

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measuring relays and protection equipment –
Part 181: Functional requirements for frequency protection**

**Relais de mesure et dispositifs de protection –
Partie 181: Exigences fonctionnelles relatives aux protections de fréquence**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measuring relays and protection equipment –
Part 181: Functional requirements for frequency protection**

**Relais de mesure et dispositifs de protection –
Partie 181: Exigences fonctionnelles relatives aux protections de fréquence**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.120.70

ISBN 978-2-8322-6496-6

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	9
4 Specification of the function.....	13
4.1 General.....	13
4.2 Input energizing quantities / energizing quantities	13
4.3 Binary input signals.....	14
4.4 Functional logic.....	14
4.4.1 Operating characteristics	14
4.4.2 Reset characteristics	17
4.5 Additional influencing functions/conditions	18
4.5.1 General	18
4.5.2 Specific characteristics for under/over frequency function.....	18
4.5.3 Specific characteristics for rate of change of frequency (ROCOF) function	19
4.6 Binary output signals	19
4.6.1 General	19
4.6.2 Start (pick-up) signal	19
4.6.3 Operate (trip) signal.....	19
4.6.4 Other binary output signals.....	19
5 Performance specification	20
5.1 General.....	20
5.2 Effective and operating ranges.....	20
5.3 Accuracy related to the characteristic quantity	21
5.4 Start time for under/over frequency function.....	21
5.5 Start time for rate of change of frequency (ROCOF) function	21
5.6 Accuracy related to the operate time delay setting	22
5.7 Disengaging time	22
5.8 Reset hysteresis and reset ratio.....	22
5.9 Accuracy related to restraint/blocking elements	23
5.10 Performance with harmonics	23
5.11 Stability in case of sudden voltage change (phase shift and magnitude shift).....	23
5.12 Voltage input requirements	23
6 Functional test methodology	24
6.1 General.....	24
6.2 Determination of steady state errors related to the characteristic quantity	26
6.2.1 Accuracy of the start value	26
6.2.2 Reset hysteresis or reset ratio determination	32
6.3 Determination of the start time	41
6.3.1 General	41
6.3.2 Under/over frequency	41
6.3.3 Rate of change of frequency	47
6.4 Determination of the accuracy of the operate time delay	50
6.4.1 General	50
6.4.2 Description of test method	50
6.4.3 Reporting of the operate time delay accuracy	52

6.5	Determination of disengaging time	53
6.5.1	General	53
6.5.2	Under/over frequency	53
6.5.3	Rate of change of frequency	56
6.6	Performance with harmonics	58
6.6.1	General	58
6.6.2	Accuracy of the under/over frequency start value in the presence of harmonics	58
6.6.3	Accuracy of the ROCOF start value in the presence of harmonics	63
6.7	Stability in the case of sudden voltage change (phase shift and magnitude change)	65
6.7.1	General	65
6.7.2	Performance in case of voltage phase shift and magnitude change	65
6.7.3	Performance in case of voltage magnitude drop and restoration	68
7	Documentation requirements	70
7.1	Type test report	70
7.2	Other user documentation	71
Annex A (normative)	Test signal equation with constant frequency variation (df/dt)	72
Annex B (normative)	Calculation of mean, median and mode	73
B.1	Mean	73
B.2	Median	73
B.3	Mode	73
B.4	Example	73
Annex C (informative)	Example of frequency measurement and calculation	74
C.1	Definitions	74
C.2	Signal observation model	74
C.3	General requirements on frequency measurement	76
C.3.1	General requirements on frequency measurement	76
C.3.2	Periodic algorithm	76
C.3.3	Analysis algorithm	78
C.3.4	Error minimization algorithm	79
C.3.5	Discrete Fourier transformation (DFT)	82
Annex D (informative)	Performance with inter-harmonics	84
D.1	General	84
D.2	Proposed test: accuracy of the under/over frequency start value	84
D.2.1	Description of the generated frequency ramp	84
D.2.2	Protection function settings	85
D.2.3	Test points and calculation of frequency accuracy in the presence of inter-harmonics	86
D.2.4	Reporting of frequency accuracy in the presence of inter-harmonics	86
Annex E (informative)	Management of sudden frequency change without discontinuity in voltage waveform	87
Bibliography		90
Figure 1	Operate time and operate time delay setting	11
Figure 2	Simplified protection function block diagram	13
Figure 3	Underfrequency independent time characteristic	15
Figure 4	Overfrequency independent time characteristic	16

Figure 5 – ROCOF independent time characteristic (for negative or positive ROCOF).....	16
Figure 6 – Explanatory diagram for start, operate, disengage and reset.....	18
Figure 7 – Example of test method for overfrequency	26
Figure 8 – Example of test method for positive ROCOF function	29
Figure 9 – Frequency ramps for assessing the reset hysteresis for overfrequency functions.....	33
Figure 10 – Frequency ramps for assessing the reset hysteresis for underfrequency functions.....	33
Figure 11 – Test method for measurement of reset value for ROCOF functions: example for positive ROCOF function	37
Figure 12 – Start time measurement of overfrequency with sudden frequency change.....	42
Figure 13 – Start time measurement of overfrequency with constant slope frequency ramp.....	43
Figure 14 – Example of start time reporting for under/over frequency protection function.....	47
Figure 15 – Start time measurement of positive ROCOF function.....	48
Figure 16 – Histogram for the start time test results for ROCOF.....	50
Figure 17 – Operate time delay measurement of overfrequency and positive ROCOF	51
Figure 18 – Disengaging time measurement of overfrequency with sudden frequency change.....	54
Figure 19 – Disengaging time measurement of overfrequency with constant slope frequency ramp.....	54
Figure 20 – Disengaging time measurement of ROCOF	56
Figure 21 – Histogram for the disengaging time test results for ROCOF.....	58
Figure 22 – Example of an increasing pseudo-continuous ramp for overfrequency functions.....	59
Figure 23 – Voltage signal with superimposed harmonics	61
Figure 24 – Representation of the input energizing quantity (voltage, RMS) injection sequence.....	67
Figure 25 – Representation of the input energizing quantity (voltage, RMS) injection sequence with the power system frequency values	69
Figure C.1 – Zero-crossing algorithm	77
Figure C.2 – Level-crossing algorithm.....	77
Figure D.1 – Example of an increasing pseudo-continuous ramp for overfrequency function.....	84
Figure E.1 – Example of voltage waveform without discontinuity at $t_0 = 0,02$ s.....	88
Figure E.2 – Example of voltage waveform with discontinuity at $t_0 = 0,02$ s	89
Table 1 – Frequency protection designation.....	8
Table 2 – Example of effective and operating ranges for over/under frequency protection	20
Table 3 – Example of effective and operating ranges for ROCOF protection	20
Table 4 – Test points for under/over frequency function	28
Table 5 – Reporting of the frequency accuracy	28
Table 6 – Reporting of the frequency accuracy (alternative solution).....	29
Table 7 – Test points for ROCOF function.....	31
Table 8 – Reporting of ROCOF accuracy	32

Table 9 – Test points of reset hysteresis for under/over frequency function	35
Table 10 – Reporting of the reset hysteresis for over/under frequency functions	36
Table 11 – Test points of reset value for ROCOF function.....	40
Table 12 – Reporting of the reset value for ROCOF function.....	40
Table 13 – Test points of start time for overfrequency function	44
Table 14 – Test points of start time for underfrequency function	45
Table 15 – Reporting of start time for under/over frequency functions	46
Table 16 – Test points of start time for ROCOF function	49
Table 17 – Reporting of typical start time for ROCOF function	50
Table 18 – Test points to measure operate time delay	52
Table 19 – Test points for accuracy of the operate time delay.....	52
Table 20 – Reporting of operate time delay accuracy for under/over frequency functions.....	53
Table 21 – Test points of disengaging time for overfrequency function.....	55
Table 22 – Test points of disengaging time for underfrequency function.....	55
Table 23 – Reporting of disengaging time for over/under frequency functions	56
Table 24 – Test points of disengaging time for ROCOF function.....	57
Table 25 – Typical disengaging time for ROCOF protection	58
Table 26 – Superimposed harmonics	60
Table 27 – Test points for under/over frequency function in the presence of harmonics	63
Table 28 – Test points for ROCOF function in the presence of harmonics	64
Table 29 – Under/over frequency settings for stability tests with voltage drop/restoration	70
Table D.1 – Superimposed inter-harmonics.....	85
Table D.2 – Test points for under/over frequency function in the presence of inter-harmonics	86

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASURING RELAYS AND PROTECTION EQUIPMENT –**Part 181: Functional requirements for frequency protection****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60255-181 has been prepared by IEC technical committee 95: Measuring relays and protection equipment.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
95/402/FDIS	95/409/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 60255 series, published under the general title *Measuring relays and protection equipment*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

MEASURING RELAYS AND PROTECTION EQUIPMENT –

Part 181: Functional requirements for frequency protection

1 Scope

This part of IEC 60255 specifies the minimum requirements for functional and performance evaluation of frequency protection. This document also defines how to document and publish performance test results.

This document covers the functions based on frequency measurement or rate of change of frequency measurements. This document also covers frequency protection where additional blocking elements are used.

This document defines the influencing factors that affect the accuracy under steady state conditions and performance characteristics during dynamic conditions. The test methodologies for verifying performance characteristics and accuracy are also included in this document.

The frequency functions covered by this document are shown in Table 1:

Table 1 – Frequency protection designation

	IEEE/ANSI C37.2 function numbers	IEC 61850-7-4 logical nodes
Underfrequency protection	81U	PTUF
Overfrequency protection	81O	PTOF
Rate of change of frequency protection (ROCOF)	81R	PFRC

This functional document is applicable to frequency functions embedded in a protection relay but also to other physical devices which include frequency protection in their functionality (for example, trip units in a low-voltage circuit breaker or inverters associated with photovoltaic or storage systems).

This document does not cover synchronizing or synchronism-check functions.

This document does not specify the functional description of additional features often associated with frequency functions such as undervoltage blocking, df/dt or $\Delta f/\Delta t$ supervision, current supervision or power supervision (f/P function). Only their influence on the frequency protection function is covered in this document.

Frequency and rate of change of frequency measurement outputs provided by protection devices are not in the scope of this document.

Additionally, this document does not explicitly cover the frequency relays based on current as the input energizing quantity but the principles covered by this document can be extended to provide guidance for these applications.

The general requirements for measuring relays and protection equipment are defined in IEC 60255-1.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60050-103, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 103: Mathematics – Functions*

IEC 60050-447, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 447: Measuring relays*

IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*

IEC 61850 (all parts), *Communication networks and systems for power utility automation*

IEC 61869 (all parts), *Instrument transformers*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-103, IEC 60050-447, IEC 60050-601, and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

input energizing quantity

energizing quantity which either by itself constitutes the characteristic quantity or helps to constitute it

Note 1 to entry: For the frequency protection function, the input characteristic quantity could be voltage.

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-03-02, modified – The note to entry has been replaced by a new note.]

3.2

characteristic quantity

electric quantity, or one of its parameters, the name of which characterizes a measuring relay or protection equipment and the values of which are the subject of accuracy requirements

Note 1 to entry: For underfrequency protection and overfrequency protection, the characteristic quantity is frequency; for rate of change of frequency protection (ROCOF), the characteristic quantity is rate of change of frequency.

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-07-01, modified – The examples have been replaced by a new note to entry.]

3.3

characteristic curve

curve which represents the relationship between the theoretical specified operate time and the characteristic quantity

3.4

setting value of the characteristic quantity

G_s

value of the characteristic quantity used as the reference for the definition of the characteristic curve

3.5

start value

value of the characteristic quantity at which a measuring relay or protection equipment starts (picks up)

Note 1 to entry: Start value is also called "pick-up value".

3.6

reset value

value of the characteristic quantity at which a measuring relay or protection equipment resets

3.7

start time

time interval between the instant a specified change is made in the value(s) of the input energizing quantity(ies) which will cause the measuring relay or protection equipment in initial condition or reset condition to start and the instant it starts

Note 1 to entry: Start time is also called "pick-up time".

3.8

operate time

time interval between the instant a specified change is made in the value(s) of the input energizing quantity(ies) which will cause the measuring relay or protection equipment in initial condition or reset condition to operate and the instant it operates

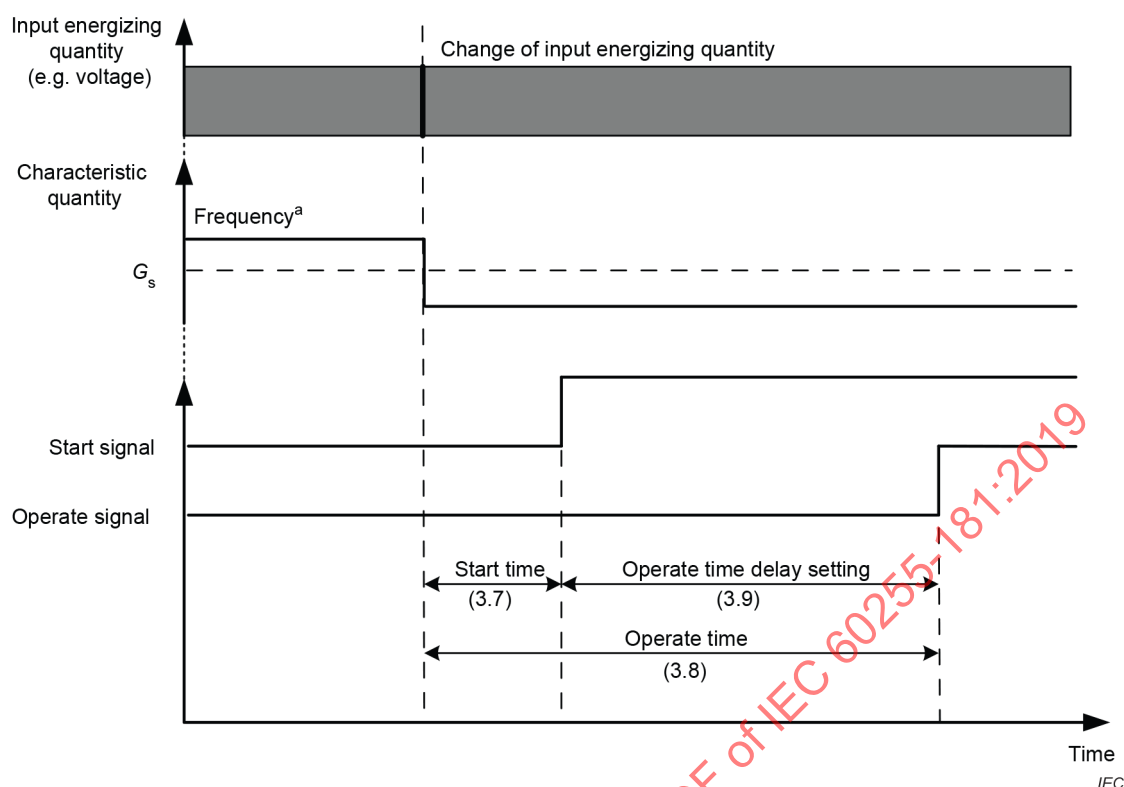
Note 1 to entry: The operate time of the protection function is the sum of the start time and the operate time delay setting.

3.9

operate time delay setting

intentional time delay defined by a user setting which is activated by the start signal to assert the operate signal

Note 1 to entry: The operate time of the frequency protection function is the sum of the start time (pick-up time) and the operate time delay setting. The difference between operate time and operate time delay setting is specified in Figure 1. Figure 1 is based on a sudden frequency change only to simplify the definition of start time initialization.



^a Take underfrequency protection as an example.

Figure 1 – Operate time and operate time delay setting

3.10 disengaging time

time interval between the instant a specified change is made in the value(s) of the input energizing quantity(ies) which will cause the measuring relay or protection equipment in operate condition to disengage and the instant it disengages

3.11 reset time

duration between the instant a specified change is made in the value(s) of the input energizing quantity(ies) which will cause the measuring relay or protection equipment to reset and the instant it resets

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-05-06, modified. See figure 6.]

3.12 reset hysteresis

absolute value of the difference between the reset value and the start value of the protection function

3.13 reset ratio

ratio between the reset value and the start value of the protection function

Note 1 to entry: Reset ratio is used for rate of change of frequency, as defined in 4.4.2 and 5.8.

3.14

operating range

range for which the measuring relay under specified conditions is able to perform its intended function(s) according to the specified requirements

Note 1 to entry: When accuracy requirements have to be met, see effective range (IEC 60050-447:2010, 447-07-08).

Note 2 to entry: A minimum level of input energizing quantity, such as voltage, is required in order to calculate the power frequency correctly.

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-03-16, modified – Note 2 to entry has been added.]

3.15

effective range

part of the operating range of an input energizing quantity or characteristic quantity within which the accuracy requirements are met

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-07-08]

3.16

rate of change of frequency protection

ROCOF

protection function intended to operate when frequency changes by a given amount per unit of time

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

3.17

period

T

smallest positive difference between two values of the independent variable at which the values of a periodic quantity are identically repeated

Note 1 to entry: If $f(t)$ denotes a periodic quantity, then $f(t+T) = f(t)$.

Note 2 to entry: The term "period duration" is sometimes used in the case of a function of time.

Note 3 to entry: The symbol T is mainly used for the period when the independent variable is time.

[SOURCE: IEC 60050-103:2009, 103-06-01]

3.18

frequency

f

reciprocal of the period

Note 1 to entry: The symbol f is mainly used when the period is a time. The symbol ν (nu) is mainly used in optics.

Note 2 to entry: For a sinusoidal waveform, frequency is the first derivative of the phase angle (see IEC/IEEE 60255-118-1: 2018). A detailed description can be found in Annex D.

[SOURCE: IEC 60050-103:2017, 103-06-02, modified – Note 2 to entry has been replaced by a new note.]

3.19

power frequency

conventionally, the values of frequency used in the electricity supply systems

[SOURCE: IEC 60050-601:1985, 601-01-05]

4 Specification of the function

4.1 General

An example of the protection function with its inputs, outputs, measuring element, time delay characteristics and functional logic is shown in Figure 2. The manufacturer shall provide the functional block diagram of the specific implementation.

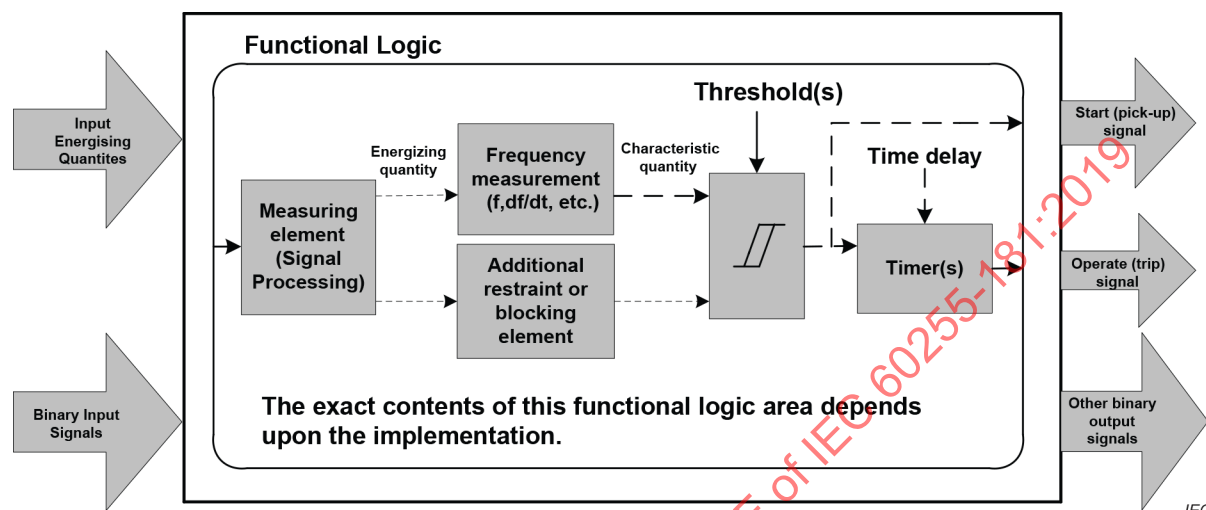


Figure 2 – Simplified protection function block diagram

4.2 Input energizing quantities / energizing quantities

The input energizing quantities are the measuring signals, for example, voltages. In the case of analogue entries, their ratings and relevant standards are specified in IEC 60255-1. Input energizing quantities can be acquired via direct connection with primary conductors (for example, low-voltage busbars) or from instrument transformers – for example, voltage transformer, VTs, according to IEC 61869 (all parts) – or as a data packet over a communication port using an appropriate communication protocol (such as that of IEC 61850-9-2 and, more specifically, IEC 61869-9).

The protection function documentation shall state the type of input energizing quantities used by the protection function. Examples are:

- single or multi phase-to-earth or phase-to-neutral voltage measurement;
- single or multi phase-to-phase voltage measurement;
- phase (line) currents.

The manufacturer shall specify which energizing quantities are used for the operation of the frequency protection. As illustrated in Figure 2, the energizing quantities can differ to that of the input energizing quantities, for example:

- use of phase-to-earth or phase-to-phase voltage;
- use of two different voltage sources;
- use of derived signals from phase quantities, for example, positive sequence voltage or calculated phase-to-phase voltages, etc.;
- use of current, such as phase current or positive sequence current, etc.

The manufacturer shall specify which characteristic quantity is used for the operation of frequency protections. Examples are:

- power frequency measurement;
- rate of change of frequency (df/dt) measurement (ROCOF).

Power frequency and df/dt quantities can be measured over a different time period (for example, one or several power frequency cycle(s)). This time period can be fixed or adjustable according to a user setting. When this time period is adjustable, the setting value has an impact on the time characteristic (for example, start time).

The manufacturer shall advise if the frequency or ROCOF measurement is impacted by a user setting (for example, frequency averaged over selectable number of cycles). In such case, the manufacturer shall declare the impact of these settings on the function performances and recommend settings for the relevant functional tests and for applications.

All of these characteristic quantities are based on a basic frequency measurement. Different algorithms exist and a selection of them are described in Annex C.

When the protection device is not equipped with voltage inputs, or when voltage signals are not present or under a blocking threshold, frequency measurement could be performed on line current inputs. Such a feature is generally used to manage the frequency tracking and not recommended to manage frequency protections. The manufacturer shall declare if phase currents are used as input energizing quantities within their frequency protections. Performances of frequency protection based on phase current are not covered by type tests defined in Clause 6, but the test principle may be extended to provide guidance for these applications.

4.3 Binary input signals

If any binary input signals (externally or internally driven) are used, their influence on the protection function shall be clearly described on the functional logic diagram. An additional textual description may also be provided if this can further clarify the functionality of the input signals and their intended usage.

Binary input signals to this function may emanate from a number of different sources. Examples include:

- traditionally wired to physical (typically optically isolated) inputs;
- via a communications port from external devices (e.g. using IEC 61850 GOOSE signals);
- via internal logical connections from other functional elements within the relay; for example, undervoltage blocking, df/dt or $\Delta f/\Delta t$ supervision, current supervision and power supervision (f/P function);
- via internal logic within the frequency protection elements.

The method of receiving the signal is largely irrelevant except to conform to operational requirements. Definitions, ratings and standards for binary input signals are specified in IEC 60255-1.

4.4 Functional logic

4.4.1 Operating characteristics

4.4.1.1 General

The relationship between operate time and characteristic quantity can be expressed by means of a characteristic curve. The shape of this curve shall be declared by the manufacturer via an equation (preferred) or graphical means.

This document specifies an independent time characteristic (i.e. definite time delay).

The independent time characteristic is defined in terms of the setting value of the characteristic quantity G_S and the operate time delay setting t_{delay} . When no intentional time delay is used, then the protection function is denoted as an instantaneous function.

4.4.1.2 Characteristic for underfrequency function

For the underfrequency function, $t_{(G)} = t_{\text{delay}}$ when $G < G_S$. The independent time characteristic is presented in Figure 3.

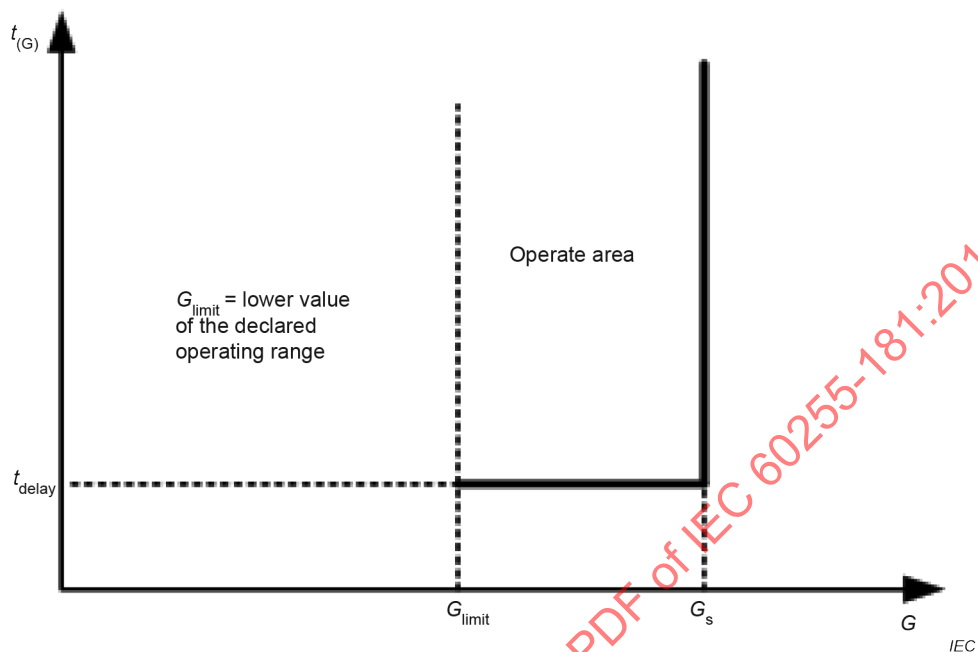


Figure 3 – Underfrequency independent time characteristic

NOTE The accuracy of time characteristics is guaranteed over the effective range, but the function is expected to operate over the operating range, as described in 5.2.

4.4.1.3 Characteristic for overfrequency function

For the overfrequency function, $t_{(G)} = t_{\text{delay}}$ when $G > G_S$. The independent time characteristic is presented in Figure 4.

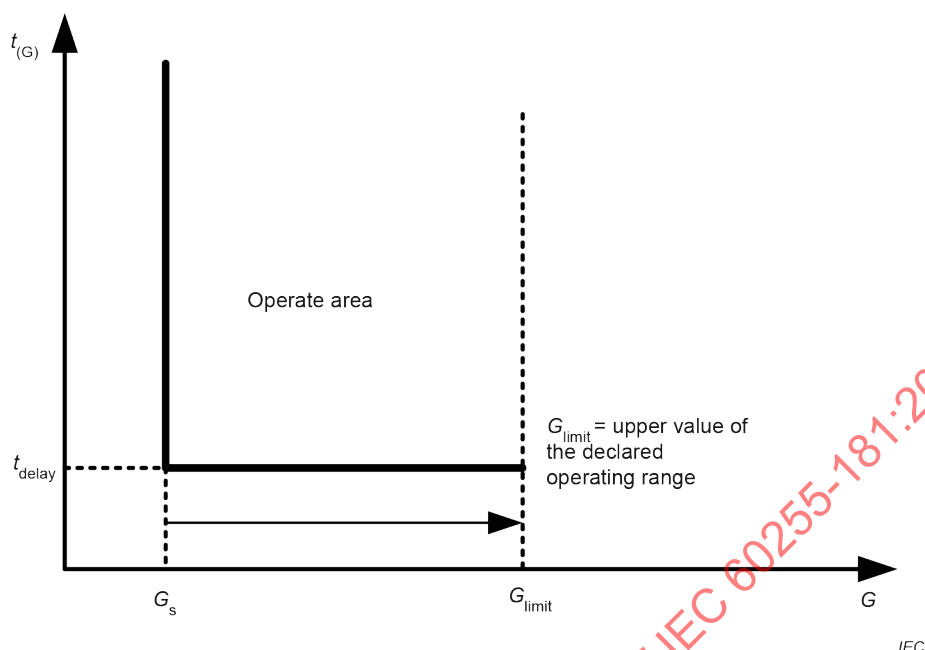


Figure 4 – Overfrequency independent time characteristic

NOTE The accuracy of time characteristics is guaranteed over the effective range, but the function is expected to operate over the operating range, as described in 5.2.

