DIN IEC/IEEE 60255-118-1 (VDE 0435-3118-1)

DIN

Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation" bekannt gegeben worden.

VDE

ICS 29.120.50; 29.120.70

Einsprüche bis 2022-02-17

Entwurf

Messrelais und Schutzeinrichtungen – Teil 118-1: Synchrophasor für Stromversorgungssysteme – Messungen (IEC/IEEE 60255-118-1:2018)

Measuring relays and protection equipment – Part 118-1: Synchrophasor for power systems – Measurements (IEC/IEEE 60255-118-1:2018)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-12-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 75 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ... .

Inhalt

Seite

Anwendungsbeginn ... 2
Nationales Vorwort ... 7
Einleitung ... 8
1 Anwendungsbereich ... 10
2 Normative Verweisungen ... 10
3 Begriffe und Abkürzungen ... 10
3.1 Begriffe ... 10
3.2 Abkürzungen ... 11
4 Synchrophasormessung ... 12
4.1 Eingangs- und Ausgangsgrößen ... 12
4.2 Signal des Stromversorgungssystems ... 12
4.3 Messgrößendefinitionen ... 13
4.3.1 Phasenwinkel des Synchrophasors ... 13
4.3.2 Synchrophasormessgröße ... 13
4.4 Definition der Frequenzmessgröße ... 14
4.5 Definition der Messgröße der Frequenzänderungsgeschwindigkeit ... 14
4.6 Synchronisation der Messzeitpunkte ... 14
5 Konformitätsbewertung der Messung ... 14
5.1 Messvermögen der PMU ... 14
5.2 Bewertung der Messung ... 15
5.2.1 Bewertung der Synchrophasormessung ... 15
5.2.2 Bewertung der Frequenzmessung und der ROCOF-Messung ... 15
5.2.3 Ansprechzeit und Verzögerungszeit der Messung ... 15
5.2.4 Überschwingen und Unterschwingen ... 16
5.2.5 Latenzzeit der Messwertübermittlung ... 18
5.2.6 Messfehler und betriebsbedingte Fehler ... 18
5.3 Messwertübermittlung ... 18
5.3.1 Allgemeines ... 18
5.3.2 Berichtsraten ... 19
5.3.3 Berichtszeitpunkte ... 19
5.4 Konformität der Messung ... 19
5.4.1 Leistungsklassen ... 19
5.4.2 Nachweis der Übereinstimmung ... 20
6 Prüfung und Bewertung der Konformität der Messung ... 20
6.1 Hinweise zu den Prüfungen ... 20
6.2 Referenz- und Prüfbedingungen ... 21

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

6.3 Übereinstimmung bei stationären Bedingungen ... 21
6.4 Übereinstimmung bei dynamischen Bedingungen – Messbandbreite ... 25
6.5 Übereinstimmung bei dynamischen Bedingungen – Verhalten bei einem Anstieg der Systemfrequenz ... 28
6.6 Übereinstimmung bei dynamischen Bedingungen – Verhalten bei Sprüngen in der Phase und im Betrag ... 31
6.7 Konformität der Latenzzeit der PMU-Übermittlung ... 32
7 Dokumentation ... 33
Anhang A (informativ) Zeitmarken und dynamisches Verhalten ... 34
A.1 Dynamisches Verhalten ... 34
A.2 Zeitmarken ... 34
A.3 Beispiel für die Prüfung mit einem Betragssprung ... 37
A.4 PMU-Zeiteingabe ... 38
Anhang B (informativ) Parameterdarstellung und Anwendungsbeispiele für die Definitionen ... 40
B.1 Allgemeines ... 40
B.2 Darstellung nicht stationärer Sinuskurven ... 40
B.3 Einführung von Anwendungsbeispielen für die Definitionen ... 41
B.3.1 Allgemeines ... 41
B.3.2 Beispiel 1: stationärer Zustand bei Nennfrequenz ... 41
B.3.3 Beispiel 2: stationärer Zustand und konstante vom Nennwert abweichende Frequenz ... 41
B.3.4 Beispiel 3: Schwingen von Phase und Amplitude des Signals des Stromversorgungssystems ... 42
B.3.5 Beispiel 4: Frequenz mit einer konstanten Änderungsgeschwindigkeit ungleich null ... 43
B.4 Rekonstruktion des Sinussignals des Stromversorgungssystems aus dem Synchrophasor ... 44
Anhang C (informativ) Bewertung und Prüfung der PMU ... 45
C.1 Allgemeines ... 45
C.2 Bewertung der Messung mithilfe des TVE ... 45
C.3 Beziehung zwischen Phase und Betrag bei TVE und Zeitsteuerung ... 46
C.4 Bewertung des Ansprechens auf sprungförmige Eingangssignale ... 48
C.5 Signalphasen für Prüfungen mit Oberschwingungsverzerrung ... 49
C.6 ROCOF-Grenzwerte ... 50
C.6.1 Allgemeines ... 50
C.6.2 Ableitung ... 51
C.7 Latenzzeit der PMU-Übermittlung ... 52
Anhang D (informativ) Referenzmodelle für die Signalverarbeitung ... 53
D.1 Allgemeines ... 53
D.2 Grundmodell für die Schätzung des Synchrophasors ... 53
D.3 Kompensation des Zeitstempels hinsichtlich der Gruppenlaufzeit des Tiefpassfilters ... 54
D.4 Mitsystemsignal, Frequenz und ROCOF ... 55
D.5 Referenzmodell der Klasse P für den Zeiger ... 56
D.6 Details zu Filtern der Klasse P ... 56

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

D.7 Referenzmodell der Klasse M für den Zeiger ... 57
D.8 Modell für die Reduktion der Datenrate ... 59
D.9 Gegenläufige Abhängigkeiten im Referenzmodell ... 60
D.9.1 Störfestigkeit gegen vom Nennwert abweichende Komponenten, Latenzzeit der Übermittlung und Zeitabgleich ... 60
D.9.2 Ansprechzeit und Genauigkeit von Synchrophasor-, Frequenz- und ROCOF-Messungen ... 61
Anhang E (informativ) Synchrophasormessung mit Eingabe von Abtastwerten in die PMU ... 62
E.1 Allgemeines ... 62
E.2 Erstellung von Abtastwerten ... 62
E.3 Quellen für Synchrophasorfehler bei der Verwendung von Abtastwerten ... 63
E.4 Leistung ... 63
E.4.1 Allgemeines ... 63
E.4.2 Überlegungen zur Leistung unter stationären Bedingungen ... 64
E.4.3 Überlegungen zur Leistung unter dynamischen Bedingungen ... 64
E.4.4 Latenzzeit ... 65
E.5 Vorgeschlagene Änderungen an den Leistungsanforderungen ... 65
Anhang F (informativ) Vorgeschlagene Prüfauswahl für die Bewertung der PMU unter Umgebungseinflüssen ... 66
Anhang G (normativ) Festlegung für eine erweiterte Genauigkeit für PMUs im stationären Zustand ... 67
G.1 Allgemeines ... 67
G.2 Geltende Bedingungen ... 67
G.3 Festlegung der Genauigkeit ... 68
G.4 Anwendungsbeispiele ... 68
G.5 Bevorzugte Genauigkeitsbereiche ... 69
G.6 Probleme bei den Prüfungen ... 69
G.6.1 Prüfung auf bessere Genauigkeit ... 69
G.6.2 Prüfen bei Strömen oberhalb des thermischen Bemessungsdauerstroms ... 69
G.6.3 Umgebungsaspekte ... 69
Anhang H (informativ) Messung von Generatorspannung und Leistungswinkel ... 70
H.1 Allgemeines ... 70
H.2 Messverfahren ... 70
H.3 Eingangssignal ... 70
H.4 Ablauf der Messung ... 70
Anhang I (normativ) Klassen für PMUs mit erweiterter Bandbreite ... 72
I.1 Allgemeines ... 72
I.2 Bestimmung der Bandbreite ... 72
I.3 Klassen mit erweiterter Bandbreite ... 72
I.4 Probleme bei den Prüfungen ... 73
Literaturhinweise ... 74

