycznych

EAZ

***Badanie zabezpieczeń linii SN
jednostronnie zasilanej***

1. Zabezpieczenia linii elektroenergetycznych jednostronnie zasilanych w sieciach SN

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadą działania zabezpieczeń linii promieniowej oraz z zasadą stopniowania czasu działania zabezpieczeń.

1.1 Wiadomości wstępne

Zakłócenia występujące w systemach elektroenergetycznych można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- zaburzenia, które uniemożliwiają pracę systemu lub jego elementów,
- zagrożenia, przy których normalna praca sieci jest dopuszczalna przez pewien okres czasu, w ciągu którego powinna zostać usunięta przyczyna powodująca zagrożenie.

Do najpoważniejszych i najczęściej występujących zaburzeń należą:

- zwarcia wielkoprądowe,
- zwarcia małoprądowe.

Do zwarć wielkoprądowych zalicza się:

- zwarcia międzyfazowe i międzyfazowe doziemne,
- zwarcia jednofazowe w sieciach o punkcie zerowym bezpośrednio uziemionym,
- zwarcia podwójne doziemne w sieciach o izolowanym punkcie zerowym.

Zwarcia małoprądowe (o prądzie zwarcia z ziemią nie przekraczającym 500A) występują w sieciach o izolowanym punkcie zerowym oraz uziemionym przez impedancję.

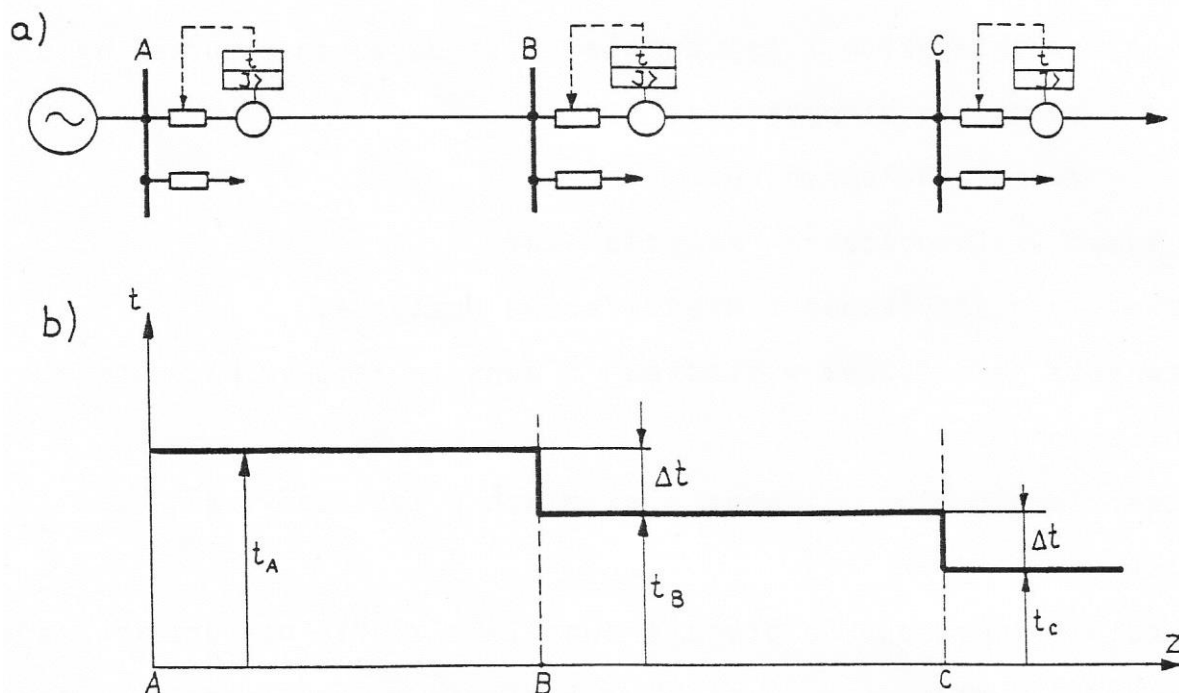
Do ochrony linii jednostronnie zasilanych w sieciach ŚN stosuje się następujące rodzaje zabezpieczeń :

- nadprądowe zwłoczne,
- nadprądowe bezzwłoczne,
- od zwarć z ziemią.

1.2 Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne jest jednym z najprostszych rodzajów zabezpieczeń przekątnikowych linii elektroenergetycznych zasilanych jednostronnie. W liniach jednostronnie zasilanych tworzących szeregowy ciąg zasilający selekcję działania zabezpieczeń nadprądowych zwłocznych zapewnia się przez stosowanie odpowiedniej zwłoki w zadziałaniu układu, która wynika z zasady stopniowania czasów działania. Na rys.1.1 pokazano uproszczony schemat fragmentu sieci elektroenergetycznej z wyodrębnionymi trzema liniami. Tworzą one

szeregowy ciąg zasilający i są na swoich początkach wyposażone w układy zabezpieczeń nadprądowych zwłoczných.



Rys. 1.1 Ciąg linii jednostronnie zasilanych:

a) schemat ogólny fragmentu sieci,

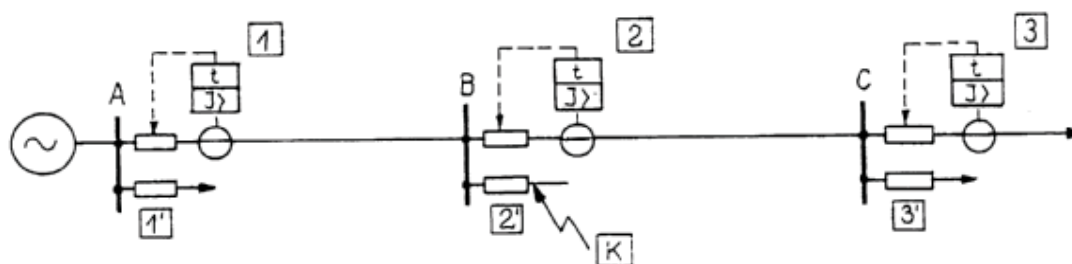
b) wykres stopniowania czasowego zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego.

Zabezpieczenie zostaje pobudzone w przypadku wzrostu prądu ponad wartość nastawioną na członie nadprądowym i po upływie nastawionego czasu na członie czasowym podaje impuls do wyzwalacza powodującego otwarcie wyłącznika na początku linii. Najkrótszy czas dobieramy dla zabezpieczanie zainstalowanego na początku ostatniego odcinka w ciągu zasilającym. Czasy działania zabezpieczeń wydłużają się w miarę przesuwania się miejsca zwarcia w kierunku do źródła (rys. 1.1b). W ten sposób uzyskuje się spełnienie warunku wymaganego przy zachowaniu wybiórczości w działaniu zabezpieczeń. Po wystąpieniu zwarcia na danym odcinku sieciowym powinno zadziałać zabezpieczenie zainstalowane na początku tej linii. Zabezpieczenia położone bliżej źródła, licząc od miejsca zakłócenia, powinny zostać pobudzone prądem zwarciovym, nie zdążą one jednak zadziałać ze względu na dłuższe czasy działania. Układy zabezpieczeniowe położone dalej od źródła nie zostaną pobudzone. Zabezpieczenie podstawowe linii jest uprawnione do jej wyłączenia w pierwszej kolejności przed pozostałymi układami zabezpieczeń. Zabezpieczenie, które powinno działać jako następne po układzie podstawowym jest zabezpieczeniem rezerwowym. W przypadku wystąpienia zwarcia na odcinku BC (rys. 1.1a) pobudzone zostaną człony prądowe zabezpieczeń nadprądowych zwłoczných na początku odcinka BC i AB. Człony te uruchamiają człony czasowe

układów. Z uwagi na to że czas działania zabezpieczenia linii BC jest krótszy od czasu zabezpieczenia linii AB, nastąpi wyłączenie odcinka BC, a zabezpieczenie odcinka AB zostanie odzwbudzone i powróci do stanu początkowego. Podany sposób stopniowania czasów działania zabezpieczeń nadprądowych zwłoczných ma tę zaletę, że w przypadku nie zadziałania któregośkolwiek układu jego rolę przejmuje najbliższe zabezpieczenie od strony źródła (rezerwuje zabezpieczenie podstawowe). Zwiększenie się czasów działania zabezpieczeń w miarę zbliżania się do źródła zasilania jest konieczne dla zagwarantowania wybiórczości działania zabezpieczeń podstawowych i rezerwowych. Jest to jednocześnie poważną wadą, gdyż zwarcia powstałe blisko źródła charakteryzują się przepływem dużych prądów zwarciovych i są wyłączane po stosunkowo długich czasach od chwili powstania zakłócenia. Oprócz dużej ilości wydzielonego ciepła stwarzającego zagrożenie dla urządzeń, zwarciom towarzyszą znaczne obniżenia, czy nawet zaniki napięcia na dużym obszarze.

