

# Spis treści

**Przedmowa /11**

**Wykaz ważniejszych oznaczeń /13**

**Wykaz ważniejszych symboli graficznych /15**

## **1. Wprowadzenie /19**

- 1.1. Rola automatyki zabezpieczeniowej w systemie elektroenergetycznym /19
- 1.2. Strefy działania układów automatyki zabezpieczeniowej eliminacyjnej /21
- 1.3. Wymagania stawiane automatyce zabezpieczeniowej eliminacyjnej /22
- 1.4. Przegląd zakłóceń objętych działaniem automatyki zabezpieczeniowej /25
  - 1.4.1. Ogólne założenia /25
  - 1.4.2. Zwarcia wielkopiędowe /25
  - 1.4.3. Zwarcia doziemne małopiędowe /28
  - 1.4.4. Praca niepełnofazowa /31
  - 1.4.5. Zwarcia zwojowe w maszynach wirujących i transformatorach /33
  - 1.4.6. Przeciążenia cieplne /34
  - 1.4.7. Awarie systemowe /35
  - 1.4.8. Inne rodzaje zakłóceń /47
- 1.5. Ogólna struktura automatyki zabezpieczeniowej /49

## **2. Zbieranie i wstępne przetwarzanie sygnałów /50**

- 2.1. Wprowadzenie /50
- 2.2. Sygnały prądowe i napięciowe /51
  - 2.2.1. Wiadomości ogólne /51
  - 2.2.2. Prądy przejściowe przy zwiarcach wielkopiędowych /52
  - 2.2.3. Prądy przejściowe przy zwiarcach małopiędowych /56
- 2.3. Przekładniki prądowe /58
  - 2.3.1. Przekładniki prądowe konwencjonalne /58
  - 2.3.2. Przekładniki prądowe niekonwencjonalne /67

- 2.3.3. Układy połączeń przekładników prądowych /72
- 2.3.4. Dobór przekładników prądowych /76
- 2.3.5. Filtry składowej zerowej prądu /79
- 2.4. Przekładniki napięciowe /81
- 2.4.1. Przekładniki napięciowe indukcyjne /81
- 2.4.2. Przekładniki napięciowe pojemnościowe /84
- 2.4.3. Przekładniki napięciowe niekonwencjonalne /87
- 2.5. Zakłócenia we wtórnych obwodach pomiarowych /89
- 2.6. Inne czujniki pomiarowe /90
- 2.6.1. Czujniki temperatury /90
- 2.6.2. Czujniki optyczne /91
- 2.6.3. Czujniki pola magnetycznego /93

### **3. Przesył sygnałów /94**

- 3.1. Wprowadzenie /94
- 3.2. Techniczna realizacja łączy telekomunikacyjnych dla automatyki zabezpieczeniowej /96
- 3.2.1. Łączy przewodowe /96
- 3.2.2. Łączy wielkiej częstotliwości /97
- 3.2.3. Łączy światłowodowe /99
- 3.2.4. Łączy radiowe /104

### **4. Przetwarzanie sygnałów w przekaźnikach i zespołach automatyki zabezpieczeniowej /105**

- 4.1. Technika analogowa /105
- 4.1.1. Ogólna struktura toru przetwarzania sygnałów /105
- 4.1.2. Układy wejściowe /106
- 4.1.3. Układy przygotowawcze /106
- 4.1.4. Komparatory /112
- 4.1.5. Układy decyzyjne /118
- 4.1.6. Układy wyjściowe /119
- 4.1.7. Układy wejść dwustanowych /120
- 4.1.8. Układy zasilania pomocniczego /121
- 4.1.9. Przekaźniki i zespoły automatyki zabezpieczeniowej /122
- 4.2. Technika cyfrowa /125
- 4.2.1. Wiadomości wstępne /125
- 4.2.2. Dyskretyzacja sygnałów analogowych /126
- 4.2.3. Wstępne przetwarzanie cyfrowe /127
- 4.2.4. Pomiar cyfrowy wielkości kryterialnych /136
- 4.2.5. Stosowanie pomiarów rozmytych /144