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Bilder

Bild 1 – Eingangs- und Ausgangsgrößen ... 12
Bild 2 – Beispiele für die Übergänge bei Sprüngen ... 16
Bild A.1 – Phasengang bei einer Prüfung mit Frequenzsprung ohne Kompensation der Gruppenlaufzeit ... 35
Bild A.2 – Phasengang bei einer Prüfung mit Frequenzsprung nach Kompensation der Gruppenlaufzeit ... 36
Bild A.3 – Ergebnisse einer Prüfung mit Betragssprung für drei verschiedene Algorithmen ... 37
Bild A.4 – Beispiel für die Prüfung mit einem Betragssprung ... 38
Bild B.1 – Abtastung einer sinusförmigen vom Nennwert abweichenden Frequenz des Stromversorgungssystems ... 42
Bild C.1 – Vektorgesamtfehler (TVE) ... 46
Bild C.2 – 1-%-Kriterium für den TVE, dargestellt am Zeigerende ... 46
Bild C.3 – TVE als eine Funktion des Betrags für verschiedene Phasenfehler ... 47
Bild C.4 – TVE als eine Funktion der Phase für verschiedene Betragsfehler ... 47
Bild C.5 – Beispiel für Sprungmessungen mit einem Betragssprung bei t = 0 ... 49
Bild C.6 – Beispiel für die Latenzzeit der PMU-Übermittlung (tatsächliche PMU-Messung) ... 52
Bild D.1 – Einphasiger Abschnitt des PMU-Zeiger-Signalverarbeitungsmodells ... 54
Bild D.2 – Vollständiges PMU-Signalverarbeitungsmodell ... 55
Bild D.3 – Beispiel für Filterkoeffizienten der Klasse P (N = 2 × (16 − 1) = 30) ... 56
Bild D.4 – Ansprechverhalten eines Filters der Klasse P als Funktion der Frequenz ... 57
Bild D.5 – Festlegung der Maske des Filterfrequenzgangs des Referenzalgorithmus für Klasse M ... 58
Bild D.6 – Beispiel für Filterkoeffizienten der Klasse M ... 59
Bild D.7 – Signalverarbeitungsmodell mit einer Reduktion der Datenrate ... 60
Bild D.8 – Faktoren, die die Schätzung beeinflussen ... 60
Bild D.9 – Amplitudenfrequenzgang des Referenzfilters mit F_s = 60 fps ... 61
Bild E.1 – Synchrophasoren, deren Eingaben Abtastwerte sind ... 62
Bild H.1 – Zeigerdiagramm unter Leerlaufbedingungen ... 71
Bild H.2 – Zeigerdiagramm mit einer Last am Generator ... 71

Tabellen

Tabelle 1 – Standard-Berichtsraten der PMU ... 19
Tabelle 2 – Anforderungen an stationäre Synchrophasormessungen ... 22
Tabelle 3 – Anforderungen an die Messung von Frequenz und ROCOF unter stationären Bedingungen ... 25
Tabelle 4 – Anforderungen an die Bandbreite der Synchrophasormessung unter Anwendung modulierter Prüfsignale ... 27
Tabelle 5 – Leistungsanforderungen für Frequenz und ROCOF bei Modulationsprüfungen ... 27
Tabelle 6 – Leistungsanforderungen für Synchrophasoren bei Prüfungen mit Frequenzanstieg ... 30
Tabelle 7 – Leistungsanforderungen für Frequenz und ROCOF bei Prüfungen mit Frequenzanstieg ... 31
Tabelle 8 – Leistungsanforderungen für Zeiger bei einem Sprung am Eingang ... 32
Tabelle 9 – Leistungsanforderungen für Frequenz und ROCOF bei einem Sprung am Eingang ... 32
Tabelle 10 – Latenzzeit der PMU-Übermittlung ... 33
Tabelle C.1 – Phasenfolge der Oberschwingungen in einem symmetrischen Dreiphasensystem ... 50

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Tabelle D.1 – Parameter eines Tiefpassfilters der Klasse M..... 59
Tabelle E.1 – Zusammenfassung der vorgeschlagenen Änderungen an den Leistungsanforderungen..... 65
Tabelle G.1 – Bedingungen für die Prüfungen der erweiterten Genauigkeit..... 67
Tabelle I.1 – Bedingungen für die Prüfungen der erweiterten Bandbreite..... 72

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Nationales Vorwort

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 434 „Messrelais und Schutzeinrichtungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Das internationale Dokument wurde vom TC 95 „Measuring relays and protection equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) und von IEEE gemeinsam veröffentlicht und unterliegt dem Copyright von IEC/IEEE.

Das IEC- und IEEE-Komitee haben entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „http://webstore.iec.ch“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass die Annahme dieser IEC/IEEE-Publikation die Anwendung von Unterlagen erfordert, die Patentrechte berühren können. Durch Veröffentlichung dieser Norm wird kein Zusammenhang in Bezug auf das Vorhandensein oder die Gültigkeit jeglicher Patentrechte hergestellt. IEC und/oder IEEE sind nicht dafür verantwortlich, wesentliche Patentansprüche, für die eine Lizenz erforderlich sein kann, zu identifizieren, Untersuchungen zur Rechtsgültigkeit oder zum Anwendungsbereich von Patentansprüchen durchzuführen oder festzustellen, ob Lizenzbestimmungen im Zusammenhang mit einem „Letter of Assurance“, falls vorhanden, oder in anderen Lizenzvereinbarungen angemessen und nicht-diskriminierend sind. Anwender dieser Norm werden ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Bestimmung der Gültigkeit jeglicher Patentrechte und das Risiko des Verstoßes gegen derartige Rechte ausschließlich in ihrer Verantwortung liegt.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Einleitung

Dieses Dokument enthält die Fortsetzung und Weiterentwicklung früherer Synchrophasornormen, insbesondere der Normenreihe IEEE C37.118. Es werden Messungen des Synchrophasors, der Frequenz und der Frequenzänderungsgeschwindigkeit (ROCOF) definiert, die bei dieser Technologie zum Einsatz kommen. Diese Definitionen stehen im Einklang mit dem überwiegenden Teil der Forschung zu und Analyse von Messungen von dynamischen elektrischen Stromversorgungssystemen, können sich aber von den Definitionen in anderen Zusammenhängen unterscheiden. Es werden Funktions- und Leistungsanforderungen an Synchrophasormessungen angegeben. Es werden Prüfungen, Bewertungskriterien und Fehlergrenzen angegeben, damit ermittelt werden kann, ob die Anforderungen erfüllt werden.

Die informativen Anhänge A, B, C, F und H enthalten Einzelheiten zu Zeitsteuerungsaspekten, der Anwendung und Ableitung von Definitionen, PMU-Messungen, dem Generatorleistungswinkel und Umgebungsprüfungen. In dem informativen Anhang D werden die Referenzmodelle der Klassen M und P erörtert, mit denen sichergestellt wird, dass die Anforderungen erfüllt werden können; diese Modelle dienen lediglich der Grenzwertqualifizierung, da erwartet wird, dass die meisten echten Implementierungen eine bessere Leistung als diese Modelle erzielen. In dem informativen Anhang E werden überarbeitete Leistungsanforderungen an Synchrophasoren beschrieben, die auf Abtastwerten (en: sampled value) beruhen. Diese werden möglicherweise normativen Anforderungen in einer künftigen Überarbeitung der Norm als Grundlage dienen. Die normativen Anhänge G und I enthalten die optionale Qualifizierung einer erweiterten Genauigkeit unter stationären Bedingungen sowie der Bestimmung einer erweiterten Messbandbreite.

Eine Phasor Measurement Unit (PMU) schätzt anhand der Signale an ihren Eingangsanschlüssen oder ihrer Schnittstelle die Parameter Betrag, Phasenwinkel, Frequenz und Frequenzänderungsgeschwindigkeit. Die Eingangssignale können durch Oberschwingungen, Störsignale und Zustandsänderungen, die durch Laständerungen verursacht werden, sowie durch Steuer- und Schutzmaßnahmen verfälscht werden, was die Schätzung der Parameter erschwert. Beispiele dafür sind Oberschwingungen, die durch nichtlineare Lasten eingeführt werden, Phasensprünge durch schaltbare reaktive Bauelemente und statisches Rauschen durch Lichtbogenöfen. Diese Erscheinungen erschweren die Messung der Erzeugungs- und Lastkennwerte bei oder nahe der Grundfrequenz des Systems. Ziel dieses Dokuments ist es, die Leistung einer PMU zu beschreiben und zu quantifizieren, so dass sie unter den Bedingungen eines realen Stromversorgungssystems eine zuverlässige, genaue Messung liefert.

Die Synchrophasoren werden anhand von Abtastungen der Wechselstrom-Kurvenformen von Spannung und Strom geschätzt. Da es sich hierbei um Wechselstromsignale handelt, wird bei der Schätzung ein Intervall oder „Fenster“ angesetzt, über das die Abtastungen vorgenommen werden, die für die Schätzung verwendet werden. Innerhalb des Schätzintervalls kann es zu Änderungen der Kurvenformparameter kommen, die Schätzung stellt also eine Art „Durchschnittswert“ der Sinusgröße über dieses Fenster dar. Die Länge und die Gewichtung des Fensters wirken sich direkt auf die Schätzung aus. Ein längeres Fenster reduziert Störungen, zugleich „verschwinden“ dynamischere Veränderungen jedoch in der Mittelung. Unter Bedingungen schneller dynamischer Veränderungen, wie bei einem Fehler, können die Zeigerwerte sehr ungenau sein. Der Anwender sollte ihre Verwendung genau prüfen und gegebenenfalls Filter einsetzen, wenn solche Bedingungen Probleme verursachen können.