1.3 Wyznaczanie prądów rozruchowych

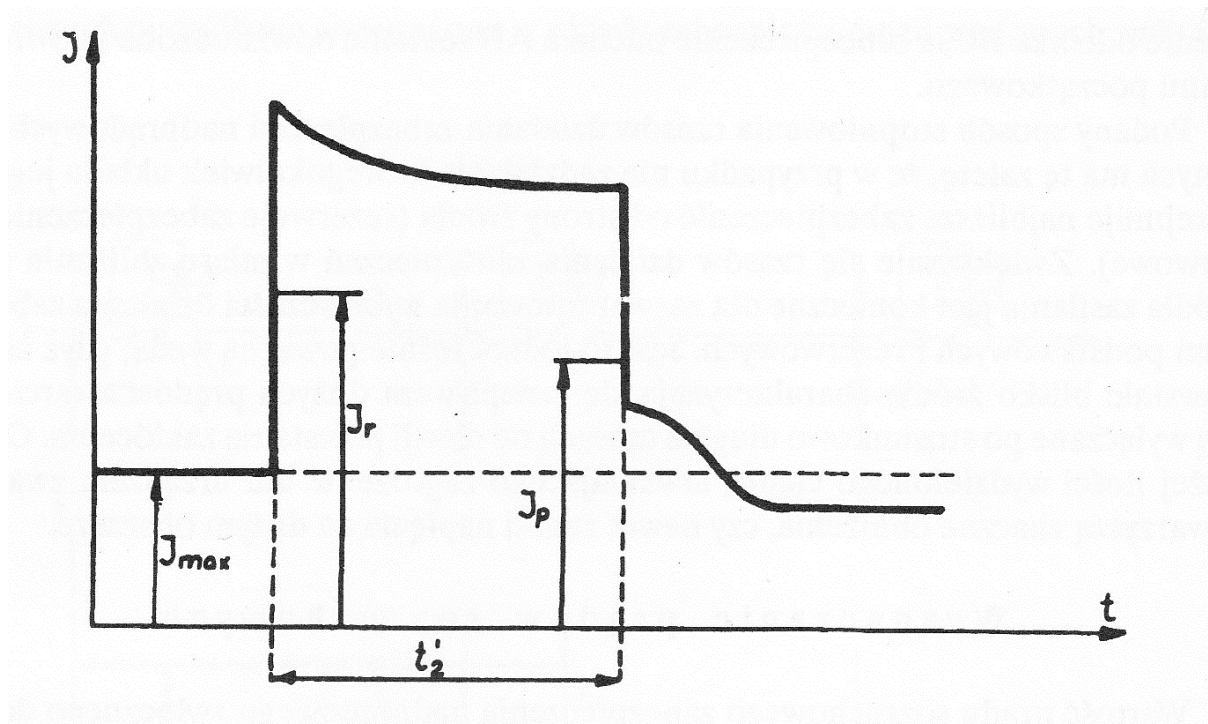
Wartość prądu rozruchowego zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego dobiera się na podstawie dwóch warunków. Pierwszy warunek dotyczy uniewrażliwienia zabezpieczenia na wartości prądów obciążeniowych, która nie podlegają wyłączeniu, a warunek drugi odnosi się do należytej czułości zabezpieczenia. Na Rys. 1.2 pokazano fragment sieci, w którym występuje ciąg linii zasilanych jednostronnie i zaopatrzonych w zabezpieczenia nadprądowe zwłoczne.



Rys. 1.2 Uproszczony schemat ciągu linii jednostronnie zasilanych

Jeżeli zwarcie wystąpi w miejscu K (Rys. 1.2), to pobudzone zostaną zabezpieczenia 2' i 1, ale zadziałać powinno tylko zabezpieczenie 2' i spowodować otwarcie wyłącznika. Człon nadprądowy zabezpieczenia 1 powinien powrócić do stanu początkowego. Na Rys. 1.3 pokazano przykładowy wykres zmian wartości prądu płynącego przez człon prądowy układu 1 przed wystąpieniem zwarcia, w czasie jego trwania i po wyłączeniu linii przez zabezpieczenie 2'. Po wyłączeniu linii dotkniętej zwarcie, prąd płynący przez człon prądowy zabezpieczenia 1 powraca do wartości odpowiadającej obniżeniu pozostałymi odpływami. W przypadku

kiedy pozostałe w ruchu odpływy zasilają silniki asynchroniczne, to po wyłączeniu zwarcia, powstaje krótkotrwałe przetężenie spowodowane samorozruchem tych silników przyhamowanych wskutek obniżenia lub zaniku napięcia w sieci podczas zwarcia.



Rys. 1.3 Przebieg prądu płynącego przez człon prądowy zabezpieczenia 1 w przypadku powstania zwarcia w miejscu K (Rys. 1.2) w czasie wystąpienia zwarcia w zabezpieczanej sieci.

Warunkiem powrotu przekątnika nadprądowego zwłocznego zabezpieczenia 1 w położenie początkowe, po wyłączeniu linii ze zwarcie przez układ 2', jest aby prąd powrotu I_p zabezpieczenia 1 był większy od prądu płynącego przez człon prądowy natychmiast po wyłączeniu linii ze zwarcie. Prąd rozruchowy przekątnika powinien spełnić warunek:

$$I_r \geq \frac{k_b k_s k_r I_{\max}}{k_p n_i}$$

gdzie:

I_{\max} - wartość prądu największego obciążenia linii po stronie pierwotnej,

k_b - współczynnik bezpieczeństwa;

k_s - współczynnik schematu;

k_p - współczynnik powrotu;

k_r -współczynnik samorozruchu silników asynchronicznych;

n_i -przekładnia znamionowa prądowa przekładników prądowych.

Wartość współczynnika bezpieczeństwa (k_b) zależy przede wszystkim od jakości zastosowanych przekątników pomiarowych i najczęściej jego wartość wynosi 1,2. Współczynnik schematowy (k_s) uwzględnia powiększenie prądu uzyskanego z przekładników prądowych w czasie normalnej pracy i płynącego przez człon prądowy przekątnika. Wartość współczynnika k_s

zależy od układu połączeń uzwojeń wtórnych przekładników prądowych i może wynosić 1, $\sqrt{3}$ oraz 2. Wartość współczynnika samorozruchu (k_r) może się wahać w szerokich granicach, zależnie od udziału obciążenia silnikowego w ogólnym obciążeniu. Kiedy w obciążeniu ogólnym przeważa obciążenie silnikowe, a silniki dopuszczane są do samorozruchu, to wartość tego współczynnika może wynosić nawet $k_r=3\div 4$. W przypadku wystąpienia trudności z wyznaczeniem wartości współczynnika k_r na drodze obliczeniowej, można go wyznaczyć na drodze doświadczalnej i jest to wówczas najbardziej wiarygodna wartość tego współczynnika. Wartość prądu największego obciążenia linii po stronie pierwotnej I_{\max} należy dobrać w zależności od panujących warunków. W przypadku, gdy rozpatrywane zabezpieczenie jest zainstalowane w jednym z torów linii dwutorowej, prąd rozruchowy tego zabezpieczenia należy tak dobrać, aby w razie wypadnięcia z pracy jednego z torów zapobiec wypadnięciu drugiego toru. Stąd też I_{\max} należy przyjmować jako sumę wartości prądów płynących obu torami podczas ich pracy równoległej. Często też jako I_{\max} przyjmuje się wartość prądu dopuszczalnego długotrwale dla linii. Wartość współczynnika powrotu zależy od klasy danego przekładnika. Najczęściej wartość $k_p = 0,85 \div 0,95$. Miarą pewności działania zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego przy zwarcu metalicznym na końcu chronionej strefy jest wartość współczynnika czułości działania tego zabezpieczenia (k_c). Określony jest stosunkiem minimalnego prądu zwarcia na końcu strefy do wartości prądu rozruchowego przeliczonego na stronę pierwotną przekładników prądowych. Wartość współczynnika czułości k_c można obliczyć ze wzoru:

$$k_c = \frac{I_{z \min}}{I_r \cdot n_i}$$

gdzie: $I_{z \min}$ – najmniejsza wartość prądu zwarcowego w przypadku zwarcia metalicznego na końcu zabezpieczenia odcinka; pozostałe symbole objaśniono przy poprzednim wzorze.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne powinno spełniać jednocześnie funkcję zabezpieczenia podstawowego linii, na początku której jest zainstalowane oraz rezerwowego – dla elementów sąsiednich położonych dalej od źródła. Stąd też czułość zabezpieczenia należy sprawdzić dwukrotnie przyjmując punkt zwarcowy na końcu strefy podstawowej i rezerwowej.

Zgodnie z przepisami budowy i eksploatacji urządzeń elektroenergetycznych współczynnik czułości (k_c) nie powinien być mniejszy od:

1,5 dla zabezpieczenia podstawowego,

1,2 dla zabezpieczenia rezerwowego.

2. Określenie czasów działania zabezpieczeń zwłocznych

Z wykresu stopniowania czasowego zabezpieczeń nadprądowych zwłocznych (rys. 1.1b) wynika, że czasy działania zabezpieczeń rosną w miarę zbliżania się do źródła zasilania. Minimalna różnica czasów działania zabezpieczeń w dwóch sąsiednich rozdzielnicach nosi nazwę czasu stopniowania Δt . Czas stopniowania powinien być jak najkrótszy, aby możliwie najbardziej skrócić zwłoki czasowe zabezpieczeń. Powinien być jednak na tyle długi, aby zapewnić wybiórczość działania zabezpieczeń.

Czas stopniowania Δt składa się z następujących odstępów czasowych:

1. czasu własnego wyłącznika zainstalowanego na początku sąsiedniego, dalej położonego licząc od źródła, odcinka linii,
2. największego możliwego dodatniego uchybu członu czasowego zabezpieczenia na początku sąsiedniej, dalej położonej od źródła linii.
3. największego możliwego ujemnego uchybu członu czasowego rozważanego zabezpieczenia,
4. uchybu bezwładnościowego członu nadprądowego danego zabezpieczenia,
5. czasu rezerwy.

Po dodaniu poszczególnych czasów składowych otrzyma się czas stopnia czasowego Δt , którego wartość zawiera się w granicach $0,3 \div 0,7$ s; najczęściej przyjmuje się $\Delta t = 0,5$ s.

Po ustaleniu czasu stopnia czasowego możemy określić wartości zwłok czasowych poszczególnych zabezpieczeń w ciągu zasilającym zgodnie ze wzorem:

$$t_n = t_{(n+1)} + \Delta t$$

gdzie: t_n – zwłoka czasowa n-tego zabezpieczenia, $t_{(n+1)}$ – maksymalna zwłoka czasowa zabezpieczenia zainstalowanego w sąsiedniej rozdzielniczy usytuowanej dalej od źródła zasilającego, Δt – czas stopnia czasowego zabezpieczeń.

2.1 Zabezpieczenia nadprądowe bezzwłoczne

Zasadniczą wadą zabezpieczeń nadprądowych zwłocznych jest to, że zwarcia powstające w pobliżu źródła charakteryzują się prądami zwarciovymi o dużych wartościach i że są one wyłączane po stosunkowo długim czasie. Czas działania można w dużym stopniu ograniczyć przez uzupełnienie zabezpieczenia zwłocznego dodatkowym zabezpieczeniem nadprądowym bezzwłocznym. Wartość prądu rozruchowego określa się nie wg warunków obciążeniowych, lecz na podstawie warunków zwarciovego na końcu odcinka chronionego zabezpieczeniem zwłocznym, a powinno działać w przypadku wystąpienia zwarcia w pobliżu źródła zasilającego.

go. Na Rys. 2.1 pokazano odcinek linii jednostronnie zasilanej, łączącej stacje A i B a zasilanej ze stacji A. Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne nie powinno zadziałać w powstania przypadku zwarcia na szynach rozdzielnicy B, powinno zadziałać, kiedy zwarcie wystąpi między stacjami A i B w pewnej odległości od szyn stacji B. Spełnienie tego warunku wymaga, by prąd rozruchowy zabezpieczenia bezzwłocznego w stacji A był określony wzorem :

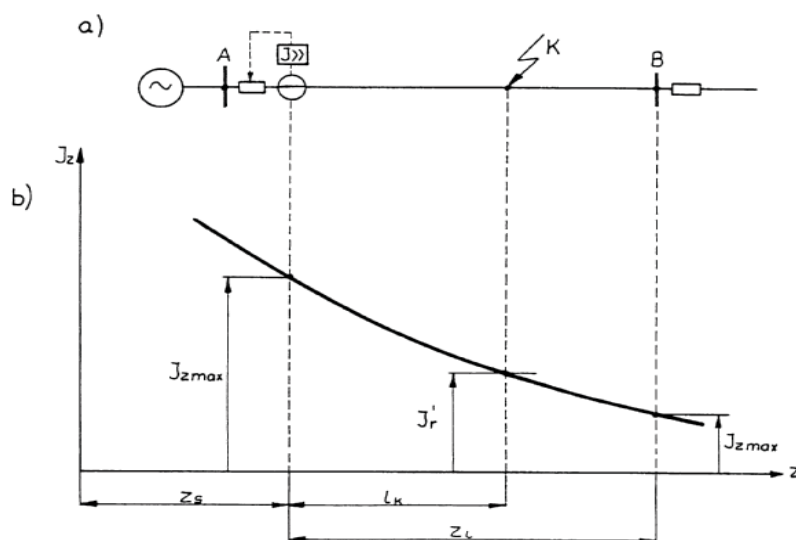
$$I_r \geq \frac{k_b I_{z \max}}{n_i}$$

gdzie :

k_b - współczynnik bezpieczeństwa

$I_{z \max}$ - największy prąd zwarciaowy przy zwarcu na szynach stacji B

n_i - przekładnia znamionowa przekładników prądowych



Rys. 2.1 Schemat linii promieniowej zasilającej od strony stacji A

- a) Uproszczony schemat linii z zabezpieczeniem nadprądowym bezzwłocznym.
- b) Wykres zależności prądu zwarciaowego od miejsca zwarcia.

Z_s – impedancja systemu do szyn stacji A;

Z_L – impedancja odcinka linii promieniowej AB;

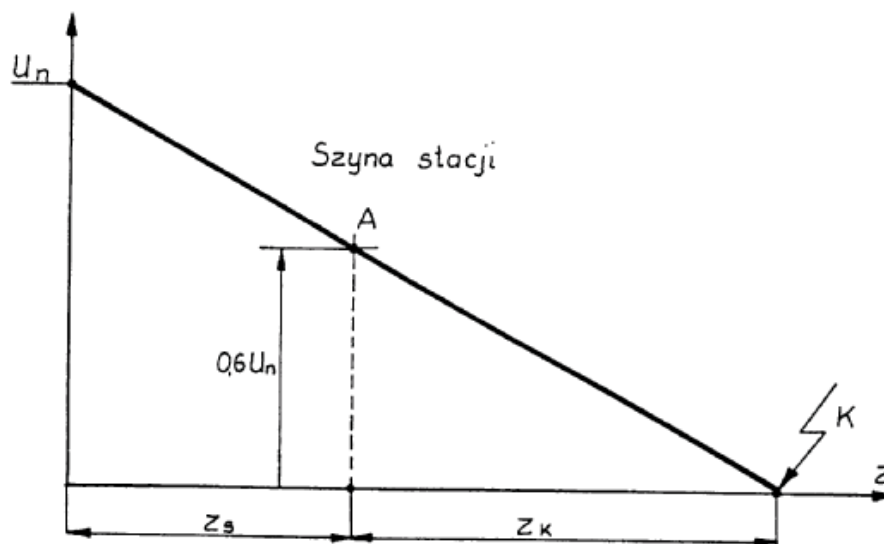
l_k – względna odległość miejsca zwarcia K od początku linii.

