



Specyfika elektroenergetycznej automatyki zabezpieczeniowej transformatorów z kątową regulacją przekładni

Piotr Suchorolski, Wojciech Szweicer,
Hanna Dytry, Marcin Lizer
Instytut Energetyki



Plan prezentacji

1. Co to jest EAZ?
2. Układy regulacji związane z transformatorami
3. Zabezpieczenie różnicowe
4. Transformatory z kątową regulacją przekładni
5. Zabezpieczenia różnicowe przesuwników
6. Zabezpieczenie od przewzbudzenia (U/f)
7. Podsumowanie



INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni

3 / 57

Część 1

CZYM JEST EAZ?



Czym jest EAZ?

Elektroenergetyczna Automatyka Zabezpieczeniowa
(EAZ)

Układ automatyki wykrywający zakłócenia i
zapobiegający ich skutkom – w ramach systemu
elektroenergetycznego.



Czym jest EAZ?

Do EAZ należą zarówno proste zabezpieczenia niskiego napięcia, jak i bardziej skomplikowane układy.





Czym jest EAZ?

Konieczność stosowania dedykowanych urządzeń do zabezpieczeń wynika z rozmiaru skutków, jakie towarzyszą zakłócenia.

Zakłóceniami są głównie zwarcia.

Każdy obiekt w systemie ma własne urządzenia zabezpieczeniowe.



Czym jest EAZ?

Wymagania stawiane urządzeniom EAZ:

- szybkość,
- niezawodność (w tym rezerwowanie),
- selektywność (wyłączanie tylko tych obiektów, które potrzeba),
- czułość (działanie w każdym przypadku zakłócenia),



Czym jest EAZ?

Wymagania stawiane urządzeniom EAZ (c.d.):

- bezpieczeństwo (niedziałanie, gdy nie potrzeba),
- ekonomiczność
- itp.



Czym jest EAZ?

EAZ składa się z trzech głównych działów:

- prewencyjna – układy regulacji;
- eliminacyjna – wyłącza uszkodzone elementy zapobiegając ich zniszczeniom oraz rozprzestrzenieniu się zakłócenia;
- restytucyjna – przywraca układ do poprzedniej pracy, jeśli zakłócenie minęło.



Czym jest EAZ?

Generalna zasada jest taka, że zabezpieczenia nie powinny wyręczać systemowych układów regulacji.

Zabezpieczenia działają tylko wtedy, gdy układy regulacji nie są w stanie odpowiednio zareagować (np. w przypadku zwarcí) lub same ulegną uszkodzeniu.



Czym jest EAZ?

Układy EAZ działają głównie na zasadzie pomiaru wielkości elektrycznych, jak prąd lub napięcie.

Dzieje się tak, ponieważ stałe czasowe zjawisk elektrycznych są krótsze niż zjawisk mechanicznych i cieplnych i można szybciej zareagować na groźną sytuację.



Czym jest EAZ?

Istnieją również urządzenia, które reagują na inne zjawiska, a które są zaliczane do EAZ:

- przekaźniki gazowo-przepływowe,
- układy pomiaru temperatury.



INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni

13 / 57

Część 2

REGULACJA NAPIĘCIA TRANSFORMATORA



Regulacja napięcia transformatora

Regulowanie napięcia jest wymaganiem ekonomicznym, związanym z całym systemem.

Elementami, które najwygodniej nadają się do regulacji napięcia, są generatory i transformatory.



Regulacja napięcia transformatora

W przypadku transformatorów regulacja napięcia odbywa się za pomocą przełącznika zaczepek, który pozwala skokowo zmieniać przekładnię transformatora.



Regulacja napięcia transformatora

Zmiana przekładni transformatora wpływa na wartość prądu obciążenia transformatora, a co za tym idzie, zmienia warunki pracy zabezpieczeń (obniżenie napięcia powoduje zwiększenie prądu, aby zachować tę samą moc).

Wymaganie bezpieczeństwa narzuca brak działania zabezpieczeń w stanie normalnej pracy.



Regulacja napięcia transformatora

Większość zabezpieczeń jest stosunkowo prosta i nie otrzymuje informacji o zmianie przekładni.

Zwykle odróżnienie stanu zwarcia od obciążenia nie jest trudne i większość zabezpieczeń można nastawiać w odniesieniu do najniższego zaczepek (tego o największej wartości prądu).



Regulacja napięcia transformatora

Na wpływ zmiany przekładni najbardziej podatne są zabezpieczenia różnicowe.



INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni

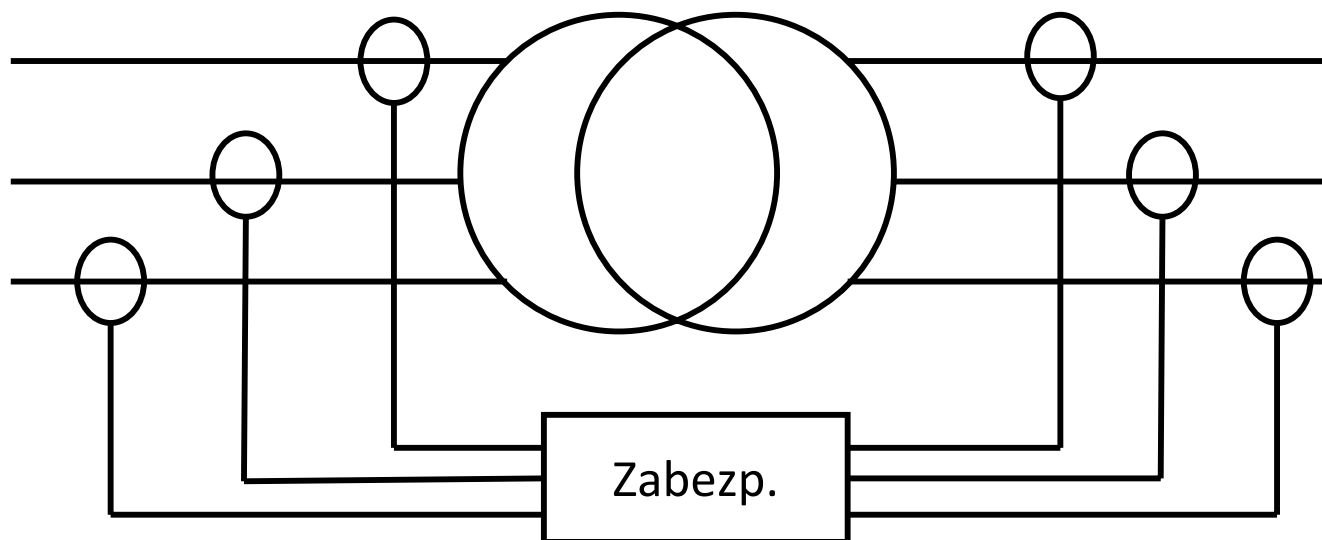
19 / 57

Część 3

ZABEZPIECZENIE RÓŻNICOWE

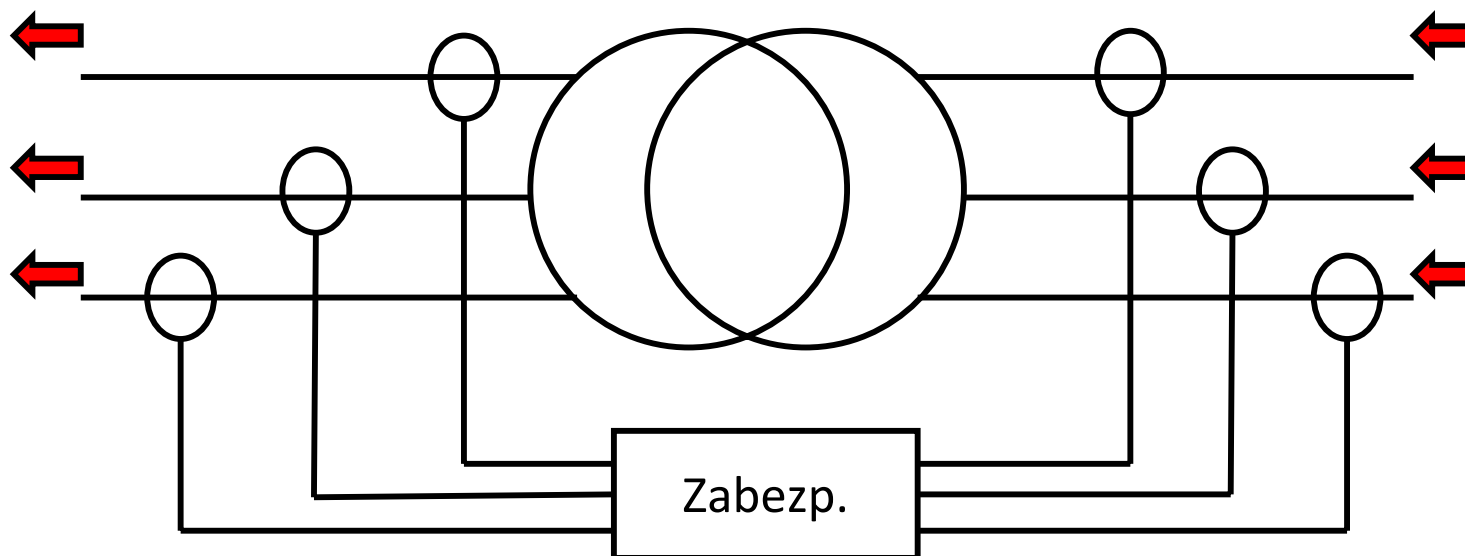
Zabezpieczenie różnicowe

Zabezpieczenie działa na zasadzie prawa Kirchoffa mierząc prądy wpływające do obiektu i z niego wypływające.



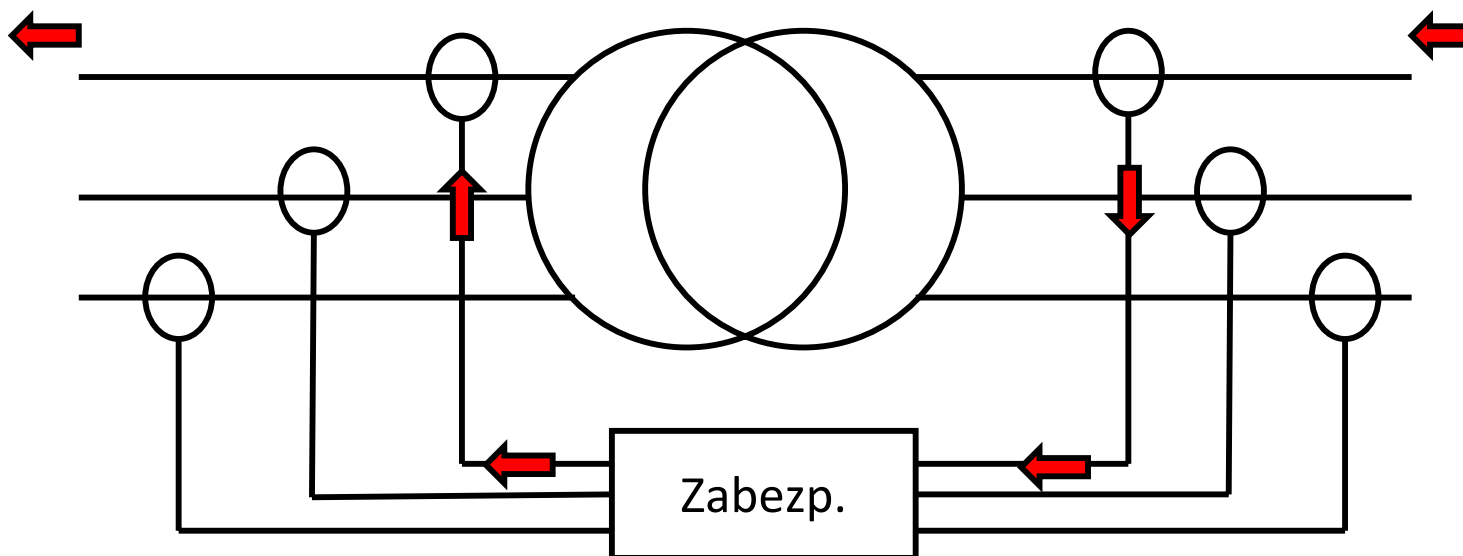
Zabezpieczenie różnicowe

W stanie normalnej pracy lub zwarcia zewnętrznego taki sam prąd wpływa do obiektu i z niego wypływa. Różnica tych prądów wynosi 0.



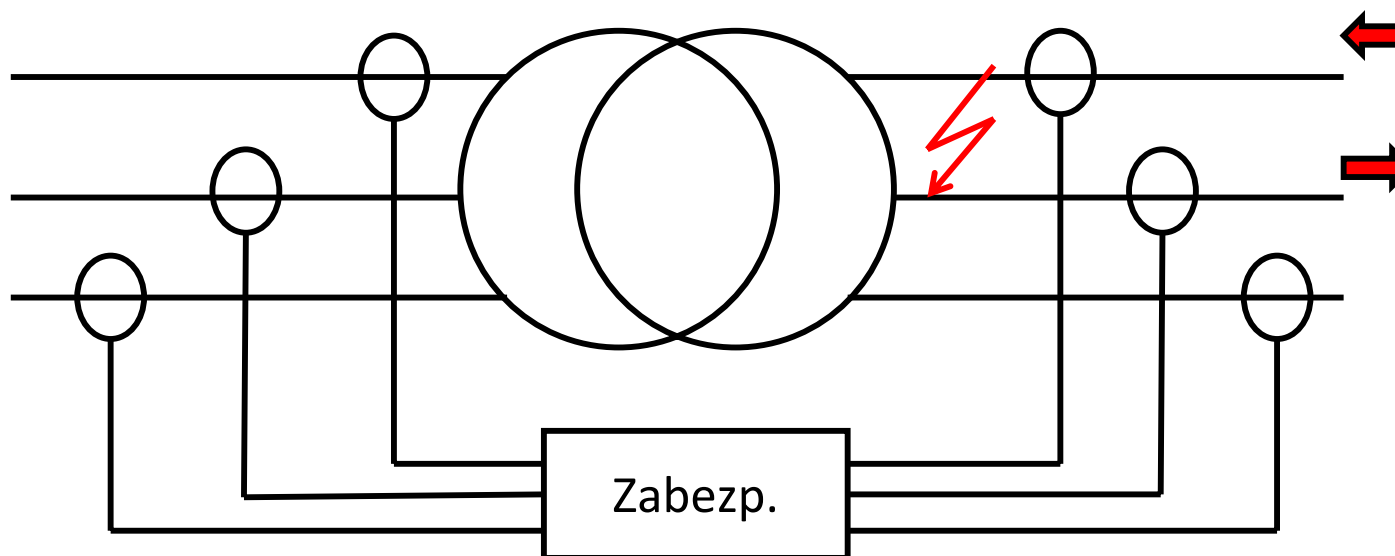
Zabezpieczenie różnicowe

W stanie normalnej pracy lub zwarcia zewnętrznego taki sam prąd wpływa do obiektu i z niego wypływa. Różnica tych prądów wynosi 0.