Die Frequenz und die ROCOF sind definiert als die erste und zweite Ableitung des Phasenwinkels. Sie werden häufig mittels Anwendung eines Finite-Differenzen-Verfahrens auf den gemessenen Winkel berechnet. Jedwede Störung des Winkels beeinträchtigt diese Messungen. In der Folge sinkt die Genauigkeit der Messungen und es können sich irreführende Werte ergeben. Dieses Dokument enthält eine Reihe von Leistungsanforderungen für PMUs, mit denen sichergestellt werden soll, dass sich konforme Messgeräte gleich verhalten, wenn diese Folge von Prüfsignalen an sie angelegt wird. Anwender sollten sich darüber im Klaren sein, dass bei Störungen eines realen Systems größere Messfehler auftreten können. Diese Fehler können ein beträchtliches Ausmaß annehmen, insbesondere bei Ableitungen höherer Ordnung (wie der ROCOF). Zur Verringerung oder Beseitigung dieser Fehler können alternative Formen der Signalverarbeitung zur Anwendung kommen, diese sind jedoch in einer Echtzeitumgebung schwierig umzusetzen. In diesem Dokument werden keine Alternativen beschrieben oder bewertet.

In diesem Dokument werden funktionale Anforderungen festgelegt; spezifische Anforderungen an die Umgebung liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments. Die in diesem Dokument geforderten Prüfungen werden unter Standardlaborbedingungen durchgeführt; Umgebungsbedingungen, wie

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

sie für bestimmte Anwendungen möglicherweise festgelegt werden, werden davon nicht abgedeckt. Geräte, die die Funktionen aus diesem Dokument beinhalten, werden möglicherweise auch an Umgebungsnormen wie IEEE Std 1613™ und IEC 60255–1 ausgerichtet. Den Anbietern wird nahegelegt, Informationen über die Auswirkungen von Umgebungseinflüssen auf die Leistung des Gerätes anzugeben, möglicherweise unter Beschreibung der Kriterien des Bestehens/Nichtbestehens für die Ermittlung der Übereinstimmung mit den Anforderungen an die Umgebung. Anhang F enthält Hilfestellung bezüglich infrage kommender Prüfprofile.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Messrelais und Schutzeinrichtungen – Teil 118-1: Synchrophasor für Stromversorgungssysteme – Messungen

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60255 behandelt Synchronzeigermesssysteme in Stromversorgungssystemen. Er definiert Messungen des Synchronzeigers (Synchrophasors), der Frequenz und der Frequenzänderungsgeschwindigkeit. Er beschreibt Anforderungen an Zeitmarken und die Synchronisation für die Messung aller drei Größen. Er legt Methoden für die Bewertung dieser Messungen und Anforderungen für die Übereinstimmung mit dieser Norm unter statischen und unter dynamischen Bedingungen fest. Er definiert eine Phasor Measurement Unit (PMU), die ein eigenständiges technisches Gerät oder eine Funktionseinheit innerhalb eines anderen technischen Gerätes sein kann. In diesem Dokument werden weder Hardware oder Software noch ein Berechnungsverfahren für Zeiger, die Frequenz oder die Frequenzänderungsgeschwindigkeit festgelegt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60255-1 *Measuring relays and protection equipment – Part 1: Common requirements*

IEEE Std C37.90™ *IEEE Standard for Relays and Relay Systems Associated with Electric Power Apparatus*

3 Begriffe und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO, IEC und IEEE stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter http://www.electropedia.org/
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter http://www.iso.org/obp
- *IEEE Standards Dictionary Online*: verfügbar unter http://dictionary.ieee.org

3.1 Begriffe

3.1.1
Frequenzfehler
FE, en: frequency error
Differenz zwischen der gemessenen Frequenz und der Referenzfrequenz zum gleichen Zeitpunkt

3.1.2
Schaltsekunde
Hinzufügen (positive Sekunde) oder Abziehen (negative Sekunde) einer Sekunde zur bzw. von der koordinierten Weltzeit (UTC), damit die mittlere Sonnenzeit annähernd eingehalten wird

3.1.3
Messgröße
physikalische oder elektrische Größe, Eigenschaft oder Bedingung, die zu messen ist

3.1.4
Nyquist-Frequenz
halbe Abtastfrequenz eines Verarbeitungssystems diskreter Signale

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

3.1.5
Zeiger
komplexe Darstellung einer Sinusgröße mit der Amplitude der Kosinuswelle als komplexer absoluter Betrag und dem Phasenwinkel der Kosinuswelle als komplexer Winkel (in Polarkoordinaten)

3.1.6
Zeigerdatenkonzentrator
in Zeigermesssystemen benutzter Datenkonzentrator (DC, en: data concentrator)

3.1.7
Phasor Measurement Unit
PMU
Gerät oder Funktion in einem Mehrfunktionsgerät, das/die Schätzungen des Synchronzeigers, der Frequenz und der Frequenzänderungsgeschwindigkeit (ROCOF) aus Spannungs- und/oder Stromsignalen und einem Zeitsynchronisationssignal erzeugt

3.1.8
Fehler der Frequenzänderungsgeschwindigkeit
RFE, en: rate of change of frequency error
Differenz zwischen der gemessenen Frequenzänderungsgeschwindigkeit und der Referenz-Frequenzänderungsgeschwindigkeit zum gleichen Zeitpunkt

3.1.9
Referenz
<von oder gehörend zu einem/einer> Zeitpunkt, Pegel, Kurvenformeigenschaft oder Kurvenform, der/die für den Vergleich mit oder die Bewertung von anderen Zeitpunkten, Pegeln, Kurvenformeigenschaften oder Kurvenformen verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Art von Element kann, muss aber kein ideales Element sein.

3.1.10
Synchrophasor
Synchronzeiger
Zeiger, der die Grundschwingung eines Wechselstromsignals repräsentiert, dessen Betrag dem Effektivwert der Grundschwingungsamplitude entspricht und dessen Winkel der Differenz zwischen dem Winkel der Signalgrundschwingung und dem Phasenwinkel eines Kosinus bei der mit der UTC synchronisierten Nennsignalfrequenz entspricht

3.1.11
Vektorgesamtfehler
TVE, en: total vector error
normierter Wert der Differenz zwischen dem gemessenen Synchrophasor und dem Referenzsynchrophasor zum gleichen Zeitpunkt

3.2 Abkürzungen

BCD	binär codierte Dezimalziffer (en: binary coded decimal)
f_0	Nennfrequenz des Systems, entweder 50 Hz oder 60 Hz
ω_0	Nennfrequenz des Systems ($2\pi f_0$) in Radiant/s
f_{in}	Eingangsgrundfrequenz; Frequenz am Messeingang, die in der Regel dem Nennwert oder annähernd dem Nennwert (50 Hz oder 60 Hz) entspricht, die aber bei größeren Störungen oder während Prüfungen erheblich davon abweichen kann
fps	Rahmen je Sekunde (en: frames per second); Geschwindigkeit, mit der Rahmen von Synchrophasordaten übertragen werden

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

F_s	Häufigkeit der Messdatenübermittlung (en: measurement data reporting) in Rahmen je Sekunde (fps) in einer Einheit wie Hz (1/s)
GNSS	weltweites Navigationssatellitensystem (en: global navigation satellite system)
GPS	weltweites Ortungssystem (en: global positioning system)
IRIG-B	Inter Range Instrumentation Group, Zeitcodeformat B
PPS	Impulse je Sekunde (en: pulse per second)
ROCOF	Frequenzänderungsgeschwindigkeit (en: rate of change of frequency)
SCADA	System für die Überwachung, Steuerung und Datenerfassung (en: Supervisory Control And Data Acquisition)
SOC	Sekunde des Jahrhunderts (en. second of century)
THD	Gesamt-Oberschwingungsverzerrung (en: total harmonic distortion)
THD+N	Gesamt-Oberschwingungsverzerrung zuzüglich Rauschen (en: total harmonic distortion plus noise)
UTC	koordinierte Weltzeit

4 Synchrophasormessung

4.1 Eingangs- und Ausgangsgrößen

Wie in Bild 1 dargestellt, sind die Eingangsgrößen das Zeitsignal sowie die Spannungs- und Stromsignale des Stromversorgungssystems. Das Zeitsignal muss die UTC mit hinreichender Genauigkeit liefern, so dass die PMU die festgelegten Leistungsanforderungen erfüllen kann. Das Zeitsignal muss den vom Hersteller der PMU festgelegten Anforderungen an Eingaben entsprechen. In Anhang A werden übliche Formate vorgestellt.

Das Spannungs- und das Stromsignal müssen der PMU je nach Festlegung des Herstellers entweder als analoge Größen über eine Leitung oder als Datenpakete über Kommunikationskreise bereitgestellt werden. Diese Signale stellen die Wechselstromsignale des Stromversorgungssystems dar.