Współczynnik bezpieczeństwa uwzględniający wpływ składowej nieokresowej prądu zwarciaowego przyjmuje się $k_b=1,3 \div 1,6$. Wskutek zastosowania współczynnika bezpieczeństwa (k_b) we wzorze powyżej zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne w stacji A nie będzie obejmowało całego odcinka linii, lecz tylko część tego odcinka l_k (rys.2.1). Strefę objętą zabezpieczeniem bezzwłocznym (l_k) można wyznaczyć wykreślnie przez wyznaczenie miejsca przecięcia krzywej $I_z=f(Z)$ z prostą odpowiadającą wartości prądu rozruchowego I_r po stronie pierwotnej przekładników prądowych.

Celowość stosowania zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego jest uzasadniona ekonomicznie, jeśli długość strefy objętej tym zabezpieczeniem wynosi nie mniej niż 20% długości zabezpieczanej linii. Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne powinno być również wykorzystane do skracania czasu trwania nadmiernych obniżek napięcia w czasie działania zabezpieczeń nadprądowych zwłoczných. W tym celu należy dobrać wartość prądu rozruchowego w taki sposób aby zabezpieczenie to powodowało bezzwłoczne wyłączenie zwarcia, które powoduje obniżenie napięcia na szynach rozdzielnic A do wartości poniżej 60% napięcia znamionowego. Na rys.2.2 pokazano przykładowy przebieg zmian napięcia w linii promieniowej w przypadku wystąpienia zwarcia w miejscu K (rys.2.1 w3e sae za). Przy założeniu, że kąty fazowe impedancji Z_s i Z_k mają mało różniące się kąty fazowe, można napisać:

$$Z_k \geq 1,5 Z_s$$

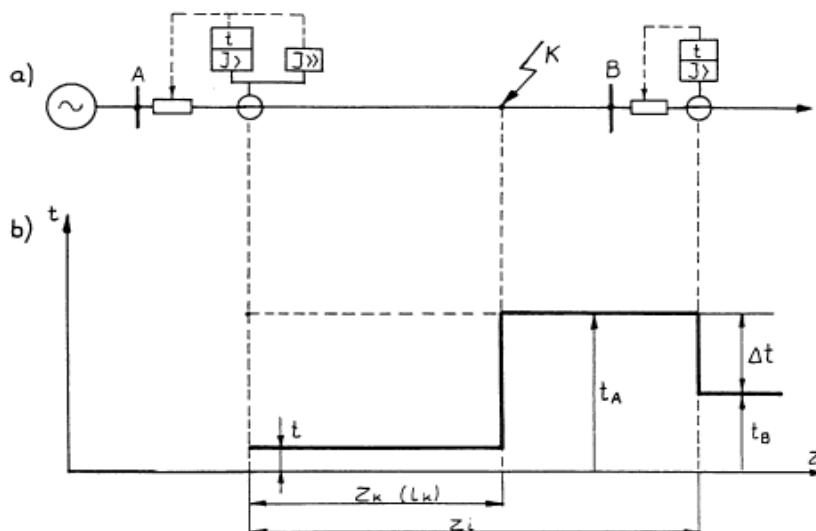
Przekładniki prądowe przeznaczone do współpracy z przekąźnikami nadprądowymi bezzwłocznymi powinny się charakteryzować dużą wartością liczby przetężeniowej.



Rys. 2.2 Przebieg zmian napięcia w linii promieniowej w przypadku zwarcia w miejscu K

Podstawową zaletą zabezpieczenia nadprądowego bezzwłocznego jest krótki czas działania, a jego wadą, że nie obejmuje całego odcinka linii promieniowej i tym samym nie może pełnić funkcji zabezpieczenia rezerwowego.

Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne wraz z zabezpieczeniem bezzwłocznym tworzą układ dwustopniowego zabezpieczenia linii promieniowej. Zastosowanie układu zabezpieczenia dwustopniowego umożliwia skrócenie czasów wyłączania zwarć w sieci. Na Rys. 2.3 pokazano uproszczony schemat fragmentu sieci i planu stopniowania czasów działania zabezpieczeń.



Rys. 2.3 Przykład stosowania zabezpieczenia nadprądowego dwustopniowego. a) uproszczony schemat fragmentu sieci, b) plan stopniowania czasów działania zabezpieczeń.

2.2 Zabezpieczenia ziemnozwarciowe

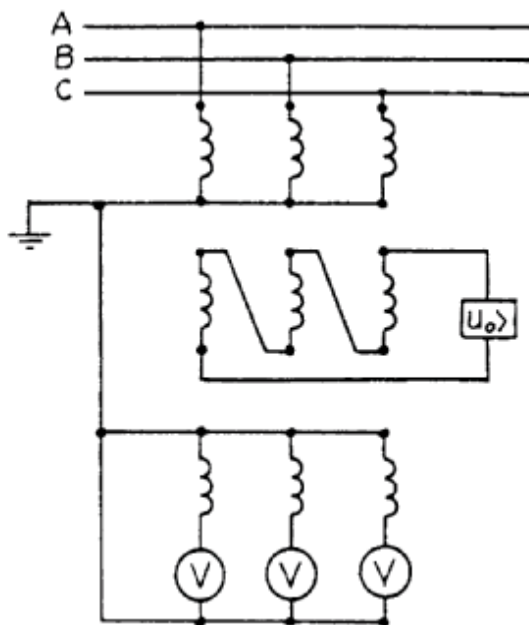
W sieciach elektroenergetycznych najczęściej występującym zakłócenia o charakterze zwarciowym są pojedyncze zwarcia z ziemią. Zależnie od wartości prądu ziemnozwarciowego w układzie sieciowym, sieci dzieli się na układy o małym prądzie zwarcia z ziemią ($I_Z \leq 500\text{A}$) i dużym prądzie ($I_Z > 500\text{A}$). Zdecydowana większość krajowych sieci ŚN należy do pierwszej grupy. Sieci ŚN mogą pracować z punktem zerowym:

- izolowanym,
- uziemionym przez reaktancję,
- uziemionym przez rezystancję,
- uziemionym bezpośrednio.

Krajowe sieci ŚN napowietrzne, kablowe, napowietrzno-kablowe i kablowo-napowietrzne pracują o izolowanym punkcie zerowym uziemionym przez reaktancję (skompensowane) i uziemionym przez rezystancję.

ZABEZPIECZENIA NAPIĘCIOWE ZEROWE

Do kontroli stanu izolacji w sieci oraz sygnalizacji powstałych doziemień w sieciach o małych prądach zwarcia z ziemią stosuje się zabezpieczenia napięciowe zerowe. Na Rys. 2.4 pokazano układ do sygnalizowania powstałych zwarć z ziemią o nieuziemionym bezpośrednio punkcie zerowym. Można dodatkowo stosować układ trzech woltomierzy do identyfikacji fazy doziemionej w sieci.



Rys. 2.4 Układy sygnalizacji zwarć doziemnych w sieciach o nieziemionym bezpośrednio punkcie zerowym

Przełącznik napięciowy nastawia się na 30÷60% składowej zerowej napięcia przy metalicznym doziemieniu fazy ($U_0 = 100V$). Wskazane jest stosowanie zwłoki ~0,5s w działaniu tego zabezpieczenia.

