OVE IEC/IEEE 60255-118-1

Ausgabe: 2023-06-01

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

Measuring relays and protection equipment –
Part 118-1: Synchrophasor for power systems – Measurements

Copyright OVE

Medieninhaber und Hersteller:
OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik

Copyright © OVE – 2023.
Alle Rechte vorbehalten! Nachdruck oder Vervielfältigung, Aufnahme auf oder in sonstige Medien oder Datenträger nur mit Zustimmung gestattet!

OVE Österreichischer Verband für Elektrotechnik
Eschenbachgasse 9, 1010 Wien
E-Mail: verkauf@ove.at
Internet: http://www.ove.at
Webshop: www.ove.at/webshop
Tel.: +43 1 587 63 73

ICS 29.120.70

Ident (IDT) mit IEC/IEEE 60255-118-1:2018 (Übersetzung)

zuständig OVE/TK MR
Mess- und Regelungstechnik

Nationales Vorwort

Diese Norm hat den Status einer nationalen elektrotechnischen Norm gemäß ETG 1992. Bei ihrer Anwendung ist dieses Nationale Vorwort zu berücksichtigen.

Für den Fall einer undatierten normativen Verweisung (Verweisung auf einen Standard ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste Ausgabe dieses Standards.
Für den Fall einer datierten normativen Verweisung bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Standards.

Der Rechtsstatus dieser nationalen elektrotechnischen Norm ist den jeweils geltenden Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz zu entnehmen.

Bei mittels Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz verbindlich erklärten rein österreichischen elektrotechnischen Normen ist zu beachten:

- Hinweise auf Veröffentlichungen beziehen sich, sofern nicht anders angegeben, auf den Stand zum Zeitpunkt der Herausgabe dieser rein österreichischen elektrotechnischen Norm. Zum Zeitpunkt der Anwendung dieser rein österreichischen elektrotechnischen Norm ist der durch die Verordnungen zum Elektrotechnikgesetz oder gegebenenfalls auf andere Weise festgelegte aktuelle Stand zu berücksichtigen.
- Informative Anhänge und Fußnoten sowie normative Verweise und Hinweise auf Fundstellen in anderen, nicht verbindlichen Texten werden von der Verbindlicherklärung nicht erfasst.

Copyright OVE

Inhalt

Seite

Einleitung 11
1 Anwendungsbereich 13
2 Normative Verweisungen 13
3 Begriffe und Abkürzungen 13
3.1 Begriffe 13
3.2 Abkürzungen 14
4 Synchrophasormessung 15
4.1 Eingangs- und Ausgangsgrößen 15
4.2 Signal des Stromversorgungssystems 15
4.3 Messgrößendefinitionen 16
4.3.1 Phasenwinkel des Synchrophasors 16
4.3.2 Synchrophasormessgröße 16
4.4 Definition der Frequenzmessgröße 17
4.5 Definition der Messgröße der Frequenzänderungsgeschwindigkeit 17
4.6 Synchronisation der Messzeitpunkte 17
5 Konformitätsbewertung der Messung 17
5.1 Messvermögen der PMU 17
5.2 Bewertung der Messung 18
5.2.1 Bewertung der Synchrophasormessung 18
5.2.2 Bewertung der Frequenzmessung und der ROCOF-Messung 18
5.2.3 Ansprechzeit und Verzögerungszeit der Messung 18
5.2.4 Überschwingen und Unterschwingen 19
5.2.5 Latenzzeit der Messwertübermittlung 21
5.2.6 Messfehler und betriebsbedingte Fehler 21
5.3 Messwertübermittlung 21
5.3.1 Allgemeines 21
5.3.2 Berichtsraten 22
5.3.3 Berichtszeitpunkte 22
5.4 Konformität der Messung 22
5.4.1 Leistungsklassen 22
5.4.2 Nachweis der Übereinstimmung 23
6 Prüfung und Bewertung der Konformität der Messung 23
6.1 Hinweise zu den Prüfungen 23