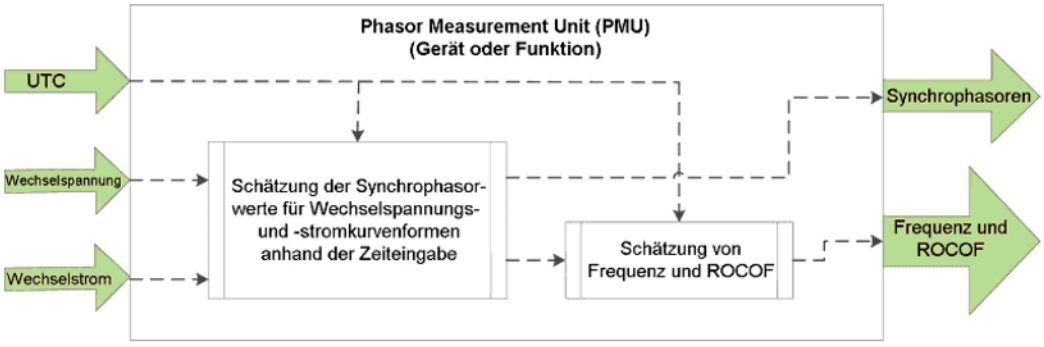


Bild 1 – Eingangs- und Ausgangsgrößen

Ausgaben sind die von der PMU angestellten Schätzungen von Synchrophasor, Frequenz und ROCOF. Diese werden in der Regel mit einem Zeitstempel versehen, der den Messzeitpunkt wiedergibt. Der PMU-Hersteller darf zusätzliche Analog- und Digitaleingänge und -ausgänge hinzufügen, diese fallen jedoch nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments und werden deshalb an dieser Stelle nicht behandelt.

4.2 Signal des Stromversorgungssystems

Die Spannung bzw. der Strom in einem Wechselstromnetz werden mit der folgenden Gleichung modelliert:

$$x(t) = X_m(t)\cos[\theta(t)] + D(t) \quad (1)$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Dabei ist

t	die Zeit in Sekunden, wobei t = 0 mit einem UTC-Sekundenwechsel zusammenfällt;
X_m	der Spitzenbetrag des sinusförmigen Wechselstromsignals;
θ	die Winkellage des sinusförmigen Wechselstromsignals in Radiant;
D	ein Störsignal, das additive Beiträge zu dem Signal enthält, darunter Oberschwingungen, Rauschen, Gleichstromversatz und Außerbandstörungen.

ANMERKUNG 1 Das Störsignal D wird unter den Messgrößendefinitionen nicht aufgeführt, da es additive Störungen enthält, die im Zuge der Schätzung des Synchrophasors gedämpft oder unterdrückt werden.

ANMERKUNG 2 X_m, θ und D sind kontinuierliche Funktionen der Zeit, wie durch die Notation (t) angedeutet.

4.3 Messgrößendefinitionen

4.3.1 Phasenwinkel des Synchrophasors

Der Phasenwinkel des Synchrophasors $\phi(t)$ ist definiert als die Phasenverschiebung zwischen Winkellage $\theta(t)$ und Phase aufgrund der Nennfrequenz f_0:

$$\phi(t) = \theta(t) - 2\pi f_0 t \tag{2}$$

ANMERKUNG Die Winkelgeschwindigkeit θ liegt typischerweise nahe bei der Winkelgeschwindigkeit, die sich aus der Nennfrequenz des Stromversorgungssystems f_0, d. h. 50 Hz oder 60 Hz, ergibt. Der Synchrophasor wird häufig in Form digitaler Abtastungen oder Berichte/Übermittlungen (en: report) bereitgestellt, mit einer Geschwindigkeit, die deutlich unterhalb der Nennfrequenz des Stromversorgungssystems liegt (z. B. 10 Berichte je Sekunde für 50-Hz- und 60-Hz-Stromversorgungssysteme). Die den Abtastungen zugrunde liegende Theorie beruht auf einer Abtastrate von mehr als 120 Abtastungen/s zur Rekonstruktion eines 60-Hz-Signals ohne Abtaststörung (Aliasing). Dadurch, dass $2\pi f_0 t$ von θ abgezogen wird, geht die Winkelgeschwindigkeit des Synchrophasorphasenwinkels $\phi(t)$ mit sich der Nennfrequenz nähernder Frequenz gegen null. Auf diese Weise können Synchrophasoren bei relativ geringen Geschwindigkeiten ohne Abtaststörungen übermittelt (d. h. in einem Bericht erfasst, en: reported) werden. Beispielsweise können Signale des Stromversorgungssystems, deren Grundfrequenz zwischen 55 Hz und 65 Hz (unter Ausschluss dieser Werte) liegt, bei einer f_0 von 60 Hz ohne Abtaststörungen durch Synchrophasoren dargestellt werden, die mit 10 Rahmen/s übermittelt werden.

4.3.2 Synchrophasormessgröße

Die Synchrophasormessgröße ist eine komplexe Zahl, die wie folgt in Polarkoordinaten dargestellt werden kann:

$$X(t) = \left(\frac{X_m(t)}{\sqrt{2}}, \phi(t) \right) \tag{3}$$

Alternativ kann die Synchrophasormessgröße wie folgt in kartesischen Koordinaten dargestellt werden:

$$X(t) = \left(X_r(t), X_i(t) \right) \tag{4}$$

Dabei sind Realteil (X_r) und Imaginärteil (X_i) wie folgt definiert:

$$X_r(t) = \frac{X_m(t)}{\sqrt{2}} \cos[\phi(t)] \tag{5}$$

$$X_i(t) = \frac{X_m(t)}{\sqrt{2}} \sin[\phi(t)] \tag{6}$$

ANMERKUNG 1 Die Definition von $X_m(t)$, $\theta(t)$ und $D(t)$ reicht aus, um das Zeitbereichssignal und den Erwartungswert aller Messgrößen zu definieren. Der Erwartungswert der diskreten Zeitmessgröße kann aus der kontinuierlichen Zeitmessgröße

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

abgeleitet werden, indem $t = nT$ laufen gelassen wird, wobei n eine ganze Zahl und T eine Messberichtsperiode (en: measurement reporting period) in Sekunden (d. h. der Kehrwert der Berichtsrate (en: reporting rate)) ist.

ANMERKUNG 2 Beispiele für die Anwendung der Messgrößendefinitionen können Anhang B entnommen werden.

4.4 Definition der Frequenzmessgröße

Die Frequenzmessgröße ist die Winkelgeschwindigkeit des Wechselstromsignals des Stromversorgungssystems in Hz. Sie bezieht sich auf die Winkellage des Grundschwingungssignals des Stromversorgungssystems entsprechend der Darstellung in Gleichung (7):

$$f(t) = \frac{1}{2\pi}\frac{d\theta(t)}{dt} = f_0 + \frac{1}{2\pi}\frac{d[\phi(t)]}{dt} \tag{7}$$

4.5 Definition der Messgröße der Frequenzänderungsgeschwindigkeit

Die ROCOF-Messgröße ist die Winkelbeschleunigung des Wechselstromsignals des Stromversorgungssystems in Hz/s. Sie bezieht sich auf die Winkelgeschwindigkeit des Signals des Stromversorgungssystems entsprechend der Darstellung in Gleichung (8):

$$\mathrm{ROCOF}(t) = \frac{df(t)}{dt} = \frac{1}{2\pi}\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = \frac{1}{2\pi}\frac{d^2\phi(t)}{dt^2} \tag{8}$$

4.6 Synchronisation der Messzeitpunkte

Die PMU muss die Zeit von einer zuverlässigen und genauen Quelle wie einem weltweiten Navigationssatellitensystem (GNSS) empfangen können, die eine mit ausreichender Genauigkeit auf die UTC rückführbare Zeit zur Verfügung stellen kann, um den Vektorgesamtfehler (TVE), den Frequenzfehler (FE) und den Fehler (RFE) der Frequenzänderungsgeschwindigkeit (ROCOF) innerhalb der geforderten Grenzen zu halten. Sämtliche Messungen müssen mit einer Genauigkeit mit der UTC synchronisiert werden, die ausreicht, um die Anforderungen dieses Dokuments zu erfüllen. Ein Zeitfehler von 1 µs entspricht in einem 60-Hz-System einem Synchrophasor-Phasenfehler von 0,022° und in einem 50-Hz-System einem Synchrophasor-Phasenfehler von 0,018°. Ein Phasenfehler von 0,57° (0,01 Radiant) verursacht einen TVE nach der Definition in Gleichung (9) von 1 %. Dies entspricht einem Zeitfehler von ±26 µs in einem 60-Hz-System und von ±31 µs in einem 50-Hz-System. Dringend empfohlen wird eine Zeitquelle, die Zeit, Frequenz und Frequenzstabilität mindestens 10-mal besser als mit diesen Werten zur Verfügung stellt, die einem 1-%-TVE entsprechen. Des Weiteren muss die Zeitquelle eine auf die UTC rückführbare Anzeige mit einer Anzeige von Schaltsekundenänderungen besitzen.

Die PMU muss jeder Messung eine Zeitmarke mit der Zeit und der Zeitqualität zum Zeitpunkt der Messung zuordnen. Die Zeitmarke muss den Messzeitpunkt innerhalb einer festgelegten 100-Jahres-Periode auf mindestens 1 µs auflösen. Der Zeitstatus muss die Zeitqualität mit einer eindeutigen Rückführbarkeit auf die UTC, der Zeitgenauigkeit und dem Status der Schaltsekunde enthalten. Zeitpunkt und Zeitqualität für die Übermittlung und das Aufzeichnen müssen der PMU-Zeitmarke entnommen und gegebenenfalls in das entsprechende Format bzw. den entsprechenden Inhalt umgewandelt werden.