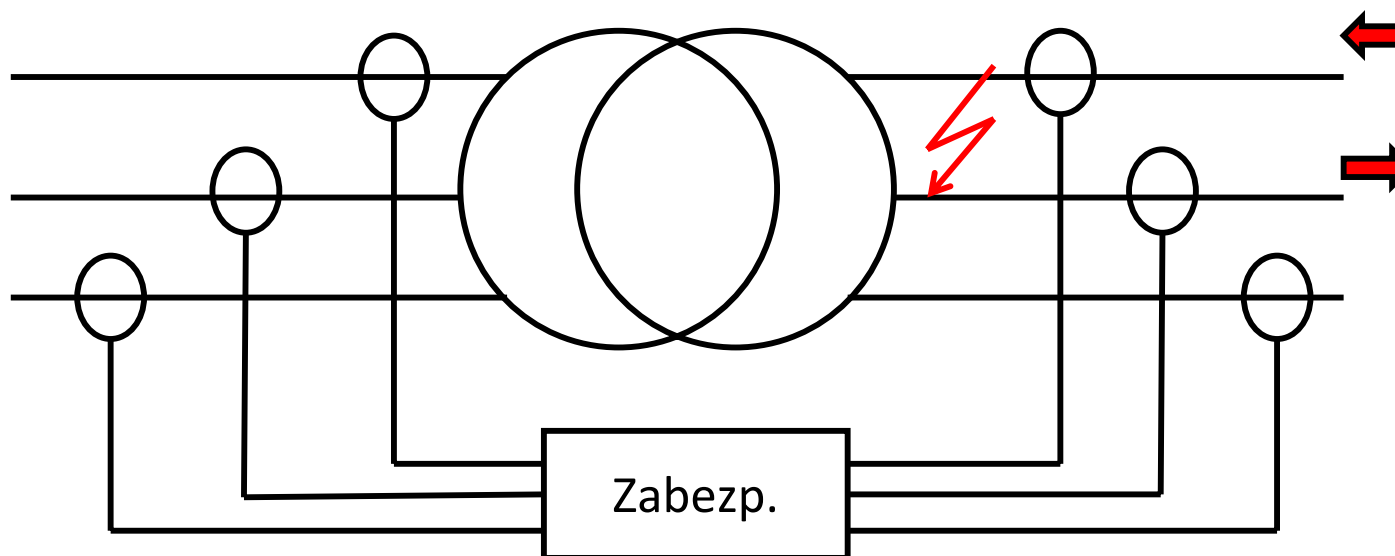
Zabezpieczenie różnicowe

W przypadku zwarcia w transformatorze różnica prądów przynajmniej jednej fazy jest większa od 0.



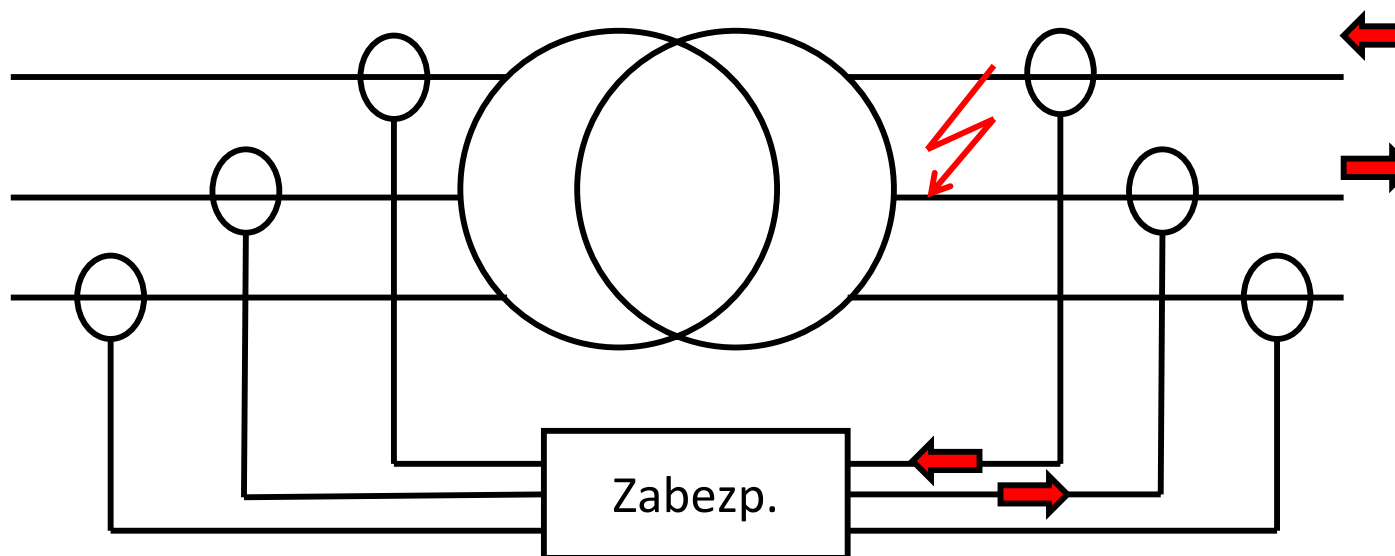
Zabezpieczenie różnicowe

W przypadku zwarcia w transformatorze różnica prądów przynajmniej jednej fazy jest większa od 0.



Zabezpieczenie różnicowe

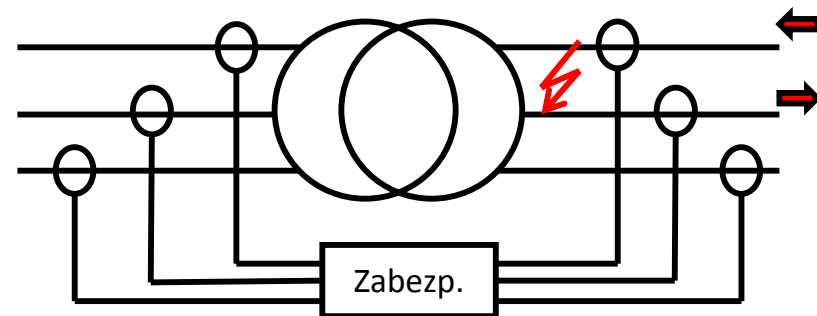
W przypadku zwarcia w transformatorze różnica prądów przynajmniej jednej fazy jest większa od 0.





Zabezpieczenie różnicowe

Specjalne algorytmy pozwalają na uwzględnienie grupy połączeń transformatora i zabezpieczenie działa poprawnie dla wszystkich zwarć międzyfazowych.





Zabezpieczenie różnicowe

Algorytm polega na odtworzeniu grupy połączeń transformatora i odpowiednim liczeniu prądów.

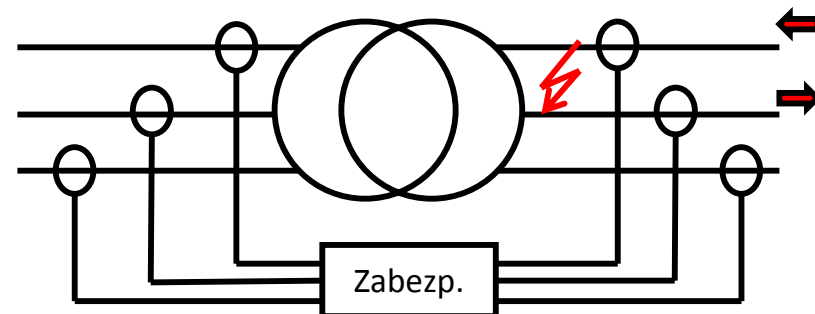
Np. fazorowi prądu L1 po stronie GN odpowiada suma fazorowa prądów faz L1 i L2 (Yd11) po stronie DN.

