

# Inhalt

<b>1 Motivation und Ziele</b> .....	<b>12</b>
<b>2 Angepasste Anforderungen</b> .....	<b>13</b>
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
<b>3 Einflussfaktoren auf die Frequenz</b> .....	<b>18</b>
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
<b>4 Schutztechnische Anwendungen der Frequenzänderungsgeschwindigkeit</b> .....	<b>26</b>
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
<b>5 Hinweis zur Prüfung mit Harmonischen</b> .....	<b>38</b>
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
<b>6</b>	<b>Blockierung der Frequenzauslösung .....</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>Simulation eines Unterfrequenzschutzes bei Lastabwurf .....</b>	<b>43</b>
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
<b>8</b>	<b>Reale Frequenzverläufe .....</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>Empfehlungen zum Prüfen .....</b>	<b>57</b>
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
<b>10</b>	<b>Anforderungen an den Leistungsschalter .....</b>	<b>73</b>
<b>11</b>	<b>Frequenzmessung Stromrichter.....</b>	<b>75</b>
11.1	Stromrichter und Frequenzmessung .....	75
11.2	Einfache PLL zur Frequenzermittlung .....	75
11.3	PLL zur Frequenzermittlung bei unsymmetrischer Spannung.....	75
<b>12</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>78</b>
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>80</b>