Copyright OVE

6.2 Referenz- und Prüfbedingungen ... 23
6.3 Übereinstimmung bei stationären Bedingungen ... 24
6.4 Übereinstimmung bei dynamischen Bedingungen – Messbandbreite ... 28
6.5 Übereinstimmung bei dynamischen Bedingungen – Verhalten bei einem Anstieg der Systemfrequenz ... 31
6.6 Übereinstimmung bei dynamischen Bedingungen – Verhalten bei Sprüngen in der Phase und im Betrag ... 34
6.7 Konformität der Latenzzeit der PMU-Übermittlung ... 35
7 Dokumentation ... 35
Anhang A (informativ) Zeitmarken und dynamisches Verhalten ... 37
A.1 Dynamisches Verhalten ... 37
A.2 Zeitmarken ... 37
A.3 Beispiel für die Prüfung mit einem Betragssprung ... 40
A.4 PMU-Zeiteingabe ... 41
Anhang B (informativ) Parameterdarstellung und Anwendungsbeispiele für die Definitionen ... 43
B.1 Allgemeines ... 43
B.2 Darstellung nicht stationärer Sinuskurven ... 43
B.3 Einführung von Anwendungsbeispielen für die Definitionen ... 44
B.3.1 Allgemeines ... 44
B.3.2 Beispiel 1: stationärer Zustand bei Nennfrequenz ... 44
B.3.3 Beispiel 2: stationärer Zustand und konstante vom Nennwert abweichende Frequenz ... 44
B.3.4 Beispiel 3: Schwingen von Phase und Amplitude des Signals des Stromversorgungssystems ... 45
B.3.5 Beispiel 4: Frequenz mit einer konstanten Änderungsgeschwindigkeit ungleich null ... 46
B.4 Rekonstruktion des Sinussignals des Stromversorgungssystems aus dem Synchrophasor ... 47
Anhang C (informativ) Bewertung und Prüfung der PMU ... 48
C.1 Allgemeines ... 48
C.2 Bewertung der Messung mithilfe des TVE ... 48
C.3 Beziehung zwischen Phase und Betrag bei TVE und Zeitsteuerung ... 49
C.4 Bewertung des Ansprechens auf sprungförmige Eingangssignale ... 51
C.5 Signalphasen für Prüfungen mit Oberschwingungsverzerrung ... 52
C.6 ROCOF-Grenzwerte ... 53
C.6.1 Allgemeines ... 53
C.6.2 Ableitung ... 54
C.7 Latenzzeit der PMU-Übermittlung ... 55
Anhang D (informativ) Referenzmodelle für die Signalverarbeitung ... 56
D.1 Allgemeines ... 56
D.2 Grundmodell für die Schätzung des Synchrophasors ... 56
D.3 Kompensation des Zeitstempels hinsichtlich der Gruppenlaufzeit des Tiefpassfilters ... 57
D.4 Mitsystemsignal, Frequenz und ROCOF ... 58
D.5 Referenzmodell der Klasse P für den Zeiger ... 59

Copyright OVE

D.6 Details zu Filtern der Klasse P ... 59
D.7 Referenzmodell der Klasse M für den Zeiger ... 60
D.8 Modell für die Reduktion der Datenrate ... 62
D.9 Gegenläufige Abhängigkeiten im Referenzmodell ... 63
D.9.1 Störfestigkeit gegen vom Nennwert abweichende Komponenten, Latenzzeit der Übermittlung und Zeitabgleich ... 63
D.9.2 Ansprechzeit und Genauigkeit von Synchrophasor-, Frequenz- und ROCOF-Messungen ... 64
Anhang E (informativ) Synchrophasormessung mit Eingabe von Abtastwerten in die PMU ... 65
E.1 Allgemeines ... 65
E.2 Erstellung von Abtastwerten ... 65
E.3 Quellen für Synchrophasorfehler bei der Verwendung von Abtastwerten ... 66
E.4 Leistung ... 66
E.4.1 Allgemeines ... 66
E.4.2 Überlegungen zur Leistung unter stationären Bedingungen ... 67
E.4.3 Überlegungen zur Leistung unter dynamischen Bedingungen ... 67
E.4.4 Latenzzeit ... 68
E.5 Vorgeschlagene Änderungen an den Leistungsanforderungen ... 68
Anhang F (informativ) Vorgeschlagene Prüfauswahl für die Bewertung der PMU unter Umgebungseinflüssen ... 69
Anhang G (normativ) Festlegung für eine erweiterte Genauigkeit für PMUs im stationären Zustand ... 70
G.1 Allgemeines ... 70
G.2 Geltende Bedingungen ... 70
G.3 Festlegung der Genauigkeit ... 71
G.4 Anwendungsbeispiele ... 71
G.5 Bevorzugte Genauigkeitsbereiche ... 72
G.6 Probleme bei den Prüfungen ... 72
G.6.1 Prüfung auf bessere Genauigkeit ... 72
G.6.2 Prüfen bei Strömen oberhalb des thermischen Bemessungsdauerstroms ... 72
G.6.3 Umgebungsaspekte ... 72
Anhang H (informativ) Messung von Generatorspannung und Leistungswinkel ... 73
H.1 Allgemeines ... 73
H.2 Messverfahren ... 73
H.3 Eingangssignal ... 73
H.4 Ablauf der Messung ... 73
Anhang I (normativ) Klassen für PMUs mit erweiterter Bandbreite ... 75
I.1 Allgemeines ... 75
I.2 Bestimmung der Bandbreite ... 75
I.3 Klassen mit erweiterter Bandbreite ... 75
I.4 Probleme bei den Prüfungen ... 76
Literaturhinweise ... 77