Zabezpieczenie różnicowe

Naturalne upływności, niesymetrie, błędy przekładników itp. sprawiają, że nawet w stanie normalnym może płynąć prąd różnicowy.

Zwykle zabezpieczenie działa przy ok. 20% prądu znamionowego.

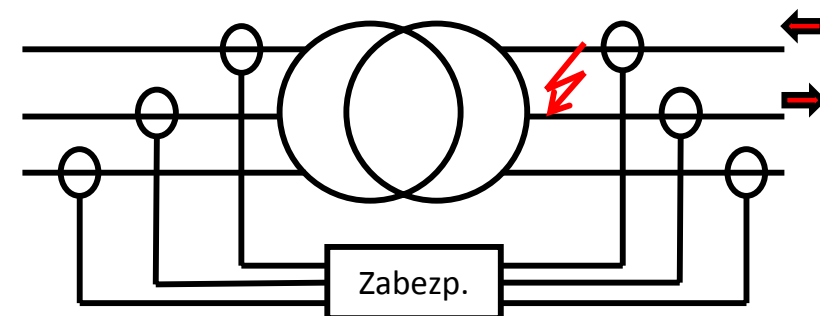
*Dotyczy to jednak tylko linii,
generatorów i silników.*



Zabezpieczenie różnicowe

To sprawia, że zabezpieczenie jest bardzo czułe.

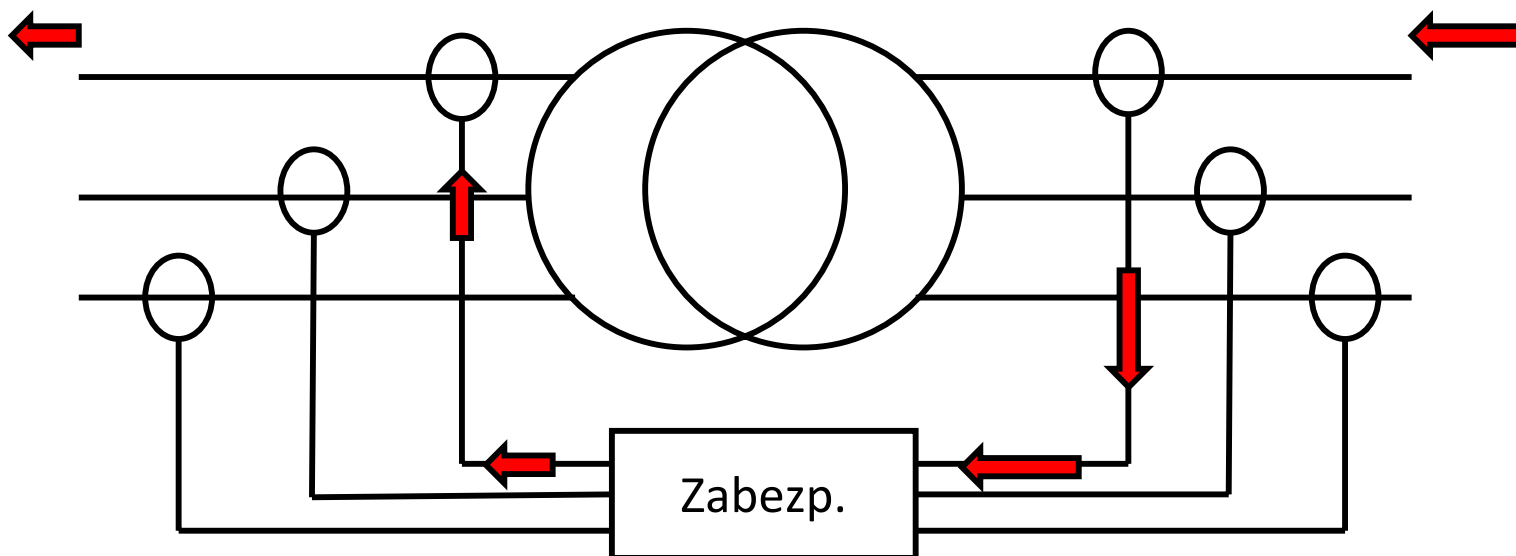
Ograniczenie strefy sprawia, że zabezpieczenie jest selektywne, a więc może działać bardzo szybko. Dla większych obiektów jest to podstawowe zabezpieczenie.



Transformatory o mocy ≥ 5 MVA

Zabezpieczenie różnicowe

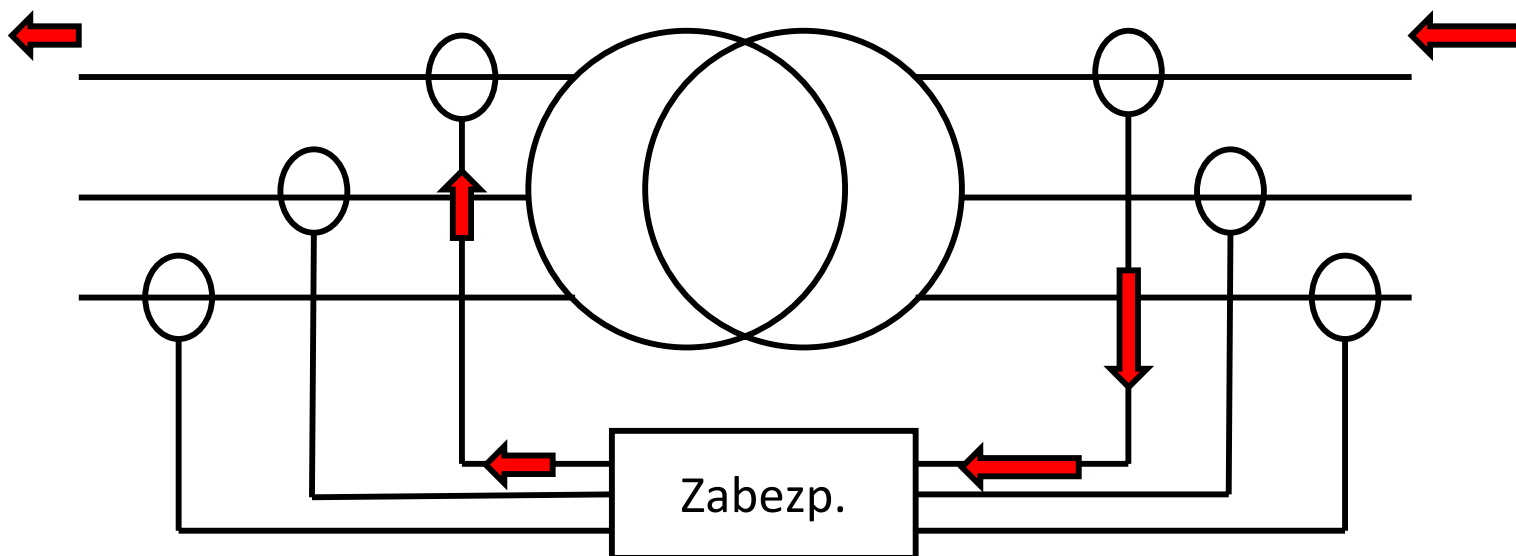
Zmiana przekładni zwojowej transformatora wpływa na zmianę przekładni prądowej, a więc powoduje przepływ prądu różnicowego także w stanie normalnej pracy i zwarć zewnętrznych.