4.4.1.4 Characteristic for rate of change of frequency (ROCOF)

For ROCOF function, $t_{(G)} = t_{\text{delay}}$ when $|G| > |G_s|$. The independent time characteristic is presented in Figure 5.

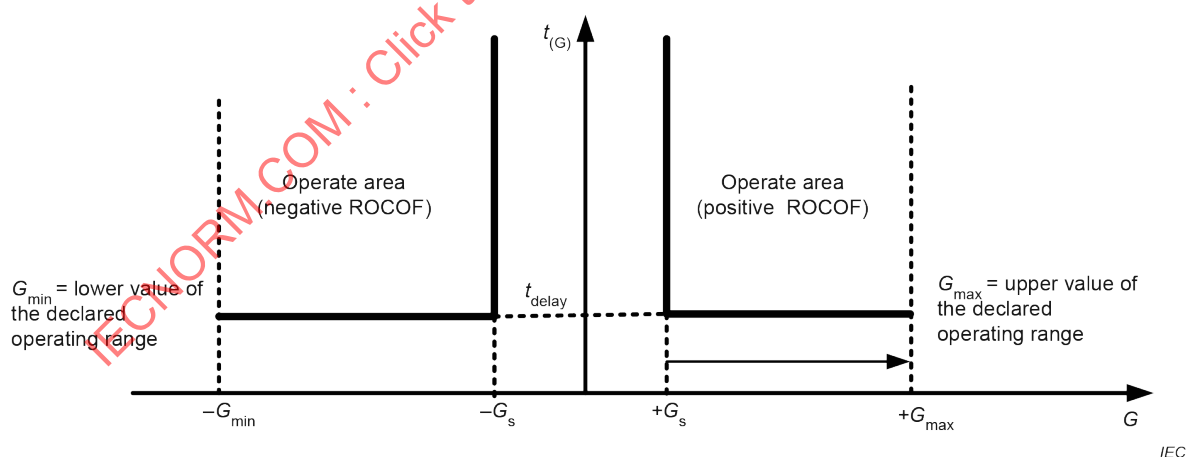


Figure 5 – ROCOF independent time characteristic (for negative or positive ROCOF)

NOTE The accuracy of time characteristics is guaranteed over the effective range, but the function is expected to operate over the operating range, as described in 5.2.

The operate characteristic can be defined only for a positive, a negative or both for positive and negative ROCOF, according to a user setting. Such an operate characteristic shall be declared by the manufacturer. The positive and negative thresholds can be different and managed with two different ROCOF elements.

4.4.2 Reset characteristics

Generally, there is no intentional delay on reset. The function shall return to its reset state when:

- $G > G_s + (\text{reset hysteresis})$, for the underfrequency function;
- $G < G_s - (\text{reset hysteresis})$, for the overfrequency function; and
- $|G| < (\text{reset ratio}) \times |G_s|$ or $|G| < |G_s| - (\text{reset hysteresis})$, for ROCOF function, or for the applicable formula when signed df/dt is used.

And

$$\text{reset hysteresis} = |\text{reset value} - \text{operate value}|$$

$$\text{reset ratio} = \frac{\text{reset value}}{\text{operate value}}$$

For ROCOF functions, the reset ratio can be associated with an absolute minimum reset hysteresis applicable for lower threshold values. In that case, the reset value is the greater value between the declared reset ratio and reset hysteresis (for example, reset ratio 98 % with minimum reset hysteresis 40 mHz/s).

With frequency protections, only the disengaging time shall be declared. An intentional reset time characteristic is generally not provided with frequency functions. The difference between disengaging time and reset time is recalled in Figure 6.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

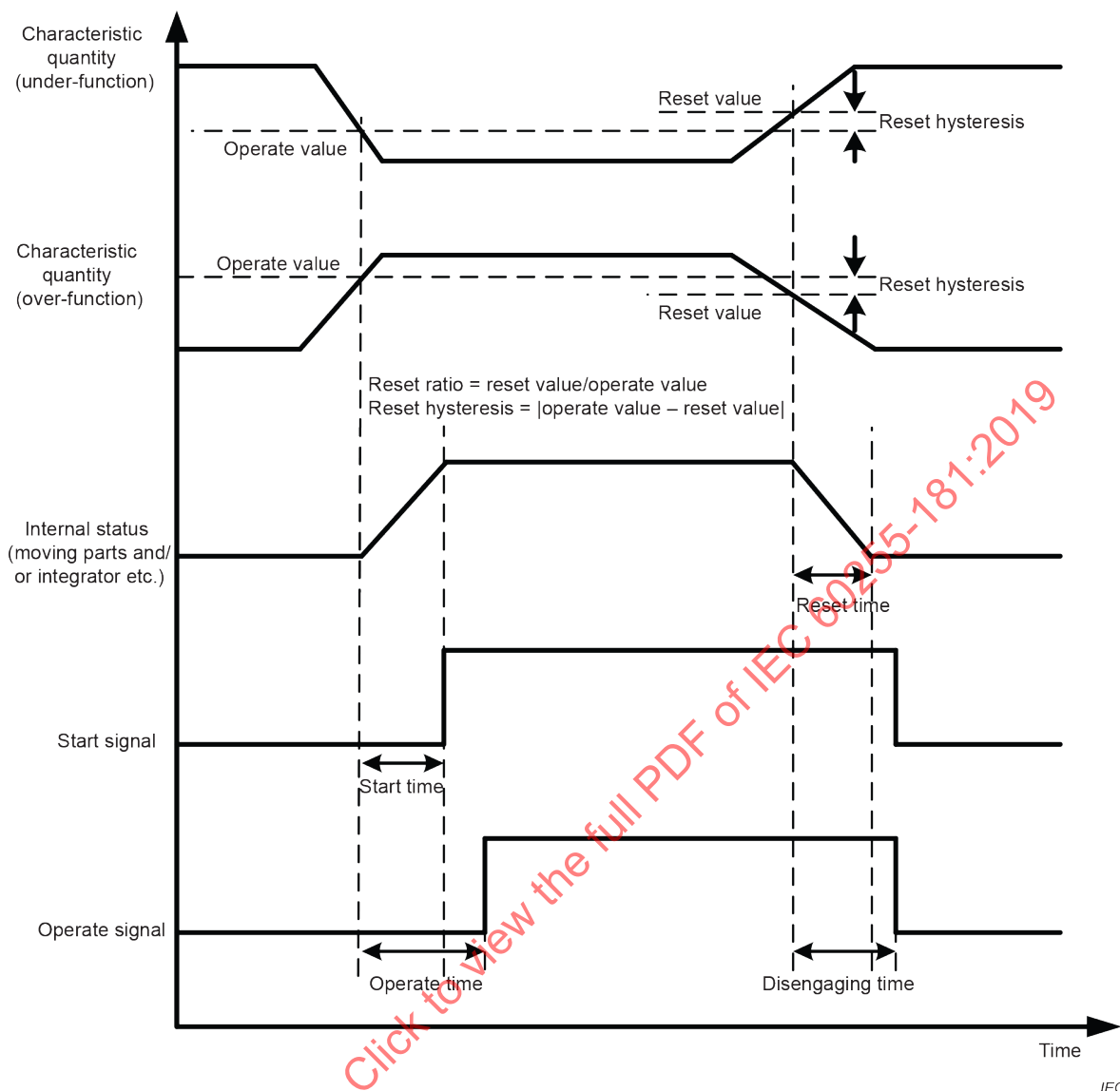


Figure 6 – Explanatory diagram for start, operate, disengage and reset

4.5 Additional influencing functions/conditions

4.5.1 General

The following conditions may affect the behaviour of the frequency function. These conditions can be detected by additional function elements which then interact with the frequency protection through binary inputs in pre-defined ways, for example, blocking frequency protection when the voltage levels are below prescribed limits. The performance of these specific characteristics shall be described by the manufacturer in the documentation. The associated functional tests are not described in this document, but the test methods used to check these characteristics shall be described by the manufacturer in the type test report.

4.5.2 Specific characteristics for under/over frequency function

Examples of specific characteristics for under/over frequency function are:

- undervoltage blocking;
- three-phase unbalance supervision;
- df/dt supervision;

- current supervision;
- power supervision (f/P function).

4.5.3 Specific characteristics for rate of change of frequency (ROCOF) function

Examples of specific characteristics for ROCOF function are:

- undervoltage blocking;
- three-phase unbalance supervision;
- under/over frequency supervision;
- current supervision.

4.6 Binary output signals

4.6.1 General

Binary output signals from this function may be available in a number of different forms. Examples include:

- traditionally wired from physical protection device output contacts;
- via a communications port to external devices;
- via internal logical connections to other functional elements within the protection device;
- via internal logic within the frequency protection elements.

The method of providing the signal is largely irrelevant except to conform to operational requirements. Definitions, ratings and standards for binary output signals using contacts are specified in IEC 60255-1.

4.6.2 Start (pick-up) signal

The start signal is the output of measuring and threshold elements, without any intentional time delay.

The manufacturer shall specify, to the extent required for proper application and testing, the information about the start signals, characteristic and logic used for the starting/fault detection element, required setting parameters, meaning and usage of settings, and output signals asserted by the function.

If a start signal is not provided, the manufacturer shall give information on how to conduct testing related to the start signal as defined in Clause 6.

4.6.3 Operate (trip) signal

The operate signal is the output of measuring and threshold elements, after completion of any intentional operating time delay. In the case of instantaneous elements, this signal may occur at the same time as the start signal (if provided).

4.6.4 Other binary output signals

If any other binary output signals are available for use, their method of operation shall be clearly shown on the functional logic diagram. Additional textual description may also be provided if this can further clarify the functionality of the output signal and its intended usage.

5 Performance specification

5.1 General

Since this document specifies the minimum requirements for frequency protection, only the performance specifications appropriate for meeting these minimum requirements are considered and presented here. This document also defines how the performance related to these minimum requirements shall be documented by the manufacturer.

5.2 Effective and operating ranges

Tables 2 and 3 show examples on how the effective range and operating range shall be declared by the manufacturer for under/over frequency and ROCOF protections. Depending on the frequency function technology, the range can differ from the given table, where the values are given as an example to indicate the format of the data. The effective and operating ranges shall be declared by the manufacturer and the data shall be published in accordance with the format shown in Tables 2 and 3. When effective and operating ranges are expressed according to rated voltage or nominal frequency, the manufacturer shall declare the values of rated voltages or nominal frequencies authorized by the protection function.

Table 2 – Example of effective and operating ranges for over/under frequency protection

Quantity	Effective range	Operating range
Voltage	5 % to 150 % of rated voltage	2 % to 200 % of rated voltage
	2,9 V to 86,6 V (VT secondary voltage)	1,5 V to 115,5 V (VT secondary voltage)
Power frequency	0,95 to 1,05 of nominal frequency	0,9 to 1,1 of nominal frequency
	47,5 Hz to 52,5 Hz	45 Hz to 55 Hz
NOTE The voltage range can be expressed in percent of rated voltage value or in absolute voltage value (VT secondary voltage). In the case of ranges declared with absolute values, the upper limit of the effective range is higher than accepted rated values (for example, rated value of 57,7 V for an effective range up to 86,6 V).		

Table 3 – Example of effective and operating ranges for ROCOF protection

Quantity	Effective range	Operating range
Voltage	5 % to 150 % of rated voltage	2 % to 200 % of rated voltage
	2,9 V to 86,6 V (VT secondary voltage)	1,5 V to 115,5 V (VT secondary voltage)
Power frequency^a	0,95 to 1,05 of nominal frequency	0,9 to 1,1 of nominal frequency
	47,5 Hz to 52,5 Hz	45 Hz to 55 Hz
ROCOF	–5 Hz/s to +5 Hz/s	–10 Hz/s to +10 Hz/s
NOTE The voltage range can be expressed in percent of rated voltage value or in absolute voltage value (VT secondary value). In the case of ranges declared with absolute values, the upper limit of the effective range is higher than accepted rated values (for example, rated value of 57,7 V for an effective range up to 86,6 V).		
^a In the event that the algorithm to measure the rate of change of frequency is not affected by the value of the frequency itself, the manufacturer shall write "not applicable". The behaviour of the ROCOF protection outside of the effective range of the power frequency shall be declared by the manufacturer. In any case, the power frequency range shall be consistent with the declared start time and the ROCOF setting range to perform the functional type tests described in Clause 6, where the initial power frequency used for the tests is equal to the nominal value.		

When phase currents are used as input energizing quantities for the frequency protection, the manufacturer shall declare the effective and operating ranges for the currents.

When the rating of the voltage inputs of the protection device have a withstand value associated with the value of flux (V/Hz), the manufacturer shall declare the maximum V/Hz curve versus the time that the voltage input can withstand.

5.3 Accuracy related to the characteristic quantity

The manufacturer shall declare the accuracy related to the characteristic quantity along with a setting value range over which it is applicable. In addition, the manufacturer shall also declare the behavior of the function over the declared operating range.

For under/over frequency, the accuracy shall be declared with an absolute frequency value (for example, ± 10 mHz). In addition to the absolute value, a relative value with respect to the setting value (G_s) can be declared, and the accuracy error shall be the maximum of the two terms (for example, " $\pm 0,01$ % or ± 10 mHz, whichever is the greater").

For a ROCOF function, the accuracy shall be declared with a relative value with respect to the setting value (G_s) or an absolute df/dt value or the combination of both values (for example, " ± 5 % or ± 15 mHz/s, whichever is the greater"). The manufacturer can declare variable accuracies over the ROCOF setting range.

The test procedure to assess the accuracy related to the characteristic quantity is described in 6.2.1.

5.4 Start time for under/over frequency function

The start time of under/over frequency functions depends on several factors:

- initial power frequency value (generally close to the nominal frequency);
- final power frequency value (under simple steady state test conditions);
- the type of transition from the initial to the final value;
- the frequency measuring method, for example, frequency measurement based on an average over a sliding time period.

The start time shall be published by the manufacturer as a result of two different test methods:

- with a sudden change between the initial test frequency value and the final frequency value;
- with different constant frequency slopes (df/dt) between the initial frequency value and the final frequency value.

More comprehensive information about test methodology and defined test points is provided in 6.3.2.

For each test method, the manufacturer shall provide the minimum, average (mean) and maximum start time based on the complete test points defined in 6.3.2. In addition, a graphical representation of the complete set of test results shall be provided. Clarification of the statistical terminology is provided in Annex B.

When the frequency measurement is based on an adjustable time period defined by a user setting, the start time shall be declared with the default setting value of such an adjustable time period.

5.5 Start time for rate of change of frequency (ROCOF) function

The start time of ROCOF functions depends on different factors, similar to under/over frequency functions. The start time shall be published by the manufacturer as a result of tests based on different slopes with constant frequency rate of change between the initial test frequency value and the end test frequency value.

More comprehensive information concerning test methodology and defined test points is provided in 6.3.3.

The manufacturer shall provide the mean (average), minimum and maximum start time based on the complete test points defined in 6.3.3. In addition, a graphical representation of the complete set of tests shall be provided with the mode and median values indicated. Clarification of the statistical terminology is provided in Annex B.

When the frequency measurement is based on an adjustable time period defined by a user setting, the start time shall be declared with the default setting value of such an adjustable time period.

5.6 Accuracy related to the operate time delay setting

The operate time delay is the time interval from the instant when the start (pick-up) signal is activated, to the instant when the operate signal is activated. This time is fixed by the operate time delay setting (t_{delay}), defined in 3.9.

The maximum permissible error of the operate time delay setting shall be expressed as either:

- a percentage of the time setting value, together with a fixed maximum time error (where this may exceed the percentage value), whichever is greater (for example, $\pm 5\%$ or ± 20 ms, whichever is greater); or
- a fixed maximum time error (for example, ± 20 ms).

The manufacturer shall declare the maximum limiting error related to the operate time delay setting along with the setting range of the time delay over which it is applicable.

The test procedure to assess the operate time delay setting is described in 6.4.

In some implementations, the internal measurement time may be included in the operate time and not be in addition to the time delay setting as defined above. The manufacturer shall declare how the operate time is managed in frequency functions.

5.7 Disengaging time

In frequency protection applications, it may be important to consider the disengaging time of the frequency protection stages when the frequency returns to normal conditions. This information has an impact on the time grading of different protection stages, on coordination of grid protection and generator protection, etc.

The manufacturer shall declare the disengaging time according to the test procedure described in 6.5.

If frequency protection is proposed with an intentional reset time, the manufacturer shall declare how the reset time is managed, and the associated test procedure shall be described in the type test report.

5.8 Reset hysteresis and reset ratio

For an under/over frequency function, the manufacturer shall declare the reset hysteresis reported in mHz (for example, reset hysteresis: 5 mHz).

For a ROCOF function, the manufacturer shall declare the reset value, which can be limited to a reset ratio (for example, reset ratio 98 %), or defined with a reset ratio associated with an absolute minimum reset hysteresis applicable for lower threshold values (for example, reset ratio 98 % with minimum reset hysteresis 40 mHz/s).

The test procedure to assess the reset hysteresis and the reset ratio is described in 6.2.2.

NOTE There is no direct relationship between the declared accuracy (5.3) and the declared reset hysteresis or reset ratio. The reset hysteresis or reset ratio is defined to hide the instability of the measurement and to avoid the chattering of the start signal. For example, the reset hysteresis can be below or above the declared accuracy of the characteristic quantity. The higher the measurement instability, the higher the reset hysteresis. The magnitude of the measurement instability is not directly linked to the measurement accuracy.

5.9 Accuracy related to restraint/blocking elements

The manufacturer shall declare the restraint/blocking elements that are used. When the restraint/blocking elements are based on specific thresholds, as described in 4.5, the manufacturer shall declare the accuracy of these elements.

5.10 Performance with harmonics

Non-linear load conditions or nearby presence of an HVDC network may create the presence of harmonics superimposed on the fundamental frequency of the voltages (and currents) measured by the frequency functions. The presence of harmonics on a steady state load can be simulated by steady state injection, and may affect the accuracy related to the characteristic quantity of the frequency functions.

The accuracy of frequency or ROCOF measurement in the presence of harmonics shall be checked according to the test procedure described in 6.6.

5.11 Stability in case of sudden voltage change (phase shift and magnitude shift)

For under/over frequency and ROCOF functions, the manufacturer shall declare if the start signal is stable (no false operation) for a voltage change (magnitude or phase-shift) without a frequency change.

The influence of a voltage magnitude change and a voltage phase shift shall be checked according to the test procedure described in 6.7.

These tests are based on two typical scenarios:

- one test as set out in 6.7.2, based on voltage phase shift and magnitude change to be representative of a fault occurrence followed by fault clearing;
- one test as set out in 6.7.3, based on a total voltage drop followed by a voltage restoration to be representative of a complete voltage collapse representative of a close-up fault.

If the function is not stable (i.e. start signal occurs), the manufacturer shall declare the minimum time delay setting required to ensure the stability of the operate signal.

5.12 Voltage input requirements

If voltage instrument transformers are used, the manufacturer shall declare the types of voltage transformers, according to IEC 61869 (all parts), which are required to maintain the claimed performance levels of frequency protections.

If direct low voltage connections are used, the rated voltage range shall be defined by the declared effective and operating voltage ranges, as defined in 5.2.

6 Functional test methodology

6.1 General

Clause 6 gives a detailed description of the tests to be performed to verify the frequency function accuracy and performance specification described in Clause 5. These tests are not intended for protection relay field commissioning or routine tests, where the manufacturer's instructions shall be used as a reference, although several test methodologies and performance requirements described in this document can also be applicable for commissioning/maintenance tests.

These tests are, as explained in Clause 5, a mandatory part of the type tests for the protection function. Detailed descriptions of the test conditions and of how test results shall be published in the manufacturer's documentation are provided. This allows a comparison of the technical requirements of the user with the protection function specifications given in the manufacturer's documentation.

These tests are designed in such a way to exercise all aspects of the hardware and firmware (if applicable) of the frequency protection function. This means that the injection of voltage (or current) shall be at the interface to the protection device, either directly into the conventional voltage transformer input terminals, or an equivalent digital signal with the appropriate protocol at the appropriate interface. Similarly, operation shall be taken from output contacts wherever possible or equivalent signals at an appropriate interface.

For the tests linked to time performance, the manufacturer shall declare with which output the start and operate time has been measured – for example, trip binary output contact, or solid state output, or GOOSE message according to IEC 61850 (all parts). If the protection device can provide different output media, then the manufacturer shall declare how the time performances are affected.

For protection devices where some or all settings are in primary values, one voltage transformer ratio shall be selected for performing the tests (if applicable).

In order to determine the accuracy of the frequency functions under steady state conditions, the injected characteristic quantity shall be a sinusoid of rated voltage amplitude and its frequency should be varied according to the test requirements. During transitions, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency, unless otherwise specified. It is allowed to adjust the voltage level to keep within the withstand requirements of voltage inputs related to the rated volt/hertz level. If the frequency functions are based on phase current, the same test methodology shall be followed, and the test conditions shall be fully described in the type test report.

Several functional tests described in Clause 6 are based on waveform signals with a constant frequency slope. The equation of these test waveforms is specified in the normative Annex A. When the test signal is based on a COMTRADE file (or other binary format test files) and replayed using a test device, the sampling frequency of the test waveform shall be at least 4 800 Hz. The sampling rate shall meet the Nyquist criteria depending on frequency content of tested signals.

The sampling frequency of 4 800 Hz is based on the preferred sampling rate defined for instrument transformers with a digital interface (IEC 61869-9). The sample rate of 4 000 Hz is authorized for legacy equipment, according to Table 902 in IEC 61869-9:2016.

In 6.1 to 6.7, the test settings to be used are expressed as a percentage of the available setting range.

For under/over frequency functions, the minimum/maximum values of the setting range can have a significant difference to the nominal values. To limit the number of test points and to focus on typical settings, the tested setting range shall be defined as being from the frequency rated value to the upper setting range value (with positive percentage values) or lower setting range value (with negative percentage values). The actual setting to be used can be calculated using the following formula:

For test points defined with positive percentage values:

$$G_s = (f_{\max} - f_R) \times X + f_R$$

For test points defined with negative percentage values:

$$G_s = (f_R - f_{\min}) \times X + f_R$$

where

- G_s is the setting value; the tested value can be rounded according to the step size of the frequency function;
- $f_{\max}$ is the maximum available setting value;
- $f_{\min}$ is the minimum available setting value;
- f_R is the nominal frequency (for example, 50 Hz, 60 Hz);
- X is the test point percentage value divided by 100 expressed in test methodology (see Tables 4, 9, 13, 14, 27).

For example, based on the frequency settings defined in Table 4, and assuming the setting range is 40 Hz to 70 Hz (setting range not dependent on the nominal frequency f_R), the actual frequency settings to be used would be (the rounded values can be used according to the setting step size):

- with 50 Hz nominal power frequency: 40 Hz, 49 Hz, 49,5 Hz, 49,75 Hz, 49,9 Hz, 50 Hz, 50,2 Hz, 50,5 Hz, 51 Hz, 52 Hz, 70 Hz;
- with 60 Hz nominal power frequency: 40 Hz, 58 Hz, 59 Hz, 59,5 Hz, 59,8 Hz, 60 Hz, 60,1 Hz, 60,25 Hz, 60,5 Hz, 61 Hz, 70 Hz.

For ROCOF functions, the actual setting to be used can be calculated using the following formula:

$$G_s = (G_{s_max} - G_{s_min}) \times X + G_{s_min}$$

where

- G_s is the setting value; the tested value can be rounded according to the step size of the frequency function;
- G_{s_max} is the maximum available setting value;
- G_{s_min} is the minimum available setting value;
- X is the test point percentage value divided by 100 expressed in test methodology (see Tables 7, 11, 16, 24, 28).

For example, based on the ROCOF setting defined in Table 7, and assuming the setting range is 0,1 Hz/s to 10 Hz/s, the actual ROCOF settings to be used would be: 0,1 Hz/s, 0,595 Hz/s, 1,09 Hz/s, 3,07 Hz/s, 6,04 Hz/s, 10 Hz/s. The rounded values can be used according to the setting step size.

6.2 Determination of steady state errors related to the characteristic quantity

6.2.1 Accuracy of the start value

6.2.1.1 Under/over frequency

6.2.1.1.1 Description of the generated frequency ramp

The test method shall be based on a pseudo-continuous frequency ramp.

The ramp starts at the initial frequency f_{initial} . The initial frequency shall be above/under the expected start value G_s for under/over frequency function, with a minimum difference equal to 5 times the declared frequency accuracy (example: for the overfrequency function, with a declared accuracy of ± 10 mHz, the initial frequency is equal to $G_s - 0,05$ Hz).

The ramp can be interrupted after the activation of the start signal. The activation of the start signal shall be a "solid activation"; this means no chattering of the signal with several transitions high–low–high during the injection of the step. The only chattering allowed in the signal is by the output contact, which has a reasonable bouncing time of less than 4 ms. If the start signal oscillates for more than 4 ms, the start activation shall not be considered and the ramp shall continue with the next step. For other output media, such as IEC 61850 GOOSE or static output, no chattering at all shall be present in the transition of the start signal, in order to be considered valid.

The test method is illustrated in Figure 7, which is applicable to an overfrequency function.

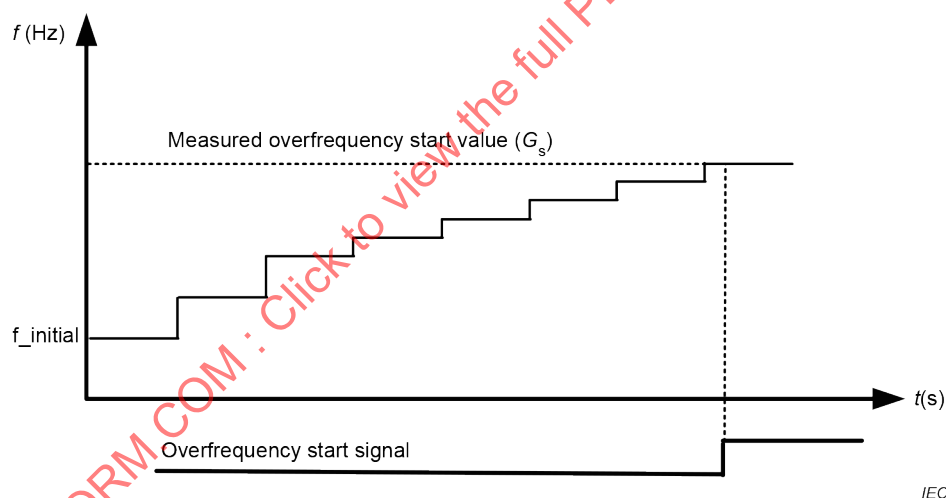


Figure 7 – Example of test method for overfrequency

Each step of the ramp has a duration of: MAX (500 ms; 5 times the maximum start time).