ZABEZPIECZENIE ZEROWE PRĄDOWE

Zabezpieczenia zeroprądowe służą do wybiórczego wyszukiwania linii z doziemieniem w sieci. Reagują na wartość prądu składowej zerowej. Wybiórczość opiera się na wykorzystaniu okoliczności, że wartość prądu zerowego płynąca w linii uszkodzonej jest największa. Rozwiązania takie stosowane są w sieciach o izolowanym punkcie zerowym i uziemionym przez rezystancję. W sieciach o izolowanym punkcie zerowym zabezpieczenia nadprądowe działają skutecznie w przypadku, kiedy z szyn zbiorczych zasilanych jest kilka linii (6 i więcej) i kiedy ich pojemnościowe prądy ziemnozwarciowe własne mają zbliżone wartości. W sieciach kablowych stosuje się układy zasilane z filtrów składowej zerowej (przekładnik Ferranti) a w sieciach napowietrznych układy trzech przekładników (układ Holmgreena).

Prąd rozruchowy zabezpieczenia dla linii kablowej powinien spełniać warunek:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_W}{n_i}$$

A czułość oblicza się ze wzoru:

$$k_c \leq \frac{I_{ZC} - I_W}{I_r \cdot n_i}$$

Prąd rozruchowy zabezpieczenia składającego się z układu Holmgreena

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_w + I_u}{n_i}$$

Współczynnik czułości oblicza się ze wzoru:

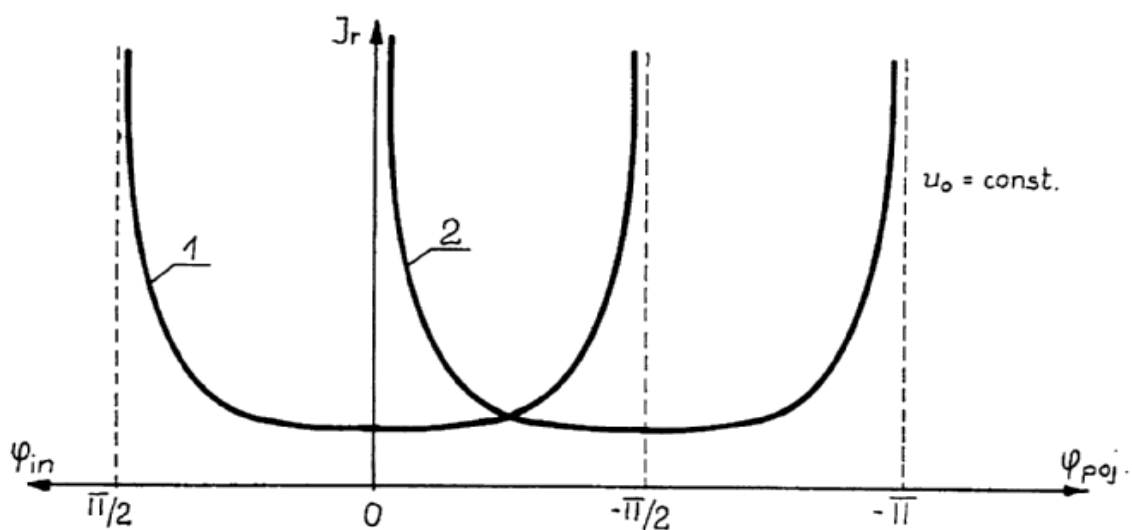
$$k_c \leq \frac{I_{zc} - (I_w + I_u)}{I_r \cdot n_i}$$

We wzorach powyżej użyte symbole oznaczają: I_{zc} – całkowity pojemnościowy prąd ziemnozwarciowy w sieci, I_w – pojemnościowy prąd własny zabezpieczanej linii; k_b – współczynnik bezpieczeństwa przyjmowany dla zabezpieczeń zwłoczných $k_b = 1,5 \div 2,0$, a dla bezzwłoczných $k_b = 3 \div 4$; I_u – pierwotny prąd uchybowy układu Holmgreena określany: $I_u = 0,02 I_{nl}$, gdzie I_{nl} – znamionowy prąd pierwotny przekładników. Zaletą zabezpieczenia nadprądowego zerowego jest prostota rozwiązania, mały koszt i relatywnie duża czułość prądowa układów z przekładnikami typu Ferranti ($\sim 0,3A$).

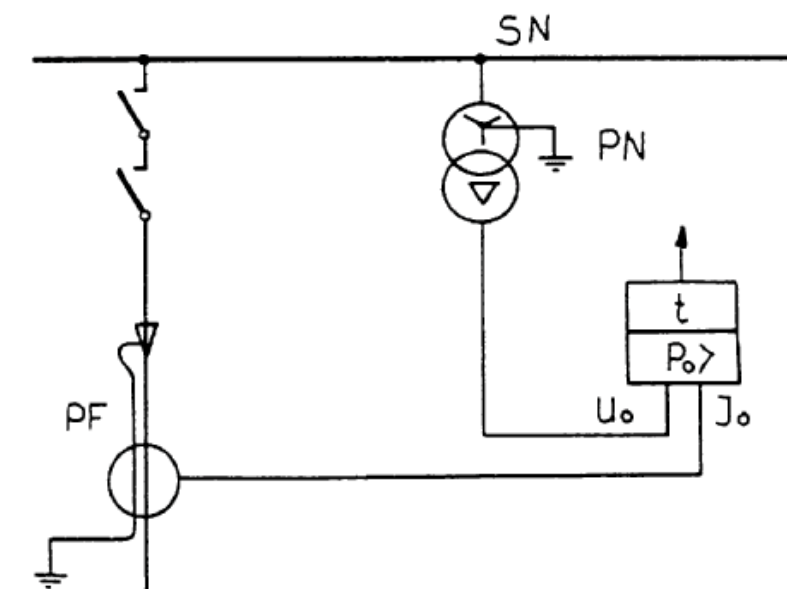
ZABEZPIECZENIA KIERUNKOWE MOCOWE

Zabezpieczenia ziemnozwarciowe kierunkowe mocowe stosuje się w przypadku takich konfiguracji sieci, w których składowa zerowa prądu nie stanowi wystarczającego kryterium do wyszukiwania linii z doziemieniem. Zabezpieczenia kierunkowe mocowe wyposażane są w człon napięciowy i człon prądowy. Cewki napięciowe zasilane są z filtrów składowej zerowej, najczęściej z układu otwartego trójkąta przekładników napięciowych, a człon prądowy zasilany jest z przekładnika ziemnozwarciowego typu Ferranti lub układu Holmgreena.

W układach sieciowych o izolowanym punkcie zerowym stosuje się przekaźniki biernomocowe (sinusowe), a w sieciach skompensowanych i z punktem zerowym uziemionym przez rezystor przekaźniki czynnomocowe (cosinusowe). Aby zabezpieczenia kierunkowe mocowe mogły działać wybiórczo w sieci muszą spełniać określone wymagania w zakresie przebiegów charakterystyk rozruchowych $I_r=f(\varphi)$ przy $U_0=const$. Na Rys. 2.5 przedstawiono przykładowe charakterystyki zabezpieczeń ziemnozwarciowych czynno i biernomocowych. Parametrem charakteryzującym przebiegi krzywych $I_r=f(\varphi)$ przy $U_0=const$ jest ich kąt wewnętrzny, który określa największą czułość zabezpieczenia. Uproszczony schemat funkcjonalny zabezpieczenia kierunkowego czynnomocowego pokazano na Rys. 2.6.