5 Konformitätsbewertung der Messung

5.1 Messvermögen der PMU

Eine PMU muss Schätzungen des Synchrophasors, der Frequenz und der ROCOF entsprechend der Definition und Beschreibung in Abschnitt 4 berechnen und übermitteln können. Die Schätzungen müssen einphasige Synchrophasoren oder Mitsystem-Synchrophasoren oder beide einschließen. Es müssen Regelungen für die Auswahl der Messwerte durch den Anwender getroffen werden. In Abschnitt 5 werden die Bewertung der Messung, die Berichtszeitpunkte (en: reporting time) und die Bewertungskriterien behandelt. Abschnitt 6 enthält eine Prüfbeschreibung und die Grenzwerte für die Bewertung. Bei Messungen handelt es sich eigentlich um

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Schätzungen eines bestimmten Wertes; die Benennungen „Messung“ und „Schätzung“ werden in diesem Dokument synonym verwendet.

Zur Ermittlung der Leistung der PMU müssen die gemessenen Werte unter Verwendung der in 5.2.1 und 5.2.2 definierten Formeln für TVE, FE und RFE mit den Referenzwerten abgeglichen werden. Die Referenzwerte werden ermittelt, indem die Messgrößendefinitionen auf die in diesen Prüfungen verwendeten vorgeschriebenen Signale angewendet werden.

5.2 Bewertung der Messung

5.2.1 Bewertung der Synchrophasormessung

Die Synchrophasorreferenzwerte und die von einer PMU bereitgestellten Werte können sich sowohl in der Amplitude als auch in der Phase unterscheiden. Die Amplituden- und Phasendifferenzen könnten zwar separat festgelegt werden, werden in diesem Dokument aber in Form der Größe des Vektorgesamtfehlers (TVE) gemeinsam betrachtet. Der TVE gibt die Differenz zwischen einem Referenzwert und der PMU-Schätzung zum gleichen Zeitpunkt an und wird auf den Referenzwert der Messgröße normiert.

Der Vektorgesamtfehler (TVE) wird in Gleichung (9) definiert:

$$\mathrm{TVE}(n) = \sqrt{\frac{(\hat{X}_r(n) - X_r(n))^2 + (\hat{X}_i(n) - X_i(n))^2}{(X_r(n))^2 + (X_i(n))^2}} \tag{9}$$

Dabei sind

$\hat{X}_r(n)$ und $\hat{X}_i(n)$ der Realteil und der Imaginärteil der PMU-Schätzung zum Berichtszeitpunkt n;

$X_r(n)$ und $X_i(n)$ der Realteil und der Imaginärteil der Referenzwerte zum Berichtszeitpunkt n;

n die Berichtsnummer (en: report number), die den Berichtszeitpunkt angibt (der n-te Berichtin einer Reihe diskreter Berichte).

Zur Bewertung der Synchrophasormessungen muss das TVE-Kriterium aus Gleichung (9) herangezogen werden.

5.2.2 Bewertung der Frequenzmessung und der ROCOF-Messung

Die Messungen von Frequenz und ROCOF müssen als die Differenz zwischen den von der PMU bereitgestellten Messwerten („measured“) und den Referenzwerten („ref“) bewertet werden. Diese sind als FE und RFE in Hz bzw. Hz/s definiert:

Messfehler der Frequenzmessung:

$$\mathrm{FE}(n) = f_{\mathrm{measured}}(n) - f_{\mathrm{ref}}(n) \tag{10}$$

ROCOF-Fehler:

$$\mathrm{REF}(n) = (\mathrm{df}/\mathrm{dt})_{\mathrm{measured}}(n) - (\mathrm{df}/\mathrm{dt})_{\mathrm{ref}}(n) \tag{11}$$

Die Mess- und Referenzwerte gelten für den gleichen Zeitpunkt, der durch die Zeitmarke der Messwerte bzw. den Zeitpunkt, der sich aus der Lösung der Referenzgleichung ergibt, gegeben ist.

5.2.3 Ansprechzeit und Verzögerungszeit der Messung

Die Ansprechzeit der Messung ist die Zeit bis zum Übergang zwischen zwei stationären Messwerten, bevor und nachdem ein Sprung an den Eingang angelegt wird. Sie muss bestimmt werden als Differenz zwischen

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

dem Zeitpunkt, zu dem die Messung eine festgelegte Genauigkeitsgrenze überschreitet, und dem Zeitpunkt, zu dem sie in diese Grenze zurückkehrt und dort bleibt, wenn an den PMU-Eingang ein Sprung angelegt wird (siehe Bild C.5). Für die Messung muss ein positiver oder negativer Sprung der Phase oder des Betrags auf das PMU-Eingangssignal angewendet werden. Das Eingangssignal muss vor und nach dem Sprung in einem stationären Zustand gehalten werden. Der/die sprungförmige(n) (en: stepped) Parameter muss/müssen bei dieser Prüfung die einzige Änderung des Eingangssignals darstellen. Die Genauigkeitsgrenzen sind die TVE-, FE- und RFE-Werte für die Zeiger-, Frequenz- bzw. ROCOF-Messung. Die Grenzwerte werden in 6.6 festgelegt. Die Ansprechzeit wird aus der Bewertung der Genauigkeit der TVE-, FE- oder RFE-Messungen bestimmt und nicht aus dem Sprungzeitpunkt oder den sprungförmigen Parametern selbst.

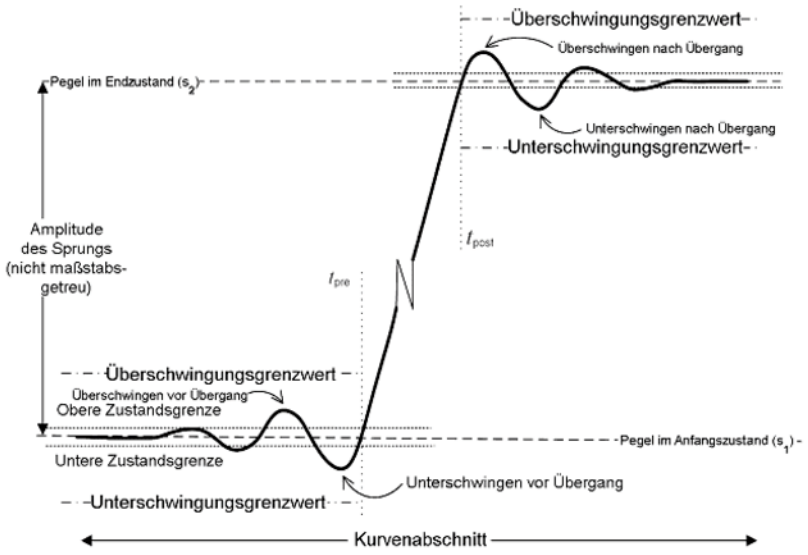
Die Verzögerungszeit der Messung ist definiert als das Zeitintervall zwischen dem Zeitpunkt, zu dem ein Sprung an den PMU-Eingang angelegt wird, und dem Messzeitpunkt, zu dem der sprungförmige Parameter den halben Wert zwischen dem stationären Anfangswert und dem stationären Endwert erreicht (siehe Bild C.5). Sowohl der Sprungzeitpunkt als auch der Messzeitpunkt werden im UTC-Zeitmaßstab gemessen. Für die Messung muss ein positiver oder negativer Sprung der Phase oder des Betrags auf das PMU-Eingangssignal angewendet werden. Das Eingangssignal muss vor und nach dem Sprung in einem stationären Zustand gehalten werden. Der/die sprungförmige(n) (en: stepped) Parameter muss/müssen bei dieser Prüfung die einzige Änderung des Eingangssignals darstellen. Diese Messung erfordert einen Vergleich eines Betragssprungs mit der Betragsmessung und eines Phasenwinkelsprungs mit der Phasenwinkelmessung.

Die Bewertung der Verzögerungszeit der Messung dient als Nachweis dafür, dass die Zeitmarke der Synchrophasormessung (der Messzeitpunkt) hinsichtlich der Gruppenlaufzeit der Filterung angemessen kompensiert worden ist. Es wird davon ausgegangen, dass die von der PMU bereitgestellte Zeitmarke hinsichtlich der Gruppenlaufzeit der Filterung angemessen kompensiert worden ist, so dass die Verzögerung annähernd null sein wird.

Ein Sprung erfolgt der Definition nach momentan; wenn jedoch die Änderungsgeschwindigkeit eines angelegten Signals so gering ist, dass eine erhebliche Unsicherheit in die Anwendungszeit eingeführt wird, muss als Sprungzeitpunkt der Mittelpunkt des Sprungs benutzt werden. In Anhang C wird ein Verfahren für die Bewertung der Ansprech- und der Verzögerungszeit einer Sprungeingabe erörtert.