If frequency tracking is performed, this time step is normally sufficient to allow for frequency adjustment.

During the transition between successive frequency steps, the injected signal shall be continuous, and there is no step change in its phase angle or magnitude except its frequency.

To reduce the length of the test, the frequency increment can be higher at the beginning of the test, with the following rules:

- For the overfrequency function, this increment can be equal to G_s minus 3 times the "declared frequency accuracy".

- For the underfrequency function, this increment can be equal to G_s plus 3 times the "declared frequency accuracy".

The declared frequency accuracy is based on the requirements specified in 5.3.

Once the above value is reached, the frequency increment will be less than or equal to 10 % of the declared frequency accuracy until the end of the ramp caused by the operation of the start signal.

6.2.1.1.2 Protection function settings

Start frequency settings shall be varied in the setting range as shown in Table 4.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency setting (G_s) that is tested. In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.2.1.1.3 Test points and calculation of frequency accuracy

Even if the setting range is independent of the nominal frequency setting (typically 50 Hz or 60 Hz), the tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function with the setting test points defined in Table 4 and according to the rule defined in 6.1.

The frequency is measured for the following test points (Table 4). Each test is repeated 5 times and the test results are reported as shown in Table 4.

All test points are carried out at nominal voltage. In addition, the first test (–100 % min. setting) and the last test (+100 % max. setting) points are repeated at the maximum and the minimum voltage of the effective range. The results of the test points at minimum and maximum effective range of the voltage have to be documented in line with the other test points at nominal voltage.

For each test, the measured start frequency shall be within the declared accuracy. The accepted values are calculated for each measured value in the manner described below.

The start of the protection function shall occur within the frequency band around the expected start value (G_s). The band has the following borders:

higher accepted value = (G_s + declared frequency accuracy);

lower accepted value = (G_s – declared frequency accuracy).

Table 4 – Test points for under/over frequency function

Test point value x^a	Frequency setting (start threshold, G_s) ^a Hz	Voltage magnitude c	Test 1 Hz	Test 2 Hz	Test 3 Hz	Test 4 Hz	Test 5 Hz	Acceptance criteria Hz
-100 % (min. setting)		Min. U						$G_s \pm f_accuracy$
-100 %		Max. U						$G_s \pm f'_accuracy$
-100 %		U_n						$G_s \pm f'_accuracy$
-10 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
-5 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
-2,5 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
-1 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
0 % ($f_R = 50$ Hz, 60 Hz) ^b		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
+1 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
+2,5 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
+5 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
+10 %		U_n						$G_s \pm f_accuracy$
+100 %		U_n						$G_s \pm f'_accuracy$
+100 %		Min. U						$G_s \pm f'_accuracy$
+100 % (max. setting)		Max. U						$G_s \pm f_accuracy$
^a Test points are expressed in % to compute frequency settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1. Setting ranges of under/over frequency function can be defined with values under and above the nominal frequency. Test points are defined to cover all possible setting ranges. ^b If the setting defined at the nominal power frequency is not available, this test point can be omitted. ^c U_n is the nominal voltage, and "Min. U " and "Max. U " are the minimum and maximum values of the declared voltage effective range.								

6.2.1.1.4 Reporting of the frequency accuracy

The frequency accuracy is reported as a measurement error, as per the example shown in Table 5, where the value is provided as an example.

Table 5 – Reporting of the frequency accuracy

Overfrequency protection	
Frequency accuracy	±10,0 mHz

Alternatively, the manufacturer can choose to express the accuracy error using the maximum of the two values, as shown in Table 6.

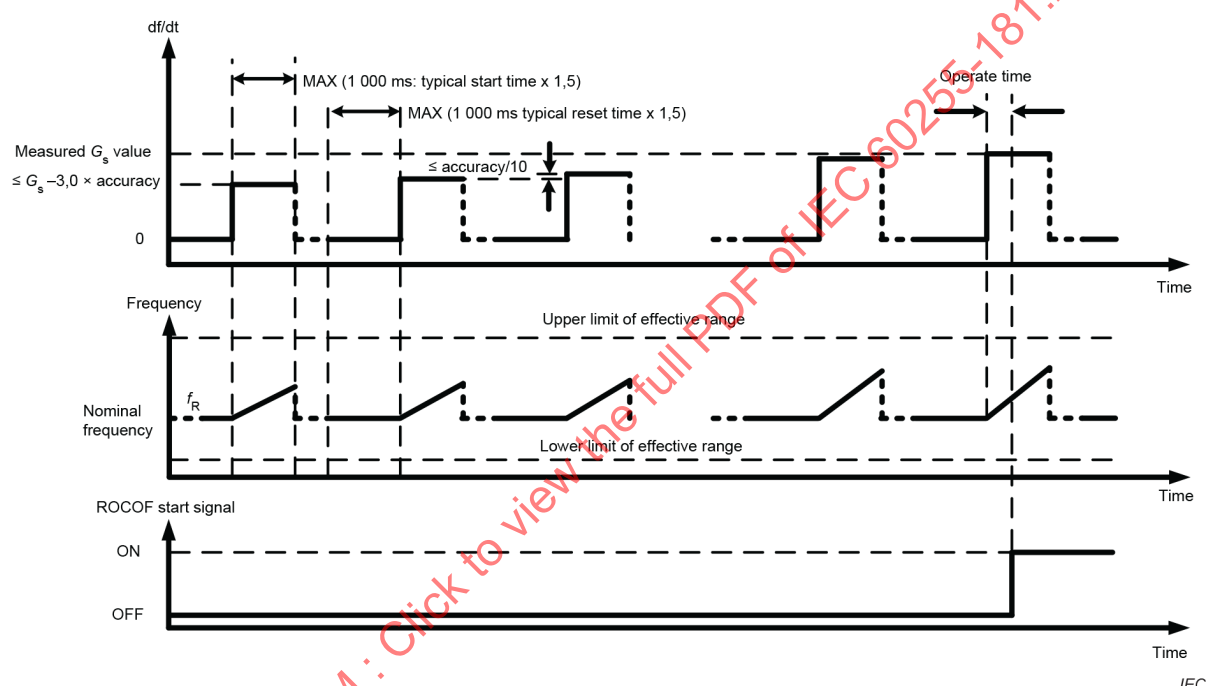
Table 6 – Reporting of the frequency accuracy (alternative solution)

Overfrequency protection	
Frequency accuracy	$\pm 10,0$ mHz or $\pm 0,01$ % G_s , whichever is greater

6.2.1.2 Rate of change of frequency

6.2.1.2.1 Description of the generated frequency ramp

The accuracy of the ROCOF setting (G_s) is assessed with a sequence of frequency ramps where the frequency increases or decreases from the nominal value depending on the sign of the frequency derivative ("+" or "-"). The test method is illustrated in Figure 8, applicable for a positive ROCOF function.

**Figure 8 – Example of test method for positive ROCOF function**

The ramp commences at the nominal frequency f_R and stops when the protection START signal operates or when the ramp terminates without the protection start being asserted. The ramp duration to assess if the protection has started or not during the injection is:

$$\text{MAX (1 000 ms; typical start time} \times 1,5)$$

The injected frequency shall always be within the effective range of the protection function, if an effective frequency range is declared for the ROCOF function. This condition may require a limited duration of the frequency ramp. If the duration of the frequency ramp needs to be shorter than the maximum start time for the ROCOF function, the function cannot be tested for that setting based on the standardized test conditions. In that case, the manufacturer shall declare this information and shall declare the appropriate test method to be used to check the accuracy of these start value settings.

The first ramp has a frequency derivative much lower than the absolute value of the protection setting G_s .

If the protection does not start within the ramp duration, the next ramp will be injected with a new frequency derivative value with a start point always equal to the nominal frequency value.

Before each ramp, frequency shall remain at its nominal value at least for the duration of:

$$\text{MAX (1 000 ms; typical disengaging time} \times 1,5)$$

Then, the frequency is changed in a linear way away from its nominal value. During this transition, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude except its frequency.

At the end of each ramp, the frequency returns to its nominal value to get ready for the next ramp. During this transition, the injected signal is not defined in this document. Any start (pick-up) or operation during this period shall be ignored.

The next ramp has an increment (step) of frequency derivative equal to or smaller than:

$$(\text{frequency rate of change accuracy} / 10) \text{ Hz/s.}$$

When the protection start signal operates, the injection can be interrupted and the measured rate of change of frequency is the value of the frequency derivative for the last ramp.

The activation of the start signal shall be a "solid activation", this means no chattering of the signal with several transitions high–low–high during the injection of the ramp. The only chattering allowed in the signal is by the output contact, which has a reasonable bouncing time of less than 4 ms. If the start signal oscillates for more than 4 ms, the start activation shall not be considered and the ramp shall continue with the next step. For other output media, such as IEC 61850 GOOSE or static output, no chattering at all shall be present in the transition of the start signal, in order to be considered valid.

The normative Annex A defines the equation for test signals with a constant frequency slope.

To reduce the length of the test, the frequency increment can be higher at the beginning of the test, with the following rules:

- For the overfrequency function, this increment can be equal to G_s minus 3 times the "declared frequency accuracy".
- For the underfrequency function, this increment can be equal to G_s plus 3 times the "declared frequency accuracy".

The declared frequency rate of change accuracy is based on the requirements specified in 5.3.

Once the above value is reached the increment in the rate of change of frequency will be less than or equal to 10 % of the declared frequency rate of change accuracy until the end of the ramps caused by the operation of the start signal.

6.2.1.2.2 Protection function settings

Start ROCOF settings shall be varied in the setting range as shown in Table 7.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency rate of change, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the rate of change setting (G_s). In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.2.1.2.3 Test points and calculation of ROCOF accuracy

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function (typically 50 Hz and 60 Hz).

The ROCOF accuracy is measured for the following test points (Table 7). Each test is repeated 5 times and the test results are reported as shown in Table 7.

All test points are carried out at nominal voltage. In addition, the first test (0 % – min. setting) and the last test (100% – max. setting) points are repeated at the maximum and the minimum voltage of the effective range. The results of the test points at minimum and maximum effective range of the voltage have to be documented in line with the other test points at nominal voltage.

When the function is based on an absolute df/dt value, each test line defined in Table 7 shall be performed with a positive and a negative ROCOF.

For each test, the measured rate of change of frequency shall be within the declared accuracy. The accepted values are calculated for each measured value as described below.

The start of the protection function shall occur within the error band around the expected start value (G_s). The band has the following borders:

higher accepted value = (G_s + declared frequency rate of change accuracy);

lower accepted value = (G_s – declared frequency rate of change accuracy).

Table 7 – Test points for ROCOF function

Test point value x^a	ROCOF setting (start threshold, G_s) ^a Hz/s	Voltage magnitude U_b	Test 1 Hz/s	Test 2 Hz/s	Test 3 Hz/s	Test 4 Hz/s	Test 5 Hz/s	Acceptance criteria Hz/s
Minimum (0 %)		Min. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
0 %		Max. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
0 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
5 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
10 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
30 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
60 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
100 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
100 %		Min. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
Maximum (100 %)		Max. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$

^a Test points are expressed in % to compute the ROCOF settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.

^b U_n is the nominal voltage, and "Min. U " and "Max. U " are the minimum and maximum values of the declared voltage effective range.

6.2.1.2.4 Reporting of the ROCOF accuracy

The accuracy of the ROCOF is reported as a measurement error, as per the example shown in Table 8.

Table 8 – Reporting of ROCOF accuracy

ROCOF protection	
Rate of change of frequency accuracy	$\pm 5\%$ (of G_s) or ± 15 mHz/s, whichever is greater

6.2.2 Reset hysteresis or reset ratio determination

6.2.2.1 Under/over frequency

6.2.2.1.1 Description of the test

The tests to assess the reset hysteresis for under/over frequency functions are based on two pseudo-continuous frequency ramps that are driven by the condition of the protection start signal which is monitored.

The first frequency ramp (increasing ramp for overfrequency functions and decreasing ramp for underfrequency functions) will start from the nominal power frequency value (or at any frequency where the protection function is stable in the non-starting condition to reduce the testing time); the START signal of the protection function is monitored. When the protection START signal operates:

- the value of the injected frequency is registered as "START frequency value", and
- the second ramp (decreasing ramp for overfrequency, increasing for underfrequency functions), will start.

The second ramp starts from the registered "START frequency value" and will stop when the START signal of the protection function resets. At that point, the injected frequency will be registered as "RESET frequency value".

The activation of the start signal shall be a "solid activation"; this means no chattering of the signal with several transitions high–low–high during the injection of the ramp. The only chattering allowed in the signal is by the output contact, which has a reasonable bouncing time of less than 4 ms. If the start signal oscillates for more than 4 ms, the start activation shall not be considered and the ramp shall continue with the next step. For other output media, such as IEC 61850 GOOSE or static output, no chattering at all shall be present in the transition of the start signal, in order to be considered valid.

For the reset transition high–low of the start signal, no matter which output media is considered, no chattering at all shall be present in the transition high–low of the signal, in order to be considered valid.

The reset hysteresis will be calculated from the "START frequency value" and "RESET frequency value" as indicated in the following paragraphs in 6.2.2.1.1.

Figures 9 and 10 show the principle of the two frequency ramps to determine the reset hysteresis.

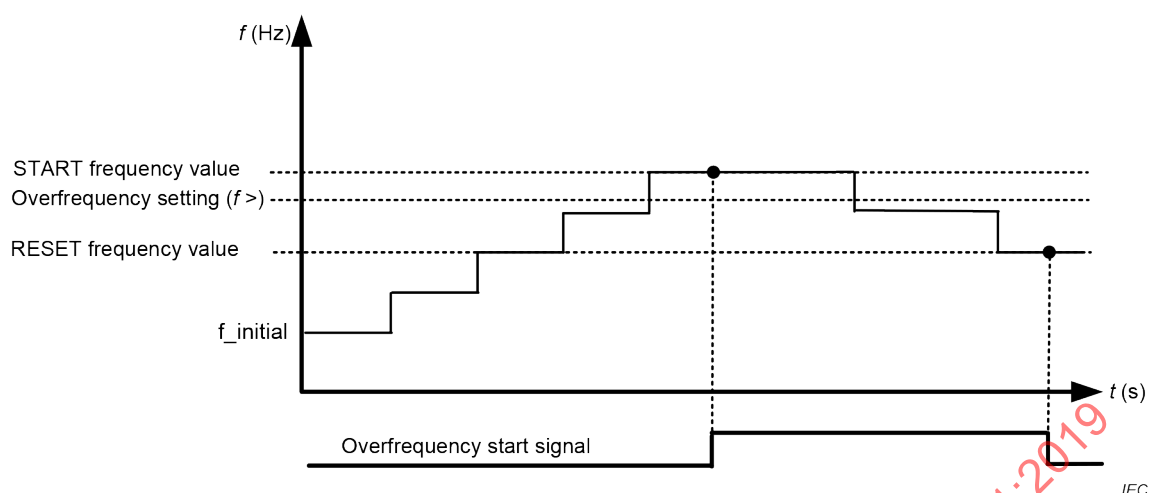


Figure 9 – Frequency ramps for assessing the reset hysteresis for overfrequency functions

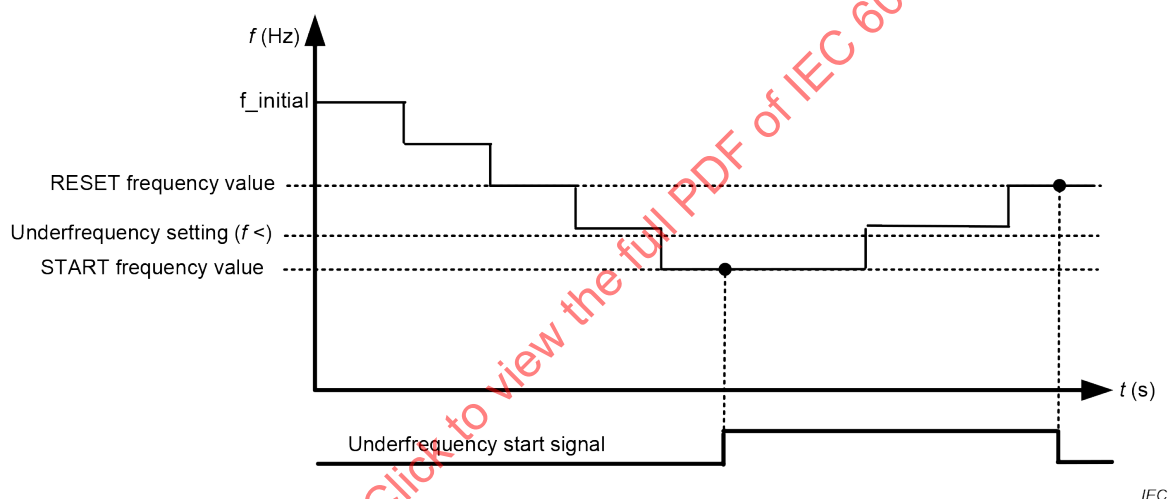


Figure 10 – Frequency ramps for assessing the reset hysteresis for underfrequency functions

Each step of the first ramp has a duration of: MAX (500 ms; 5 times the maximum start time).

If frequency tracking is performed, this time step is normally sufficient to process the frequency adjustment.

During the transition between successive frequency steps, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency.

To reduce the length of the test, the frequency increment can be higher at the beginning of the test, with the following rules:

- For the overfrequency function, this increment can be equal to G_s minus 3 times the "declared frequency accuracy".
- For the underfrequency function, this increment can be equal to G_s plus 3 times the "declared frequency accuracy".

G_s is the frequency setting for the test, indicated as " $f >$ " in Figure 9 and " $f <$ " in Figure 10, and the declared frequency accuracy is based on the requirements specified in 5.3.

Once the above value is reached the frequency increment will be less than or equal to 10 % of the declared frequency accuracy until the operation of the start signal, which will cause the registration of the value "START frequency value" and the initiation of the second ramp.

Each step of the second ramp has a duration of:

MAX (500 ms; 5 times the expected disengaging time).

During the transition between successive frequency steps, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency.

The frequency variation will be equal to the variation of the last step of the first ramp (immediately prior to the protection START).

The second ramp will proceed until the START signal of the protection function resets, allowing the registration of the "RESET frequency value" and the final calculation of the reset hysteresis.

6.2.2.1.2 Protection function settings

Start frequency settings shall be varied in the setting range as shown in Table 9.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency setting (G_s) that is tested. In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.2.2.1.3 Test points and calculation of reset hysteresis

The frequency hysteresis is measured for the test points indicated in Table 9 for under/over frequency functions.

All test points are carried out at nominal voltage. In addition, the first test (–100 % min. setting) and the last test (+100 % max. setting) points are repeated at the maximum and the minimum voltage of the effective range. The results of the test points at minimum and maximum effective range of the voltage have to be documented in line with the other test points at nominal voltage.

Each test is repeated 5 times and the test results are reported as shown in Table 9.

The measured reset hysteresis is calculated in the following way:

- reset hysteresis = "START frequency value" – "RESET frequency value", for overfrequency functions;
- reset hysteresis = "RESET frequency value" – "START frequency value", for underfrequency functions.

For all the tests, the measured reset hysteresis shall be below the declared reset hysteresis.

Table 9 – Test points of reset hysteresis for under/over frequency function

Test point value x^a	Frequency setting (start threshold, G_s) ^a Hz	Voltage magnitude ^c	Test 1 Hz	Test 2 Hz	Test 3 Hz	Test 4 Hz	Test 5 Hz	Acceptance criteria Hz
-100 % (min. setting)		Min. U						≤ Reset hysteresis
-100 %		Max. U						≤ Reset hysteresis
-100 %		U_n						≤ Reset hysteresis
-10 %		U_n						≤ Reset hysteresis
-5 %		U_n						≤ Reset hysteresis
-2,5 %		U_n						≤ Reset hysteresis
-1 %		U_n						≤ Reset hysteresis
0 % ($f_R = 50$ Hz, 60 Hz) ^b		U_n						≤ Reset hysteresis
+1 %		U_n						≤ Reset hysteresis
+2,5 %		U_n						≤ Reset hysteresis
+5 %		U_n						≤ Reset hysteresis
+10 %		U_n						≤ Reset hysteresis
+100 %		U_n						≤ Reset hysteresis
+100 %		Min. U						≤ Reset hysteresis
+100 % (max. setting)		Max. U						≤ Reset hysteresis

^a Test points are expressed in % to compute frequency settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.

^b If the setting defined at the nominal power frequency is not available, this test point can be omitted.

^c U_n is the nominal voltage, and "Min. U " and "Max. U " are the minimum and maximum values of the declared voltage effective range.

6.2.2.1.4 Reporting of reset hysteresis

The reset hysteresis for over/under frequency functions is reported in mHz as per the example shown in Table 10:

Table 10 – Reporting of the reset hysteresis for over/under frequency functions

Over (or under) frequency protection Reset hysteresis	
Reset hysteresis	5,0 mHz

6.2.2.2 Rate of change of frequency

6.2.2.2.1 Description of the test

The tests to assess the reset value for ROCOF functions are based on sequences of frequency ramps that are driven by the condition of the protection start signal which is monitored.

The tests are carried out according to the following procedure.

- The start value for df/dt (associated to the protection function setting G_s , indicated also as $df/dt_setting$) is detected with a succession of frequency ramps with increasing value of the frequency slope for positive ROCOF (for negative ROCOF the ramps will have a decreasing frequency slope). The detected ROCOF start value is associated with the value df/dt_start . See ramps $S_1, S_2, \dots, S_{m-1}$ and S_m in Figure 11 (a), where the start operation is detected with the ramp S_m in the case of a positive error on start value.
- A frequency ramp with the value $1,2 \times df/dt_start$ is generated, causing a definite start operation.

At the end of this frequency ramp, a frequency ramp with a lower frequency slope is generated (df/dt_1 , illustrated by ramp R_1 in Figure 11 (b)). During this ramp, the protection function may or may not reset:

- if the function does not reset, then the initial ramp at $1,2 \times df/dt_start$ is generated again, following this, a ramp with an even lower frequency slope is generated (df/dt_2 , illustrated by ramp R_2 in Figure 11 (b));
- this process continues until the protection function resets, which occurs at the ramp with the frequency derivative value of df/dt_reset . See ramps $R_1, R_2, \dots, R_{n-1}$ and R_n in Figure 11 (b), where the reset operation is detected with ramp R_{n-1} in the case of positive error on reset value or with ramp R_n in the case of negative error on reset value. When the protection function resets, the reset value can be calculated.
- The reset value is calculated based on the values df/dt_start and df/dt_reset .

NOTE According to the declared accuracy of the start value, if the frequency ramp with value $1,2 \times df/dt_start$ is not sufficient to ensure a definite start operation, the frequency ramp can be fixed to $(1 + 2 \times \varepsilon) \times df/dt_start$, where ε is the declared accuracy of the start value. This particular test condition can be used for lower threshold values, if the declared accuracy is close to or above 20 %.

Figure 11 shows the test method for a ROCOF function.

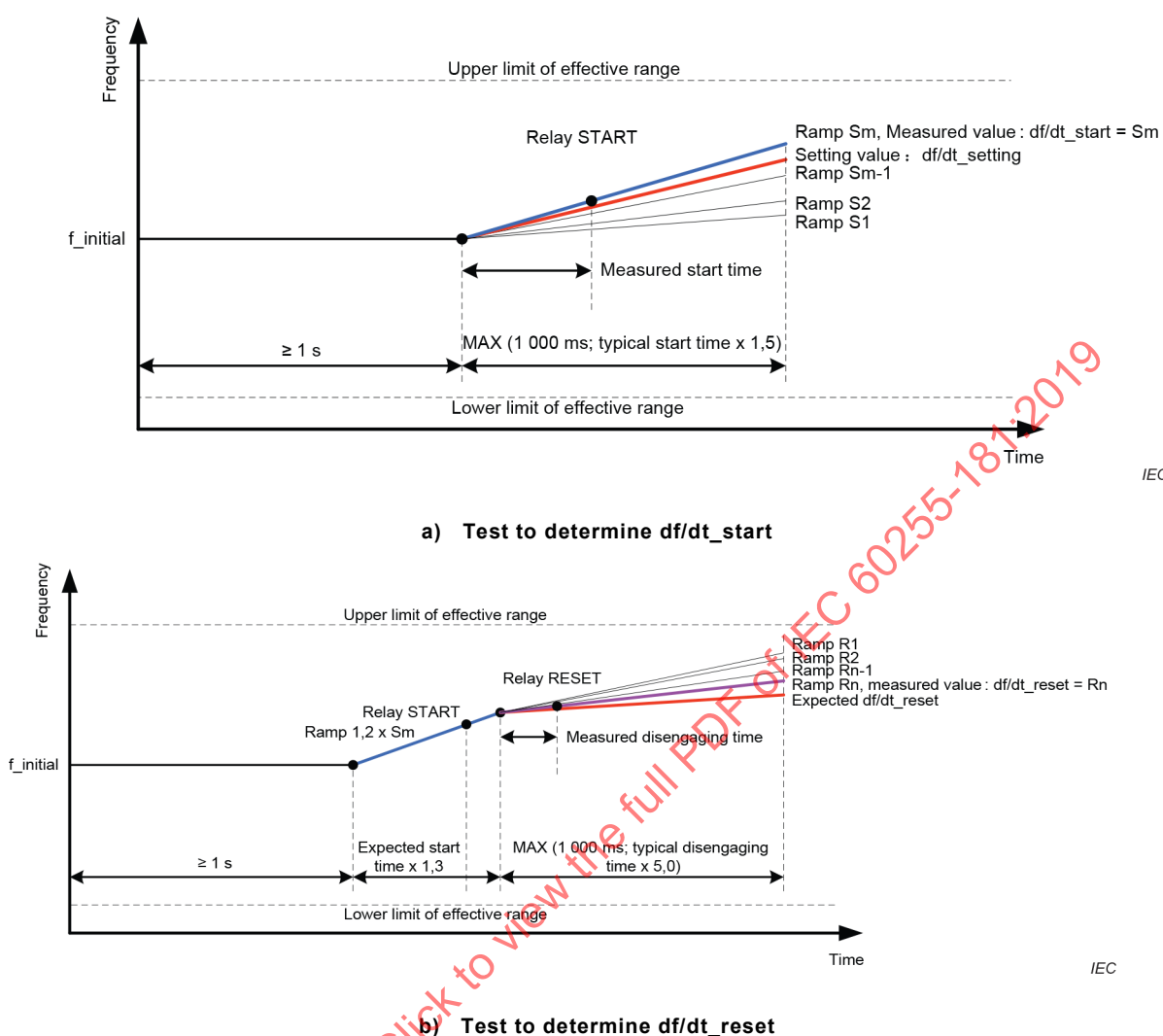


Figure 11 – Test method for measurement of reset value for ROCOF functions: example for positive ROCOF function

Test to determine df/dt_{start} (see Figure 11 (a)).

The first sequence of frequency ramps (increasing ramp for positive ROCOF function and decreasing ramp negative ROCOF function) will start from the frequency value $f_{initial}$ within the frequency effective range of the protection.

At the beginning of each ramp, the frequency shall be at $f_{initial}$ at least for the duration of 1 s. If the duration of 1 s is not sufficient, the manufacturer shall declare in the type test report the time duration to be used for this test.

Then, the frequency is changed in a linear way, away from its initial value. During this transition, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency.

The frequency ramp will have a time duration of:

$$\text{MAX (1 000 ms; typical start time} \times 1,5).$$

The injected frequency shall always be within the effective range of the protection function, if a frequency effective range has been declared for the ROCOF function. This condition may require a limited duration for the frequency ramp.