### **5. Funkcje dodatkowe związane z automatyką zabezpieczeniową /147**

- 5.1. Rejestracja zakłóceń /147
- 5.1.1. Znaczenie rejestracji zakłóceń /147
- 5.1.2. Rejestracja zakłóceń za pomocą autonomicznego urządzenia /148
- 5.1.3. Rejestracja zakłóceń w urządzeniu zabezpieczającym /152

- 5.1.4. Współpraca urzędów do rejestracji zakłóceń /152
- 5.1.5. Oprogramowanie urzędów do rejestracji zakłóceń /154
- 5.2. Lokalizacja zwarcia w liniach elektroenergetycznych /155
  - 5.2.1. Źródła błędów w procesie lokalizacji /155
  - 5.2.2. Eliminowanie błędów wywołanych rezystancją przejścia /160
  - 5.2.3. Eliminowanie błędów spowodowanych sprzężeniem z torem równoległym /162
  - 5.2.4. Eliminowanie błędów wywołanych złożoną konfiguracją linii /163
  - 5.2.5. Kompensacja wpływu pojemności linii /164
  - 5.2.6. Falowe lokalizatory miejsca zwarcia /164

## **6. Główne kryteria zabezpieczeniowe i ich praktyczne zastosowanie /166**

- 6.1. Kryterium nadprądowe /166
  - 6.1.1. Kryterium nadprądowe jako podstawa do wykrywania zwarć wieloprądowych /166
  - 6.1.2. Kryterium nadprądowe jako podstawa do wykrywania przeciążeń cieplnych /172
  - 6.1.3. Kryterium nadprądowe jako podstawa do wykrywania zwarć doziemnych maoprądowych /173
- 6.2. Kryterium nad- i podnapięciowe /174
  - 6.2.1. Kryterium nadnapięciowe /174
  - 6.2.2. Kryterium podnapięciowe /176
- 6.3. Kryterium różnicowoprądowe /178
  - 6.3.1. Zakres zastosowania kryterium /178
  - 6.3.2. Ogólna zasada pomiaru prądu różnicowego /179
  - 6.3.3. Stabilizacja zabezpieczeń różnicowoprądowych /181
- 6.4. Kryterium kątowoprądowe /183
  - 6.4.1. Zakres stosowania kryterium kątowoprądowego /183
  - 6.4.2. Zastosowanie kryterium kątowoprądowego do selektywnego wykrywania zwarć wieloprądowych /184
  - 6.4.3. Zastosowanie kryterium kątowoprądowego do selektywnego wykrywania zwarć maoprądowych /187
  - 6.4.4. Zmiana kierunku przepływu mocy czynnej jako kryterium wykrywające pracę silnikową generatorów synchronicznych /190
- 6.5. Kryterium podimpedancyjne /191
  - 6.5.1. Zmiana impedancji jako kryterium występowania zwarć wieloprądowych /191
  - 6.5.2. Zasada wyboru napięć i prądów zapewniających prawidłowy pomiar impedancji /200
  - 6.5.3. Techniczna realizacja pomiaru impedancji w przekaźnikach odległościowych /205

## **7. Podejmowanie decyzji w automatyce zabezpieczeniowej /220**

- 7.1. Wiadomości wstępne /220
- 7.2. Stosowanie opóźnień /221
- 7.3. Zwielokrotnianie zabezpieczeń /222
- 7.4. Układy adaptacyjne /223
  - 7.4.1. Rola układów adaptacyjnych /223
  - 7.4.2. Modele deterministyczne i logika dwuwartościowa /224
  - 7.4.3. Algorytmy oparte na sygnałach rozmytych oraz logice rozmytej /225
  - 7.4.4. Algorytmy wielokryterialne /226
  - 7.4.5. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych /228