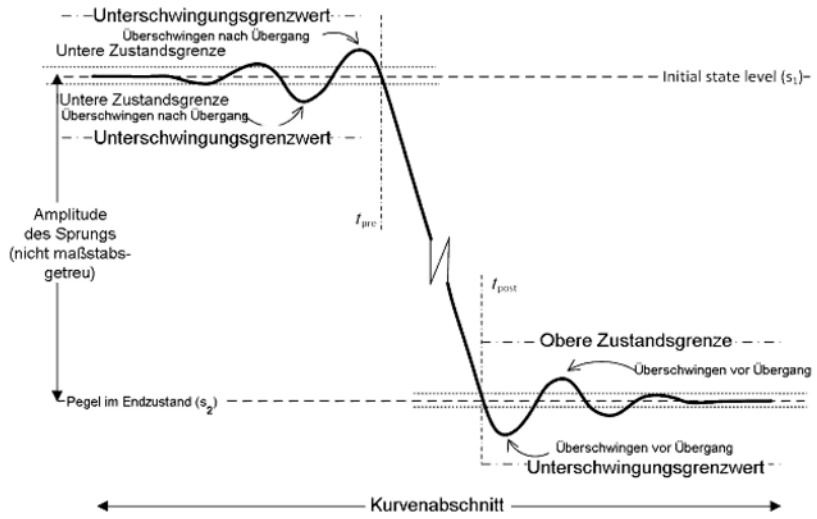
5.2.4 Überschwingen und Unterschwingen

Überschwingen und Unterschwingen sind Aberrationen vor und nach einem Übergang wie einem Sprung der Phase oder des Betrags. Der Betrag von Überschwingen und Unterschwingen bezogen auf die Amplitude des Sprungs ist begrenzt. In Bild 2a und Bild 2b wird die Bestimmung von Oberschwingen und Unterschwingen grafisch dargestellt. In dem Text unter Bild 2 werden die Elemente der Darstellungen beschrieben.



a) – Positiver Sprung des Signals

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01



b) – Negativer Sprung des Signals

Bild 2 – Beispiele für die Übergänge bei Sprüngen

Um das Überschwingen und das Unterschwingen zu bestimmen, werden anhand der PMU-Ausgabe Kurven erstellt, auf deren Grundlage die folgenden Parameter definiert werden.

1) Kurvenabschnitt: Die analysierte Dauer (Intervall) der Kurve, einschließlich der Periode vor und der Periode nach dem Übergang. Die Dauer des Kurvenabschnitts muss 2 s zuzüglich des vierfachen für die geprüfte Berichtsrate angegebenen Ansprechzeit-Grenzwertes betragen.

2) Zustandspegel: s_1 und s_2 aus Bild 2. Der Pegel im Anfangszustand s_1 ist definiert als der Durchschnittswert der Kurvenwerte aus der ersten Datensekunde des Kurvenabschnitts. Der Pegel im Endzustand s_2 ist der Durchschnittswert der letzten Datensekunde des Kurvenabschnitts.

3) Amplitude des Sprungs: Die Differenz zwischen den Zustandspegeln s_1 und s_2. In der Prüfung des Synchrophasorsprungs wird der Eingangssignalübergang festgelegt (siehe Tabelle 8).

4) Zustandsgrenzen: Der obere und der untere Grenzwert des Anfangs- und des Endzustands der Kurve. Hier festgelegt auf ±0,5 % der Amplitude des Sprungs:

   a) für Sprünge des Betrags sind die Zustandsgrenzen die Zustandspegel ±0,5 % des 10-%-Sprungs, was ±0,05 % des Betrags entspricht;

   b) für Sprünge der Phase sind die Zustandsgrenzen die Zustandspegel ±0,05°, was ±0,5 % des 10-Grad-Phasensprungs entspricht.

5) Zeitpunkte und -spannen vor und nach dem Übergang: t_{pre} und t_{post}:

   a) t_{pre} ist der Zeitpunkt, zu dem die Kurve bei einem Sprung in positiver Richtung das letzte Mal die obere Zustandsgrenze des Pegels des Anfangszustands kreuzt bzw. bei einem Sprung in negativer Richtung das letzte Mal die untere Zustandsgrenze des Pegels des Anfangszustands kreuzt. Die Zeitspanne vor dem Übergang ist die Zeitspanne vor t_{pre} ohne t_{pre} selbst.

   b) t_{post} ist der Zeitpunkt, zu dem die Kurve bei einem Sprung in positiver Richtung das erste Mal die untere Grenze des Pegels des Endzustands kreuzt bzw. bei einem Sprung in negativer Richtung das erste Mal die obere Zustandsgrenze des Pegels des Endzustands kreuzt. Die Zeitspanne nach dem Übergang ist die Zeitspanne nach t_{post} einschließlich t_{post} selbst.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

6) Überschwingen: Das relative Maximum der Kurve oberhalb der oberen Zustandsgrenze, das während der Zeitspannen vor und nach dem Übergang erreicht wird.

   a) Das Überschwingen vor dem Übergang ist die Differenz zwischen dem Maximum oberhalb der oberen Zustandsgrenze vor dem Übergang, das während der Zeitspanne vor dem Übergang erreicht wird, und dem Pegel im Anfangszustand s_1.

   b) Das Überschwingen nach dem Übergang ist die Differenz zwischen dem Maximum oberhalb der oberen Zustandsgrenze nach dem Übergang, das während der Zeitspanne nach dem Übergang erreicht wird, und dem Pegel im Endzustand s_2.

   Das Überschwingen muss in Prozent der Amplitude des Sprungs übermittelt werden. Das Überschwingen vor und/oder nach dem Übergang darf den Überschwingungsgrenzwert nicht übersteigen.

7) Unterschwingen: Der Kurvenwert unterhalb der unteren Zustandsgrenze während der Zeitspannen vor und nach dem Übergang.

   a) Das Unterschwingen vor dem Übergang ist die Differenz zwischen dem Minimum unterhalb der unteren Zustandsgrenze vor dem Übergang, das während der Zeitspanne vor dem Übergang erreicht wird, und dem Wert im Anfangszustand s_1.

   b) Das Unterschwingen nach dem Übergang ist die Differenz zwischen dem Minimum unterhalb der unteren Zustandsgrenze vor dem Übergang, das während der Zeitspanne nach dem Übergang erreicht wird, und dem Pegel im Endzustand s_2.

   Das Unterschwingen muss in Prozent der Amplitude des Sprungs übermittelt werden. Das Unterschwingen vor und/oder nach dem Übergang darf den Unterschwingungsgrenzwert nicht übersteigen.

5.2.5 Latenzzeit der Messwertübermittlung

Die Latenzzeit der Messwertübermittlung (en: measurement reporting) ist die Zeitverzögerung zwischen dem Auftreten eines Ereignisses im Stromversorgungssystem und dem Zeitpunkt, zu dem es in Daten übermittelt wird. Diese Latenzzeit umfasst viele Faktoren, wie das Fenster, über das Daten für eine Messung erfasst werden, das Schätzverfahren, die Filterung der Messung, die PMU-Verarbeitungszeit und zu welchem Zeitpunkt innerhalb des Berichtsintervalls (en: reporting interval) das Ereignis auftritt. Die Berichtsrate und die Leistungsklasse sind oft die wichtigsten Faktoren, weil diese das Messfenster, die Filterung und die Länge des Intervalls, über das ein Ereignis übermittelt wird, bestimmen.

Für die Zwecke dieses Dokuments ist die Latenzzeit der PMU-Übermittlung (en: PMU reporting) definiert als das größte Zeitintervall zwischen dem Berichtszeitpunkt der Daten, der von dem Datenzeitstempel angegeben wird, und dem Zeitpunkt, zu dem die Daten am PMU-Ausgang zur Verfügung stehen (gekennzeichnet durch den ersten Übergang des ersten Bits der Ausgangsnachricht an der Datenübertragungsschnittstelle).

5.2.6 Messfehler und betriebsbedingte Fehler

Die PMU muss interne Probleme anzeigen, die während der Messung aufgetreten sind. Diese Anzeige muss von der PMU ermittelbare Fehler wie A/D-Fehler, Speicherüberlauf, Übertrag der Berechnung und weitere Zustände, die einen Messfehler verursachen können, einschließen.

BEISPIEL Wenn die Übermittlung nach IEEE C37.118.2 angewendet wird, wird diese Anzeige als Bit 14, PMU-Fehler, im Zustandswort übermittelt (in diesem Beispiel werden alle Messfehler und betriebsbedingten Fehler zu einem einzigen Fehleranzeige-Bit kombiniert).

