

Inhalt

1 Motivation und Ziele	12
2 Angepasste Anforderungen	13
2.1 Definition von Normal- und Störbetrieb	13
2.2 Fehlerklärungszeit und ihre Bestandteile	15
2.3 Verhalten im Störbetrieb (Schutzverhalten)	15
2.3.1 Entkupplungsschutz	15
2.3.2 Automatische Letztmaßnahmen	16
2.4 Verhalten im kritischen Systemzustand (Regelverhalten)	16
3 Einflussfaktoren auf die Frequenz	18
3.1 Frequenz in der elektrischen Energietechnik	18
3.1.1 Allgemeine Betrachtungen zu Wechselspannungen und Drehstromsystemen ...	18
3.1.2 Wechselstromtechnik: zweiphasige Messung	19
3.1.3 Drehstromsystem: dreiphasige Messung.....	20
3.2 Digitale Messverfahren	20
3.2.1 Messung der Periodendauer	20
3.2.2 Frequenzmessung basierend auf Nulldurchgangserkennung	20
3.2.3 Frequenzmessung basierend auf Zeiger	21
3.2.4 Weitere Beispiele für verwendete Algorithmen für zweiphasige Messung	22
3.3 Ursachen für Störgrößen bei der Frequenzmessung	22
3.3.1 Nichtlineare Bauelemente im Netz	23
3.3.2 Magnetische und kapazitive Kopplungen	23
3.3.3 Lastsprünge	23
3.3.4 Erd- und Kurzschlüsse	24
3.3.5 Schaltvorgänge	24
3.3.6 Frequenzumrichter	24
3.4 Auswahl der Messgrößen	25
3.5 Messanforderungen und Maßnahmen gegen Störgrößen.....	25
4 Schutztechnische Anwendungen der Frequenzänderungsgeschwindigkeit	26
4.1 Einleitung und Definitionen	26
4.2 Messverfahren und Messalgorithmen	26
4.3 Anwendungen der ROCOF-Funktion	29
4.3.1 ROCOF-Anwendung für den adaptiven Unterfrequenzlastabwurf	29
4.3.2 Anwendung für Inselerkennung und gesteuerte Inselbildung.....	31
4.3.3 Grenzen der Anwendung	32
4.3.4 Typische Einstellwerte und Funktionsweisen	33
4.4 Prüfungen.....	36
5 Hinweis zur Prüfung mit Harmonischen	38
5.1 Grundlagen.....	38
5.1.1 Rotierender Zeiger und Phasenverschiebung der Grund- und Oberschwingung	38

5.1.2	Frequenzänderung	38
5.2	Festlegung der Oberschwingungsparameter	39
5.2.1	Genauigkeitsprüfung	39
5.2.2	Stabilitätsprüfung	40
6	Blockierung der Frequenzauslösung	42
7	Simulation eines Unterfrequenzschutzes bei Lastabwurf	43
7.1	Zielsetzung	43
7.2	Unterfrequenzschutz-Messprinzip	43
7.3	Modellbildung und Simulation	44
7.4	Verhalten mit synthetisch erzeugten Spannungsverläufen	44
7.5	Verhalten mit aufgezeichneten Stördaten aus verschiedenen Netzen	47
7.6	Verhalten mit Netzmodell-Messdaten	49
7.7	Algorithmus-Varianten für die Frequenzmessung	50
7.8	Schlussfolgerungen	51
8	Reale Frequenzverläufe	52
9	Empfehlungen zum Prüfen	57
9.1	Randbedingungen der Prüfung des Frequenzschutzes	57
9.1.1	Frequenzsprung oder quasistetige Frequenzänderung	57
9.1.2	Frequenzgradient	57
9.1.3	Einfluss von Störgrößen	58
9.1.4	Synthese von Spannungsverläufen ohne Momentanwertsprung nach Frequenzwechsel	59
9.1.5	Wiederholung von Prüfungen	61
9.1.6	Sprünge des Frequenzgradienten	61
9.1.7	Pulsrampen	61
9.2	Empfehlung zur Prüfung verschiedener Frequenzschutz- und ROCOF-Funktionen	61
9.2.1	Inbetriebnahme- und Wiederholungsprüfungen	61
9.2.2	Applikationsprüfungen des Unterfrequenz- und Überfrequenzschutz	61
9.2.3	Zusätzliche Wirkleistungsbestimmung	62
9.2.4	ROCOF-Funktion	62
9.2.5	Zusammengesetzte Funktionen	62
9.3	Störgrößen	62
9.3.1	Phasensprung	62
9.3.2	Amplitudensprung	63
9.3.3	Nullspannungen	63
9.3.4	Harmonische und zwischenharmonische Schwingungen	63
9.4	Empfehlung zur Applikationsprüfung (Akzeptanzprüfung) des Unterfrequenzschutzes für den Lastabwurf	63
9.4.1	Ziele der Applikationsprüfung	63
9.4.2	Abgrenzung zu IEC 60255-181	64
9.4.3	Vorgaben zum Prüfablauf	64
9.4.4	Festlegung der Prüfanforderungen	64

9.4.5	Blockade bei Unterspannung	65
9.4.6	Genauigkeit und Auslösezeit ohne Störgrößen.....	66
9.4.7	Genauigkeit und Auslösezeit bei einem Phasensprung	66
9.4.8	Genauigkeit und Auslösezeit bei einem Spannungssprung	67
9.4.9	Genauigkeit und Auslösezeit bei Harmonischen und Zwischenharmonischen....	68
9.4.10	Genauigkeit und Auslösezeit bei überlagerter Nullspannung.....	70
9.4.11	Wiederholungs- und Inbetriebnahmeprüfungen.....	71
9.4.12	Übersicht und Varianten.....	71
9.4.13	Anmerkungen.....	71
10	Anforderungen an den Leistungsschalter	73
11	Frequenzmessung Stromrichter.....	75
11.1	Stromrichter und Frequenzmessung	75
11.2	Einfache PLL zur Frequenzermittlung	75
11.3	PLL zur Frequenzermittlung bei unsymmetrischer Spannung.....	75
12	Ausblick	78
13	Literaturverzeichnis	80