The frequency value f_{initial} shall be equal to the nominal frequency. If during these tests, the frequency value exceeds the effective range, the frequency value f_{initial} can be chosen to the minimum or maximum value of the declared frequency effective range. The initial frequency value shall be declared in the type test report.

The START signal of the protection function is monitored and when the START signal operates, the value of the rate of change of the injected frequency is registered as " df/dt_{start} " value.

The activation of the start signal shall be a "solid activation"; this means no chattering of the signal with several transitions high–low–high during the injection of the ramp. The only chattering allowed in the signal is by the output contact, which has a reasonable bouncing time of less than 4 ms. If the start signal oscillates for more than 4 ms, the start activation shall not be considered valid, and the ramp shall continue with the next step. For other output media, such as IEC 61850 GOOSE or static output, no chattering at all shall be present in the transition of the start signal, in order to be considered valid.

If the protection function does not start, the frequency ramp will continue until its end; the frequency value f_{initial} is applied for a minimum time duration of 1 s and a new ramp will be generated with a new frequency slope. The increment for the new frequency slope is:

$$(\text{Frequency rate of change accuracy} / 10) \text{ Hz/s.}$$

Annex A defines the equation for test signals with a constant frequency slope.

To reduce the length of the test, the frequency increment can be higher at the beginning of the test, with the following rules:

- For the overfrequency function, this increment can be equal to G_s minus 3 times the "declared frequency accuracy".
- For the underfrequency function, this increment can be equal to G_s plus 3 times the "declared frequency accuracy".

The declared frequency rate of change accuracy is based on the requirements specified in 5.3.

Once the above value is reached, the increment of the rate of change of frequency will be less than or equal to 10 % of the declared frequency rate of change accuracy until the end of the ramps caused by the operation of the start signal.

At this point, the start value of the protection function has been determined, df/dt_{start} , and the sequence of ramps for determining the reset value will initiate.

Test to determine df/dt_{reset} (see Figure 11 (b)).

Each ramp of the sequence of ramps is actually formed by two ramps: a first ramp with a frequency slope of $1,2 \times df/dt_{\text{start}}$, and a second ramp with a variable frequency slope. The first slope at $1,2 \times df/dt_{\text{start}}$ has a duration of:

$$\text{Expected start time} \times 1,3.$$

The ramp starts at frequency f_{initial} , with the recommended value to be the minimum value of the frequency effective range for positive ROCOF and the maximum value of the frequency effective range for negative ROCOF.

At the beginning of each ramp, frequency shall be at f_{initial} at least for the duration of 1 s. If the duration of 1 s is not sufficient, the manufacturer shall declare in the type test report the time duration to be used for this test.

Then, the frequency is changed in a linear way, away from its initial value. During this transition, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency.

When this ramp ends, a new ramp begins. The transition between the first ramp and the second one shall be "smooth". This means that the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency.

The second ramp has a duration of:

$$\text{MAX} (1\,000 \text{ ms}; 5 \text{ times the expected disengaging time})$$

and a frequency slope of:

$$df/dt = (df/dt_{\text{previous}}) - (\text{Frequency rate of change accuracy} / 10) \text{ Hz/s},$$

where df/dt_{previous} is:

- df/dt_{start} , if the ramp is the first shot of the sequence to determine the reset value df/dt_{reset} (ramp R1);
- the frequency derivative of the previous ramp, if the ramp is not the first shot of the sequence to determine the reset value df/dt_{reset} (ramp R2, R3, ...).

If, during this second ramp, the ROCOF function does not reset, at the end of the ramp a new set of frequency ramps is generated. The frequency value f_{initial} is applied for a minimum time duration of 1 s, followed by the first ramp to ensure a start and a second ramp with the new df/dt value. If the function resets instead, the frequency derivative of the generated ramp is recorded as df/dt_{reset} .

The reset of the start signal is considered valid if there is no chattering at all, regardless of whether the output media is a contact, IEC 61850 GOOSE or static output.

The reset ratio is calculated with the formula:

$$\text{Reset ratio} = (df/dt_{\text{reset}} / df/dt_{\text{start}}) \times 100 \%$$

If a minimum absolute reset hysteresis is declared, the reset hysteresis is calculated with the formula:

$$\text{Reset hysteresis} = df/dt_{\text{start}} - df/dt_{\text{reset}}$$

6.2.2.2.2 Protection function settings

Start ROCOF settings shall be varied in the setting range as shown in Table 11.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as function of the ROCOF setting (G_s) that is tested. In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.2.2.2.3 Test points and verification of reset value

The reset value is measured for the test points indicated in Table 11.

All test points are carried out at nominal voltage. In addition, the first test (0% – min. setting) and the last test (100 % – max. setting) points are repeated at the maximum and the minimum voltage of the effective range. The results of the test points at minimum and maximum effective range of the voltage have to be documented in line with the other test points at nominal voltage.

Each test is repeated 5 times, and for each of the five tests, the result shall be below the declared reset value.

Table 11 – Test points of reset value for ROCOF function

Test point value x^a	ROCOF setting (start threshold, G_s) ^a Hz/s	Voltage magnitude ^b	Test 1 result	Test 2 result	Test 3 result	Test 4 result	Test 5 result	Acceptance criteria
0 % (minimum)		Min. U	% or Hz/s	% or Hz/s	% or Hz/s	% or Hz/s	% or Hz/s	$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
0 %		Max. U						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
0 %		U_n						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
5 %		U_n						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
10 %		U_n						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
30 %		U_n						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
60 %		U_n						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
100 %		U_n						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
100 %		Min. U						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)
100 % (maximum)		Max. U						$\leq$ reset ratio (or hysteresis)

^a Test points are expressed in % to compute ROCOF settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.

^b U_n is the nominal voltage, and "Min. U " and "Max. U " are the minimum and maximum values of the declared voltage effective range.

6.2.2.2.4 Reporting of the reset value

The reset value for ROCOF functions is reported by the manufacturer with a reset ratio expressed as a percentage, with or without a minimum reset hysteresis, as per the example shown in Table 12.

Table 12 – Reporting of the reset value for ROCOF function

ROCOF protection Reset value	
Reset ratio	98 %
(alternative solution)	98 % or 40 mHz/s
Reset ratio with minimum reset hysteresis	

When the reset ratio is associated with a minimum reset hysteresis, the reset value is defined as the greater of the two values. The minimum reset hysteresis is mainly applicable to lower threshold values.

6.3 Determination of the start time

6.3.1 General

The following tests describe the methods to assess the performance of the protection function in response to a frequency change in the voltage quantity of the power system.

The start time is determined by using the start signal of the protection function. If no specific output for the start signal is provided, the test is performed using the operate signal with a time delay set to zero (instantaneous tripping).

For over/under frequency protections, this performance is summarized in the start time diagrams of the protection function, where the start time is shown as a function of the velocity of the change of the power system frequency (rate of change of the power system frequency) when approaching and passing the protection setting ($G_s = f >$ or $G_s = f <$).

The tests shall be performed with constant slope frequency ramps from an initial nominal frequency value to the value above/below the setting. The frequency changes with different defined slopes. Such tests represent a power system condition that changes its frequency with a certain speed, a typical condition in a power system having electromechanical inertia.

The upper limit of this condition is the "frequency jump", which may occur in an environment where the power generation is predominantly carried out by static inverters. In this condition, the power system frequency can suddenly change from one initial nominal value to the final value, above or below the protection setting for overfrequency and underfrequency functions, respectively.

For ROCOF functions, this performance is summarized in the typical start time for the protection function. The tests to assess the typical start time shall be performed with one test method based on different constant frequency slopes with a frequency derivative in the operate area of the ROCOF characteristic.

For characteristic accuracy tests (6.2), each test point is generally repeated 5 times. For type tests related to start time, each test point is repeated 10 times to obtain a more accurate time distribution, with minimum and maximum values.

6.3.2 Under/over frequency

6.3.2.1 Description of the generated waveform

The test method based on a sudden change in frequency is illustrated in Figure 12 (for overfrequency function).

During the transition of the sudden frequency change, the injected signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency. This frequency change is illustrated in Annex E.

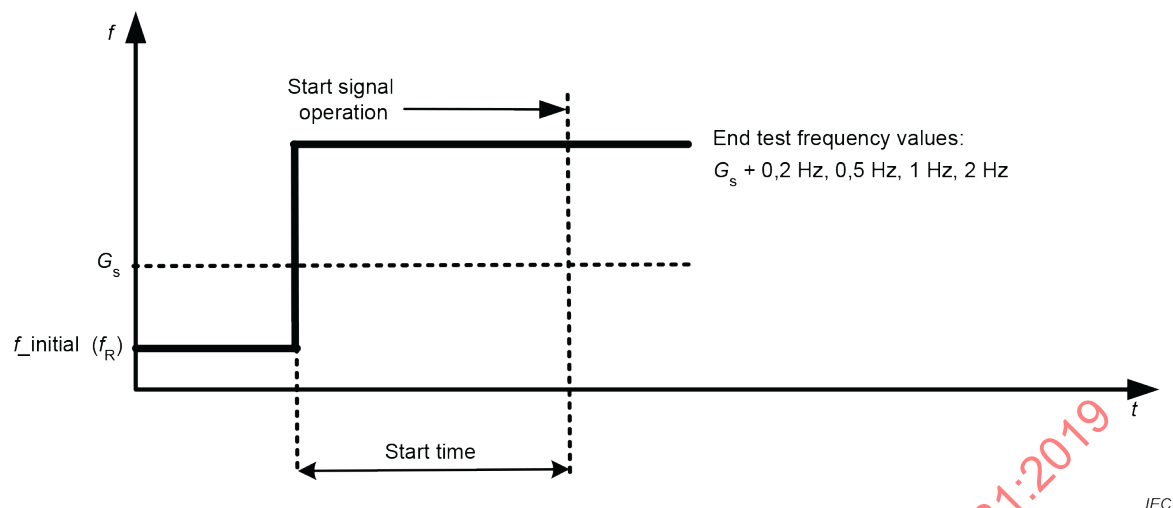


Figure 12 – Start time measurement of overfrequency with sudden frequency change

These tests are based on tests points defined in Tables 13 and 14. These tests points are identified with a frequency slope equal to "infinity" (sudden change).

- The initial test frequency value is always equal to the tested nominal power frequency.
- The end test point value is equal to the G_s setting plus (for overfrequency) or minus (for underfrequency) different frequency values (0,2 Hz, 0,5 Hz, 1 Hz and 2 Hz) to measure the start time with different ratios between the threshold and frequency signal.
- The start time is measured between the instant when the frequency changes and the instant when the start signal is asserted.

The injected frequency shall always be within the operating range of the protection function. For lower/higher settings of under/overfrequency functions, end test frequency value could be outside the operating range. In that case, the function cannot be tested with this method for that test point. The manufacturer shall declare this information in the type test report and the test shall be performed with the upper/lower limit of the declared operating range.

The test method based on a finite constant frequency slope is illustrated in Figure 13 (for overfrequency function).

During the transition in the frequency change, the injected signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency. This frequency change is illustrated in Annex E.

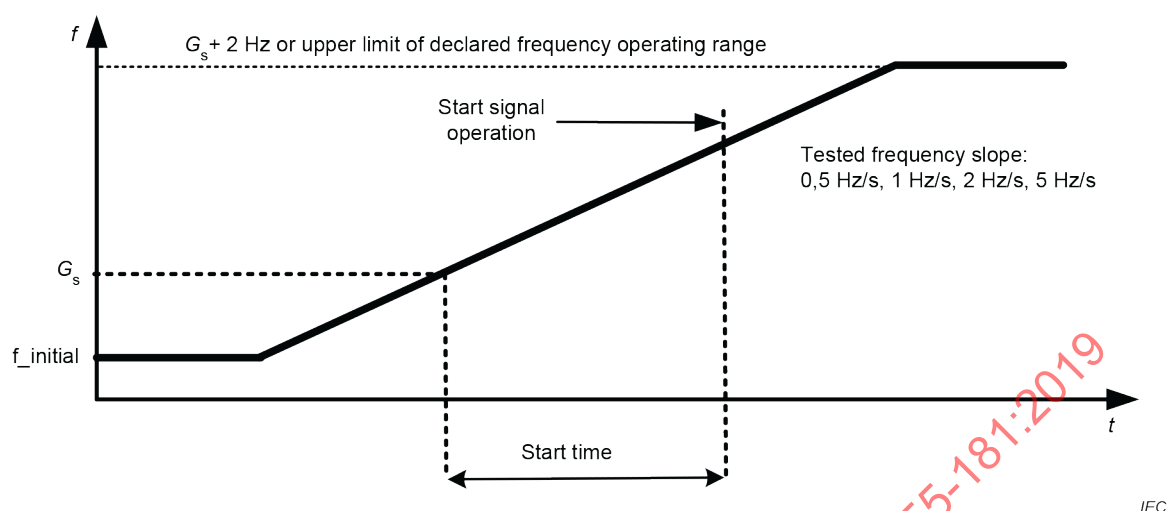


Figure 13 – Start time measurement of overfrequency with constant slope frequency ramp

These tests are based on tests points defined in Tables 13 and 14. These tests points are identified with finite frequency slope values.

- The initial test frequency value is equal to the tested nominal power frequency. When the setting range is wide, the initial value can be equal to $G_s + 0,5 \text{ Hz}$ or $G_s - 0,5 \text{ Hz}$, to speed up the test of the under/over frequency functions.
- The frequency is increased (for overfrequency) or decreased (for underfrequency) with different values of frequency slope, to measure the start time with different test conditions.
- The injection can be interrupted after the operation of the protection start signal. In any case, the increasing or decreasing frequency is halted when the frequency is above $G_s + 2 \text{ Hz}$ (for overfrequency) or under $G_s - 2 \text{ Hz}$ (for underfrequency).
- The start time measurement is initiated when the frequency of the injected test signal crosses the start value setting (this point is defined as the frequency ramp given by the analytical formula described in Annex A) and stops when the protection start signal operates.

Annex A defines the equation for the test signals with a constant frequency slope.

The injected frequency shall always be within the operating range of the protection function, if an operating frequency range is declared. For lower/higher thresholds of under/over frequency functions, if the injected frequency is outside the declared operating range before the start signal operates, the function cannot be tested for that setting based on the standardized test conditions. In that case, the manufacturer shall declare this information and shall declare the appropriate test method to be used to measure the start time for these settings.

6.3.2.2 Protection function settings

Start frequency settings shall be varied in the setting range as shown in Tables 13 and 14.

If some protection functions provide a setting for the definition of the window length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency setting (G_s). In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.3.2.3 Test points and calculation of start time

The start time is measured for the following test points (Tables 13 and 14). Each test is repeated 10 times.

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function (typically 50 Hz and 60 Hz).

Table 13 – Test points of start time for overfrequency function

Frequency slope	Test point value x^a	Frequency setting (start threshold, $G_s)^a$ Hz	Initial test frequency value	End test frequency value
Infinity (sudden change)	1 %		All declared rated values (f_R)	$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
	5 %			$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
	10 %			$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
	100 % (max. setting)			$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
0,5 Hz/s	1 %		All declared rated values (f_R) or $G_s - 0,5$ Hz	Not applicable ($G_s + 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	5 %			
	10 %			
	100 % (max. setting)			
1 Hz/s	1 %		All declared rated values (f_R) or $G_s - 0,5$ Hz	Not applicable ($G_s + 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	5 %			
	10 %			
	100 % (max. setting)			
2 Hz/s	1 %		All declared rated values (f_R) or $G_s - 0,5$ Hz	Not applicable ($G_s + 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	5 %			
	10 %			
	100 % (max. setting)			
5 Hz/s	1 %		All declared rated values (f_R) or $G_s - 0,5$ Hz	Not applicable ($G_s + 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	5 %			
	10 %			
	100 % (max. setting)			

^a Test points are expressed in % to compute frequency settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.

Table 14 – Test points of start time for underfrequency function

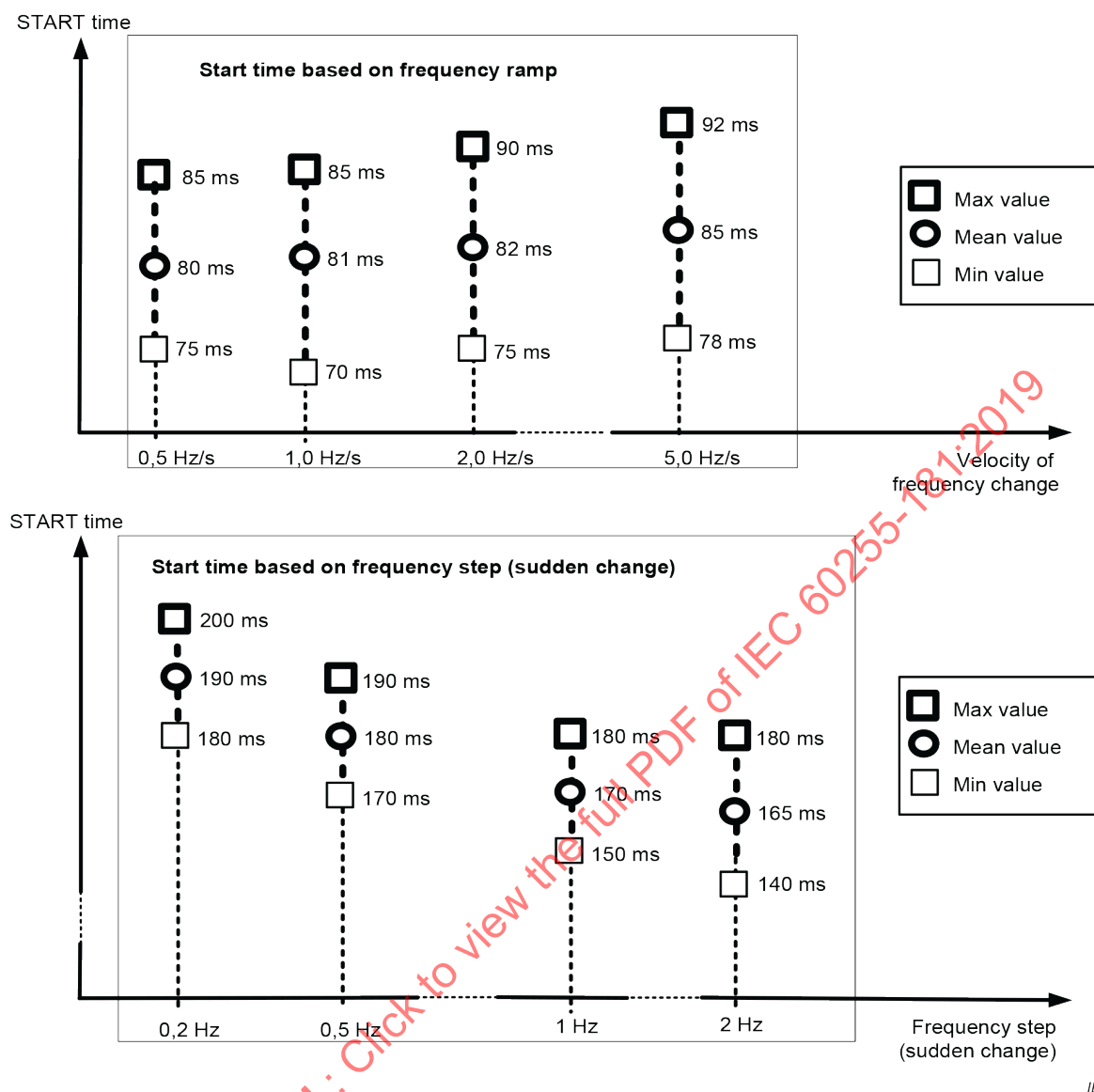
Frequency slope	Test point value x^a	Frequency setting (start threshold, G_s) ^a Hz	Initial test frequency value	End test frequency value
Infinity (sudden change)	-1 %		All declared rated values (f_R)	$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
	-5 %			$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
	-10 %			$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
	-100 % (min. setting)			$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
-0,5 Hz/s	-1 %		All declared rated values (f_R) or $G_s + 0,5$ Hz	Not applicable ($G_s - 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (min. setting)			
-1 Hz/s	-1 %		All declared rated values (f_R) or $G_s + 0,5$ Hz	Not applicable ($G_s - 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (min. setting)			
-2 Hz/s	-1 %		All declared rated values (f_R) or $G_s + 0,5$ Hz	Not applicable ($G_s - 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (min. setting)			
-5 Hz/s	-1 %		All declared rated values (f_R)	Not applicable ($G_s - 2$ Hz can be used as final value of the frequency ramp)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (min. setting)			
^a Test points are expressed in % to compute frequency settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.				

6.3.2.4 Reporting of start time

The test results are reported in tabular form as shown in Table 15, where the minimum, average (mean) and maximum values are calculated. In addition, the test results are reported in graphical form, as shown in Figure 14. The results shown in Table 15 and in Figure 14 are provided by way of example.

Table 15 – Reporting of start time for under/over frequency functions

Over (or under) frequency protection start times 50 Hz nominal frequency				
Velocity of frequency change	Frequency jump (sudden change)	Minimum START time	Maximum START time	Average START time
0,5 Hz/s	NA	75 ms	85 ms	80 ms
1,0 Hz/s	NA	70 ms	85 ms	81 ms
2,0 Hz/s	NA	75 ms	90 ms	82 ms
5,0 Hz/s	NA	78 ms	92 ms	85 ms
Sudden change	0,2 Hz	180 ms	200 ms	190 ms
Sudden change	0,5 Hz	170 ms	190 ms	180 ms
Sudden change	1 Hz	150 ms	180 ms	170 ms
Sudden change	2 Hz	140 ms	180 ms	165 ms



IEC

Figure 14 – Example of start time reporting for under/over frequency protection function

6.3.3 Rate of change of frequency

6.3.3.1 Description of the generated waveform

The start time measurement is assessed using a test method based upon a constant frequency slope. The method is illustrated in Figure 15 (for positive ROCOF function).

During the transition in the frequency change, the injected signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency. This frequency change is illustrated in Annex E.

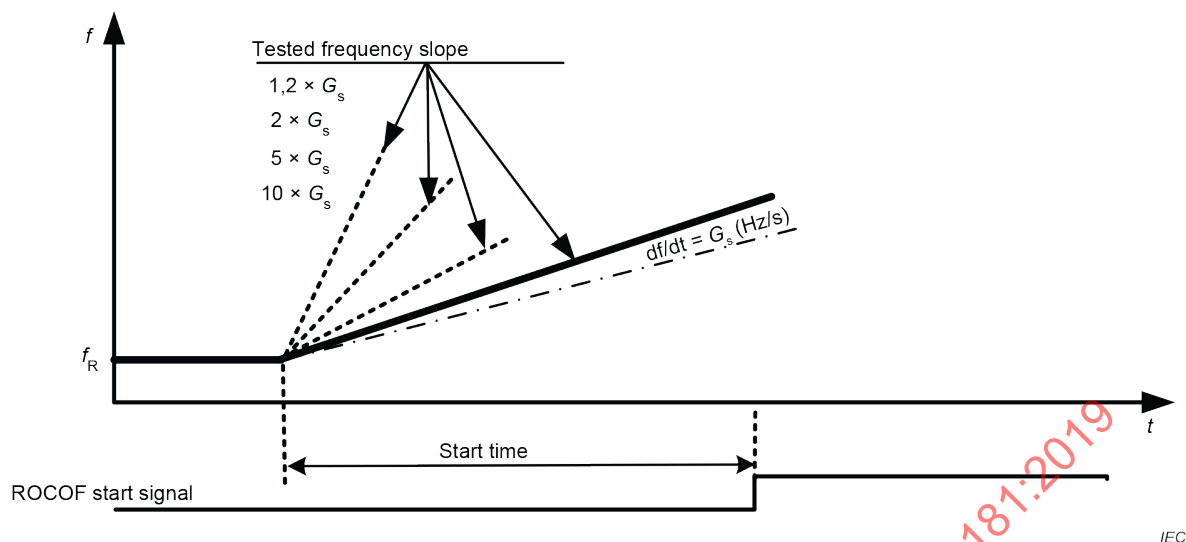


Figure 15 – Start time measurement of positive ROCOF function

Each test shot is determined by the tests points defined in Table 16.

- The initial test frequency value is always equal to the tested nominal power frequency.
- The frequency is increased with different values of frequency slope, to measure the start time with different test conditions.
- The injection can be interrupted when the protection start signal operates.
- The start time measurement is initiated when the frequency variation starts and stops when the protection start signal operates.

Annex A defines the equation for the test signals with a constant frequency slope.

The injected frequency shall always be within the operating range of the protection function, if an operating frequency range is declared for the ROCOF function. This condition may require a limited duration of the frequency ramp. For higher ROCOF settings, if the injected frequency is outside the declared operating range before the start signal operation, the function cannot be tested for that setting based on the standardized test conditions. In that case, the manufacturer shall declare this information and shall declare the appropriate test method to be used to measure the start time for these settings.

6.3.3.2 Protection function settings

Start ROCOF settings shall be varied in the setting range as shown in Table 16.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency or the frequency rate of change, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the ROCOF setting (G_s). In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.3.3.3 Test points and calculation of typical start time

The start time is calculated for the test cases shown in Table 16. Each test is repeated 10 times.

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function (typically 50 Hz and 60 Hz).

Table 16 – Test points of start time for ROCOF function

Test point value x^a	ROCOF setting (start threshold, G_s) ^a Hz/s	Frequency slope value Hz/s
Minimum (0 %)		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$) $5 \times G_s$ (or $-5 \times G_s$) $10 \times G_s$ (or $-10 \times G_s$)
5 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$) $5 \times G_s$ (or $-5 \times G_s$) $10 \times G_s$ (or $-10 \times G_s$)
10 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$) $5 \times G_s$ (or $-5 \times G_s$)
30 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$)
60 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$)
Maximum (100 %)		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$)
^a Test points are expressed in % to compute ROCOF settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.		

If some of the test points required in Table 16 lead to a frequency derivative outside of the operating range declared by the manufacturer (Table 3), these particular test points shall be ignored and the test result shall be reported as "not tested – outside of df/dt operating range", and the test shall be performed with the maximum value of the frequency derivative, defined by the declared operating range.

6.3.3.4 Reporting of the typical start time

All 170 start time measurements are reported with a histogram with class (resolution) of 1 ms. Together with the histogram, the minimum, maximum and mean (average) values are reported, as illustrated in Figure 16 and in Table 17.