## **8. Automatyka zabezpieczeniowa linii elektroenergetycznych /231**

- 8.1. Wprowadzenie /231
- 8.2. Automatyka zabezpieczeniowa do wykrywania zwarc wielkoprądowych /233
  - 8.2.1. Zabezpieczenia nadprądowe /233
  - 8.2.2. Zabezpieczenia odległościowe bezłęczowe /233
  - 8.2.3. Współpraca zabezpieczeń odległościowych za pomocą łączy telekomunikacyjnych /246
  - 8.2.4. Zabezpieczenia porównawczoprądowe wzdłużne /254
  - 8.2.5. Zabezpieczenia porównawczofazowe /263
  - 8.2.6. Zabezpieczenia zerowoprądowe kierunkowe /267
  - 8.2.7. Zabezpieczenie porównawczokierunkowe wykorzystujące niestacjonarne sygnały pomiarowe /270
- 8.3. Automatyka zabezpieczeniowa do wykrywania i lokalizacji zwarc doziemnych małoprądowych /273
  - 8.3.1. Zabezpieczenia reagujące na ustalone przebiegi wielkości pomiarowych /273
  - 8.3.2. Zabezpieczenia reagujące na przejściowe przebiegi wielkości pomiarowych /278
- 8.4. Zabezpieczenia linii elektroenergetycznych od przeciążeń /279
- 8.5. Automatyka samoczynnego ponownego załączania (SPZ) /281
  - 8.5.1. Wiadomości podstawowe /281
  - 8.5.2. Automatyka SPZ w sieciach z bezpośrednio uziemionym punktem neutralnym /283
  - 8.5.3. Automatyka SPZ w sieciach rozdzielczych SN /286
  - 8.5.4. Wybiorniki fazowe do współpracy z automatyką SPZ /288

## **9. Automatyka zabezpieczeniowa transformatorów i autotransformatorów /291**

- 9.1. Zakłócenia w pracy transformatorów i autotransformatorów /291
  - 9.1.1. Awaryjność transformatorów /291
  - 9.1.2. Rodzaje zakłóceń w pracy transformatorów /292
- 9.2. Wymagania stawiane zabezpieczeniom transformatorów /296
- 9.3. Zabezpieczenia różnicowe wzdłużne transformatorów /297
- 9.4. Zabezpieczenia nadprądowe transformatorów /302
- 9.5. Zabezpieczenia odległościowe transformatorów /306
- 9.6. Zabezpieczenie gazowo-przepływowe /307
- 9.7. Zabezpieczenia przeciążeniowe transformatorów /309
- 9.8. Zabezpieczenie od nadmiernego strumienia w rdzeniu transformatorów /310

## **10. Automatyka zabezpieczeniowa szyn zbiorczych /311**

- 10.1. Wprowadzenie /311
- 10.2. Zabezpieczenia różnicowoprądowe szyn zbiorczych /315
  - 10.2.1. Małoimpedancyjne zabezpieczenia różnicowoprądowe /315
  - 10.2.2. Wielkoimpedancyjne zabezpieczenia różnicowe /319
- 10.3. Dwukryterialne zabezpieczenia szyn zbiorczych /325
  - 10.3.1. Zabezpieczenia analogowe /325
  - 10.3.2. Zabezpieczenia cyfrowe /330
- 10.4. Uproszczone zabezpieczenie szyn zbiorczych sieci rozdzielczych SN /334
- 10.5. Lokalne rezerwowanie wyłączników /335