Zabezpieczenie różnicowe

Najprostszym sposobem zwiększenia bezpieczeństwa jest zwiększenie nastawienia.

Dla transformatorów rozruchowy prąd różnicowy zwykle wynosi 50% prądu znamionowego.





INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni

32 / 57

Część 4

TRANSFORMATORY Z KĄTOWĄ REGULACJĄ PRZEKŁADNI



Transformatory z kątową regulacją przekładni

Transformatory z regulacją amplitudy napięcia wtórnego umożliwiają w praktyce tylko regulację mocy biernej.

Nowe wymagania ekonomiczne narzucają możliwość regulacji także mocy czynnej.



Transformatory z kątową regulacją przekładni

Regulacja mocy czynnej odbywa się za pomocą zmiany kąta fazowego, tj. wprowadzeniu różnicy kątowej między pierwotnym a wtórnym napięciem transformatora.

Różnica ta może być interpretowana jako płynna zmiana przekładni godzinowej transformatora.



Transformatory z kątową regulacją przekładni

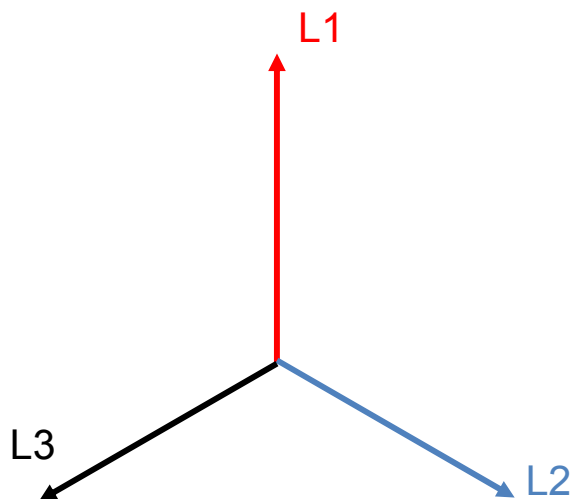
Istnieje wiele rozwiązań transformatorów.

Ogólna zasada działania polega na dodaniu do napięcia wtórnego (w fazie z napięciem pierwotnym) napięcia międzyfazowego z pozostałych faz.