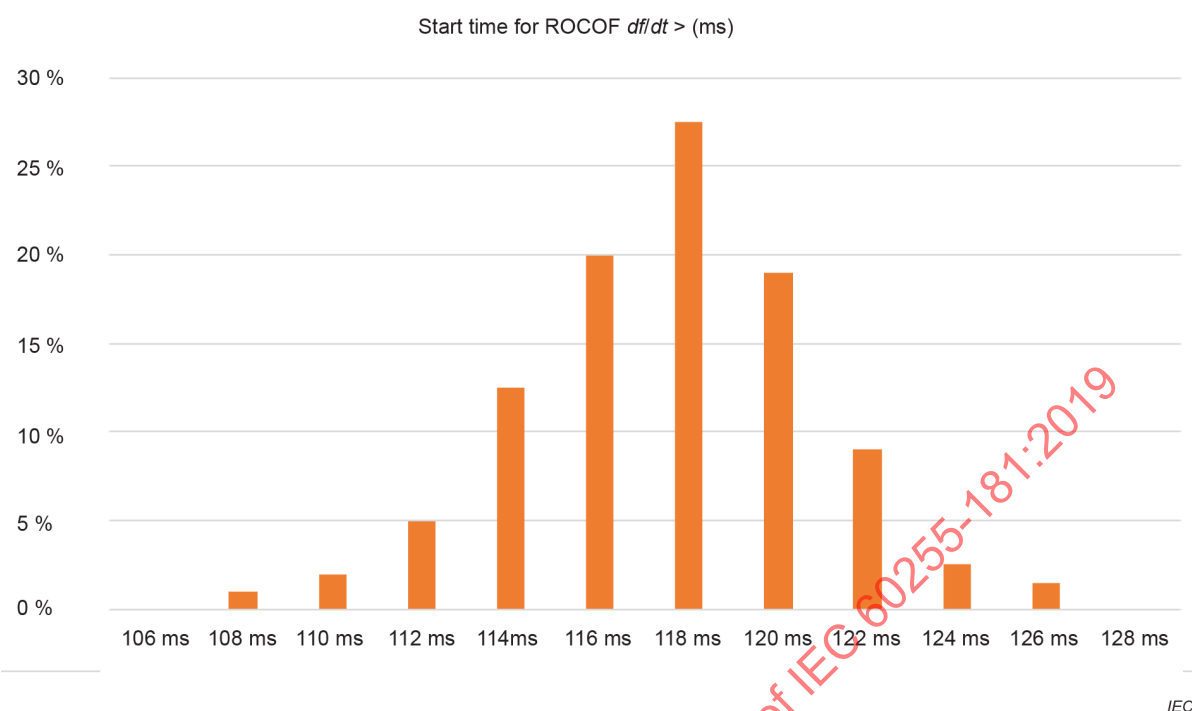


Figure 16 – Histogram for the start time test results for ROCOF

Table 17 – Reporting of typical start time for ROCOF function

Typical start time for ROCOF protection	
Min. value	108 ms
Mean value	118 ms
Max. value	126 ms

6.4 Determination of the accuracy of the operate time delay

6.4.1 General

The operate time delay is defined as the time difference between the activation of the start (pick-up) signal and the operate (trip) signal.

This definition is valid for under/over frequency functions and ROCOF functions.

6.4.2 Description of test method

The test method shall be based on the same principles than the start time measurement tests:

- for under/overfrequency function, test method based on a sudden change in frequency;
- for ROCOF function, test method based on a finite constant slope.

These two test methods are illustrated in Figure 17 (for overfrequency and positive ROCOF).

During the transition in the frequency change, the injected signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency. This frequency change is illustrated in Annex E.

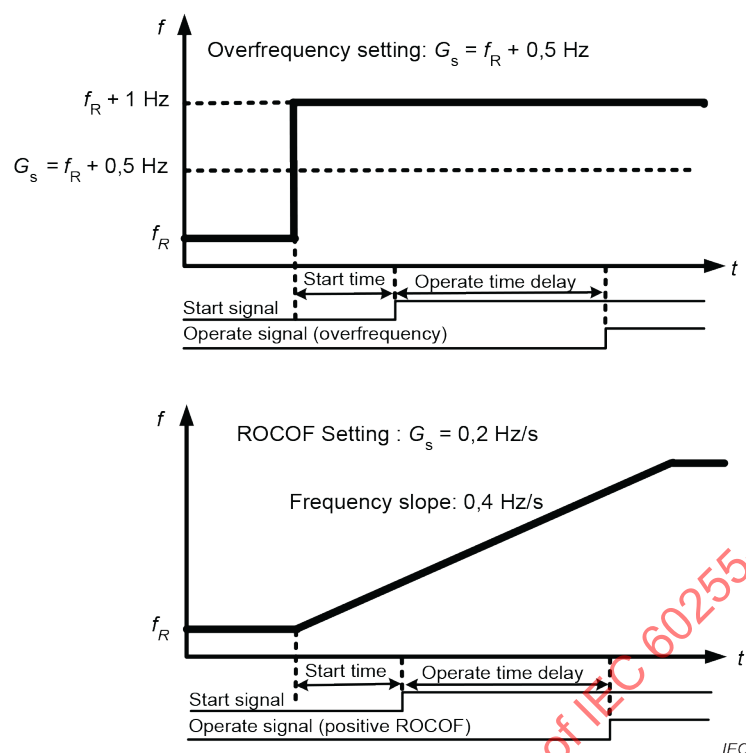


Figure 17 – Operate time delay measurement of overfrequency and positive ROCOF

These tests are based on tests points defined in Table 18.

- The initial test frequency value is always equal to the tested nominal power frequency.
- For overfrequency, the threshold G_s is set to the nominal frequency plus 0,5 Hz and the end test frequency value is equal to the nominal frequency + 1 Hz.
- For underfrequency, the threshold G_s is set to the nominal frequency – 0,5 Hz and the end test frequency value is equal to the nominal frequency – 1 Hz.
- For ROCOF, the threshold G_s is to 0,2 Hz (with positive or negative thresholds if applicable) and the frequency is increased with a constant frequency slope equal to 0,4 Hz/s.
- The test can be stopped when the frequency function operates. The operate time delay is measured between the instant when the start signal is asserted and the instant when the operate signal is asserted.

At least 5 settings (i.e. 10 %, 20 %, 30 %, 50 % and 100 %) of the time delay setting range shall be tested. The tested time delay settings are expressed as a percentage of the maximum time delay setting.

The operate time delay shall be tested at least with the test points defined in Table 18.

Table 18 – Test points to measure operate time delay

Frequency function	Frequency or ROCOF setting (start threshold, G_s)	Initial test frequency value	End test frequency value
Overfrequency	$f_R + 0,5 \text{ Hz}$	f_R	$f_R + 1 \text{ Hz}$, with sudden change
Underfrequency	$f_R - 0,5 \text{ Hz}$	f_R	$f_R - 1 \text{ Hz}$, with sudden change
ROCOF	0,2 Hz/s (with positive or negative thresholds if applicable)	f_R	0,4 Hz/s with positive or negative ROCOF according to the tested threshold

The tests are repeated for each nominal power frequency value (f_R) of the protection function (typically 50 Hz and 60 Hz).

Each test point shall be repeated at least 5 times to ensure the repeatability of results, and the test results are reported as shown in Table 19.

In the evaluation of the operate time delay, the theoretical reference value shall be:

- the setting value of the time delay, if the time delay is a pure additional timer; or
- the setting value of the time delay minus a constant defined by the manufacturer if the time delay setting considers compensations for the start time of the protection function and/or for the response time of the output contact.

Table 19 shows the tests that shall be executed for each frequency protection function. Each function shall pass all of the tests, in accordance with the tolerances declared by the manufacturer.

Table 19 – Test points for accuracy of the operate time delay

Operate time delay setting (t_{delay})	Test 1 ms	Test 2 ms	Test 3 ms	Test 4 ms	Test 5 ms	Acceptance criteria ms
10 %						$t_{\text{delay}} \pm \text{declared accuracy}$
50 %						$t_{\text{delay}} \pm \text{declared accuracy}$
100 % (max.)						$t_{\text{delay}} \pm \text{declared accuracy}$

If the start signal and the operate signal are not accessible simultaneously to measure the time difference at the same time, the test method described above is not applicable (and not relevant). In that case, the manufacturer shall declare that the test cannot be performed according to this document and shall declare the appropriate test method used to be used to check the accuracy of the operate time delay.

6.4.3 Reporting of the operate time delay accuracy

The accuracy of the operate time delay shall be reported by the manufacturer according to Table 20, where an absolute error and a relative error are shown; the values are given as an example.

**Table 20 – Reporting of operate time delay accuracy
for under/over frequency functions**

Under (or over) frequency protection Accuracy of the operate time delay	
Operate time delay accuracy	$\pm 0,01$ % (setting value) or $\pm 2,5$ ms, whichever is greater

In the assessment of the operate time, measured from the instant when the power system fault occurs to the instant when the protection function operates, the accuracy of the start time and of the operate time delay need to be summed together. For this reason, manufacturers shall express the accuracy of operate time delay in the same way as they have chosen to express the accuracy of the start time.

6.5 Determination of disengaging time

6.5.1 General

The following tests describe the methods to determine the disengaging time. The test methodology used for the start time determination (6.3) shall be used for the disengaging time, with a reduced number of test points.

For under/over frequency protections, this performance is summarized in the disengaging time diagrams of the protection function, where the disengaging time is shown as a function of the velocity of the change of the power system frequency (rate of change of the power system frequency) when approaching and passing the protection setting ($G_s = f >$ or $G_s = f <$).

The tests shall be performed with constant slope frequency ramps from an initial abnormal frequency value which leads to a protection start (value above/below the setting) to the nominal frequency to ensure a protection reset. The frequency changes with different defined slopes. Such tests represent a power system condition that changes its frequency with a certain speed, a typical condition for a power system having electromechanical inertia.

The upper limit of this condition is the "frequency jump". In this condition, the power system frequency can suddenly change from one initial "abnormal" value (above or below the protection setting for over- or under-frequency functions, respectively) to the nominal value.

For ROCOF functions, this performance is summarized in the typical disengaging time for the protection function. The tests to assess the typical disengaging time shall be performed with one test method based on different constant frequency slopes with a frequency derivative in the operate area of the ROCOF characteristic.

For characteristic accuracy tests (6.2), each test point is generally repeated 5 times. For type tests related to disengaging time, each test point is repeated 10 times to get a more accurate time distribution, with minimum and maximum values.

6.5.2 Under/over frequency

6.5.2.1 Description of the generated waveform

The test method based on a sudden change in frequency is illustrated in Figure 18 (for the overfrequency function).

During the transition in the frequency change, the injected signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency. This frequency change is illustrated in Annex E.

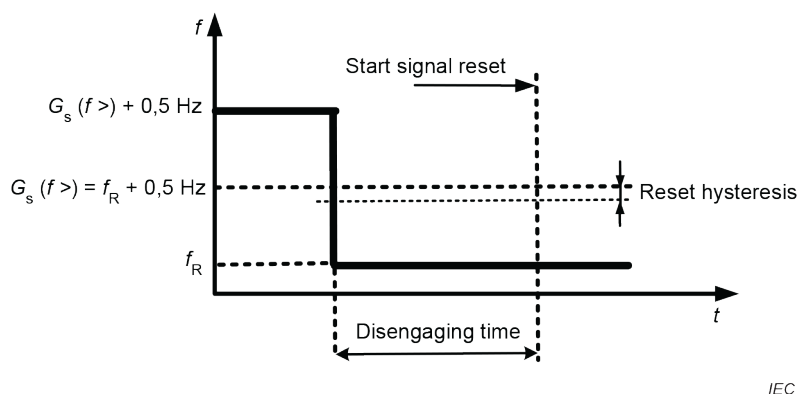


Figure 18 – Disengaging time measurement of overfrequency with sudden frequency change

Each test case is determined by tests points defined in Table 21 and Table 22. These test points are identified with a frequency slope equal to "infinity" (sudden change).

- The initial test point value is equal to the G_s setting + 0,5 Hz (for overfrequency) or $G_s - 0,5$ Hz (for underfrequency), over a minimum time duration equal to: MAX (1 000 ms; typical start time $\times$ 2). This first injection time shall ensure a start operation and eventually a stabilization of the frequency tracking function when it is applicable.
- The final test frequency value is always equal to the tested nominal power frequency.
- The disengaging time is measured between the instant when the frequency changes and the instant when the start signal resets.

The test method based upon a finite constant frequency slope is illustrated in Figure 19 (for overfrequency function).

During the transition in the frequency change, the injected signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency. This frequency change is illustrated in Annex E.

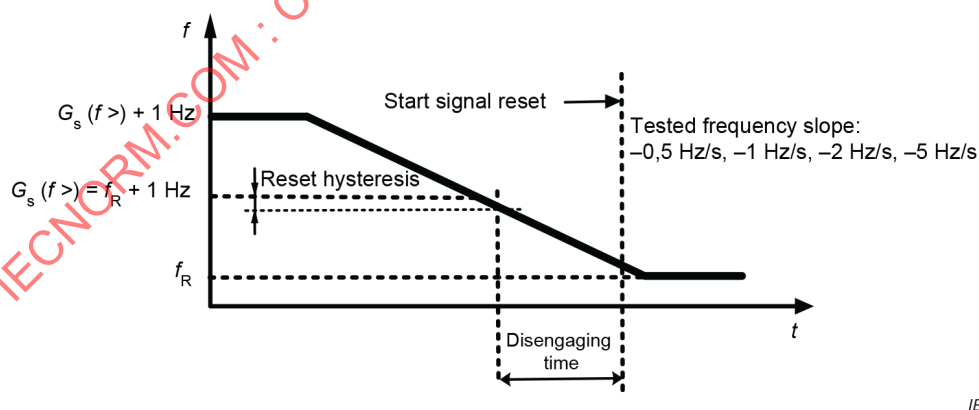


Figure 19 – Disengaging time measurement of overfrequency with constant slope frequency ramp

Each test shot is determined by test points defined in Tables 21 and 22. These tests points are identified with finite frequency slope values.

- The initial test frequency value is always equal to the G_s setting + 1 Hz (for overfrequency) or - 1 Hz (for underfrequency), during a minimum time equal to: MAX (1 000 ms; typical start time $\times$ 2). This first injection time shall ensure a start operation and eventually a stabilization of the frequency tracking function when it is applicable.

- The frequency is decreased (for overfrequency) or increased (for underfrequency), with different values of frequency slope, to measure the disengaging time with different test conditions.
- The final test frequency value is always equal to the tested nominal power frequency.
- Disengaging time measurement is initiated when the frequency of the injected test signal crosses the reset value (this point is well defined as the frequency ramp is defined by an analytical formula, see Annex A) and stops when the start signal resets.

Annex A defines the equation for the test signals with a constant frequency slope.

6.5.2.2 Protection function settings

Start frequency settings shall be varied in the setting range as shown in Table 21 and Table 22.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency setting (G_s). In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.5.2.3 Test points and calculation of disengaging time

The disengaging time is calculated for the following test points (Table 21 and Table 22). Each test is repeated 10 times.

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function (typically 50 Hz and 60 Hz).

Table 21 – Test points of disengaging time for overfrequency function

Frequency slope	Frequency setting (start threshold, G_s)	Initial test frequency value	End test frequency value
Infinity (sudden change)	$f_R + 0,5 \text{ Hz}$	$f_R + 1 \text{ Hz}$	f_R
-0,5 Hz/s	$f_R + 1 \text{ Hz}$	$f_R + 2 \text{ Hz}$	f_R
-1 Hz/s			
-2 Hz/s			
-5 Hz/s			

Table 22 – Test points of disengaging time for underfrequency function

Frequency slope	Frequency setting (start threshold, G_s)	Initial test frequency value	End test frequency value
Infinity (sudden change)	$f_R - 0,5 \text{ Hz}$	$f_R - 1 \text{ Hz}$	f_R
0,5 Hz/s	$f_R - 1 \text{ Hz}$	$f_R - 2 \text{ Hz}$	f_R
1 Hz/s			
2 Hz/s			
5 Hz/s			

The test results are recorded in tabular form where the minimum, average (mean) and maximum values are calculated.

6.5.2.4 Reporting of the disengaging times

The disengaging times are reported in Table 23, where the results are shown by way of example.

Table 23 – Reporting of disengaging time for over/under frequency functions

Over (or under) frequency protection disengaging times 50 Hz nominal frequency			
Velocity of frequency change	Minimum disengaging time	Maximum disengaging time	Average disengaging time
0,5 Hz/s	72 ms	85 ms	80 ms
1,0 Hz/s	70 ms	85 ms	81 ms
2,0 Hz/s	75 ms	90 ms	82 ms
5,0 Hz/s	78 ms	92 ms	85 ms
Infinity (sudden change)	110 ms	120 ms	116 ms

6.5.3 Rate of change of frequency

6.5.3.1 Description of the generated waveform

Disengaging time measurement is assessed with a test method that uses a constant frequency slope to initiate the protection start, followed by a protection reset with a constant frequency ($df/dt = 0$). The method is illustrated in Figure 20 (for positive ROCOF function).

During the transition in the frequency change, the injected signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency. This frequency change is illustrated in Annex E.

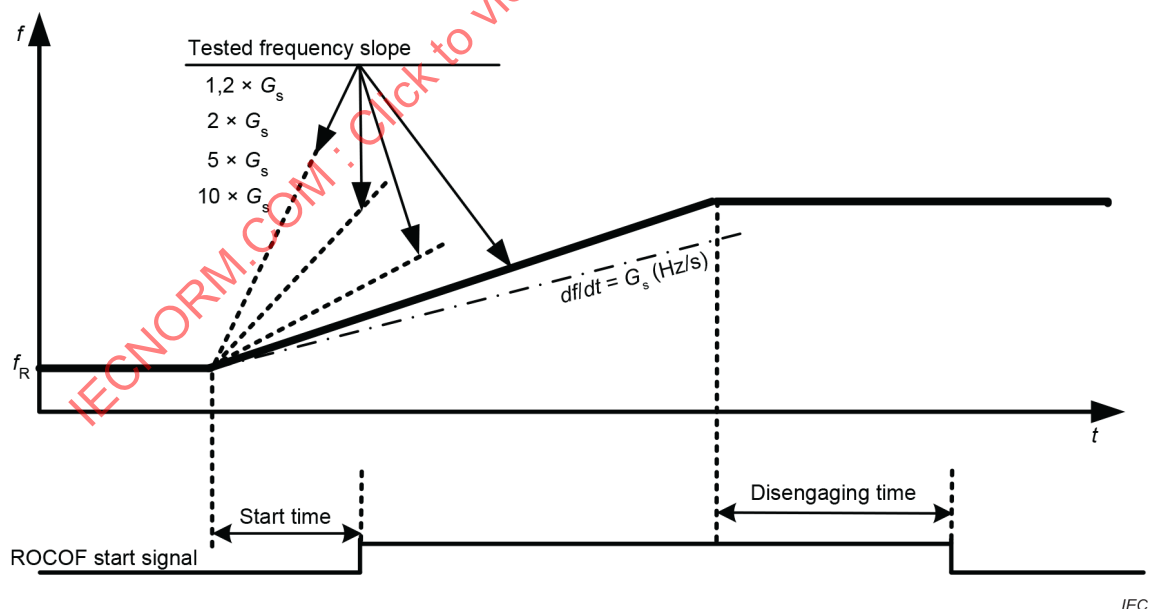


Figure 20 – Disengaging time measurement of ROCOF

Each test shot is determined by the tests points defined in Table 24.

- The initial test frequency value is always equal to the tested nominal power frequency.
- The frequency is increased using different values of frequency slope, to initiate a start operation with different test conditions. The frequency ramp shall have a time duration equal to or above 2 times the declared typical start time.
- After the frequency ramp, the frequency remains constant until the start signal resets.
- The disengaging time measurement is launched when the frequency recovers a constant value and stops when the protection start signal resets.

Annex A defines the equation for the test signals with a constant frequency slope.

6.5.3.2 Protection function settings

Start ROCOF settings shall be varied in the setting range as shown in Table 24.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency or the frequency rate of change, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the ROCOF setting (G_s). In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.5.3.3 Test points and calculation of typical disengaging time

The disengaging time is calculated for the test cases shown in Table 24. Each test is repeated 10 times.

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function (typically 50 Hz and 60 Hz).

Table 24 – Test points of disengaging time for ROCOF function

Test point value x^a	ROCOF setting (start threshold, G_s) ^a Hz/s	Frequency slope value Hz/s
Minimum (0 %)		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$) $5 \times G_s$ (or $-5 \times G_s$) $10 \times G_s$ (or $-10 \times G_s$)
50 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$)
Maximum (100 %)		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$)
^a Test points are expressed in % to compute ROCOF settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.		

If some of the test points required in Table 24 lead to a frequency derivative outside of the operating range declared by the manufacturer (Table 3), these particular test points shall be ignored and the test result shall be reported as "not tested – outside of df/dt operating range" and the test shall be performed with the maximum value of the frequency derivative, defined by the declared operating range.

6.5.3.4 Reporting of the typical disengaging time

All 70 disengaging time measurements are reported by means of a histogram with a class (resolution) of 1 ms. Together with the histogram, the minimum, maximum and mean (average) values are reported, as illustrated in Figure 21 and in Table 25.

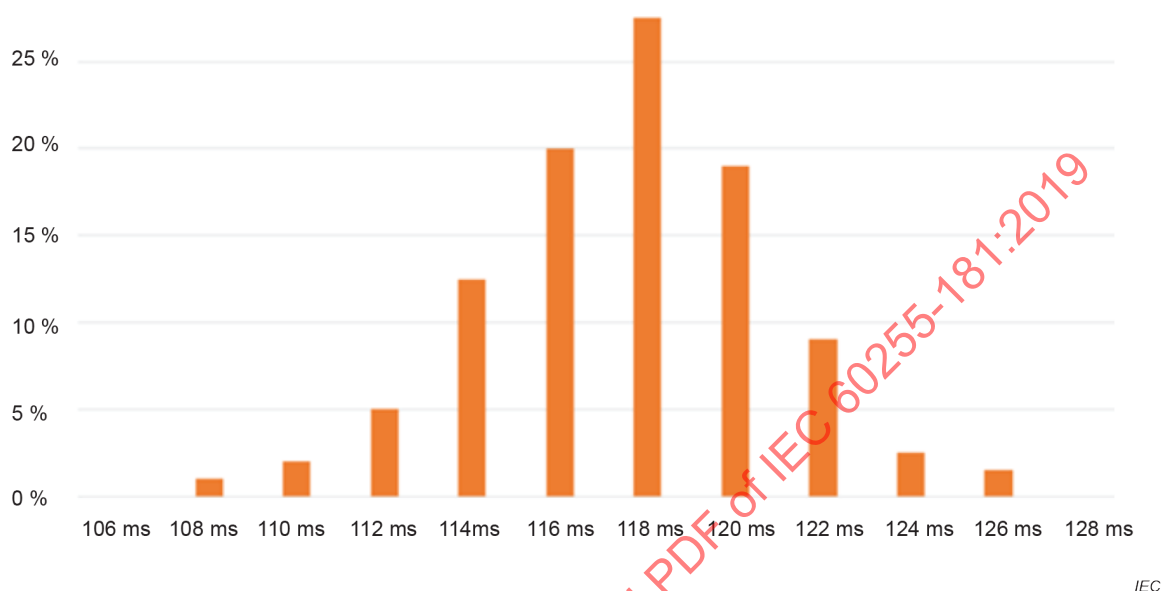


Figure 21 – Histogram for the disengaging time test results for ROCOF

Table 25 – Typical disengaging time for ROCOF protection

Typical disengaging time for ROCOF protection	
Min. value	108 ms
Mean value	118 ms
Max. value	126 ms

6.6 Performance with harmonics

6.6.1 General

The following tests describe the methods to assess the ability of under/over frequency or ROCOF functions to perform the steady state measurement of the fundamental power system frequency with superimposed harmonics on the voltage signals.

6.6.2 Accuracy of the under/over frequency start value in the presence of harmonics

6.6.2.1 Description of the generated frequency ramp

The proposed test method makes use of a pseudo-continuous frequency ramp, similar to the ramp used for the tests, in order to assess the accuracy of the start value at the fundamental frequency with no harmonics.

The ramp commences at the initial frequency f_{initial} . The initial frequency is remote from the expected start value G_s for the protection function.

The ramp can be interrupted after the activation of the start signal.

The test method is illustrated in Figure 22, which is applicable to the overfrequency function.

During the transition between successive frequency steps, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency.

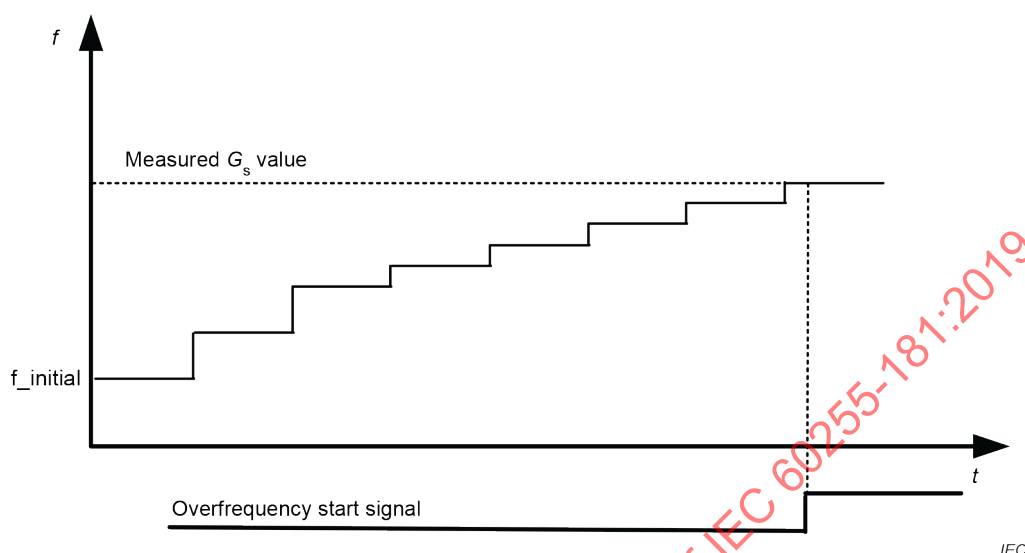


Figure 22 – Example of an increasing pseudo-continuous ramp for overfrequency functions

Each step of the ramp has a duration of: MAX (500 ms; 10 times the maximum start time at fundamental frequency).

To reduce the length of the test, the frequency increment can be higher at the beginning of the test, with the following rules:

- For the overfrequency function, this increment can be equal to G_s minus 3 times the "declared frequency accuracy".
- For the underfrequency function, this increment can be equal to G_s plus 3 times the "declared frequency accuracy".

The declared frequency accuracy is based on the requirements specified in 5.3.

Once the above value is reached, the frequency increment will be less than or equal to 10 % of the declared frequency accuracy at the fundamental frequency until the end of the ramp caused by the operation of the start signal.

The voltage signal contains all of the harmonics defined in Table 26.

Table 26 – Superimposed harmonics

Order of harmonics	Harmonics percentage H_k
2	3 %
3	6 %
4	1,5 %
5	8 %
6	1 %
7	7 %
8	1 %
9	2,5 %
10	1 %
11	5 %
12	1 %
13	4,5 %
14	1 %
15	2 %
16	1 %
17	4 %
18	1 %
19	3,5 %
20	1 %
21	1,75 %
22	1 %
23	2,8 %
24	1 %
25	2,6 %
26 to 40	1 %

NOTE 1 The harmonic levels defined in Table 26 are based on the values defined in IEC 61000-2-4:2002, Tables 2, 3 and 4 with class 3, except for the odd harmonics above 25, which are all defined to 1 %.

NOTE 2 The higher harmonic order is defined to the 40th to meet the Nyquist criteria when the test is managed with a digital interface and with a sampled frequency equal to 4 800 Hz, the preferred standardized value defined in IEC 61869-9 (4 800 / (2 × 60) = 40).

The phase shift between harmonics and the fundamental component is set to $\varphi_k = 180^\circ$ for all harmonics. This phase shift is defined to disturb the zero crossing.