## **11. Automatyka zabezpieczeniowa generatorów /338**

- 11.1. Wprowadzenie /338
- 11.2. Zabezpieczenia od zwarć doziemnych w uzwojeniu stojana /339
  - 11.2.1. Przyczyny i skutki występowania zwarć doziemnych /339
  - 11.2.2. Zabezpieczenie ziemnozwarciowe stojana generatorów pracujących bezpośrednio na szyny zbiorcze /340
  - 11.2.3. Zabezpieczenia ziemnozwarciowe generatorów pracujących w układach blokowych /343
- 11.3. Zabezpieczenia od zwarć międzyfazowych w uzwojeniu stojana /351
  - 11.3.1. Wiadomości ogólne /351
  - 11.3.2. Zabezpieczenie różnicowoprądowe /352
  - 11.3.3. Zabezpieczenie nadprądowe zwłoczne z blokadą napięciową /354
  - 11.3.4. Zabezpieczenie podimpedancyjne /355
- 11.4. Zabezpieczenia od zwarć zwojowych w uzwojeniu stojana /356
- 11.5. Zabezpieczenie od zwarć w wirniku i obwodzie wzbudzenia /359
- 11.6. Zabezpieczenie nadnapięciowe /363
- 11.7. Zabezpieczenie od utraty wzbudzenia /363
- 11.8. Zabezpieczenia od asymetrii prądowej /365
- 11.9. Zabezpieczenia od przeciążeń cieplnych /367
- 11.10. Zabezpieczenia pod- i nadczęstotliwościowe /368
- 11.11. Zabezpieczenia od pracy silnikowej turbogeneratorów /370
- 11.12. Ogólna zasada doboru zabezpieczeń generatorów /371

## **12. Automatyka zabezpieczeniowa bloków generator-transformator /378**

- 12.1. Wprowadzenie /378
- 12.2. Zabezpieczenia od zwarć wieloprądowych /380
  - 12.2.1. Rodzaje zabezpieczeń /380
  - 12.2.2. Zabezpieczenia różnicowoprądowe /380
  - 12.2.3. Zabezpieczenia podimpedancyjne /381
- 12.3. Zabezpieczenia od utraty synchronizmu /382
- 12.4. Zabezpieczenia od przewzbudzenia /384
- 12.5. Zabezpieczenia od przypadkowego przyłączenia turbozespołu do systemu elektroenergetycznego /385
- 12.6. Zabezpieczenie od nadmiernego momentu skręcającego na wale turbozespołu /387
- 12.7. Wytyczne doboru automatyki zabezpieczeniowej bloków generator-transformator /389
- 12.8. Dystrybucja sygnałów wyjściowych z zespołów automatyki zabezpieczeniowej /391

## **13. Automatyka zabezpieczeniowa silników elektrycznych /394**

- 13.1. Wprowadzenie /394
- 13.2. Zakłócenia w pracy silników /394
- 13.3. Zabezpieczenia silników indukcyjnych /398
  - 13.3.1. Zabezpieczenia zwarciowe /398
  - 13.3.2. Zabezpieczenia przeciążeniowe i rezerwowe /401
- 13.4. Specyfika zabezpieczeń silników synchronicznych /405
- 13.5. Zintegrowane zabezpieczenia silników /406

---

## **14. Automatyka przeciwawaryjna i poawaryjna /407**

- 14.1. Wiadomości wstępne /407
- 14.2. Przeciwdziałanie utracie równowagi statycznej /410
- 14.3. Przeciwdziałanie utracie równowagi przejściowej /411
- 14.4. Układy rozcinające /414
- 14.5. Przeciwdziałanie niestabilności napięciowej /417
  - 14.5.1. Warunki powstawania niestabilności napięciowej /417
  - 14.5.2. Podnapięciowe odciążanie /418
  - 14.5.3. Przeciwdziałanie nadmiernemu podwyższeniu poziomu napięć /421
- 14.6. Przeciwdziałanie załamaniu się częstotliwości /422
- 14.7. Zapobieganie przeciążeniom cieplnym /424
- 14.8. Restytucja poawaryjna w systemie elektroenergetycznym /427
  - 14.8.1. Wprowadzenie /427
  - 14.8.2. Samoczynne załączanie rezerwy (SZR) /427
  - 14.8.3. Restytucja stacji i systemu /430

## **15. Przyszłość automatyki elektroenergetycznej /432**

- 15.1. Nowe zadania i środki /432
- 15.2. Obszarowa synchronizacja próbkowania /433
- 15.3. Integracja układów sterowania /434
- 15.4. Zmiany w automatyce zabezpieczeniowej /438

## **Literatura /441**

## **Skorowidz /447**