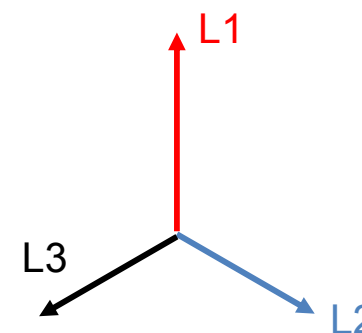


Transformatory z kątową regulacją przekładni

Strona
pierwotna



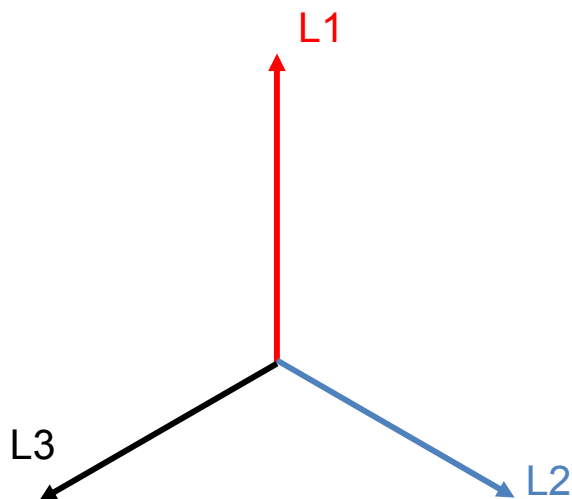
Strona wtórna



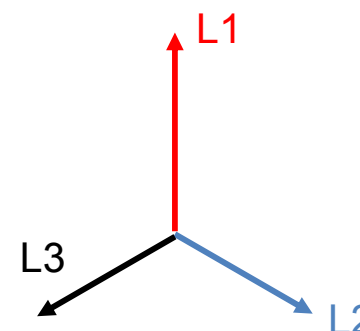


Transformatory z kątową regulacją przekładni

Strona
pierwotna



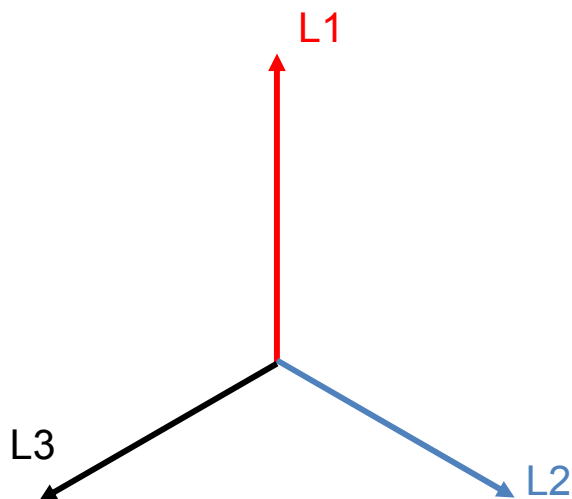
Strona wtórna



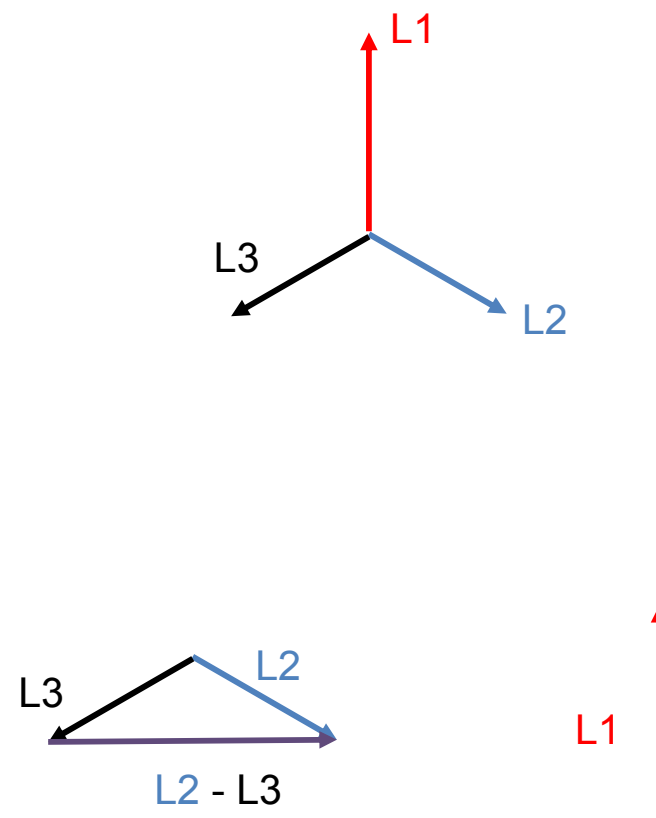


Transformatory z kątową regulacją przekładni

Strona
pierwotna



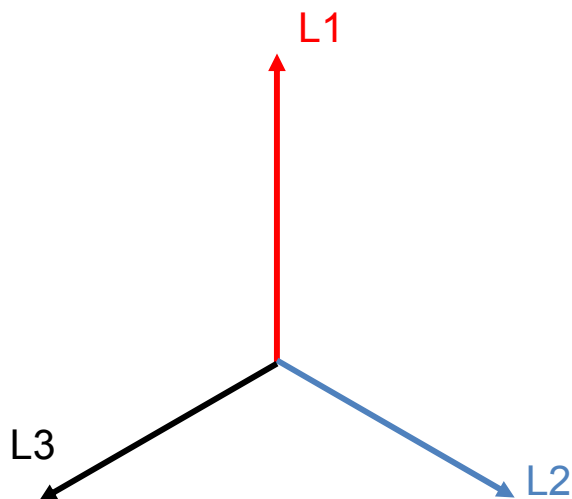
Strona wtórna



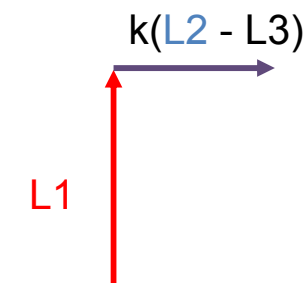
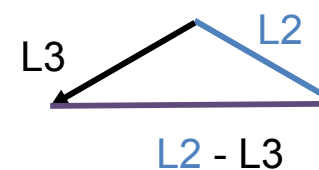
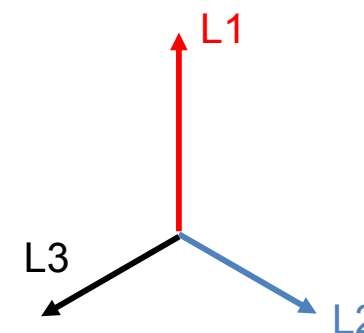


Transformatory z kątową regulacją przekładni

Strona
pierwotna



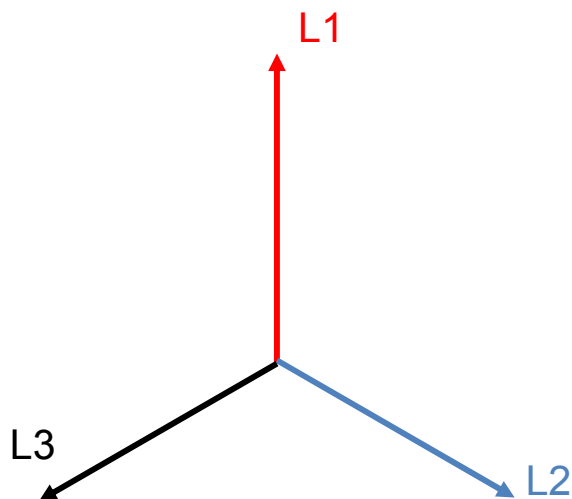
Strona wtórna



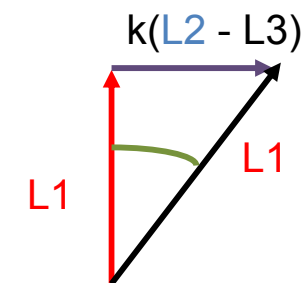
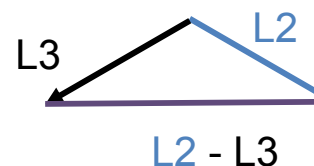
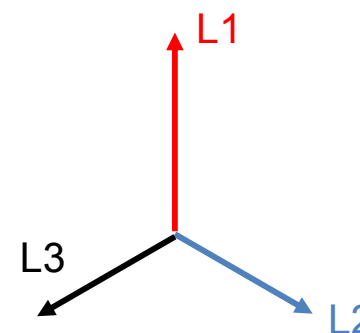


Transformatory z kątową regulacją przekładni

Strona
pierwotna



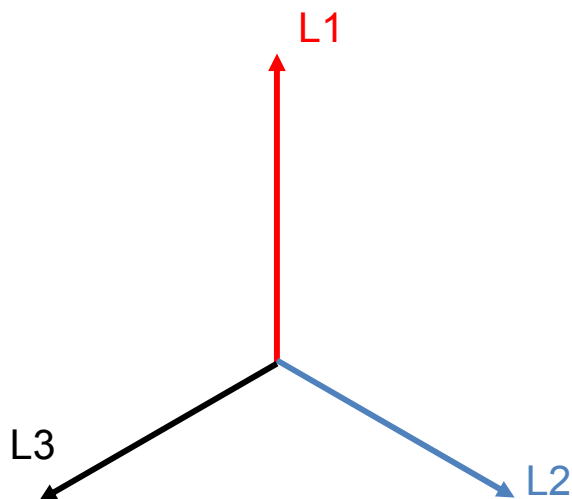
Strona wtórna



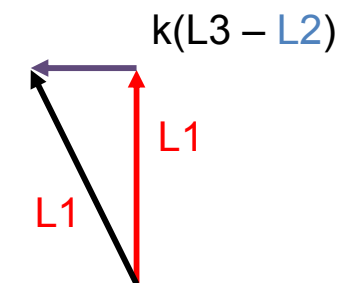
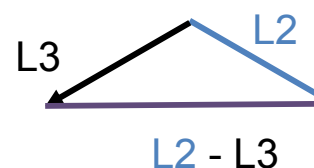
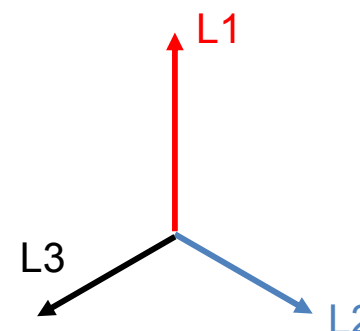