5.3 Messwertübermittlung

5.3.1 Allgemeines

Schätzungen für den Synchrophasor, die Frequenz und die ROCOF müssen so durchgeführt werden, dass sie mit einer konstanten Rate F_s übermittelt werden können, bei der es sich um eine ganzzahlige Anzahl von Zeitpunkten je Sekunde handelt, wenn die Rate größer als Eins je Sekunde ist, oder um eine ganzzahlige

AVA Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Anzahl von Sekunden zwischen Messungen, wenn die Messrate gleich oder kleiner als Eins je Sekunde ist. Alle drei Messungen müssen für den gleichen Berichtszeitpunkt durchgeführt und übermittelt werden. Die Berichtszeitpunkte müssen gleichmäßig verteilt sein, so dass die Abstände zwischen den Berichten alle gleich sind. Die PMU darf gleichzeitig zu diesen festgelegten Messungen weitere Messungen durchführen, wie eine Messung des Boolschen Status, eine Abtastung der Kurvenform oder weitere Datenberechnungen.

5.3.2 Berichtsraten

Die PMU muss eine Datenübermittlung (en: data reporting) (durch Aufzeichnung oder Ausgabe) mit einer oder mehreren Raten, die Teile oder Vielfache der Nennfrequenz des Netzes (Systems) sind, unterstützen. In Tabelle 1 sind die Standard-Berichtsraten für 50-Hz- und 60-Hz-Systeme aufgeführt. Der Hersteller muss die Berichtsraten angeben, bei denen die PMU die Anforderungen dieses Dokuments erfüllt. Mindestens eine Berichtsrate muss aus Tabelle 1 ausgewählt werden.

Tabelle 1 – Standard-Berichtsraten der PMU

Systemfrequenz	50 Hz				60 Hz						
Berichtsraten (F_s in Rahmen je Sekunde (fps))	10	25	50	100	10	12	15	20	30	60	120

Die Unterstützung anderer Berichtsraten ist zulässig. Die tatsächlich anzuwendende Rate muss vom Anwender ausgewählt werden können, wenn mehrere Raten unterstützt werden. Für Raten unter 10/s gelten die Anforderungen für dynamische Bedingungen dieses Dokuments nicht. Das bedeutet, dass keine Filterung erforderlich ist, so dass mit einer geringeren Rate erfasste Daten (<10/s) direkt vorgelegt werden können, indem aus einem Datenstrom einer höheren Rate jede n-te Abtastung ausgewählt wird.

5.3.3 Berichtszeitpunkte

In diesem Dokument bezeichnet ein „Datenrahmen“ einen Satz von Synchrophasor-, Frequenz- und ROCOF-Messungen, die zu demselben Zeitstempel gehören. Die Benennung „Rahmen“ wird in Abgrenzung zu der Benennung „Abtastungen“ verwendet, welche Punkte auf einer analogen Kurvenform bezeichnet.

Bei einer Berichtsrate von N Rahmen je Sekunde (fps), wobei N eine positive ganze Zahl ist, müssen die Berichtszeitpunkte über jede Sekunde gleichmäßig verteilt werden, wobei der Rahmen mit der Nummer 0 (nummeriert von 0 bis N−1) mit dem UTC-Sekundenwechsel zusammenfällt (z. B. gleichzeitig mit einem vom GPS zur Verfügung gestellten 1-PPS-Signal). Mithilfe dieser Berichtszeitpunkte (Zeitmarken) müssen die Momentanwerte des Synchrophasors ermittelt werden. Wenn mit Raten von weniger als 1/s gearbeitet wird, muss eine Übermittlung (d. h. ein Bericht) zur vollen Stunde (xx:00:00) erfolgen und anschließend müssen – ohne Schaltsekunden – Übermittlungen im immer gleichen Abstand mit einer ganzzahligen Anzahl von Sekunden zwischen den Übermittlungen entsprechend der gewählten Rate durchgeführt werden. Wenn eine Schaltsekunde auftritt, muss das letzte Intervall in der Stunde um diese Schaltsekunde kürzer oder länger sein.

5.4 Konformität der Messung

5.4.1 Leistungsklassen

Die Übereinstimmung mit den Anforderungen muss anhand von Leistungsklassen bewertet werden. In diesem Dokument werden zwei Leistungsklassen definiert: Klasse P und Klasse M.

Klasse P weist im Allgemeinen eine kürzere Messlatenzzeit, einen schmaleren Frequenzbereich und geringere Anforderungen an die Oberschwingungsunterdrückung in Signalen als die Klasse M sowie keine Anforderungen im Hinblick auf eine Bandsperre für die Signale auf. In Klasse M sind längere Latenzzeiten erlaubt, wodurch mehr Filterung mit Blick auf die Anforderung eines breiteren Frequenzbereichs sowie höhere Anforderungen an Oberschwingungs- und Bandsperren der Signale möglich sind.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Klasse P ist für Anwendungen vorgesehen, die ein schnelles Ansprechen erfordern, beispielsweise Schutzanwendungen. Beispielsweise weist das Filter des Referenzmodells der Klasse P (Anhang D) eine monotone (über- und unterschwingungsfreie) Sprungantwort auf, die innerhalb eines Zyklus vollständig eingeschwungen ist.

Klasse M ist für Anwendungen vorgesehen, die durch Alias-gestörte Signale beeinträchtigt werden können, welche von Außerbandstörungen verursacht werden, die andererseits aber keine geringe Messwertübermittlungslatenz oder kurze Sprungantwortzeit erfordern. Beispielsweise weisen die Filter des Referenzmodells der Klasse M (Anhang D) Sprungantworten mit einem gewissen Überschwingen und Nachschwingen (en: ringing) sowie eine erheblich größere Messwertübermittlungslatenz als das Modell der Klasse P auf.

Diese beiden Klassenbezeichnungen bedeuten nicht, dass eine der beiden Klassen für eine bestimmte Anwendung angemessen oder erforderlich ist. Der Anwender muss eine Leistungsklasse wählen, die die Anforderungen der jeweiligen Anwendung widerspiegelt. Der Anwender sollte sich bewusst sein, dass zwischen der frequenzbezogenen und der zeitbezogenen Leistung gegenläufige Abhängigkeiten bestehen.

Sämtliche Anforderungen an die Konformität werden unter Bezugnahme auf die Leistungsklasse festgelegt. Eine PMU muss alle für eine Klasse festgelegten Anforderungen erfüllen, um für diese Klasse als konform mit diesem Dokument zu gelten. Wenn der Anbieter eine Leistung entsprechend Klasse P als auch M anbietet, muss das jeweilige Verhalten vom Anwender ausgewählt werden können.

5.4.2 Nachweis der Übereinstimmung

Um diesem Dokument zu entsprechen, muss eine PMU Messungen des Synchrophasors, der Frequenz und der ROCOF liefern, die den in Abschnitt 6 aufgeführten Anforderungen entsprechen. Die Anforderungen werden unter Bezugnahme auf die Leistungsklasse und die Berichtsrate festgelegt. Um Übereinstimmung zu erzielen, müssen alle Messungen alle Anforderungen an die jeweilige Klasse und Berichtsrate erfüllen.

Die Nennpegel von Spannung und Strom müssen vom Anbieter ausgewählt werden. Diese Pegel müssen im Einklang mit den empfohlenen Pegeln aus IEEE Std C37.90 oder IEC 60255-1 stehen. Die Referenz- und die Prüfbedingungen werden in 6.2 festgelegt. Anhang C enthält eine weiterführende Erörterung der Bewertung und der Prüfungen.

Ein Prüfgerät oder -system, das für den Nachweis der Leistungsfähigkeit entsprechend diesem Dokument benutzt wird, muss auf nationalen Normen beruhen und eine relative Unsicherheit der Messung (TUR, en: test uncertainty ratio) von mindestens zehn (10) verglichen mit diesen Prüfanforderungen aufweisen (z. B. muss es einen TVE-Messwert innerhalb von 0,1 % liefern, wenn der TVE 1 % ist).

Es muss Dokumentation entsprechend Abschnitt 7 bereitgestellt werden.

6 Prüfung und Bewertung der Konformität der Messung

6.1 Hinweise zu den Prüfungen

In Abschnitt 6 werden die Prüfungen der Konformität der Messung sowie die Leistungsgrenzwerte aufgeführt. Für jede Prüfung werden die Gleichungen angegeben, die die Referenzprüfsignale beschreiben und aus denen die resultierenden Werte von Synchrophasor, Frequenz und ROCOF berechnet werden können. Die Fehlergrenzen für jede Prüfung werden aufgeschlüsselt nach Klasse und Berichtsrate angegeben. Die Einhaltbarkeit aller Fehlergrenzen wurde mit grundlegenden Berechnungsalgorithmen unter Annahme einer Toleranz für den PMU-Fehler und Rauschen nachgewiesen. Diese Algorithmen werden in Anhang D beschrieben. Sie werden nur als Referenz und Beispiel angegeben und stellen keine Empfehlung dar.