The test signal is defined by the following equation.

$$V_L(t) = \sum_{k=0}^{40} \frac{H_k}{100 \%} \times \sin(k \times (2 \times \pi \times f \times t + \varphi_{\text{phase}}) + \varphi_k$$

where

t is the time;

f is the tested power frequency;

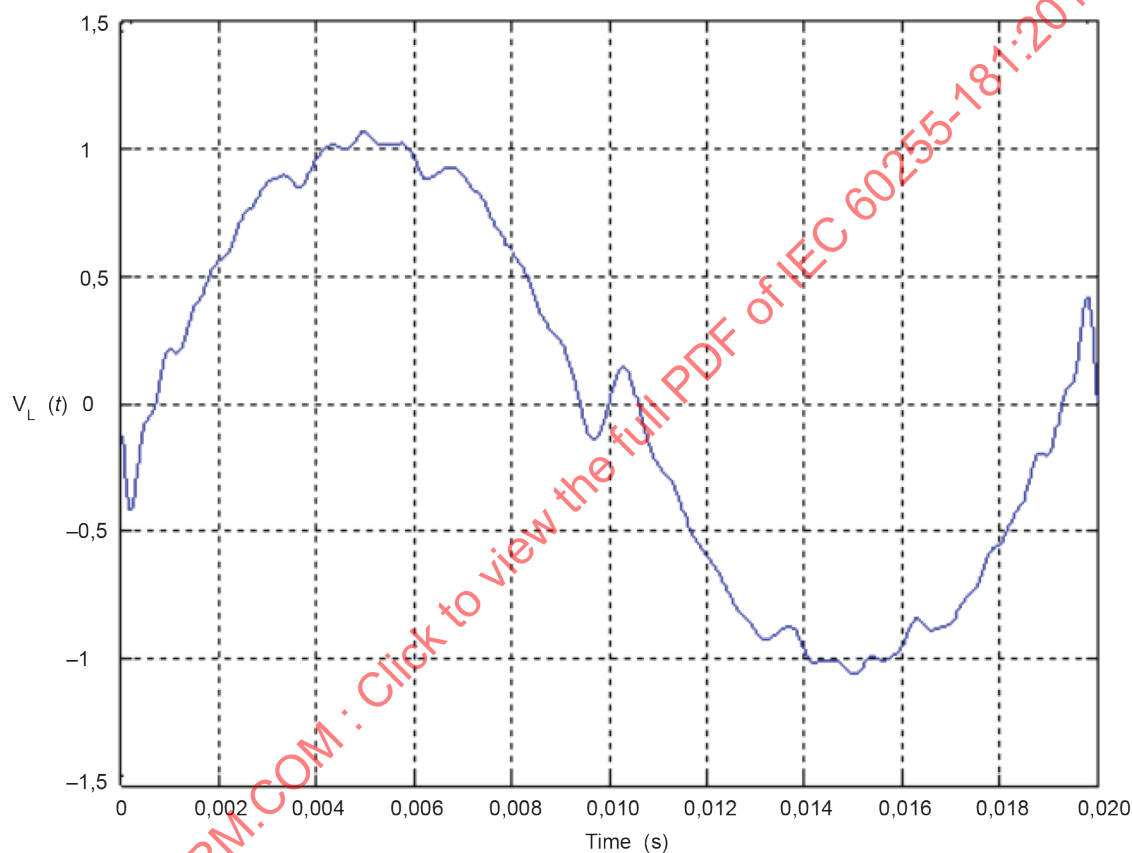
H_k is the magnitude of the fundamental component ($k = 1$) and harmonic components;

φ_{phase} is the phase shift of the three-phase system (V_{L1} , V_{L2} , V_{L3});

φ_k is the phase shift of the harmonic component versus the fundamental component.

This equation means that the frequency of the superposed harmonics is a multiple of the frequency of the test signal and not a fixed multiple of the nominal frequency.

The test signal is illustrated in Figure 23.



IEC

Figure 23 – Voltage signal with superimposed harmonics

When the input energizing quantities are based on a three-phase injection, the test signals shall be performed in accordance with the following equations:

$$V_{L1}(t) = H_1 / 100 \% \times \sin(2 \times \pi \times f \times t) + \dots$$

$$+ H_k / 100 \% \times \sin(k \times 2 \times \pi \times f \times t + \pi) + \dots$$

$$+ H_{40} / 100 \% \times \sin(40 \times 2 \times \pi \times f \times t + \pi).$$

$$V_{L2}(t) = H_1 / 100 \% \times \sin(2 \times \pi \times f \times t - 2 \times \pi/3) + \dots$$

$$+ H_k / 100 \% \times \sin(k \times (2 \times \pi \times f \times t - 2 \times \pi/3) + \pi) + \dots$$

$$+ H_{40} / 100 \% \times \sin(40 \times (2 \times \pi \times f \times t - 2 \times \pi/3) + \pi).$$

$$V_{L3}(t) = H_1 / 100 \% \times \sin(2 \times \pi \times f \times t + 2 \times \pi/3) + \dots$$

$$+ H_k / 100 \% \times \sin(k \times (2 \times \pi \times f \times t + 2 \times \pi/3) + \pi) + \dots$$

$$+ H_{40} / 100 \% \times \sin(40 \times (2 \times \pi \times f \times t + 2 \times \pi/3) + \pi).$$

where

t is the time;

f is the tested power frequency;

H_1 is the magnitude of the fundament component ($H_1 = 100\%$);

H_k is the amplitude level of the k^{th} harmonic (according to Table 26).

When the input energizing quantities are based on a single phase injection, the voltage signal V_{L1} shall be used.

6.6.2.2 Protection function settings

Start frequency settings shall be varied in the setting range shown in Table 27.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency setting (G_s) that is tested. In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.6.2.3 Test points and calculation of frequency accuracy in the presence of harmonics

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function with the setting test points defined in Table 27 and according to the rule defined in 6.1.

The start frequency is measured for all of the test points and the measurement error is calculated according to the following formula:

$$\text{Error} = (\text{measured start frequency} - G_s) \text{ mHz}$$

Each test is repeated 5 times; the measurement errors are reported for each test, as shown in Table 27. The maximum absolute error value is calculated based on the 5 tests, and the accuracy error at nominal frequency (without harmonics present) is also mentioned (test result for 6.2.1.1), as shown in Table 27.

**Table 27 – Test points for under/over frequency function
in the presence of harmonics**

Test point value x^a	Frequency setting (start threshold, G_s^a) Hz	Error 1 mHz	Error 2 mHz	Error 3 mHz	Error 4 mHz	Error 5 mHz	Maximum absolute error mHz	Accuracy at nominal frequency (without harmonics)
–100 % (min. setting)								
–10 %								
–5 %								
–2,5 %								
–1 %								
0 % (f_R) ^b								
1 %								
2,5 %								
5 %								
10 %								
100 % (max. setting)								
^a Test points are expressed in % to compute frequency settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.								
^b If the setting defined at the nominal power frequency is not available, this test point can be omitted.								

6.6.2.4 Reporting of frequency accuracy in the presence of harmonics

The frequency accuracy in the presence of harmonics is reported according to Table 27. The accuracy value at the nominal frequency in the absence of harmonics, as measured in 6.2.1.1, is also reported.

The report table (as per Table 27) is completed for each nominal frequency of the protection function.

6.6.3 Accuracy of the ROCOF start value in the presence of harmonics

6.6.3.1 Description of the generated frequency ramp

The steady state errors of the ROCOF element under the presence of harmonics shall be determined following exactly the same procedure as that described in 6.2.1.2, except that instead of using a pure sinewave for testing, a test signal with superimposed harmonics is used. All tests performed under 6.2.1.2 are repeated with the presence of the set of harmonics in the test signal as defined in Table 26 (defined for under/over frequency functions).

The phase angle of the superimposed harmonics is set to 180°. The superimposition of the harmonics starts at the instant when the frequency variation is started. The frequency of the superimposed harmonics changes following the change of the fundamental frequency.

The protection function settings, the test points and calculation of the ROCOF accuracy under the presence of harmonics, and the reporting of the ROCOF accuracy under the presence of

harmonics shall be done in the same way as the test without the presence of harmonics described under 6.2.1.2.

6.6.3.2 Protection function settings

Start ROCOF settings shall be varied within the setting range shown in Table 28.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency setting (G_s) that is tested. In this case the manufacturer's recommendation shall be followed.

6.6.3.3 Test points and calculation of ROCOF accuracy in the presence of harmonics

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function with the setting test points defined in Table 28 and according to the rule defined in 6.1.

When the function is based on an absolute df/dt value, each test line defined in Table 28 shall be performed with a positive and a negative ROCOF.

Each test is repeated 5 times; the measurement errors are reported for each test as shown in Table 28. The average value is calculated for the 5 tests, and the accuracy error at nominal frequency (without harmonics presence) is also mentioned (test result for 6.2.1.2), as shown in Table 28.

Table 28 – Test points for ROCOF function in the presence of harmonics

Test point value x^a	ROCOF setting (start threshold, G_s) ^a Hz/s	Error 1 mHz/s	Error 2 mHz/s	Error 3 mHz/s	Error 4 mHz/s	Error 5 mHz/s	Average accuracy mHz	Accuracy at nominal frequency (without harmonics)
Minimum (0 %)								
5 %								
10 %								
30 %								
60 %								
Maximum (100 %)								
^a Test points are expressed in % to compute frequency settings (threshold G_s) according to the common rules defined in 6.1.								

6.6.3.4 Reporting of ROCOF accuracy in the presence of harmonics

The ROCOF accuracy in the presence of harmonics is reported according to Table 28. The accuracy value at the nominal frequency in the absence of harmonics, as measured in 6.2.1.2, is also reported.

The report table (as per Table 28) is completed for each nominal frequency of the protection function.

6.7 Stability in the case of sudden voltage change (phase shift and magnitude change)

6.7.1 General

During the voltage phase shift and magnitude change, there is the risk that a false change in frequency will be measured and hence a false rate of change of frequency may be measured. In particular, a positive/negative phase shift can be seen by the frequency function as a transient increase/decrease in frequency.

Two different tests are described in 6.7.2 and 6.7.3 to assess the stability of the frequency functions.

- In 6.7.2, the stability is tested with one or two voltage phase shifts and magnitude changes. A first test scenario is based on a single phase shift and magnitude change to be representative of a short-circuit occurrence and a second test scenario is based on two successive phase shifts and magnitude changes to simulate a fault condition followed by the fault clearing.
- In 6.7.3, the stability is tested with a total voltage magnitude drop followed by a voltage restoration with a frequency change to be representative of a complete voltage collapse over a short time (0,5 s).

During these tests, if a false start signal occurs after the voltage change or voltage collapse, the minimum time delay to ensure no false operation shall be determined.

For characteristic accuracy tests (6.2), each test point is generally repeated 5 times. For type tests related to stability in case of sudden voltage change, each test point is repeated 20 times to check the repeatability of the test result.

6.7.2 Performance in case of voltage phase shift and magnitude change

6.7.2.1 Description of the test method

The test method shall be the same for under/over frequency functions and ROCOF function.

The tests are carried out in accordance with the following procedure.

- According to the required energizing quantities, one- or three-phase voltages shall be injected into the protection function at the rated magnitude value, and the nominal frequency.
- The rated voltage is injected for a duration of at least 1 s, and a phase shift and magnitude change are introduced simultaneously. When three-phase injection is required, the same voltage phase shift and the same magnitude change are performed at the same time on the three phases. Following the voltage change, the duration of the voltage injection shall be at least two times the maximum start time.
- First test scenario
 - The voltage magnitude shall be reduced from the rated value to 0,5 times the rated value, and a phase shift shall be applied with two different values:
 - i) $+60^\circ$;
 - ii) -60° .
 - The phase shift shall be introduced with two different inception angles on the same injected phase voltage (or on one of the phases for a three-phase injection). One test shall be performed with a phase shift at the voltage zero crossing (0°) of the sinewave and the other with a phase shift at the top of the sinewave ($+90^\circ$). Voltage formulas for a three phase injection are included at the end of 6.7.2.1.
- Second test scenario
 - The voltage magnitude shall be reduced from the rated value to 0,5 times the rated value, and simultaneously a phase shift shall be applied with a value of $+30^\circ$.

- After a time delay of 80 ms, the voltage magnitude shall be increased to the rated value and simultaneously a phase shift shall be applied with a value of -50° .
- The first phase shift shall be introduced with one inception angle of the injected phase voltage (or on one of the phases for a three phase injection), at the voltage zero crossing (0°) of the sinewave.
- The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function with the setting test points defined in 6.7.2.2 and 6.7.2.3.
- Each test is repeated 20 times. The start signal shall be monitored and it shall not be asserted during 20 consecutive injections. If the start signal is not stable during 20 consecutive injections, the operate signal shall be monitored and the minimum time delay shall be determined to ensure no operation of the operate signal during 20 consecutive injections.

The manufacturer shall declare if the start signal is stable (no false operation) or, failing that, the minimum time delay required to ensure stability during the voltage phase shift. If the time delay values are different for the two tested scenarios, the two values shall be declared.

If some protection functions have a setting for the definition of the window length to measure the frequency or the ROCOF, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency or ROCOF setting (G_s) that is tested. In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

To clarify the test method, and the management of the voltage change, the formulas for the voltage signals are explained below. The second scenario shall be based on the same principles.

The formulas are given for an input energizing quantity based on a three-phase voltage injection. For frequency functions based on a single-phase voltage injection, only the VL1 signal shall be used.

Before the voltage phase shift and magnitude change (injection for a period of at least 1 s), the voltage signals are based on the following formulas:

$$\begin{aligned} V_{L1}(t) &= V_R \times \sqrt{2} \times \sin(2 \times \pi \times f_R \times t) \\ V_{L2}(t) &= V_R \times \sqrt{2} \times \sin(2 \times \pi \times f_R \times t - 2 \times \pi/3) \\ V_{L3}(t) &= V_R \times \sqrt{2} \times \sin(2 \times \pi \times f_R \times t \times 2 \times \pi/3) \end{aligned}$$

where

t is the time;

f_R is the tested rated power frequency;

V_R is the rated voltage magnitude (RMS value).

After a period of injection lasting at least 1 s, the voltage signals with a voltage phase shift of $+60^\circ$ ($+\pi/3$) are based on the following formulas:

$$\begin{aligned} V_{L1}(t) &= 0,5 \times V_R \times \sqrt{2} \times \sin(2 \times \pi \times f_R \times t + \pi/3) \\ V_{L2}(t) &= 0,5 \times V_R \times \sqrt{2} \times \sin(2 \times \pi \times f_R \times t - \pi/3) \\ V_{L3}(t) &= 0,5 \times V_R \times \sqrt{2} \times \sin(2 \times \pi \times f_R \times t + \pi) \end{aligned}$$

The voltage phase shift and magnitude change is managed with two different inception angles (based upon the V_{L1} voltage signal):

- at the zero crossing, so that the voltage change occurs at $t = 1 \text{ s} + n \times T$;
 - at the top of the sinewave, so that the voltage change occurs at $t = 1 \text{ s} + (n + 0,25) \times T$
- where:

T is the time period ($T = 1/f_R$) and n is a whole number (1, 2, 3, etc.).

The test sequence of both scenarios is illustrated in Figure 24.

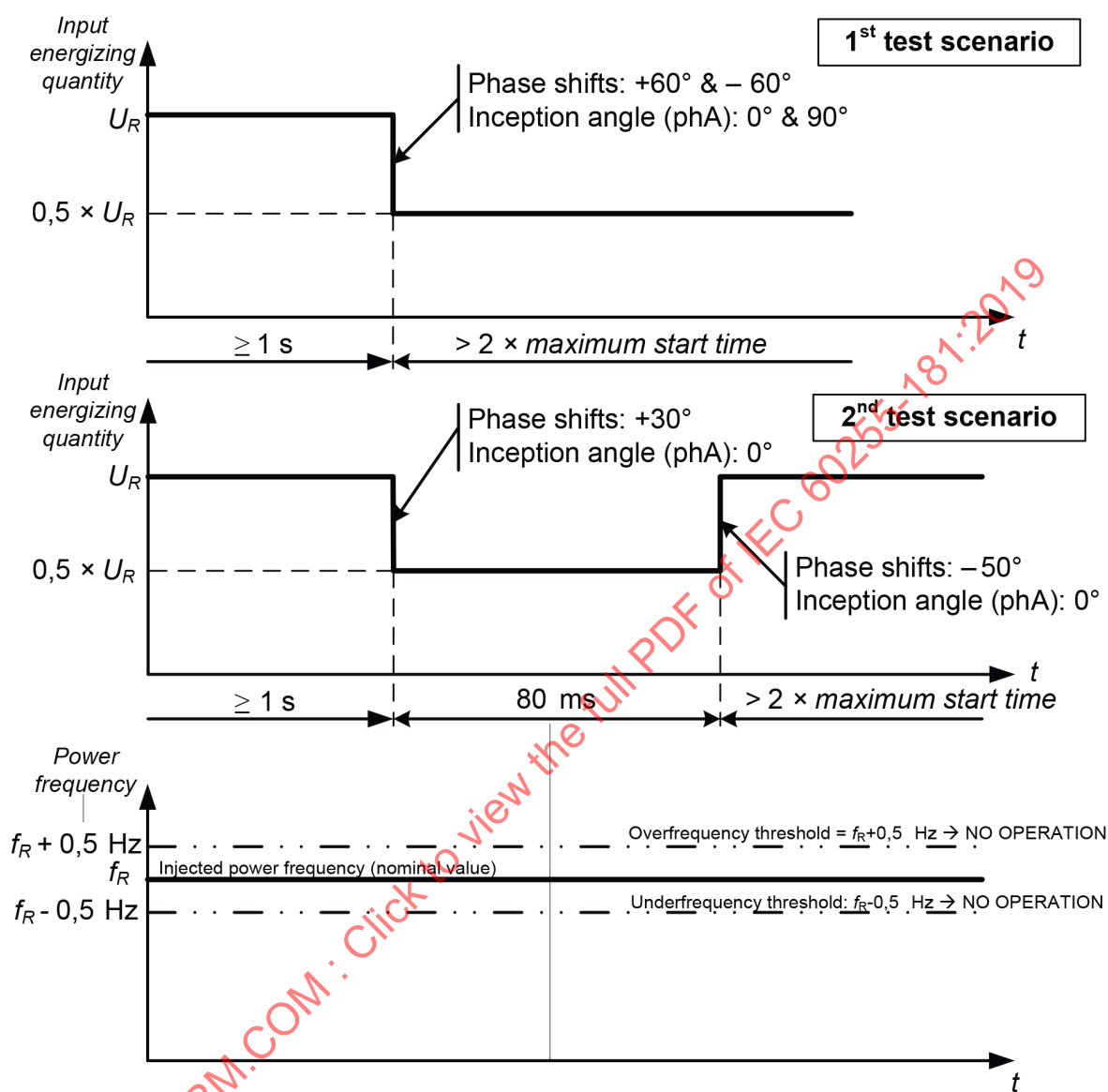


Figure 24 – Representation of the input energizing quantity (voltage, RMS) injection sequence

6.7.2.2 Under/over protection settings

The test shall be performed with the underfrequency function set to $f_R - 0,5 \text{ Hz}$ (for example, 49,5 Hz and 59,5 Hz) and the overfrequency function set to $f_R + 0,5 \text{ Hz}$ (for example, 50,5 Hz and 60,5 Hz).

6.7.2.3 ROCOF protection settings

The test shall be performed with a setting equal to the minimum absolute value of the setting range.

If the ROCOF function can be set with signed thresholds, to operate only on a positive or negative frequency slope detection, the tests shall be performed for the two following test conditions:

- with the minimum positive ROCOF threshold;
- with the maximum negative ROCOF threshold.

6.7.3 Performance in case of voltage magnitude drop and restoration

6.7.3.1 Description of the test method

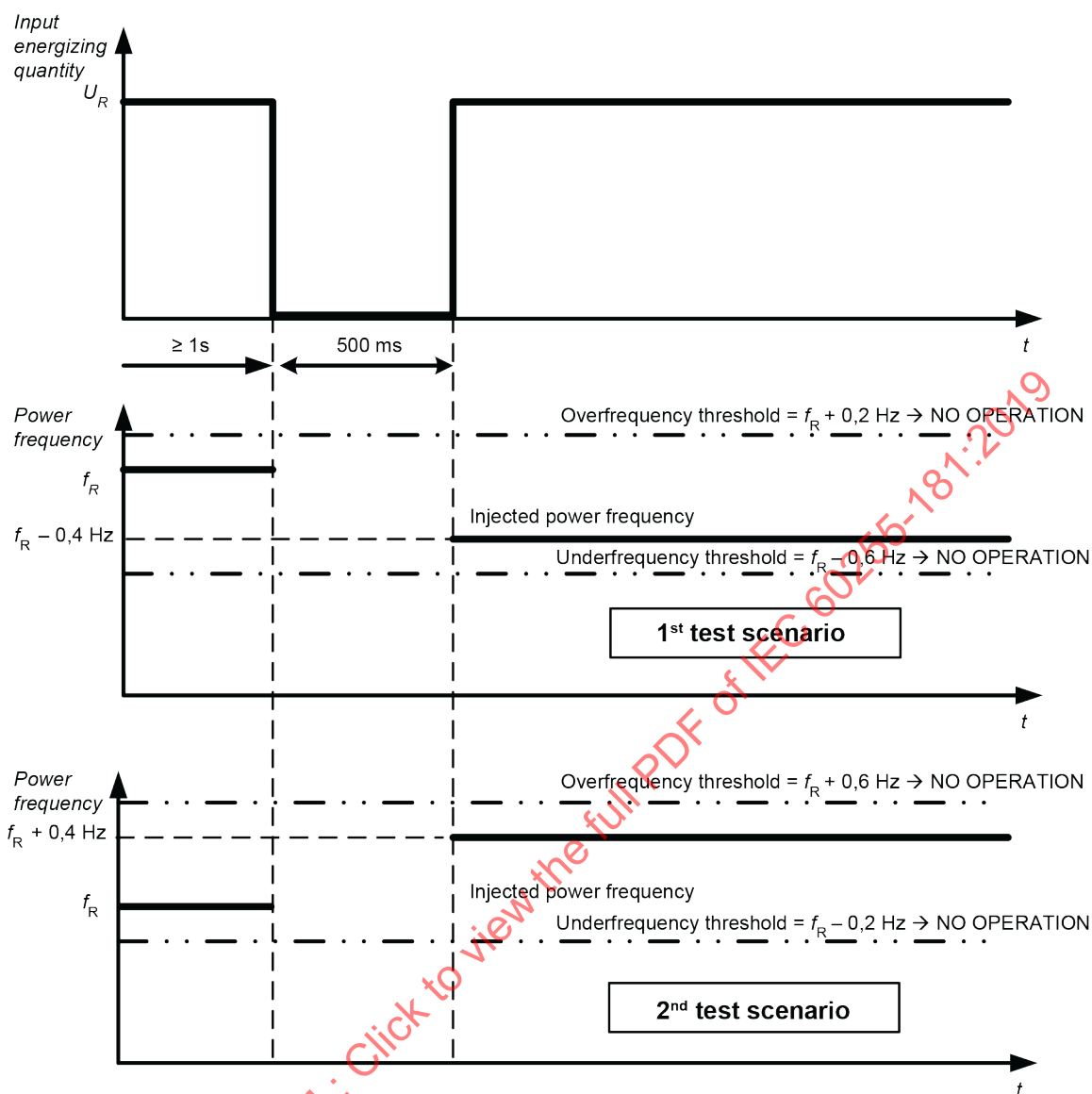
The test method shall be identical for under/over frequency and for ROCOF functions.

The tests are carried out according to the following procedure.

- According to the required energizing quantities, one or three-phase voltages shall be injected into the protection relay at the rated magnitude value, and the nominal power frequency. In the case of a three-phase injection, a positive sequence set of quantities shall be injected.
- The rated voltage is injected for a duration of at least 1 s. A 100 % magnitude drop is introduced simultaneously on the three phases when the three-phase injection is required. The duration of the voltage magnitude drop (no voltage injection) shall be 500 ms.
 - In a first test scenario, the voltage magnitude is restored to the rated value, but with a power frequency equal to the nominal value – 0,4 Hz.
 - In a second test scenario, the voltage magnitude is restored to the rated value, but with a power frequency equal to the nominal value + 0,4 Hz.
 - This voltage injection is maintained for 1 s. After 1 s, the injection can be stopped and the protection output signals are no longer monitored.
 - The tests are repeated for each nominal power frequency value of the frequency function with the settings test points defined in 6.7.3.2 and 6.7.3.3.
 - Each test is repeated 20 times. The start signal shall be monitored, and if the start signal is not stable during 20 consecutive injections, the minimum time delay shall be determined to ensure no start operation during 20 consecutive injections.

The manufacturer shall declare if the start signal is stable (no false operation) or, failing that, the minimum time delay required to ensure the stability during the voltage drop and restore.

The test sequence is illustrated in Figure 25.



IEC

Figure 25 – Representation of the input energizing quantity (voltage, RMS) injection sequence with the power system frequency values

6.7.3.2 Under/over frequency protection settings

The test shall be performed with one underfrequency stage and one overfrequency stage enabled at the same time, with the settings defined in Table 29.

Table 29 – Under/over frequency settings for stability tests with voltage drop/restoration

Test scenario	Underfrequency setting	Overfrequency setting
Voltage restoration with power frequency equal to $f_R - 0,4$ Hz (1 st scenario)	$f_R - 0,6$ Hz (for example, 49,4 Hz and 59,4 Hz for 50 Hz and 60 Hz systems, respectively)	$f_R + 0,2$ Hz (for example, 50,2 Hz and 60,2 Hz)
Voltage restoration with power frequency equal to $f_R + 0,4$ Hz (2 nd scenario)	$f_R - 0,2$ Hz (for example, 49,8 Hz and 59,8 Hz)	$f_R + 0,6$ Hz (for example, 50,6 Hz and 60,6 Hz)

If the protection function does not include underfrequency and overfrequency stages to manage the test with both stages, the stability test can be managed with two separate tests.

6.7.3.3 ROCOF protection settings

The test shall be performed with a setting equal to the minimum absolute value of the setting range.

If the ROCOF threshold is signed for positive or negative frequency slope detection, the tests shall be performed with positive and negative thresholds.

6.7.3.4 Expected results for claiming stability in the test

For under/over frequency functions: no start signal indication during the entire test.

For ROCOF function: no start signal indication during the entire test.

If a false start indication occurs during the voltage drop and restoration sequence, the manufacturer shall provide the minimum time delay setting which is necessary to avoid the operation (trip) of the protection function consequent to the start indication.

7 Documentation requirements

7.1 Type test report

The type test report for the functional elements described in this document shall be in accordance with IEC 60255-1. As a minimum, the following aspects shall be recorded.

- Equipment under test: this includes details of the equipment/function under test as well as specific details such as model number and firmware version.
- Test equipment: equipment name, model number, calibration information.
- Functional block diagram showing the conceptual operation of the element, including interaction of all binary input and output signals with the function.
- Details of the input energizing quantity and the type of measurement being used by the function.
- Details of the available characteristic curves / operation for both operating and reset states that have been implemented in the function, preferably by means of an equation.
- Details of any specific algorithms that are implemented to improve the applicability of this function to a real power system, and their performance claims. In the case of generic algorithms used by more than one function, for example, voltage transformer supervision, it is sufficient to describe the operation of the algorithm once within the user documentation; however, its effect on the operation of all functions that use it shall be described.

- Test method and settings: these include details of the test procedure being used as well as the settings that are applied to the equipment under test to facilitate the testing. This may include settings other than those for the function being tested. This permits repeat testing to be performed with confidence that the same test conditions are being used.
- Test results: for every test case outlined in the test method and settings, the complete sets of results are recorded as well as a reference to the particular test case. From these results, accuracy claims are established.
- Test conclusions: based upon the recorded test results, all claims required by Clause 5 shall be clearly stated. Where appropriate, these claims are compared with the performance specifications contained in this document to allow individual pass/fail decisions to be given, as well as an overall pass/fail decision for the entire function.