Transformatory z kątową regulacją przekładni

Strona
pierwotna

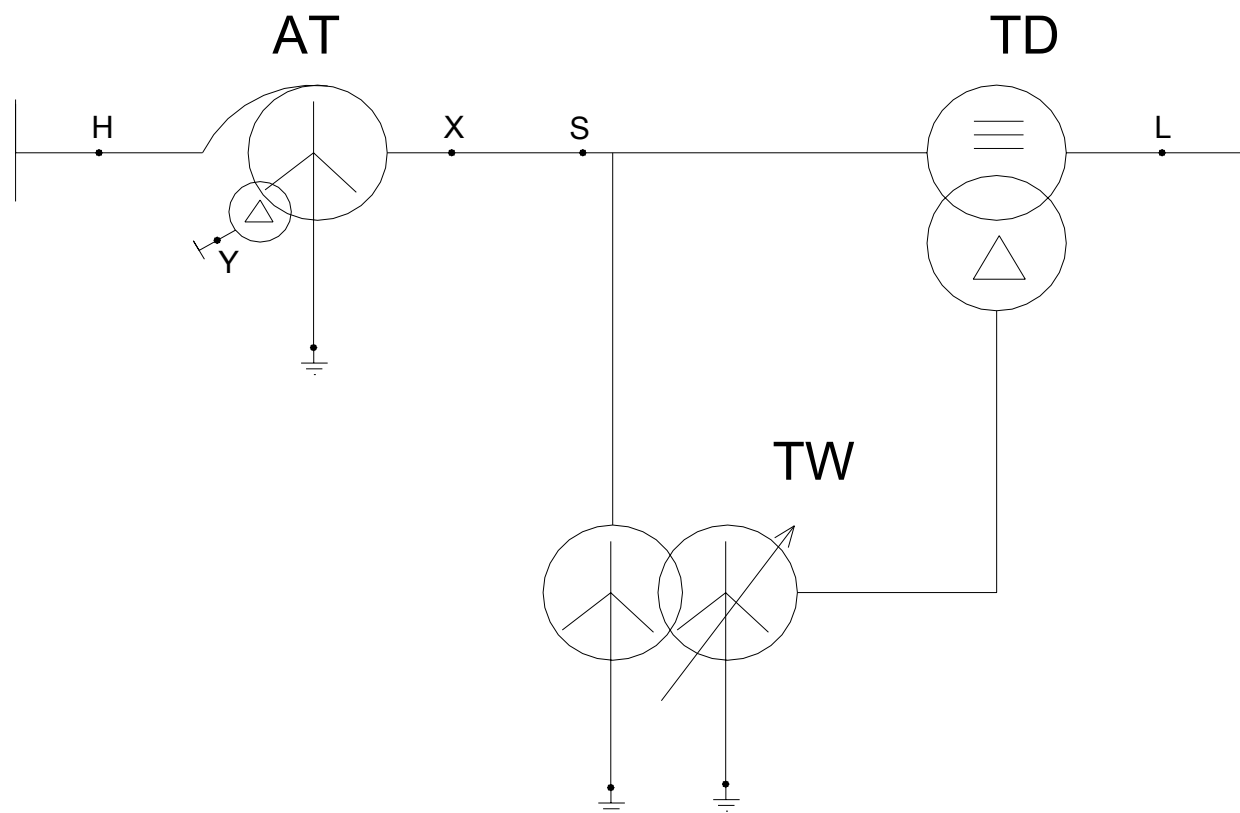


Strona wtórna





Transformatory z kątową regulacją przekładni





INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni

43 / 57

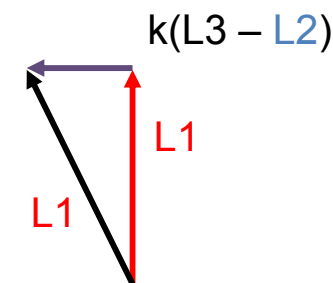
Część 5

ZABEZPIECZENIA RÓŻNICOWE PRZESUWNIKÓW FAZOWYCH



Zabezpieczenia różnicowe przesuwników fazowych

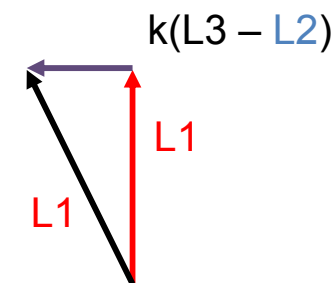
Pojawienie się kątowej różnicy między prądem po stronie pierwotnej i wtórnej powoduje powstanie prądu różnicowego, nawet jeśli oba fazory mają tę samą długość (amplitudę).





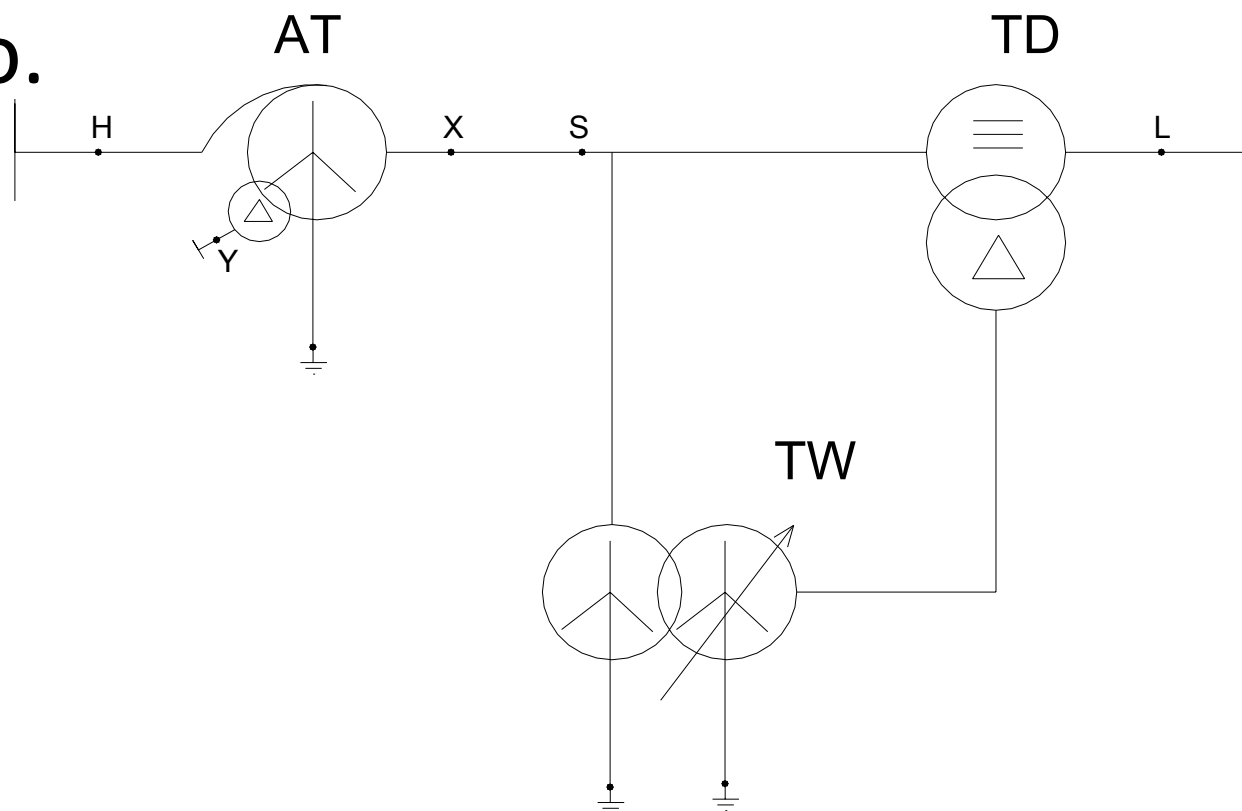
Zabezpieczenia różnicowe przesuwników fazowych

Tylko dla niektórych rozwiązań można zwiększyć
nastawienie prądu różnicowego i w ten sposób
zwiększyć bezpieczeństwo zabezpieczenia
różnicowego.



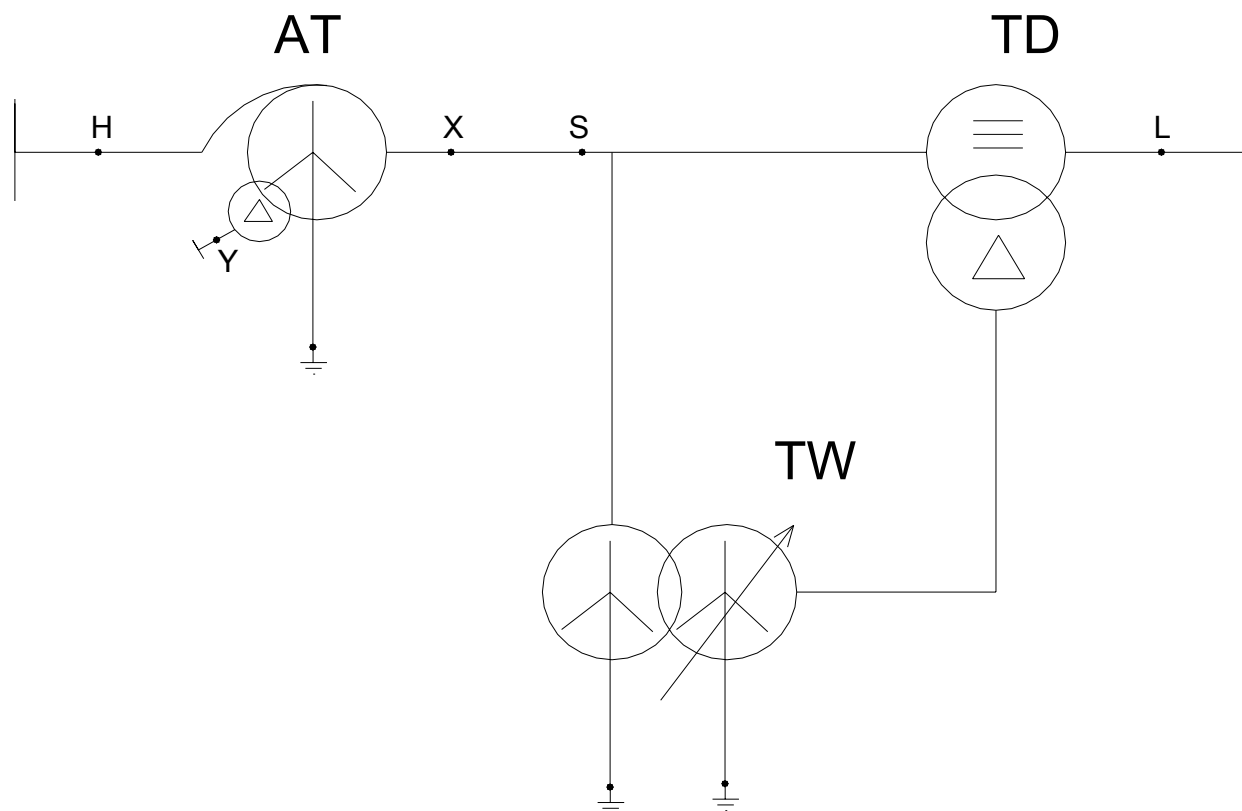
Zabezpieczenia różnicowe przesuwników fazowych