Rys. 2.5 Charakterystyki rozruchowe zabezpieczeń kierunkowych mocowych $I_r=f(\varphi)$ przy $U_0=\text{const}$: 1-czynnomocowych, 2-biennomocowych



Rys. 2.6 Schemat funkcjonalny zabezpieczenia kierunkowego czynnomocowego linii kablowej $\acute{S}N$

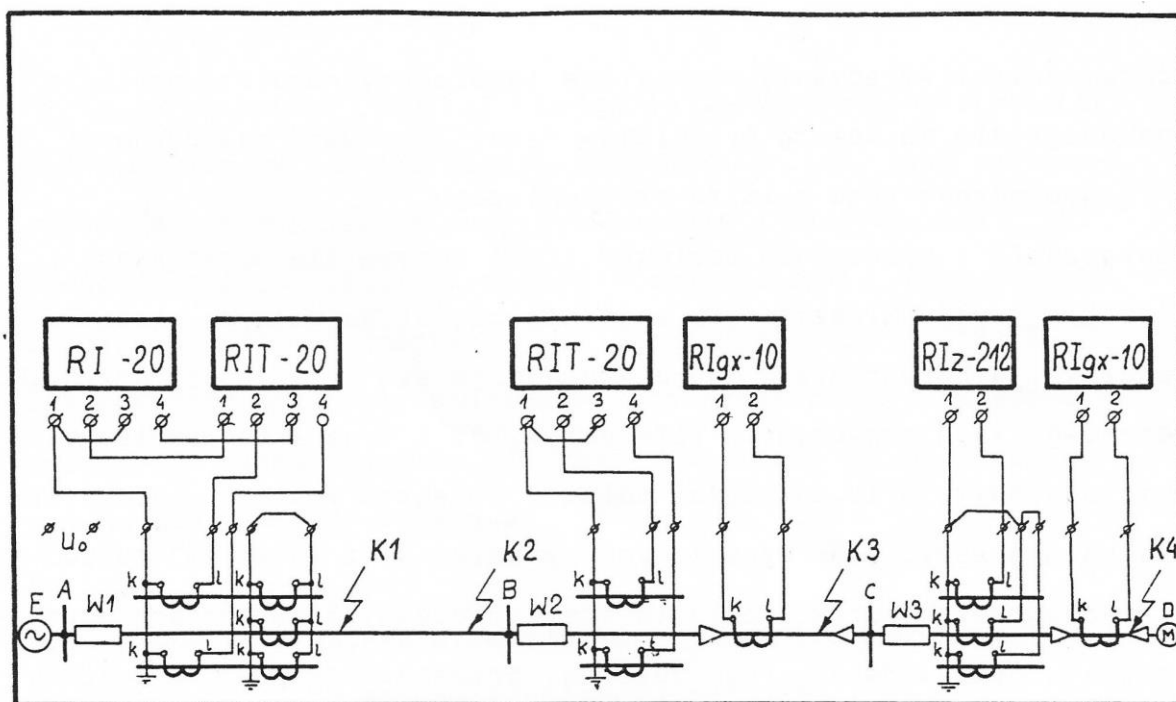
3. Ćwiczenie laboratoryjne

Celem ćwiczenia jest zapoznanie z elementami składowymi zabezpieczeń nadprądowych zwłoczących, bezzwłoczących i ziemnozwarciowych przeznaczonych do ochrony linii kablowych i napowietrznych jednostronnie zasilanych. Poznanie zasady stopniowania czasów działania zabezpieczeń zwłoczących, wzorów do obliczania wartości prądów rozruchowych i współczynników czułości działania układów.

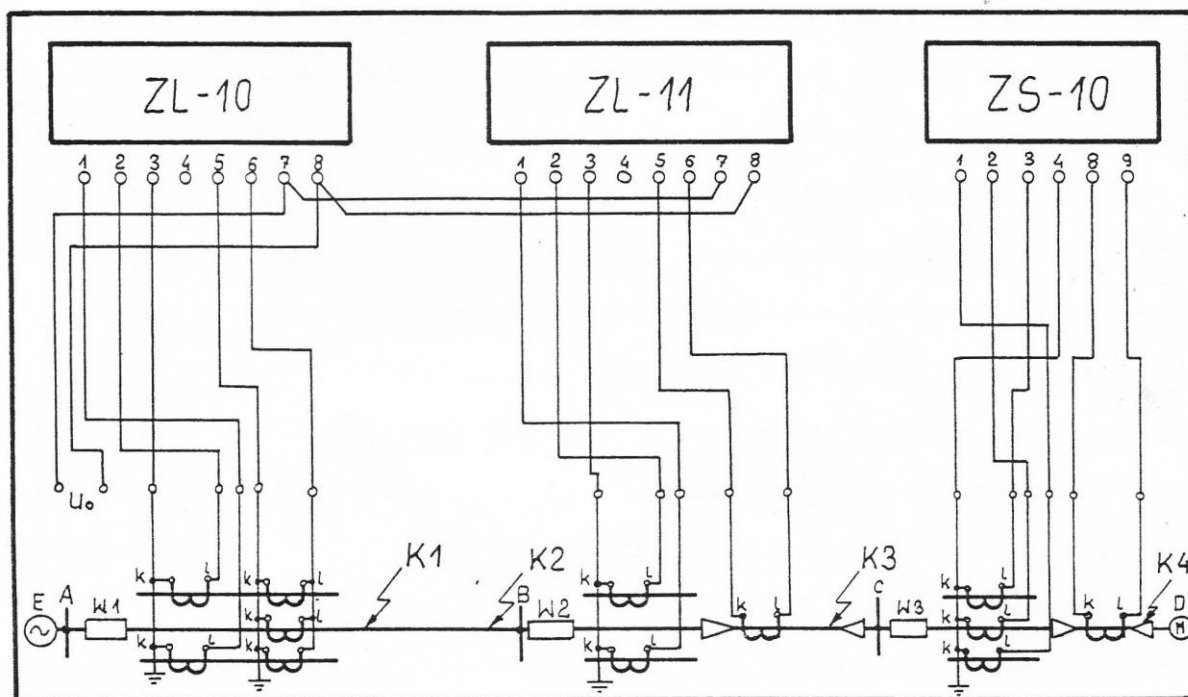
3.1 STANOWISKO LABORATORYJNE

Na stanowisku laboratoryjnym zabudowano model fizyczny odwzorowujący fragment sieci elektroenergetycznej $\acute{S}N$, który składa się z trzech odcinków linii jednostronnie zasilanych.

Pierwszy odcinek, licząc od źródła zasilania, jest linią napowietrzną, drugi – linią kablową, a trzeci – również linią kablową, przeznaczoną do zasilania silnika elektrycznego 6kV. Do ochrony każdego odcinka przewidziano po dwa niezależne zestawy zabezpieczeniowe. Jeden zestaw składa się z indywidualnych przekaźników zasilanych z przekładników prądowych znajdujących się na początku każdego odcinka, przy czym jeden przekaźnik w układzie stanowi jeden rodzaj zabezpieczenia. Są to rozwiązania tradycyjnie stosowane i przeważnie opierają się na przekaźnikach elektro mechanicznych. Drugi niezależny układ na początku każdego odcinka stanowi zestaw automatyki zabezpieczeniowej typu SMAZ. Odpowiednio do rodzaju chronionego obiektu zastosowano ZL-10 (odcinek pierwszy –linia napowietrzna), ZL-11 (odcinek drugi –linia kablowa) i ZS –10 (odcinek trzeci –linia kablowa i silnik 6kV). Na Rys. 3.1 pokazano sposób podłączenia indywidualnych przekaźników do zasilania z przekładników prądowych, a na Rys. 3.2 – zasilanie elektronicznych zestawów automatyki zabezpieczeniowej SMAZ.



Rys. 3.1 Schemat połączenia zabezpieczeń klasycznych na stanowisku laboratoryjnym



Rys. 3.2 Schemat połączenia zespołów automatyki zabezpieczeniowej na stanowisku laboratoryjnym

Załączanie i wyłączenie stanowiska laboratoryjnego pod napięciem dokonuje się za pomocą przycisków "zał" i "wył" umieszczonych w górnej części pulpitu na początku odcinka. Wybór rodzaju zwarcia dokonuje się przy pomocy przycisków sterowniczych oznaczonych literami A, B, C oraz Z (doziemienie) umieszczonymi w lewej części pulpitu. Miejsce zwarcia wybiera się za pomocą przycisków oznaczonych symbolem K (z indeksem) zabudowanych w dolnej części pulpitu sterowniczego. Sekundomierz umieszczony w prawym dolnym rogu pulpitu, przeznaczony jest do pomiaru czasu trwania zwarcia (czasu działania zabezpieczeń) niezależnie w którym miejscu układu zwarcie zostanie wykonane. Miejsce wystąpienia zwarcia sygnalizowane jest zapaleniem się czerwonej lampki. Po dokonaniu wyboru rodzaju i miejsca zwarcia przez przyciśnięcie przycisku K zmiana zarówno rodzaju, jak i miejsca zwarcia jest niemożliwa. Zwarcie w K_1 jest zakłóceniem w strefie działania zabezpieczenia bezwłocznego pierwszego odcinka AB. Wyłączenie wyłącznika na początku danego odcinka sygnalizowane jest zmianą położenia odpowiedniego wskaźnika położenia i zgaśnięciem zielonej lampki. Wyłączenie wyłącznika powoduje wyeliminowanie odcinka z zakłóceniem i jednoczesnym skasowaniem zaprogramowanego rodzaju zwarcia. Zmianę rodzaju zwarcia można przeprowadzić po ponownym załączeniu wyłączonego odcinka linii. Przełączniki BLOKADA W2 i BLOKADA W3 uniemożliwiają sprawdzenie rezerwowania zabezpieczeń nadprądowych zwłocznych. Przez załączenie BLOKADY W2 następuje typowanie zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego pierwszego odcinka linii jako rezerwowego dla zabezpieczenia drugiego odcinka a załączenie W3 jest równoznaczne z przejściem funkcji zabezpiecze-

nia nadprądowego zwłocznego odcinka drugiego jako rezerwowego dla odcinka 3. Sekundomierz mierzy czas działania zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego danego odcinka. Po każdym pomiarze zwłoki czasowej sekundomierz należy wyzerować.