7.2 Other user documentation

Not all users insist on viewing the complete type test documentation, but require a subset of the information that it contains. For this purpose, as a minimum, the following aspects shall be recorded in generally available user documentation, although this may not be required in a single document.

- Functional block diagram showing the conceptual operation of the element, including interaction of all binary input and output signals with the function.
- Details of the input energizing quantity and the type of measurement being used by the function.
- Details of the available characteristic curves/operation for both operating and reset states that have been implemented in the function, preferably by means of an equation.
- Details of any specific algorithms that are implemented to improve the applicability of this function to a real power system, and their performance claims. In the case of generic algorithms used by more than one function, for example, voltage transformer supervision, it is sufficient to describe the operation of the algorithm once within the user documentation; however, its effect on the operation of all functions that use it shall be described.
- all claims required by Clause 5 shall be clearly stated.

Annex A (normative)

Test signal equation with constant frequency variation (df/dt)

The equation for the signals used to perform the test of frequency and ROCOF functions with a constant variation of the frequency is specified below.

$$G(t) = \text{Amp} \times \sin \left(2\pi \left(f_0 + \frac{f_{\text{slope}}}{2} (t - t_0) \right) (t - t_0) + \varphi_0 \right)$$

where

Amp is the peak amplitude of the input energizing quantity/quantities (for example, phase voltage);

f_0 is the initial frequency (for example, nominal frequency, before the frequency change);

f_{slope} is the frequency slope in Hz/s used for the test;

φ_0 is the initial phase (used for the test with three-phase voltage injection);

t_0 is the beginning of the frequency variation.

The equation above is the result of the following equations.

During the frequency variation with a constant slope, $f(t)$ is defined by the following formula (with the hypothesis that the frequency variation commences from f_0 at $t = 0$ to simplify the formula below):

$$f(t) = \frac{\omega(t)}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} = f_0 + f_{\text{slope}} \times t$$

The test signal $\text{Amp} \times \sin(\varphi(t))$ used for the test with constant frequency variation is based on the phase variation $\varphi(t)$ defined by the following equation:

$$\varphi(t) = 2\pi \int (f_0 + f_{\text{slope}} \times t) dt = 2\pi \left(f_0 + \frac{f_{\text{slope}}}{2} t \right) t + \varphi_0$$

Annex B (normative)

Calculation of mean, median and mode

B.1 Mean

The mean is the arithmetic average of a set of values, or distribution. The mean is calculated by adding up the collected data and dividing by the total number of data points.

B.2 Median

The median is the middle number of the sampled data. The median number of a finite list of data can be found by arranging all the data from the lowest to the highest and picking the middle sample. If there is an even number of observations, then the median takes the average of the two middle values.

B.3 Mode

The mode of a data sample is the element that occurs most often in the collection. Where several values occur with the same frequency then the mode can be represented by more than one value.

B.4 Example

The frequency protection function operate-time is measured over ten samples:

74 ms, 81 ms, 85 ms, 91 ms, 83 ms, 91 ms, 88 ms, 99 ms, 98 ms, 91 ms.

The mean, in milliseconds, is calculated as:

$$\frac{74+81+85+91+83+91+88+99+98+91}{10} = 88,1 \text{ ms}$$

The median is calculated by arranging the data in ascending order, and the average of the 5th and 6th data points is 89,5 ms:

74 ms, 81 ms, 83 ms, 85 ms, 88 ms, 91 ms, 91 ms, 91 ms, 98 ms, 99 ms

The mode is calculated as the most frequent data point which, in this case, is 91 ms.

Therefore, the data presented for the frequency protection functions' operate-time would be the following:

- mean operate-time, 88,1 ms;
- median operate-time, 89,5 ms;
- mode operate-time, 91 ms.

Annex C (informative)

Example of frequency measurement and calculation

C.1 Definitions

The term "period" (IEC 60050-103:2009, 103-06-01) represents the smallest positive difference between two values of the independent variable at which the values of a periodic quantity are identically repeated. If $x(t)$ denotes a periodic quantity, then $x(T + t) = x(t)$. The term "period duration" is sometimes used in the case of a function of time. The symbol T is mainly used for the period when the independent variable is time.

"Frequency" (IEC 60050-103:2017, 103-06-02) is the reciprocal of the period; the symbol f is mainly used when the period is time.

"Fundamental frequency" (IEC 60050-103:2009, 103-07-21) is the frequency of the fundamental component of a periodic quantity.

"Power frequency" (IEC 60050-601:1985, 601-01-05) is the value of frequency used in the electricity supply systems. In the case of sinusoidal waveforms, frequency and ROCOF are the first and second derivatives of the phase angle, respectively (IEC/IEEE 60255-118-1:2018).

C.2 Signal observation model

The signal observation model is the mathematical description of the physical signal, based on which the power system frequency is defined and its measurement technology is established. The key to understanding the definition of power system frequency lies in the selection of the observed physical signal $x(t)$ and in the establishment of its observation model. Commonly used signal observation models and frequency definitions are defined as follows.

Generally, frequency is measured based on voltage inputs. When a protection relay is not equipped with VTs inputs or not connected to phase VTs, or when the voltage signals are under a lower threshold, frequency measurement could be based on line current inputs.

a) Pure sine or cosine signal with constant amplitude

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 t + \theta) \quad (\text{C.1})$$

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 t + \omega(t)) \quad (\text{C.2})$$

$$f(t) = f_0 + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} \quad (\text{C.3})$$

where

$x(t)$ could be phase-to-ground voltage, phase-to-phase voltage, positive sequence voltage, or single phase current, etc.;

A_m is the amplitude;

f_0 is fundamental frequency;

θ is phase angle;
 $f(t)$ is time-varying frequency;
 $\omega(t)$ is time-varying phase angle.

b) Sine or cosine signal with additional harmonics

$$x(t) = \sum_{l=1}^m A_l \cdot \sin(2\pi l f_0 t + \omega_l(t)) \quad (\text{C.4})$$

$$f_1 = f_0 + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\omega_1(t)}{dt} \quad (\text{C.5})$$

c) Sine or cosine signal with additional harmonics and decaying DC component

$$x(t) = A_0 \cdot e^{-t/\tau} + \sum_{l=1}^m A_l \cdot \sin(2\pi l f_0 t + \omega_l(t)) \quad (\text{C.6})$$

The definition of fundamental frequency is the same as that of Equation (C.5).

d) Sine or cosine signal with noise

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 t + \theta) + \alpha(t) \quad (\text{C.7})$$

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 t + \omega(t)) + \alpha(t) \quad (\text{C.8})$$

$$x(t) = A_0 \cdot e^{-t/\tau} + \sum_{l=1}^m A_l \cdot \sin(2\pi l f_0 t + \omega_l(t)) + \alpha(t) \quad (\text{C.9})$$

Where $\alpha(t)$ is the noise and other components.

The definition of frequency is the same as that in Equations (C.3) and (C.5), respectively.

e) Instantaneous frequency

$$\overline{V_1(t)} = \frac{1}{3} \cdot (\overline{U_A(t)} + e^{j\frac{2\pi}{3}} \cdot \overline{U_B(t)} + e^{-j\frac{2\pi}{3}} \cdot \overline{U_C(t)}) \quad (\text{C.10})$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d}{dt} \text{angle}(\overline{V_1(t)}) \quad (\text{C.11})$$

Where U_A , U_B , U_C are phase voltages and V_1 is the positive sequence component of voltage.

The physical signals of a real dynamic electric power system are much more complex, especially when faults occur, circuit breakers are switched, control devices operate and in the subsequent transition process. The signal is far more complex than the above observation model can accurately describe. Even though limited by the understanding of the power system, by the availability of analysis tools, and by the processing capability of relays, a definition of frequency is essential for protection and control purposes. A variety of measures, such as signal processing technology can be adopted to convert a real signal into a form fit for an ideal observation model, from which one can obtain frequency for protection and control applications.

C.3 General requirements on frequency measurement

C.3.1 General requirements on frequency measurement

The intrinsic nature of power system frequency measurement is a dynamic parameter identification of the signal observation model, i.e. a good estimation of model parameters is achieved by signal processing and numerical analysis on real system physical input signals. It is digital signal processing of the processed object, grey box identification of the measured object, numerical algorithm (software) and its application to analogue and digital devices (hardware) as the means of measurement. Owing to the understanding of frequency and the actual requirements on its application, there is a big difference in the above aspects.

The general requirements for frequency measurement are the following:

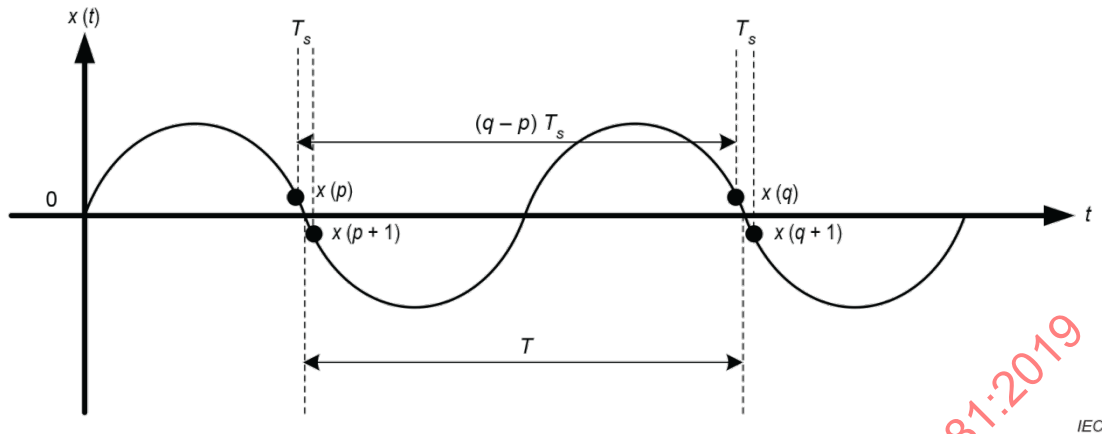
- credibility: the measurement should reflect the real situation of the electric power system and guarantee the effectiveness of control based on frequency measurement;
- precision: precision requirements are often specified as the ability of the function to perform in the presence of noise, harmonics and decaying DC component;
- speed: fast dynamic tracking ability and small measurement time delay are required for protection applications;
- robustness: the measurement should work properly in the normal state, abnormal state and during power system faults;
- low cost: performance and cost should be well balanced.

In general, frequency measurement includes three steps: signal pre-processing, frequency measurement, and result post-processing.

C.3.2 Periodic algorithm

One of the first basic methods used is the periodic algorithm (zero-crossing algorithm) which calculates the frequency by measuring the time difference between successive zero-crossing instants. See Figure C.1.

Suppose the signal is sampled at period T_s .

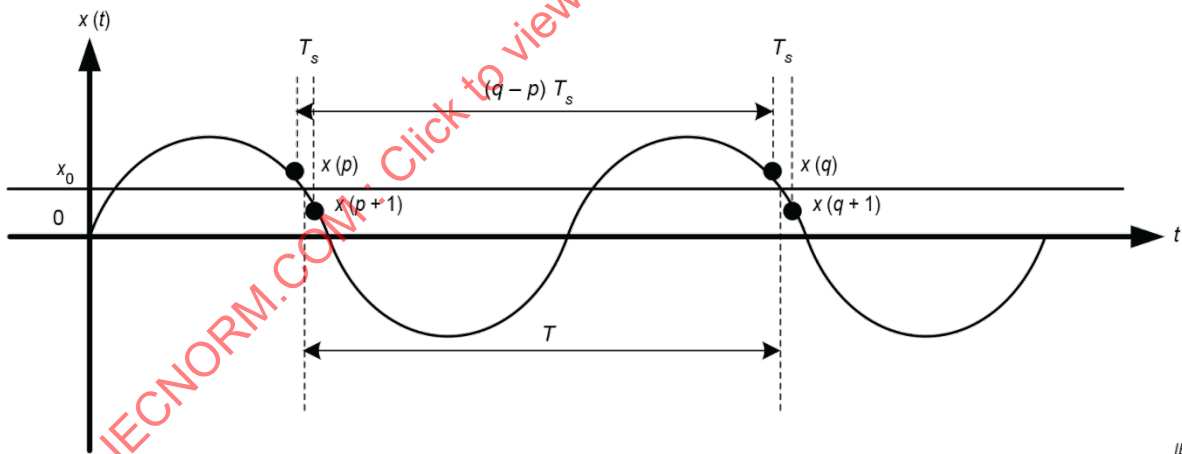


IEC

Figure C.1 – Zero-crossing algorithm

$$\begin{cases} f = \frac{1}{T} \\ T = T_s \cdot (q - p + \left| \frac{0 - x(q)}{x(q+1) - x(q)} \right| - \left| \frac{0 - x(p)}{x(p+1) - x(p)} \right|) \end{cases} \quad (\text{C.12})$$

Based on a zero-crossing algorithm, by using a threshold above zero, a level-crossing algorithm could be used, as illustrated in Figure C.2.



IEC

Figure C.2 – Level-crossing algorithm

$$\begin{cases} f = \frac{1}{T} \\ T = T_s \cdot (q - p + \left| \frac{x_0 - x(q)}{x(q+1) - x(q)} \right| - \left| \frac{x_0 - x(p)}{x(p+1) - x(p)} \right|) \end{cases} \quad (\text{C.13})$$

Here, a linear interpolation algorithm is adopted to obtain the crossing instant. A more sophisticated non-linear fitting can be used to increase the precision.

Moreover, frequency can be calculated based on data obtained from more than one cycle.

C.3.3 Analysis algorithm

C.3.3.1 Three-point sampling algorithm

Suppose the signal is sampled at the period T_s .

$$\begin{cases} x(k) = A_m \cdot \sin(2\pi f t + \theta) \\ x(k+1) = A_m \cdot \sin(2\pi f (t + T_s) + \theta) \\ x(k+2) = A_m \cdot \sin(2\pi f (t + 2 \cdot T_s) + \theta) \end{cases} \quad (C.14)$$

$$x(k) + x(k+2) = 2 \cdot A_m \cdot \sin(2\pi f (t + T_s) + \theta) \cdot \cos(2\pi f T_s) = 2 \cdot x(k+1) \cdot \cos(2\pi f T_s) \quad (C.15)$$

$$\cos(2\pi f T_s) = \frac{\sum_{k=1}^m |x(k) + x(k+2)|}{2 \cdot \sum_{k=1}^m |x(k+1)|} = y \quad (C.16)$$

$$\begin{cases} f = \frac{1}{2\pi T_s} \cdot \arccos(y) = f_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n!} f_0^{(n)} \cdot (y - y_0)^n \\ y_0 = \cos(2\pi f_0 T_s) \end{cases} \quad (C.17)$$

where

$$\begin{cases} f_0^{(1)} = -(1 - y_0)^{-\frac{1}{2}} \\ f_0^{(2)} = -y_0 \cdot (1 - y_0)^{-\frac{3}{2}} \\ f_0^{(3)} = -(2y_0^2 + 1) \cdot (1 - y_0^2)^{-\frac{5}{2}} \\ \dots \end{cases} \quad (C.18)$$

According to the variation of frequency range, the Taylor series in Equation (C.17) can be simplified into a binomial, trinomial or quadrinomial form.

C.3.3.2 Numerical integration algorithm

See Equation (C.1), let:

$$y(t) = \int x(t) dt = \frac{A_m}{2\pi f_0} \cdot \cos(2\pi f_0 t + \theta) = B_m \cdot \cos(2\pi f_0 t + \theta) \quad (C.19)$$

where $y(t)$ is another sinusoidal waveform. Peak values A_m and B_m can be obtained using various algorithms.

Then,

$$f_0 = \frac{A_m}{2\pi B_m} \quad (\text{C.20})$$

This algorithm is often applied to black-start diesel generators and to system protection, where the frequency can change rapidly over a broad range.

C.3.4 Error minimization algorithm

C.3.4.1 Least error square algorithm (LES)

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 t + \omega(t)) = \begin{vmatrix} \cos(2\pi f_0 t) & \sin(2\pi f_0 t) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A_m \cdot \sin(\omega(t)) \\ A_m \cdot \cos(\omega(t)) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(2\pi f_0 t) & \sin(2\pi f_0 t) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} z_1(t) \\ z_2(t) \end{vmatrix} \quad (\text{C.21})$$

where, z_1 and z_2 are the real and imaginary parts of the complex amplitude respectively.

$$\begin{cases} z_1(t) = \sin(\omega(t)) \\ z_2(t) = \cos(\omega(t)) \end{cases} \quad (\text{C.22})$$

Suppose the signal is sampled at the period T_s .

$$x(k) = \begin{vmatrix} \cos(2\pi f_0 \cdot kT_s) & \sin(2\pi f_0 \cdot kT_s) \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} z_1(k) \\ z_2(k) \end{vmatrix} = H(k) \bullet Z(k) \quad (\text{C.23})$$

z_1 and z_2 can be calculated using a recursive least square algorithm.

$$\min(J) = \min((X - H \bullet Z)^T (X - H \bullet Z)) \quad (\text{C.24})$$

$$\begin{cases} Z(k+1) = Z(k) + k(k+1) \cdot [x(k+1) - H(k+1) \cdot Z(k)] \\ k(k+1) = P(k)H^T(k+1)[H(k+1) \cdot P(k) \cdot H^T(k+1) + I]^{-1} \\ P(k+1) = [I - k(k+1)H(k+1)]P(k) \\ Z(0) = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix} \\ P(0) = 10^4 \cdot I \end{cases} \quad (\text{C.25})$$

Then,

$$\omega(t) = \arctan \frac{z_1}{z_2} \quad (\text{C.26})$$

$$f(t) = f_0 + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = f_0 + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\omega(t+T_0) - \omega(t)}{T_0} = f_0 \cdot \left(1 + \frac{1}{2\pi} \cdot (\omega(t+T_0) - \omega(t))\right) \quad (\text{C.27})$$

C.3.4.2 Least absolute value approximation (LAV)

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f t + \theta) = A_m \cdot \sin(2\pi(f_0 + \Delta f)t + \theta) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 t + \theta) \cdot \cos(2\pi \Delta f t) + A_m \cdot \cos(2\pi f_0 t + \theta) \cdot \sin(2\pi \Delta f t) \quad (C.28)$$

Apply the Taylor series, using the first four nomials,

$$\begin{cases} \sin(2\pi(f_0 + \Delta f)t) = \sin(2\pi f_0 t) + 2\pi \Delta f t \cdot \cos(2\pi f_0 t) - 2\pi^2 \Delta f^2 t^2 \cdot \sin(2\pi f_0 t) - \frac{4}{3} \pi^3 \Delta f^3 t^3 \cdot \cos(2\pi f_0 t) \\ \cos(2\pi(f_0 + \Delta f)t) = \cos(2\pi f_0 t) - 2\pi \Delta f t \cdot \sin(2\pi f_0 t) - 2\pi^2 \Delta f^2 t^2 \cdot \cos(2\pi f_0 t) + \frac{4}{3} \pi^3 \Delta f^3 t^3 \cdot \sin(2\pi f_0 t) \end{cases} \quad (C.29)$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} \sin(2\pi f_0 t) \\ 2\pi t \cdot \cos(2\pi f_0 t) \\ \cos(2\pi f_0 t) \\ -2\pi t \cdot \sin(2\pi f_0 t) \\ -2\pi^2 t^2 \cdot \sin(2\pi f_0 t) \\ -2\pi^2 t^2 \cdot \cos(2\pi f_0 t) \\ -\frac{4}{3} \pi^3 t^3 \cdot \cos(2\pi f_0 t) \\ \frac{4}{3} \pi^3 t^3 \cdot \sin(2\pi f_0 t) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} A_m \cdot \cos(\theta) \\ \Delta f \cdot A_m \cdot \cos(\theta) \\ A_m \cdot \sin(\theta) \\ \Delta f \cdot A_m \cdot \sin(\theta) \\ (\Delta f)^2 \cdot A_m \cdot \cos(\theta) \\ (\Delta f)^2 \cdot A_m \cdot \sin(\theta) \\ (\Delta f)^3 \cdot A_m \cdot \cos(\theta) \\ (\Delta f)^3 \cdot A_m \cdot \sin(\theta) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1(t) \\ \beta_2(t) \\ \beta_3(t) \\ \beta_4(t) \\ \beta_5(t) \\ \beta_6(t) \\ \beta_7(t) \\ \beta_8(t) \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} \quad (C.30)$$

$$Z = \begin{bmatrix} x(kT_s) \\ x((k+1)T_s) \\ x((k+2)T_s) \\ \dots \\ x((k+m-1)T_s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1(kT_s) & \beta_2(kT_s) & \beta_3(kT_s) & \dots & \beta_8(kT_s) \\ \beta_1((k+1)T_s) & \beta_2((k+1)T_s) & \beta_3((k+1)T_s) & \dots & \beta_8((k+1)T_s) \\ \beta_1((k+2)T_s) & \beta_2((k+2)T_s) & \beta_3((k+2)T_s) & \dots & \beta_8((k+3)T_s) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_1((k+m-1)T_s) & \beta_2((k+m-1)T_s) & \beta_3((k+m-1)T_s) & \dots & \beta_8((k+m-1)T_s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \\ x_8 \end{bmatrix} \quad (C.31)$$

where $m \geq 8$; x_1 to x_8 can be calculated using the least absolute value approximation (LAV).

$$\min(J) = \min(|Z - B \cdot X|) \quad (C.32)$$

$$\Delta f = \frac{x_2}{x_1} = -\frac{x_4}{x_3} = \frac{x_2^2 + x_4^2}{x_1^2 + x_3^2} \quad (C.33)$$

C.3.4.3 Newton-type algorithm

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f(t) \cdot t + \theta) = A_m \cdot \sin(2\pi(f_0 + df \cdot t) \cdot t + \theta) \quad (C.34)$$

The maximum likelihood estimate (MLE) will be applied.

Define the ambiguity function.

$$H(f_0, df) = \left| \sum_{k=-N}^N x(k) \cdot e^{-j2\pi C(kf_0 + k^2 \cdot df)} \right| \quad (C.35)$$

The parameters f_0, df should maximize H .

The Newton-type algorithm is:

$$\begin{bmatrix} f_0(p+1) \\ df(p+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0(p) \\ df(p) \end{bmatrix} - \left[H^{(2)}(f_0(p), df(p)) \right]^{-1} \bullet H^{(1)}(f_0(p), df(p)) \quad (C.36)$$

where

$H^{(1)}$ is the gradient vector;

$H^{(2)}$ is the hessian matrix of the second derivatives.

$$\begin{cases} H^{(1)}(f_0, df) = \begin{bmatrix} \frac{\partial H}{\partial f_0} & \frac{\partial H}{\partial df} \end{bmatrix}^T \\ H^{(2)}(f_0, df) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 H}{\partial (f_0)^2} & \frac{\partial^2 H}{\partial f_0 \cdot \partial df} \\ \frac{\partial^2 H}{\partial f_0 \cdot \partial df} & \frac{\partial^2 H}{\partial (df)^2} \end{bmatrix} \end{cases} \quad (C.37)$$

C.3.4.4 Extended Kalman filter algorithm (EKF)

As indicated in Equation (C.7), a sampling value of a sine or cosine signal with noise can be expressed as:

$$\begin{cases} x(k) = \hat{x}(k) + \alpha(k) \\ \hat{x}(k) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 \cdot kT_s + \theta) \\ \alpha(k) \sim N(0, \sigma_\alpha^2) \end{cases} \quad (C.38)$$

where

$x(k)$ is the instantaneous sampling value of the signal;

$\hat{x}(k)$ is the real value of the signal;

$\alpha(k)$ is the white noise signal with a mean value 0 and variance σ_α^2 .

According to Equation (C.15),

$$\hat{x}(k) + \hat{x}(k+2) = 2 \cdot \hat{x}(k+1) \cdot \cos(2\pi f T_s) \quad (C.39)$$

Let

$$\hat{y}(k) = [2 \cdot \cos(2\pi f T_s) \quad \hat{x}(k-1) \quad \hat{x}(k-2)]^T \quad (C.40)$$

$$\hat{y}(k+1) = f(\hat{y}(k)) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 \cdot \cos(2\pi f T_s) & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \bullet \hat{y}(k) \quad (C.41)$$

Then,

$$x(k) = [0 \quad 2 \cdot \cos(2\pi f T_s) \quad -1] \cdot \hat{y}(k) + \alpha(k) = g(\hat{y}(k)) + \alpha(k) \quad (C.42)$$

where

$g(\hat{y}(k))$ is an observation function.

Linearize the above system and apply EKF first-order recursion theory:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{y}(k) = f(\hat{y}(k-1)) \\ \hat{y}(k) = \tilde{y}(k) + K(k)E(k) \\ K(k) = M(k)H(k)^T [H(k)M(k)H(k)^T + I]^{-1} \\ E(k) = x(k) - g(\tilde{y}(k)) \\ M(k) = F(k) \cdot P(k-1) \cdot F(k)^T \\ P(k) = M(k) - K(k)H(k)M(k) \\ F(k) = \frac{\partial f(\hat{y}(k-1))}{\partial \hat{y}(k-1)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \hat{y}(k-1)(2) & \hat{y}(k-1)(1) & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ H(k) = \frac{\partial g(\hat{y}(k))}{\partial \hat{y}(k)} = [\hat{y}(k)(2) \quad \hat{y}(k)(1) \quad -1] \end{array} \right. \quad (C.43)$$

where

- $\tilde{y}(k)$ is the estimated value;
- $\hat{y}(k)$ is the corrected value;
- $K(k)$ is the Kalman gain;
- $M(k)$ is the estimation error covariance;
- $P(k)$ is the filtering error covariance;
- $E(k)$ is the estimation error;
- $F(k)$, $H(k)$ are the parameter matrix.

C.3.5 Discrete Fourier transformation (DFT)

$$x(t) = A_m \cdot \sin(2\pi f_0 t + \omega(t)) \quad (C.44)$$

$$x(k) = A_m \cdot \sin(\omega(t)) \cdot \cos(2\pi k / N) + A_m \cdot \cos(\omega(t)) \cdot \sin(2\pi k / N) = x_{Re} \cdot \cos(2\pi k / N) + x_{Im} \cdot \sin(2\pi k / N) \quad (C.45)$$

where

$$N = f_s / f_0 = T_0 / T_s \quad (C.46)$$

x_{Re} , x_{Im} can be obtained from a fast Fourier transformation.

$$\begin{cases} x_{\text{Re}} = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot \cos(2\pi k / N) \\ x_{\text{Im}} = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cdot \sin(2\pi k / N) \end{cases} \quad (\text{C.47})$$

$$\omega(t) = \arctan \frac{x_{\text{Re}}}{x_{\text{Im}}} \quad (\text{C.48})$$

$$f(t) = f_0 + \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\omega(t)}{dt} = f_0 \cdot \left(1 + \frac{\omega(t) - \omega(t - T_0)}{2\pi}\right) \quad (\text{C.49})$$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

Annex D (informative)

Performance with inter-harmonics

D.1 General

Inter-harmonics can influence the algorithm of the frequency measurement. Because the type of inter-harmonics being present in specific grids can differ widely, it was agreed not to make a corresponding mandatory performance test but to describe a typical test in order to guide users. Users may request specific tests individually depending on typical inter-harmonics that are present in the specific grids. Typical inter-harmonic frequencies may be 16,7 Hz (railway), 25 Hz (railway), 20 Hz to 30 Hz (injected by 100 % stator ground fault protection systems). In compensated networks, ground fault locating technologies may inject signals with inter-harmonic frequencies ($11/12$ of f_n , or $13/12$ of f_n). Audio frequency ripple control signals may be present (160 Hz to 180 Hz or 210 Hz to 220 Hz, etc.).