Sowohl die Prüfung bei stationären Bedingungen als auch die Prüfung der Messbandbreite erfordert die Ermittlung des Messwertes bei einer konstanten Amplitude und Frequenz. Nach jeder Prüfsignaländerung muss eine angemessene Einschwingzeit gewährt werden, damit die Messung nicht durch transiente Effekte beeinflusst wird.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

6.2 Referenz- und Prüfbedingungen

Für alle Konformitätsprüfungen müssen sämtliche Parameter auf Standardreferenzbedingungen gesetzt werden, mit Ausnahme jener, die entsprechend den Festlegungen für die Prüfung verändert werden. Die Referenzbedingung für jede Prüfung ist der unveränderte Wert der geprüften Größe. Die Standardreferenzbedingungen für alle Prüfungen lauten wie folgt:

a) Spannung beim Nennwert;

b) Strom beim Nennwert;

c) Frequenz beim Nennwert;

d) Spannung, Strom, Phase und Frequenz konstant;

e) Signal-THD+N < 0,2 % der Grundschwingung (wobei N = Rauschen);

f) alle Störsignale < 0,2 % der Grundschwingung.

Es wird angenommen, dass die Spannungs- und Stromsignale als analoge Größen bereitgestellt werden. Hiervon wird grundsätzlich für alle PMUs ausgegangen, die zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments zur Verfügung stehen. Die Verwendung von Signalen, die als digitale Abtastungen bereitgestellt werden, wird in Anhang E erörtert. Spezielle Anforderungen für das Prüfen mit Abtastwerten werden möglicherweise in eine künftige Überarbeitung dieses Dokuments aufgenommen.

Für Messungen bei Berichtsraten (F_s) unter 10/s gelten die Leistungsanforderungen für dynamische Bedingungen nicht. Für derartige Messungen gelten alle Anforderungen für stationäre Bedingungen (Tabelle 2) mit Ausnahme der Bandsperre. Dieser Absatz gilt für alle Leistungsklassen (P und M), die in 5.4.1 beschrieben werden.

Sofern nicht anders festgelegt, müssen alle Prüfungen für den Konformitätsnachweis bei Standard-Laborprüfbedingungen durchgeführt werden, die wie folgt lauten:

- Temperatur: 23 °C ± 3 °C;
- Luftfeuchte <90 %.

Eine Erörterung sowie Referenzwerte für weitere Umgebungsprüfbedingungen können Anhang F entnommen werden.

In 6.3 ist f_{in} die Frequenz der Grundschwingung des Signals. Sie beträgt üblicherweise 50 Hz oder 60 Hz, darf im Laufe der Prüfung jedoch von dem Nennwert abweichen. Außerdem repräsentiert f_0 stets die Nennfrequenz, d. h. exakt 50 Hz oder 60 Hz. Ebenso repräsentiert $\omega_0 = 2\pi f_0$ stets die Nennfrequenz in Radiant/s.

6.3 Übereinstimmung bei stationären Bedingungen

Die Übereinstimmung bei stationären Bedingungen muss nachgewiesen werden, indem die bei stationären Bedingungen ermittelten Synchrophasor-, Frequenz- und ROCOF-Schätzungen mit den entsprechenden Referenzwerten für X_r, X_i, F und ROCOF verglichen werden. Stationäre Bedingungen liegen vor, wenn Amplitude, Frequenz und Phasenwinkel des Prüfsignals und alle anderen Einflussgrößen für die Messperiode, die nicht weniger als 5 s betragen darf, feststehend sind (bei vom Nennwert abweichenden Frequenzen ändert sich der Synchrophasorwinkel auch dann, wenn der Phasenwinkel des Prüfsignals konstant ist). Für Zeiger- und Frequenz-/ROCOF-Messungen werden die gleichen Prüfungen durchgeführt. In Tabelle 2 und Tabelle 3 werden die Bedingungen und Leistungsanforderungen für diese Prüfungen unter stationären Bedingungen festgelegt. In Anhang G werden Anforderungen an PMU-Prüfungen und den Übereinstimmungsnachweis für eine höhere Genauigkeit und einen breiteren Strombereich vorgestellt.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Tabelle 2 – Anforderungen an stationäre Synchrophasormessungen

Einflussgröße	Referenz-bedingung	Mindestbereich der Einflussgröße, über den die PMU innerhalb der gegebenen TVE-Grenze liegen muss			
		Leistung – Klasse P		Leistung – Klasse M	
		Bereich	höchster TVE %	Bereich	höchster TVE %
Signalfrequenz	Frequenz = f_0 ($f_{nominal}$)	±2,0 Hz	1	±2,0 Hz für F_s < 10 ±F_s/5 für 10 ≤ F_s < 25 ±5,0 Hz für F_s ≥ 25	1
Betrag des Spannungssignals	100 % des Bemessungswertes	80 % bis 120 % des Bemessungswertes	1	10 % bis 120 % des Bemessungswertes	1
Betrag des Stromsignals	100 % des Bemessungswertes	10 % bis 200 % des Bemessungswertes	1	10 % bis 200 % des Bemessungswertes	1
Oberschwingungsverzerrung (einzelne Oberschwingung)	< 0,2 % (THD)	1 %, jede Oberschwingung bis zur 50. Ordnung	1	10 %, jede Oberschwingung bis zur 50. Ordnung	1

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01

Einflussgröße	Referenz-bedingung	Mindestbereich der Einflussgröße, über den die PMU innerhalb der gegebenen TVE-Grenze liegen muss			
		Leistung – Klasse P		Leistung – Klasse M	
		Bereich	höchster TVE %	Bereich	höchster TVE %
Außerbandstörung wie unten beschrieben	< 0,2 % des Eingangssignalbetrags		keine	10 % des Eingangssignalbetrags für $F_s \geq 10$; keine Anforderung für $F_s < 10$.	1,3

Prüfung von Außerbandstörungen:

Die Frequenz des Eingangsprüfsignals f_{in} wird zwischen f_0 und ±10 % von $F_s/2$ verändert, wobei die Veränderung auf höchstens ±5 Hz begrenzt wird.

Die Grenzwerte sind: $f_0 - 0{,}1\ (F_s/2) \leq f_{in} \leq f_0 + 0{,}1\ (F_s/2)$ für $F_s \leq 100$ und $f_0 - 5 \leq f_{in} \leq f_0 + 5$ für $F_s > 100$

Dabei ist

F_s die Berichtsrate des Zeigers (in Hz);

f_0 die Nennfrequenz des Systems (in Hz);

f_{in} die Grundfrequenz des Eingangsprüfsignals (in Hz).

Der Durchlassbereich bei jeder Berichtsrate ist definiert als $|f - f_0| < F_s/2$. Ein Störsignal außerhalb des Filterdurchlassbereichs ist ein Signal mit der Frequenz f, für die gilt: $|f - f_0| \geq F_s/2$

Die Übereinstimmung der Bandsperre kann mit einem Einfrequenz-Sinussignal nachgewiesen werden, das zum Grundschwingungssignal des Stromversorgungssystems mit dem geforderten Betrag addiert wird. Der Bereich der Sinusfrequenz muss mindestens von 10 Hz bis zur zweiten Oberschwingung ($2 \times f_0$) reichen, unter Ausschluss des Durchlassbereichs. Diese Frequenzen müssen die Frequenzen $f_0 \pm F_s/2$, 10 Hz, die zweite Oberschwingung ($2 \times f_0$) sowie hinreichend Frequenzpunkte für eine eindeutige Ermittlung der Antwort umfassen. Dies sollte folgende Frequenzen mit nahe den Grenzfrequenzen des Durchlassbereichs exponentiell schmaler werdenden Intervallen beinhalten:

– Frequenzpunkte unterhalb des Durchlassbereichs mit Frequenzen $f = f_0 - F_s/2 - (0{,}1\ \text{Hz} \times 2^n)$ für $n = 0, 1, 2 \ldots$ bis $f \leq 10$ Hz; und
– Frequenzpunkte oberhalb des Durchlassbereichs mit Frequenzen $f = f_0 + F_s/2 + (0{,}1\ \text{Hz} \times 2^n)$ für $n = 0, 1, 2 \ldots$ bis $f \geq 2 \times f_0$ Hz.

In dem Sonderfall, dass $F_s = 2 \times f_0$, liegen alle Frequenzen von 0 bis $2 \times f_0$ innerhalb des Bandes, weshalb die Außerbandprüfungen von der zweiten bis zur dritten Oberschwingung durchgeführt werden, d. h. $2 \times f_0 \leq f \leq 3 \times f_0$.

Wenn die Frequenz von ihrem Nennwert abweicht, rotiert der Phasenwinkel, die Genauigkeit des Phasenwinkels entlang des Kreises wird also von der während der Prüfungen des Signalfrequenzbereichs auftretenden Phasenrotation abgedeckt. Der Phasenwinkel kann auf den Generatorrotorwinkel bezogen werden, der wiederum auf den Synchrophasorwinkel bezogen werden kann, wie in Anhang H erörtert.

Für die Prüfung der Signalfrequenz und des Betrags müssen die Eingangssignale durch Gleichung (12), Gleichung (13) und Gleichung (14) wiedergegeben werden:

$$X_a = X_m \cos(2\pi f_{in} t) \quad (12)$$

$$X_b = X_m \cos(2\pi f_{in} t - 2\pi/3) \quad (13)$$

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN IEC/IEEE 60255-118-1:2022-01