3.2 Ogólna charakterystyka przekaźników i zespołów zamontowanych na stanowisku laboratoryjnym

Na płycie czołowej stanowiska laboratoryjnego zamontowano następujące typy przekaźników indywidualnych i zespołów automatyki zabezpieczeniowej.

UKŁADY KLASYCZNE

RI₀ – 20. Zabezpieczenie nadprądowe bezzwłoczne pierwszego odcinka linii napowietrznej AB. Zbudowany z elektromagnetycznych członów nadprądowych bezzwłocznych i członu pomocniczego.

RIT – 20. Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne odcinka linii napowietrznej AB i kablowej BC. Przekaźnik zbudowany jest z : elektromagnetycznych członów nadprądowych bezzwłocznych i elektromechanicznego członu czasowego.

RI_{gx} – 10. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe nadprądowe odcinków linii BC i CD.

Przekaźnik dostosowany do współpracy z przekładnikiem Ferrantiego względnie z układem przekładników prądowych (układ Holmgrena).

Riz-212. Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne zależne i zwarciove odcinka linii CD łącznie z silnikiem 6kV.

Przekaźnik składa się z członu zwłocznego indukcyjnego sprzężonego, elektromagnetycznego członu bezzwłoczno sprzężonego z członem indukcyjnym oraz jednego zestyku.

ZESPOŁY AUTOMATYKI ZABEZPIECZENIOWEJ

ZL-10. Zespół zabezpieczeniowy systemu SMAZ przeznaczony do ochrony linii napowietrznej (odcinek AB).

Składa się z następujących zabezpieczeń i układów:

- zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego – pole 5 (komponent **IT_x**), nastawa prądowa $I>/A$ - góra komponentu, nastawa zwłoki czasowej T/s dół komponentu,
- zabezpieczenia zwarciovego – pole 4 (komponent **IT_x**), nastawa prądowa $I>>/A$ góra komponentu, nastawa zwłoki czasowej T/s dół komponentu,
- zabezpieczenia ziemnozwarciowego kierunkowego mocowego – pole 6 (komponent **Pox**), nastawa prądowa \rightarrow - dół komponentu, nastawa zwłoki czasowej góra komponentu T/s w polu 7,
- automatyki SPZ,

- automatyki SCO i SPZ poSCO,
- układu do współpracy z telemechaniką,
- układu testowania i pomiarów kontrolnych.
- układ sygnalizacji wewnętrznej rozruchu i zadziałania jest realizowany w komponencie **S5** w polu nr 8.

I> - pobudzenie zabezpieczenia przeciążeniowego,

>T - zadziałanie zabezpieczenia przeciążeniowego po nastawionym czasie,

>>T - zadziałanie zabezpieczenia zwarciovego,

P₀T - zadziałanie zabezpieczenia kątownego z czasem nastawionym,

RN - rozbrajanie napędu wyłącznika.

Sygnalizacja zewnętrzna zadziałania jest realizowana przez styki zwierne zespołu.

Układ testowania i pomiarów kontrolnych jest realizowany w komponencie pola 24, a jego działanie polega na wciśnięciu specjalnego przycisku oznaczonego „TEST”.

Nastawienie wartości rozruchowych dokonuje się przez wciśnięcie i przekręcenie o kąt 90° przycisku nastawnika. Wartość nastawiona równa się sumie wartości wciśniętych przycisków oraz wartości początkowej podanej nad nastawnikiem.

ZL-11. Zespół zabezpieczeniowy systemu SMAZ przeznaczony do ochrony linii kablowej (odcinek BC).

Składa się z następujących zabezpieczeń i układów:

- zabezpieczenia nadprądowego zwłocznego – pole 5 (komponent **ITx**), nastawa prądowa I>/A - góra komponentu, nastawa zwłoki czasowej T/s dół komponentu,
- zabezpieczenia zwarciovego – pole 4 (komponent **ITx**), nastawa prądowa I>>/A góra komponentu, nastawa zwłoki czasowej T/s dół komponentu,
- zabezpieczenia ziemnozwarciowego kierunkowego mocowego – pole 6 (komponent **Pox**), nastawa prądowa → - dół komponentu, nastawa zwłoki czasowej góra komponentu T/s w polu 7,
- automatyki SPZ,
- automatyki SCO i SPZ poSCO,
- układu do współpracy z telemechaniką,
- układu testowania i pomiarów kontrolnych.
- układ sygnalizacji wewnętrznej rozruchu i zadziałania jest realizowany w komponencie **S5** w polu nr 8.

I> - pobudzenie zabezpieczenia przeciążeniowego,

>T - zadziałanie zabezpieczenia przeciążeniowego po nastawionym czasie,

- >>T - zadziałanie zabezpieczenia zwarciovego,
- P₀T - zadziałanie zabezpieczenia kątownego z czasem nastawionym,
- RN - rozbrajanie napędu wyłącznika.

Sygnalizacja zewnętrzna zadziałania jest realizowana przez styki zwierne zespołu. Układ testowania i pomiarów kontrolnych jest realizowany w komponencie pola 24, a jego działanie polega na wciśnięciu specjalnego przycisku oznaczonego „TEST”.

Nastawienie wartości rozruchowych dokonuje się przez wciśnięcie i przekręcenie o kąt 90° przycisku nastawnika. Wartość nastawiona równa się sumie wartości wciśniętych przycisków oraz wartości początkowej podanej nad nastawnikiem.

ZS-10. Zespół zabezpieczeniowy systemu SMAZ przeznaczony do ochrony silników asynchronicznych wysokiego napięcia o mocy do 2MW.

Zespół składa się z następujących zabezpieczeń i układów:

- zabezpieczenia przeciążeniowego – pole 5 (komponent **Kx**), nastawa prądowa – I_{nast}/A , nastawa zwłoki czasowej (stałe grzania i stygnięcia stali i miedzi) pola 7 i 8,
- zabezpieczenia zwarciovego (nadprądowe zwłoczne) – pole 4 (komponent **IT**), nastawa prądowa $I>>/A$ - góra komponentu, nastawa zwłoki czasowej T/s - dół komponentu,
- zabezpieczenia ziemnozwarciowego nadprądowe czasowe (komponent **ITx**) – pole 5, nastawa prądowa $I>A$ - góra komponentu, nastawa zwłoki czasowej T/s - dół komponentu,
- układu do współpracy z telemekaniką,
- układu testowania i pomiarów kontrolnych.
- układ sygnalizacji wewnętrznej rozruchu i zadziałania jest realizowany w komponencie **S4** w polu nr 10.

- >>T - zadziałanie zabezpieczenia zwarciovego,
- I₀T - zadziałanie zabezpieczenia ziemnozwarciowego,
- Iż - zadziałanie zabezpieczenia przeciążeniowego,
- N< - zadziałanie grupowe zabezpieczenia podnapięciowego.

- Sygnalizacja zewnętrzna zadziałania jest realizowana przez styki zwierne zespołu. Układ testowania i pomiarów kontrolnych jest realizowany w komponencie pola 18, a jego działanie polega na wciśnięciu specjalnego przycisku oznaczonego „TEST”.

