

2791-733 8

**Berichte aus der Energietechnik**

**Richard Huwer**

**Funktionsprüfung  
digitaler Distanzschutzeinrichtungen  
mittels dynamischer Fehler**

D 386 (Diss. Universität Kaiserslautern)

**Shaker Verlag  
Aachen 1999**

---

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2 AUFBAU EINES DIGITALEN DISTANZSCHUTZGERÄTES</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Hardware</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Software</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Ursachen für Fehlverhalten</b>	<b>12</b>
2.3.1 Softwarefehler	13
2.3.2 Betriebssystemfehler und Hardwarefehler	14
2.3.3 Fehler in der Prüfeinrichtung	14
2.3.4 Schnittstellenfehler	14
<b>3 PRÜFVERFAHREN</b>	<b>15</b>
<b>3.1 Testverfahren für Schutzgeräte</b>	<b>15</b>
3.1.1 Typprüfung	15
3.1.2 Stückprüfung	16
3.1.3 Betriebsprüfung	16
<b>3.2 Prüftechniken</b>	<b>17</b>
3.2.1 Verwendung simulierter Daten	17
3.2.2 Verwendung realer Daten	18
<b>3.3 Prüfverfahren des Software-Engineerings</b>	<b>19</b>
3.3.1 Dynamischer Test	20
3.3.1.1 Funktionstest	22
3.3.1.2 Strukturtest	22
3.3.1.3 Diversifikation	23
3.3.1.4 Zufallstest	23
3.3.1.5 Übergeordneter Test	23
3.3.2 Statische Analyse, symbolischer Test und Verifikation	24
<b>3.4 Beurteilung der existierenden Verfahren</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Anforderungen an ein neues Verfahren</b>	<b>26</b>
<b>4 MODELLBILDUNG</b>	<b>28</b>
<b>4.1 Variable</b>	<b>29</b>
4.1.1 Attribute	29
4.1.2 Äquivalenzklassen	31
4.1.2.1 Variablen mit diskretem Wertebereich	32
4.1.2.2 Variablen mit kontinuierlichem Wertebereich	32
<b>4.2 Module</b>	<b>35</b>
4.2.1 Module mit Gedächtnis	35
4.2.2 Module ohne Gedächtnis	37
4.2.3 Äquivalenzklassenlose Module	38
<b>4.3 Verhaltensmodell eines Distanzschutzrelais</b>	<b>39</b>
<b>4.4 Reduktion der Testvielfalt</b>	<b>41</b>
4.4.1 Beobachtung innerer Variablen	41
4.4.2 Reduktion durch Abstraktion	42
<b>5 WAHL DER EINGABEDATEN</b>	<b>45</b>
<b>5.1 Ideale Eingangssignale</b>	<b>45</b>
5.1.1 Schutzunschärfe	45
5.1.2 Netzunschärfe	46
5.1.3 Stationäre Größen	48
5.1.3.1 Berechnung über Impedanzebene	48
5.1.3.2 Berechnung mittels Simulationsprogramm	49
<b>5.2 Testnetz</b>	<b>50</b>

5.2.1	Stichleitung	51
5.2.2	Anordnung mit Gegeneinspeisung	52
<b>5.3</b>	<b>Kennlinienkorrektur</b>	<b>53</b>
5.3.1	Anregekennlinien in der Impedanzebene	54
5.3.1.1	Unterspannungsanregung	54
5.3.1.2	Überstromanregung	57
5.3.1.3	Winkelkriterium	59
5.3.1.4	Gemeinsame Darstellung	59
5.3.2	Schutzkennlinien bei Gegeneinspeisung	61
5.3.2.1	Transformation des Koordinatensystems	63
5.3.2.2	Unterspannungsanregung	66
5.3.2.3	Überstromanregung	67
5.3.2.4	Winkelkriterium	68
5.3.2.5	Auslösekennlinie	69
5.3.2.6	Beispiel	69
<b>6</b>	<b>NETZZUSTÄNDE UND ELEMENTARE FEHLER</b>	<b>74</b>
6.1	Bestimmung der Netzzustände	75
6.1.1	Äquivalenzklassenkombinationen	75
6.1.2	Eingabebedingungen	76
6.1.3	Fehlerorte	78
6.1.4	Reduktion	82
6.2	Bestimmung der elementaren Fehler	84
<b>7</b>	<b>DYNAMISCHE FEHLER</b>	<b>87</b>
7.1	Netzzustände	87
7.1.1	Ausgangsmenge	87
7.1.2	Reduktionsregeln	89
7.1.3	Fehlerartmatrizen	91
7.1.4	Eliminieren von Fehlerfällen	95
7.2	Wechselzeitpunkte	96
7.2.1	Gängige Methode	97
7.2.2	Verhaltensmodell	98
7.2.3	Messung	103
7.2.4	Attributdetektionsmatrix	104
<b>8</b>	<b>PRÜFERGEBNISSE</b>	<b>107</b>
8.1	Beobachtbarkeit	107
8.1.1	Binäre Ausgänge	107
8.1.2	Serielle Schnittstelle	109
8.1.3	Herstellerinterne Schnittstelle	109
8.1.4	Prüfeinrichtung	110
8.1.5	Minimale Signallänge und maximale Verzögerung	111
8.2	Klassifizierung der Ergebnisse	114
<b>9</b>	<b>DIE TESTMETHODE IM ÜBERBLICK</b>	<b>115</b>
9.1	Testvorbereitungen	115
9.2	Ermittlung der Fehlermengen	116
9.2.1	Netzzustände	118
9.2.2	Elementare Fehler	118
9.2.3	Dynamische Fehler	118
9.3	Prüfungsauswertung	119
9.4	Reduktionspotential	119
<b>10</b>	<b>BEISPIELE</b>	<b>122</b>
10.1	Unterspannungsabhängige Überstromanregung	122

---

10.1.1 Modellbeschreibung	123
10.1.2 Testfallermittlung	123
<b>10.2 Auslöseentscheid</b>	125
10.2.1 Modellbeschreibung	126
10.2.2 Testfallermittlung	126
<b>10.3 Spannungsspeicher</b>	127
10.3.1 Modellbeschreibung	128
10.3.2 Testfallermittlung	129
<b>11 ZUSAMMENFASSUNG</b>	132
<hr/>	
<b>I ANHANG</b>	133
<b>I.1 Softwaretestverfahren</b>	133
I.1.1 Funktionstests	133
I.1.2 Strukturtests	134
I.1.3 Diversifikation	135
<b>I.2 Rechengänge</b>	135
I.2.1 Herleitung von Gleichung (5.44)	135
<b>I.3 Herleitung von Gleichung (5.57)</b>	136
<b>I.4 Herleitung von Gleichung (5.60)</b>	137
<b>I.5 Äquivalenzklassenkombinationen der Überstromanregung</b>	139
<b>I.6 Netzzustände der Überstromanregung</b>	140
<b>I.7 Spurverläufe der Überstromanregung</b>	141
<b>I.8 Richtungswechsel durch Topologieumschaltung</b>	142
<b>I.9 Spurverläufe der Unterspannungsanregung</b>	144
<b>I.10 Spurverläufe des Spannungsspeichers</b>	145
<b>I.11 Prüfvorschriften</b>	147
I.11.1 Typprüfung	147
I.11.2 Stückprüfung	147
<b>II LITERATUR</b>	148

---