Copyright OVE

Bilder

Bild 1 – Eingangs- und Ausgangsgrößen 15
Bild 2 – Beispiele für die Übergänge bei Sprüngen 19
Bild A.1 – Phasengang bei einer Prüfung mit Frequenzsprung ohne Kompensation der Gruppenlaufzeit 38
Bild A.2 – Phasengang bei einer Prüfung mit Frequenzsprung nach Kompensation der Gruppenlaufzeit 39
Bild A.3 – Ergebnisse einer Prüfung mit Betragssprung für drei verschiedene Algorithmen 40
Bild A.4 – Beispiel für die Prüfung mit einem Betragssprung 41
Bild B.1 – Abtastung einer sinusförmigen vom Nennwert abweichenden Frequenz des Stromversorgungssystems 45
Bild C.1 – Vektorgesamtfehler (TVE) 49
Bild C.2 – 1-%-Kriterium für den TVE, dargestellt am Zeigerende 49
Bild C.3 – TVE als eine Funktion des Betrags für verschiedene Phasenfehler 50
Bild C.4 – TVE als eine Funktion der Phase für verschiedene Betragsfehler 50
Bild C.5 – Beispiel für Sprungmessungen mit einem Betragssprung bei t = 0 52
Bild C.6 – Beispiel für die Latenzzeit der PMU-Übermittlung (tatsächliche PMU-Messung) 55
Bild D.1 – Einphasiger Abschnitt des PMU-Zeiger-Signalverarbeitungsmodells 57
Bild D.2 – Vollständiges PMU-Signalverarbeitungsmodell 58
Bild D.3 – Beispiel für Filterkoeffizienten der Klasse P (N = 2 × (16 − 1) = 30) 59
Bild D.4 – Ansprechverhalten eines Filters der Klasse P als Funktion der Frequenz 60
Bild D.5 – Festlegung der Maske des Filterfrequenzgangs des Referenzalgorithmus für Klasse M 61
Bild D.6 – Beispiel für Filterkoeffizienten der Klasse M 62
Bild D.7 – Signalverarbeitungsmodell mit einer Reduktion der Datenrate 63
Bild D.8 – Faktoren, die die Schätzung beeinflussen 63
Bild D.9 – Amplitudenfrequenzgang des Referenzfilters mit F_s = 60 fps 64
Bild E.1 – Synchrophasoren, deren Eingaben Abtastwerte sind 65
Bild H.1 – Zeigerdiagramm unter Leerlaufbedingungen 74
Bild H.2 – Zeigerdiagramm mit einer Last am Generator 74

Tabellen

Tabelle NA.1 8
Tabelle 1 – Standard-Berichtsraten der PMU 22
Tabelle 2 – Anforderungen an stationäre Synchrophasormessungen 25
Tabelle 3 – Anforderungen an die Messung von Frequenz und ROCOF unter stationären Bedingungen 28
Tabelle 4 – Anforderungen an die Bandbreite der Synchrophasormessung unter Anwendung modulierter Prüfsignale 30
Tabelle 5 – Leistungsanforderungen für Frequenz und ROCOF bei Modulationsprüfungen 30
Tabelle 6 – Leistungsanforderungen für Synchrophasoren bei Prüfungen mit Frequenzanstieg 33
Tabelle 7 – Leistungsanforderungen für Frequenz und ROCOF bei Prüfungen mit Frequenzanstieg 33
Tabelle 8 – Leistungsanforderungen für Zeiger bei einem Sprung am Eingang 34
Tabelle 9 – Leistungsanforderungen für Frequenz und ROCOF bei einem Sprung am Eingang 35
Tabelle 10 – Latenzzeit der PMU-Übermittlung 35

Copyright OVE

Tabelle C.1 – Phasenfolge der Oberschwingungen in einem symmetrischen Dreiphasensystem..... 53
Tabelle D.1 – Parameter eines Tiefpassfilters der Klasse M..... 62
Tabelle E.1 – Zusammenfassung der vorgeschlagenen Änderungen an den Leistungsanforderungen..... 68
Tabelle G.1 – Bedingungen für die Prüfungen der erweiterten Genauigkeit..... 70
Tabelle I.1 – Bedingungen für die Prüfungen der erweiterten Bandbreite..... 75

Copyright OVE

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 Fehlergrenzwerte 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 values) 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, Rauschen und Zustandsänderungen aufgrund von Laständerungen, Steuerungs- 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 muss ihre Verwendung genau prüfen und gegebenenfalls Filter einsetzen, wenn solche Bedingungen Probleme verursachen könnten.

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 könnten. 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

Copyright OVE

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.

Copyright OVE

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

Copyright OVE