Nastawienie wartości rozruchowych dokonuje się przez wciśnięcie i przekręcenie o kąt 90° przycisku nastawnika. Wartość nastawiona równa się sumie wartości wciśniętych przycisków oraz wartości początkowej podanej nad nastawnikiem.

3.3 PRZEBIEG ĆWICZENIA

Przed przystąpieniem do odrabiania ćwiczenia, każda grupa powinna policzyć (w domu) nastawy zabezpieczeń linii wskazanej przez prowadzącego według wariantów z tabeli 3.1. Jeśli prowadzący nie wskaże wariantu obliczeniowego, wówczas zakłada się, że wynika on z numeru grupy.

Tablica 3.1 Warianty danych do obliczania nastawień zabezpieczeń

Nr wariantu	Odcinek linii	l	I _{dd}	X _i	R _i	I _w	I _{zc}
		km	A	Ω/km	Ω/km	A	A
Nr I U _n = 6000 V S _z = 150MVA	AB	2,3	470	0,4	0,19	1,45	55
	BC	1,5	370	0,1	0,13	0,675	
	CD	0,25	-	0,1	0,59	0,63	
	Silnik; P = 250 kW, cosφ = 0,84, η = 94,3 %, k _r = 4,4						
Nr II U _n = 6000 V S _z = 100MVA	AB	2,5	350	0,4	0,31	1,73	60
	BC	1,6	270	0,1	0,19	0,855	
	CD	0,3	-	0,1	1,17	0,672	
	Silnik; P = 160 kW, cosφ = 0,82, η = 93,6 %, k _r = 4,2						
Nr III U _n = 6000 V S _z = 120MVA	AB	1,5	170	0,4	0,41	2,4	48
	BC	1,2	165	0,1	0,41	1,01	
	CD	0,1	-	0,1	3,03	0,78	
	Silnik; P = 175 kW, cosφ = 0,77, η = 91,1 %, k _r = 4,1						
Nr IV U _n = 6000 V S _z = 110MVA	AB	1,6	470	0,4	0,19	2,0	49
	BC	0,8	270	0,1	0,19	0,7	
	CD	0,3	-	0,1	1,17	0,3	
	Silnik; P = 125 kW, cosφ = 0,81, η = 93,5 %, k _r = 4,5						

Kolejność wykonywania obliczeń.

1. Obciążenie poszczególnych odcinków linii.

Dla odcinków AB i BC jako największe wartości prądów roboczych przyjmuje się prądy długotrwale dopuszczalne, a dla odcinka CD, prąd znamionowy silnika 6 kV.

2. Dobór przekładników prądowych.

Przekładnie znamionowe przekładników prądowych dobiera się na podstawie znajomości **największych wartości prądów roboczych** obciążających odcinki linii.

Na początku odcinka AB znajduje się filtr składowej zerowej prądu zestawiony z przekładników prądowych 500/5 A/A tworzących układ Holmgreena (**uwaga:** przekładnia 500/5 nie dotyczy przekładników zasilających zabezpieczenia nadprądowe).

Na początku linii BC i CD zainstalowano przekładniki Ferrantiego o przekładni 1/120.

3. Warunki zwarcia na szynach stacji.

Wartość początkową składowej okresowej prądu zwarcia trójfazowego i dwufazowego oblicza się ze wzoru;

$$I_{z3f} = \frac{1,1U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_s + Z_w|} ; I_{z2f} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{z3f}$$

gdzie; Z_s – impedancja systemu do szyn stacji;

Z_w – impedancja wypadkowa od szyn stacji do miejsca zwarcia.

4. Prądy rozruchowe poszczególnych rodzajów zabezpieczeń:

a) nadprądowe bezzwłoczne (stacja A)

$$I_r \geq \frac{k_b I_{z3fB}}{n_i}$$

b) nadprądowe bezzwłoczne od skutków zwarć w silniku 6 kV (stacja C)

$$I_r \geq \frac{k_b k_r I_{ns}}{k_p n_i}$$

c) nadprądowe zwłoczne (stacja A i B)

$$I_r \geq \frac{k_b k_s k_r I_m}{k_p n_i}$$

d) nadprądowe zwłoczne od skutków przeciążenia silnika (stacja C)

$$I_r = \frac{k_b I_{ns}}{k_p n_i}$$

5. Czasy działania zabezpieczeń zwłocznych nadprądowych,

czas działania zabezpieczenia bezzwłocznego silnika w stacji C; $t_C = 0$ s

stacje A i B;

$$t_B = t_C + \Delta t,$$

$$t_A = t_B + \Delta t$$

6. Prądy rozruchowe zabezpieczeń ziemnozwarciowych:

a) odcinek AB (linia napowietrzna)

$$I_r \geq \frac{k_b I_W + I_U}{n_i} \text{ gdzie - (} I_U = 0,02 I_{In} \text{)}$$

a) odcinek BC i CD (linie kablowe)

$$I_r \geq \frac{k_b I_W}{n_i}$$

7. Sprawdzenie czułości działania zabezpieczeń :

a) nadprądowe zwłoczne

$$k_c = \frac{k_s \cdot I_{zmin}}{I_r \cdot n_i}$$

zabezpieczenie rezerwowe $k_{cr} \geq 1,2$

zabezpieczenie podstawowe $k_{cp} \geq 1,5$

b) zabezpieczenie ziemnozwarciowe

zabezpieczenie z układem Holmgrena

$$k_c = \frac{I_{zc} - (I_w + I_n)}{I_r n_i} \quad k_c \geq 2$$

układ z przekładnikiem Ferantiego

$$k_c = \frac{I_{zc} - I_w}{I_r n_i} \quad k_c \geq 2$$

Nastawienie i sprawdzenie zabezpieczeń.

Uzyskane wyniki obliczeń zestawia się w tablicach, a następnie na elementach układów zabezpieczeniowych wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia nastawia wartości prądów rozruchowych i czasy działania. Po nastawieniu przystępuje się do sprawdzania działania poszczególnych zabezpieczeń. Dokonuje się zwarć w punktach K₁, K₂, K₃, K₄. Sprawdzenie rezerwowania zabezpieczeń dokonuje się dla przypadku zwarcia 3-fazowego. Blokowanie działania zabezpieczeń odcinka BC i CD odbywa się przez ustawienie odpowiednich przełączników blokady W2 i W3. Wyniki sprawdzeń odnotowuje się w tablicy. Na podstawie otrzymanych wyników sprawdzeń, prób i pomiarów przeprowadza się ich analizę oraz wyciąga się i zapisuje odpowiednie wnioski.

Tablica 3.2 Zestawienie wyników obliczeń dla odcinka AB

Rodzaj zabezpieczenia	Prąd rozruchu	Wsp. czułości		Zabezpieczenia klasyczne	Zespół automatyki zabezpieczeniowej
		k_{cp}	k_{cr}	Czas nastawiony	Czas nastawiony
	I_r	-	-	t_n	t_n
	A	-	-	s	s
nadprądowe bezzwłoczne					
nadprądowe zwłoczne					
ziemno-zwarciove					

Tablica 3.3 Zestawienie wyników obliczeń dla odcinków BC i CD

Odcinek	Rodzaj zabezpieczenia	Prąd rozruchu	Wsp. czułości		Zabezpieczenia klasyczne	Zespół automatyki zabezpieczeniowej
			k_{cp}	k_{cr}	Czas nastawiony	Czas nastawiony
		I_r	-	-	t_n	t_n
		A	-	-	s	s
BC	nadprądowe zwłoczne					
	ziemno-zwarciove					
CD	nadprądowe bezzwłoczne					
	ziemno-zwarciove					

Tablica 3.4 Rezerwowanie zabezpieczeń

Zabezpieczenie Zwłoczne odcinka	Zwarcie w p. K 4, nie działa zabezpieczenie 3		Zwarcie w p. K 3, nie działa zabezpieczenie 2	
	Zadziałanie	t_w	Zadziałanie	t_w
		s		s
AB				
BC			nie	
CD	nie			

Tablica 3.5 Sprawdzenie działania zespołów automatyki zabezpieczeniowej

[illegible]

Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonego ćwiczenia należy napisać wnioski dotyczące poprawności i skuteczności działania zabezpieczeń linii SN.