Dla przesuwników z większymi możliwościami regulacji konieczne jest zabezpieczanie każdej jednostki osobno.



Zabezpieczenia różnicowe przesuwników fazowych

Adaptacyjne zabezpieczenie różnicowe otrzymuje pozycję przełącznika zaczełów i dopasowuje kąt obrotu.





INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni

48 / 57

Część 6

ZABEZPIECZENIE OD PRZEWZBUDZENIA



Zabezpieczenie od przewzbudzenia

Przewzbudzenie to stan niektórych obiektów, w którym dochodzi do nadmiernego wzrostu indukcji w rdzeniu.

Zjawisko dotyczy głównie transformatorów i generatorów.



Zabezpieczenie od przewzbudzenia

Nadmierny wzrost indukcji może powodować uszkodzenie rdzenia z powodu nagrzewania się przez prądy wirowe a także w wyniku magnetostrykcji (odkształcanie się blach).



Zabezpieczenie od przewzbudzenia

W dużym skrócie, indukcja jest proporcjonalna do napięcia na zaciskach transformatora i odwrotnie proporcjonalna do częstotliwości.

To umożliwia stosunkowo dokładne oszacowanie poziomu indukcji za pomocą stosunku U/f .

$$B = c (U / f)$$

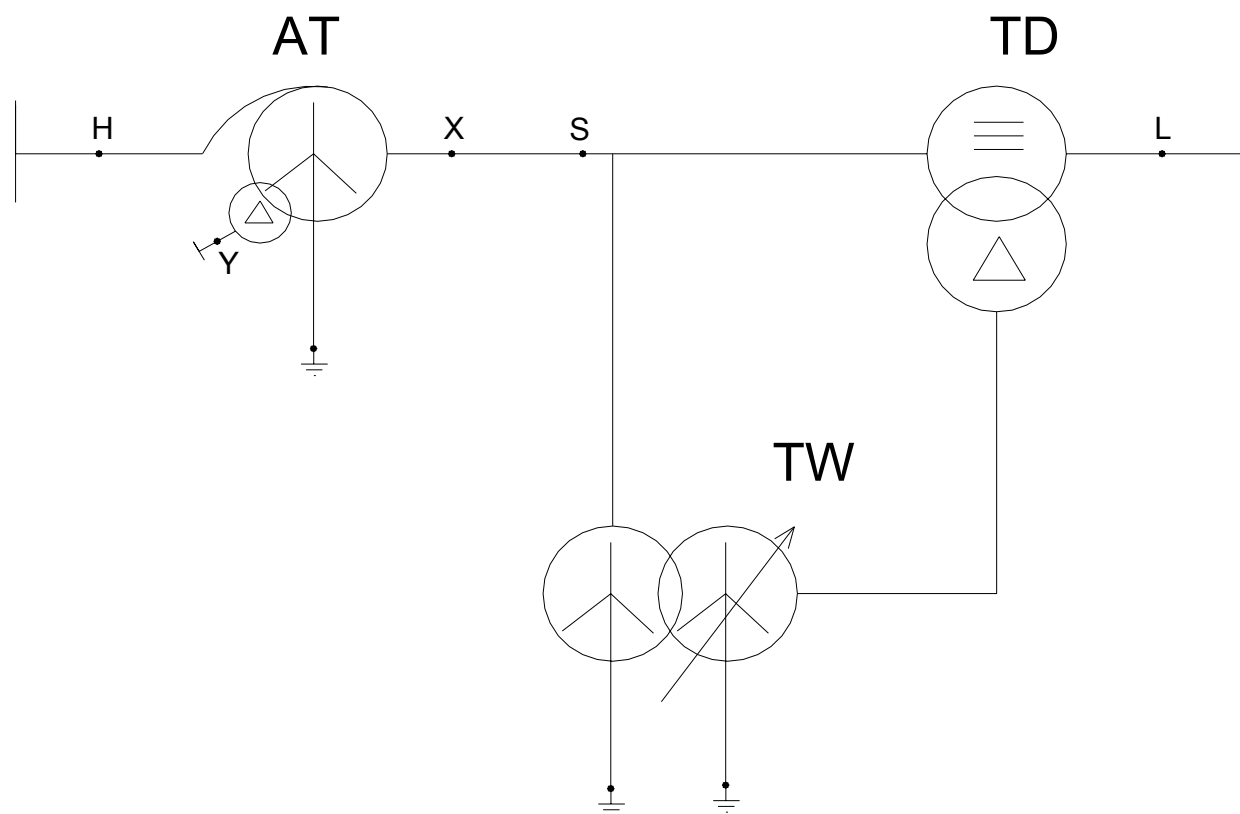


Zabezpieczenie od przewzbudzenia

Szkodliwe skutki dla większości transformatorów pojawiają się przy stosunkowo dużych różnicach stosunku U/f – zbyt dużemu napięciu lub zbyt małej częstotliwości.

W praktyce w SEE zagrożone są tylko transformatory blokowe w elektrowniach, transformatory sieciowe zwykle nie potrzebują tego zabezpieczenia.

Zabezpieczenie od przewzbudzenia





INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

**Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni**

54 / 57

Część 7

PODSUMOWANIE



Podsumowanie (1/2)

- Transformatory z kątową regulacją przekładni zabezpiecza się tymi samymi rodzajami zabezpieczeń, co „zwykłe” transformatory.
- Przesuwniki mogą wymagać dodatkowego zabezpieczenia od przewzbudzenia (U / f), choć warunki sieciowe nie muszą wskazywać na możliwość wystąpienia nadmiernej indukcyjności.



Podsumowanie (2/2)

- Ze względu na swoją konstrukcję zabezpieczenia różnicowe przesuwników są bardzo skomplikowane.
- Konstrukcja przesuwników nie wpływa na konieczność modyfikacji innych kryteriów zabezpieczeń.



INSTYTUT ENERGETYKI
Instytut Badawczy

PRACOWNIA AUTOMATYKI ELEKTROENERGETYCZNEJ
01-330 Warszawa, ul. Mory 8 • Tel. (22) 345 11 64 do 67
EAE@ien.com.pl

**Specyfika elektroenergetycznej
automatyki zabezpieczeniowej
transformatorów z kątową regulacją
przekładni**

57 / 57

Dziękuję za uwagę!