Annex D describes a proposal for tests for investigating the ability of over- and under-frequency functions to perform the steady state measurement of the fundamental power system frequency with superimposed inter-harmonics on the voltage signals.

Manufacturers are not requested to declare the accuracy of the frequency measurement in the presence of inter-harmonics for the effective range of the protection function. The purpose of the proposed tests is to determine the difference in measurement accuracy in the presence and in the absence of inter-harmonics.

D.2 Proposed test: accuracy of the under/over frequency start value

D.2.1 Description of the generated frequency ramp

The proposed test method makes use of a pseudo-continuous frequency ramp, similar to the ramp used for the tests to assess the accuracy of the start value at fundamental frequency with no inter-harmonics.

The ramp starts at the initial frequency f_{initial} . The initial frequency is remote from the expected start value G_s for the protection function.

The ramp can be interrupted after the activation of the start signal.

The test method is illustrated in Figure D.1, which is applicable to an overfrequency function.

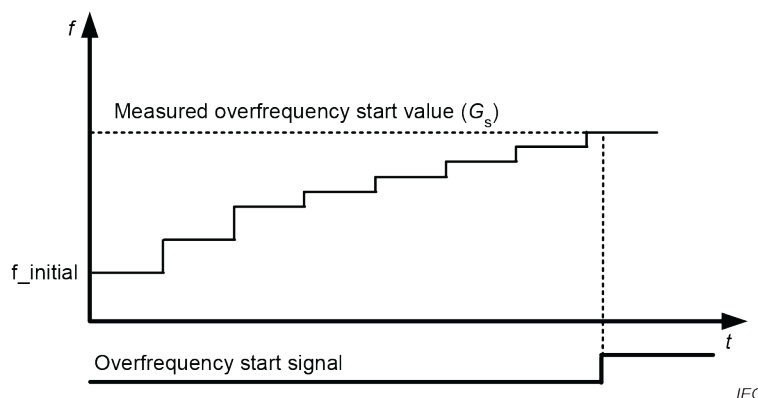


**Figure D.1 – Example of an increasing pseudo-continuous ramp
for overfrequency function**

Each step of the ramp has a duration of: MAX (500 ms; 10 times the maximum start time at fundamental frequency).

During the transition between successive frequency steps, the injected signal shall be continuous, with no step change in its phase angle or magnitude, except in its frequency.

To reduce the length of the test, the frequency increment can be higher at the beginning of the test, with the following rules:

- For the overfrequency function, this increment can be equal to G_s minus 3 times the "declared frequency accuracy".
- For the underfrequency function, this increment can be equal to G_s plus 3 times the "declared frequency accuracy".

The declared frequency accuracy is based on the requirements specified in 5.3.

Once the above value is reached, the frequency increment will be less than or equal to 10 % of the declared frequency accuracy at the fundamental frequency until the end of the ramp caused by the operation of the start signal.

The test is carried out by superimposing on the nominal power frequency one inter-harmonic signal in the list defined in Table D.1. The test shall be repeated for each inter-harmonic value defined in Table D.1 or for specific values according to the targeted application of protection functions.

Table D.1 – Superimposed inter-harmonics

Frequency of inter-harmonics	Inter-harmonic percentage
16,7 Hz	5 %
20 Hz	5 %
25 Hz	5 %
45 Hz	5 %
55 Hz	5 %
65 Hz	5 %
170 Hz	5 %
217 Hz	5 %

The magnitudes of inter-harmonics defined in Table D.1 are typical values for the tests. The magnitude can be defined with lower or higher values according to the targeted applications.

The frequency values of the inter-harmonics are not linked to the actual power frequency (nominal value in the test). The inter-harmonic frequency stays constant throughout the complete test.

D.2.2 Protection function settings

Start frequency settings shall be varied in the setting range shown in Table D.2.

If some protection functions have a setting for the definition of the window-length to measure the frequency, the setting value shall be the default value, unless the manufacturer has a special recommendation for the window length as a function of the frequency setting (G_s) that is tested. In this case, the manufacturer's recommendation shall be followed.

D.2.3 Test points and calculation of frequency accuracy in the presence of inter-harmonics

The tests are repeated for each nominal power frequency value of the protection function, with the setting test points defined in Table D.2 and according to the rule defined in 6.1.

The start frequency is measured for all of the test points, and the measurement error is calculated according to the following formula:

$$\text{Error} = (\text{measured start frequency} - G_s) \text{ mHz}$$

Each test is repeated five times; the maximum measurement errors are reported for each test with superimposition of one inter-harmonic frequency as per Table D.2. The accuracy error at nominal frequency (without inter-harmonic presence) is also mentioned (test result for 6.2.1.1), as shown in Table D.2.

Table D.2 – Test points for under/overfrequency function in the presence of inter-harmonics

Frequency setting (start threshold, G_s) ^a	Freq. setting Hz	Error with 16,7 Hz inter-harm. mHz	Error with 20 Hz inter-harm. mHz	Error with 25 Hz inter-harm. mHz	Error with 45 Hz inter-harm. mHz	Error with 55 Hz inter-harm. mHz	Error with 65 Hz inter-harm. mHz	Error with 170 Hz inter-harm. mHz	Accuracy at nominal frequency (without inter-harmonics)
–100 % (min. setting)		5 mHz	4 mHz	5 mHz	5 mHz	8 mHz	5,4 mHz	5,4 mHz	3,0 mHz
–10 %		7 mHz	5 mHz	3 mHz	7 mHz	8 mHz	6,0 mHz	6,0 mHz	3,1 mHz
–5 %		8 mHz	5 mHz	8 mHz	10 mHz	9 mHz	8,0 mHz	8,0 mHz	3,2 mHz
–2,5 %		8 mHz	10 mHz	12 mHz	12 mHz	8 mHz	10,0 mHz	10,0 mHz	3,7 mHz
–1 %		8 mHz	10 mHz	12 mHz	12 mHz	8 mHz	10,0 mHz	10,0 mHz	3,5 mHz
0 % (f_R) ^b		8 mHz	10 mHz	12 mHz	12 mHz	8 mHz	10,0 mHz	10,0 mHz	3,0 mHz
1 %		8 mHz	5 mHz	8 mHz	10 mHz	9 mHz	8,0 mHz	8,0 mHz	3,2 mHz
2,5 %		8 mHz	5 mHz	8 mHz	10 mHz	9 mHz	8,0 mHz	8,0 mHz	3,6 mHz
5 %		8 mHz	5 mHz	8 mHz	10 mHz	9 mHz	8,0 mHz	8,0 mHz	3,1 mHz
10 %		7 mHz	5 mHz	3 mHz	7 mHz	8 mHz	6,0 mHz	6,0 mHz	3,2 mHz
100 % (max. setting)		5 mHz	4 mHz	5 mHz	5 mHz	8 mHz	5,4 mHz	5,4 mHz	3,0 mHz

^a Frequency settings (threshold G_s) are expressed in % according to the common rules defined in 6.1.

^b If the setting defined at the nominal power frequency is not available, this test point can be omitted.

D.2.4 Reporting of frequency accuracy in the presence of inter-harmonics

The frequency accuracy in the presence of inter-harmonics is reported according to Table D.2. The accuracy value at the nominal frequency in the absence of inter-harmonics, as measured in 6.2.1.1, is also reported.

The report table (as per Table D.2) is completed for each nominal power frequency of the protection function.

Annex E (informative)

Management of sudden frequency change without discontinuity in voltage waveform

When functional tests are based on sudden frequency change, the injected voltage signal shall be managed without discontinuity in the voltage waveform, except in its frequency change. Annex E illustrates how to manage a three-phase voltage injection with a continuous signal. The same approach can be applied with a single-phase injection.

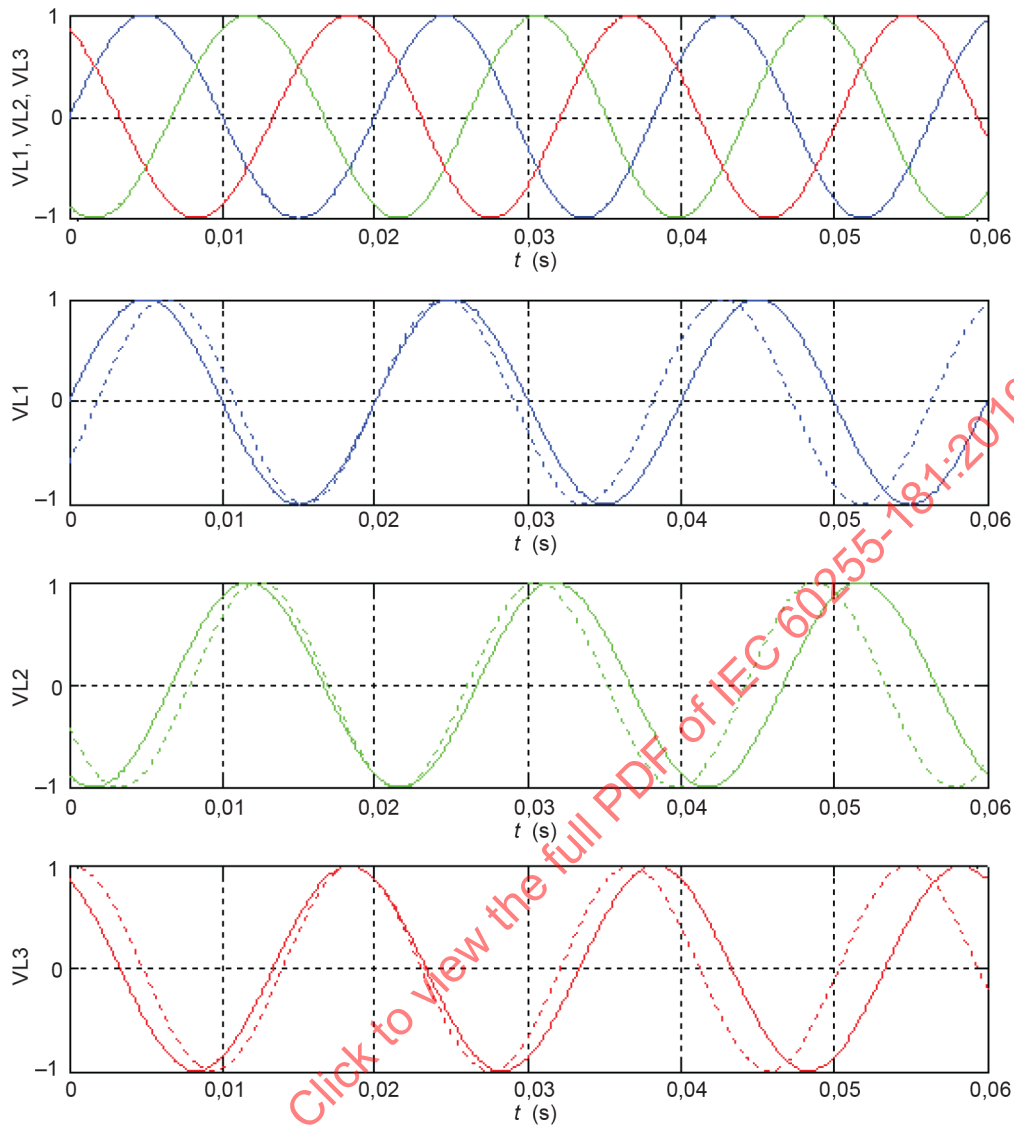
In the equations below, the sudden frequency change occurred at the date "to".

- The initial frequency is f_1 .
- The final frequency is f_2 .
- Before the date "to", the injected signal is based on following equations:
 - $V_{L1}(t) = \text{amp} \times \sin(2 \times \pi \times f_1 \times t)$;
 - $V_{L2}(t) = \text{amp} \times \sin(2 \times \pi \times f_1 \times t - 2 \times \pi/3)$;
 - $V_{L3}(t) = \text{amp} \times \sin(2 \times \pi \times f_1 \times t + 2 \times \pi/3)$.
- After the date "to" (sudden frequency change), the injected signal is based on following equations:
 - $V_{L1}(t) = \text{amp} \times \sin(2 \times \pi \times f_2 \times t + \varphi) + \dots$;
 - $V_{L2}(t) = \text{amp} \times \sin(2 \times \pi \times f_2 \times t - 2 \times \pi/3 + \varphi) + \dots$;
 - $V_{L3}(t) = \text{amp} \times \sin(2 \times \pi \times f_2 \times t + 2 \times \pi/3 + \varphi) + \dots$.

Where φ is computed to ensure no discontinuity in the voltage waveform. This condition is ensured with $\varphi = 2 \times \pi \times t_o \times (f_1 - f_2)$.

Such an injected signal is illustrated in Figure E.1.

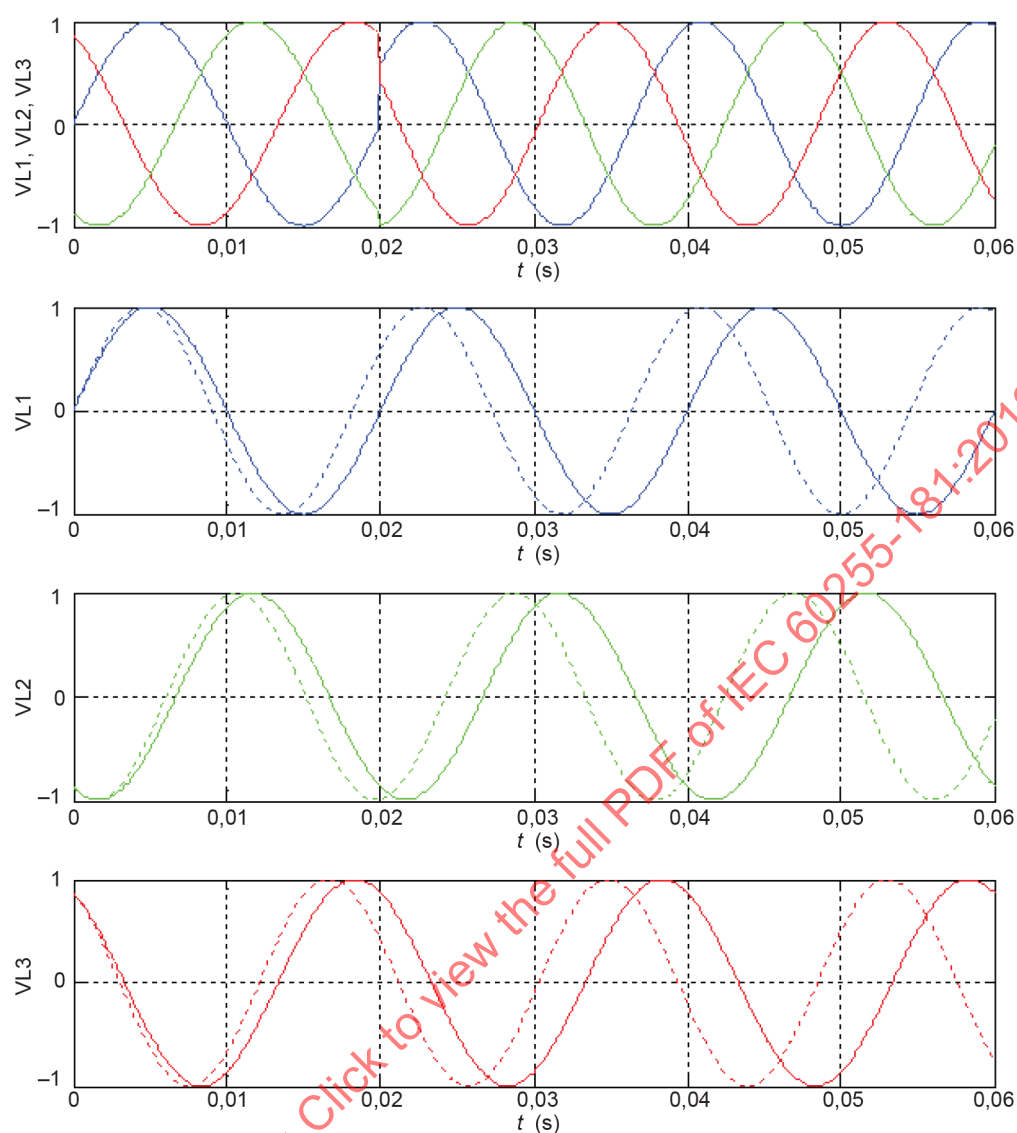
The first graph displays the three-phase voltages with a sudden frequency change from 50 Hz to 55 Hz at $t_o = 0,02$ s. The other graphs display each phase voltage with the two power frequencies (50 Hz with solid line curve and 55 Hz with dotted line curve).



IEC

Figure E.1 – Example of voltage waveform without discontinuity at $t_0 = 0.02$ s

The same example is illustrated in Figure E.2, where the sudden frequency change at $t_0 = 0.02$ s is managed with a discontinuity in the voltage waveform. In Figure E.2, the signal with frequency f_2 (55 Hz) is computed with an angle $\varphi = 0$.



IEC

Figure E.2 – Example of voltage waveform with discontinuity at $t_0 = 0,02$ s

Bibliography

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-103, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 103: Mathematics – Functions* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-447, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 447: Measuring relays* (available at www.electropedia.org)

IEC 60050-601, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General* (available at www.electropedia.org)

IEC 60255-24, *Measuring relays and protection equipment – Part 24: Common format for transient data exchange (COMTRADE) for power systems*

IEC 61000-2-4:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-4: Environment – Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances*

IEC 61850-7-4, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 7-4: Basic communication structure – Compatible logical node classes and data classes*

IEC 61850-9-2, *Communication networks and systems for power utility automation – Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) – Sampled values over ISO/IEC 8802-3*

IEC 61869-9:2016, *Instrument transformers – Part 9: Digital interface for instrument transformers*

IEEE Std C37.2-2008, *IEEE Standard Electrical Power System Device Function Numbers, Acronyms, and Contact Designations*

IEC/IEEE 60255-118-1, *Measuring relays and protection equipment – Part 118-1: Synchrophasor Measurements for Power Systems - Measurements*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	97
1 Domaine d'application	99
2 Références normatives	100
3 Termes et définitions	100
4 Spécification de la fonction	104
4.1 Généralités	104
4.2 Grandeurs d'alimentation d'entrée/grandeurs d'alimentation	104
4.3 Signaux d'entrée binaires	105
4.4 Logique fonctionnelle	106
4.4.1 Caractéristiques de fonctionnement	106
4.4.2 Caractéristiques de retour	108
4.5 Fonctions/conditions d'influence supplémentaires	109
4.5.1 Généralités	109
4.5.2 Caractéristiques spécifiques pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence	109
4.5.3 Caractéristiques spécifiques de la protection à dérivée de fréquence (ROCOF)	110
4.6 Signaux de sortie binaires	110
4.6.1 Généralités	110
4.6.2 Signal de démarrage	110
4.6.3 Signal de fonctionnement (déclenchement)	110
4.6.4 Autres signaux de sortie binaires	111
5 Spécification de la performance	111
5.1 Généralités	111
5.2 Domaine de précision et domaine de fonctionnement	111
5.3 Précision liée à la grandeur caractéristique	112
5.4 Temps de démarrage pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence	112
5.5 Temps de démarrage relatif à la protection à dérivée de fréquence (ROCOF)	113
5.6 Précision liée à la temporisation du temps de fonctionnement	113
5.7 Temps de dégagement	114
5.8 Hystérésis de retour et rapport de retour	114
5.9 Précision liée aux éléments de tenue/de blocage	114
5.10 Performance en présence d'harmoniques	114
5.11 Stabilité dans le cas d'une variation subite de tension (saut de phase et changement d'amplitude)	115
5.12 Exigences relatives à l'entrée tension	115
6 Méthodologie pour les essais fonctionnels	115
6.1 Généralités	115
6.2 Détermination des erreurs en régime établi relatives à la grandeur caractéristique	117
6.2.1 Précision de la valeur de démarrage	117
6.2.2 Détermination de l'hystérésis de retour ou du rapport de retour	124
6.3 Détermination du temps de démarrage	135
6.3.1 Généralités	135
6.3.2 Protections à minimum/maximum de fréquence	135
6.3.3 Dérivée de fréquence	142

6.4	Détermination de la précision de la temporisation de fonctionnement.....	145
6.4.1	Généralités	145
6.4.2	Description de la méthode d'essai	145
6.4.3	Déclaration de la précision de la temporisation du temps de fonctionnement.....	148
6.5	Détermination du temps de dégagement	148
6.5.1	Généralités	148
6.5.2	Protections à minimum/à maximum de fréquence	149
6.5.3	Dérivée de fréquence	152
6.6	Performance en présence d'harmoniques	154
6.6.1	Généralités	154
6.6.2	Précision de la valeur de démarrage des protections à minimum/à maximum de fréquence en présence d'harmoniques.....	154
6.6.3	Précision de la valeur de démarrage pour la protection à dérivée de fréquence en présence d'harmoniques.....	159
6.7	Stabilité dans le cas d'une variation subite de tension (saut de phase et changement d'amplitude)	161
6.7.1	Généralités	161
6.7.2	Performance dans le cas d'un saut de phase et d'un changement d'amplitude de la tension	161
6.7.3	Performance dans le cas de perte totale de la tension, suivie d'un retour de tension	165
7	Exigences relatives à la documentation	167
7.1	Rapport d'essai de type	167
7.2	Documentation pour d'autres utilisateurs.....	168
Annexe A (normative) Formule du signal d'essai avec une variation de fréquence constante (df/dt)		169
Annexe B (normative) Calcul de la moyenne, de la médiane et du mode.....		170
B.1	Moyenne	170
B.2	Médiane.....	170
B.3	Mode	170
B.4	Exemple.....	170
Annexe C (informative) Exemple de mesure et de calcul de fréquence		171
C.1	Définitions.....	171
C.2	Modèle d'observation du signal	171
C.3	Exigences générales relatives à la mesure de la fréquence	173
C.3.1	Exigences générales relatives à la mesure de la fréquence	173
C.3.2	Algorithme périodique	173
C.3.3	Algorithme d'analyse	175
C.3.4	Algorithme d'atténuation d'erreur	176
C.3.5	Transformée de Fourier discrète	179
Annexe D (informative) Performance en présence d'inter-harmoniques.....		181
D.1	Généralités	181
D.2	Essai proposé: précision de la valeur de démarrage pour la protection à minimum/à maximum de fréquence	181
D.2.1	Description de la rampe de fréquence générée	181
D.2.2	Réglages des fonctions de protection	183
D.2.3	Points d'essai et calcul de la précision de fréquence en présence d'inter-harmoniques	183

D.2.4	Déclaration de la précision de fréquence en présence d'inter-harmoniques.....	184
Annexe E (informative) Gestion des variations subites de fréquence sans discontinuité au niveau de la forme d'onde de tension		185
Bibliographie.....		188
Figure 1 – Temps de fonctionnement et temporisation du temps de fonctionnement		102
Figure 2 – Schéma de principe simplifié d'une fonction de protection		104
Figure 3 – Caractéristique à temps indépendant pour la protection à minimum de fréquence		106
Figure 4 – Caractéristique à temps indépendant pour la protection à maximum de fréquence		107
Figure 5 – Caractéristique à temps indépendant pour la protection ROCOF (dérivée de fréquence négative ou positive)		107
Figure 6 – Schéma explicatif détaillant les temps de démarrage, de fonctionnement, de dégagement et de retour		109
Figure 7 – Exemple de méthode d'essai pour la protection à maximum de fréquence.....		118
Figure 8 – Exemple de méthode d'essai pour une fonction de protection à dérivée de fréquence positive.....		121
Figure 9 – Rampes de fréquence pour l'évaluation de l'hystérésis de retour associée aux fonctions de protection à maximum de fréquence		126
Figure 10 – Rampes de fréquence pour l'évaluation de l'hystérésis de retour associée aux fonctions de protection à minimum de fréquence		126
Figure 11 – Méthode d'essai pour la mesure de la valeur de retour des fonctions de protection ROCOF: exemple d'une fonction de protection à dérivée de fréquence positive		130
Figure 12 – Mesure du temps de démarrage de la protection à maximum de fréquence avec variation subite de fréquence		136
Figure 13 – Mesure du temps de démarrage de la protection à maximum de fréquence avec rampe de fréquence à pente de fréquence constante.....		137
Figure 14 – Exemple de déclaration du temps de démarrage des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence.....		142
Figure 15 – Mesure du temps de démarrage d'une fonction de protection à dérivée de fréquence positive		143
Figure 16 – Histogramme des résultats d'essai du temps de démarrage de la protection ROCOF.....		145
Figure 17 – Mesure de la temporisation du temps de fonctionnement des fonctions de protection à maximum de fréquence et des fonctions de protection à dérivée de fréquence positive.....		146
Figure 18 – Mesure du temps de dégagement de la protection à maximum de fréquence avec variation subite de fréquence		149
Figure 19 – Mesure du temps de dégagement de la protection à maximum de fréquence avec rampe de fréquence à pente de fréquence constante		150
Figure 20 – Mesure du temps de dégagement de la fonction de protection ROCOF		152
Figure 21 – Histogramme des résultats d'essai du temps de dégagement pour la protection ROCOF		154
Figure 22 – Exemple de rampe de fréquence pseudo-continue croissante des fonctions de protection à maximum de fréquence.....		155
Figure 23 – Signal de tension en présence d'harmoniques superposés		157

Figure 24 – Représentation de la séquence d'injection de la grandeur d'alimentation d'entrée (tension en valeur efficace)	164
Figure 25 – Représentation de la séquence d'injection de la grandeur d'alimentation d'entrée (tension en valeur efficace) avec les valeurs de fréquence associées	166
Figure C.1 – Algorithme basé sur le passage par zéro	174
Figure C.2 – Algorithme basé sur le franchissement d'un seuil	174
Figure D.1 – Exemple de rampe de fréquence pseudo-continue croissante pour les fonctions de protection à maximum de fréquence	182
Figure E.1 – Exemple de forme d'onde de tension sans discontinuité à $t_0 = 0,02$ s	186
Figure E.2 – Exemple de forme d'onde de tension avec discontinuité à $t_0 = 0,02$ s	187
Tableau 1 – Désignation de la protection de fréquence	99
Tableau 2 – Exemple de domaine de précision et de domaine de fonctionnement pour la protection à minimum/maximum de fréquence	111
Tableau 3 – Exemple de domaine de précision et de domaine de fonctionnement pour la protection ROCOF	112
Tableau 4 – Points d'essai pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence	120
Tableau 5 – Déclaration de la précision de fréquence	120
Tableau 6 – Déclaration de la précision de fréquence (autre solution)	121
Tableau 7 – Points d'essai pour la fonction de protection ROCOF	124
Tableau 8 – Déclaration de la précision de la protection ROCOF	124
Tableau 9 – Points d'essai pour l'hystérésis de retour des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence	128
Tableau 10 – Déclaration de l'hystérésis de retour pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence	129
Tableau 11 – Points d'essai pour la valeur de retour de la fonction de protection ROCOF	134
Tableau 12 – Déclaration de la valeur de retour de la fonction de protection ROCOF	134
Tableau 13 – Points d'essai pour le temps de démarrage de la fonction de protection à maximum de fréquence	139
Tableau 14 – Points d'essai pour le temps de démarrage de la fonction de protection à minimum de fréquence	140
Tableau 15 – Déclaration du temps de démarrage des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence	141
Tableau 16 – Points d'essai pour le temps de démarrage de la fonction de protection à minimum de fréquence	144
Tableau 17 – Déclaration du temps de démarrage typique de la fonction de protection ROCOF	145
Tableau 18 – Points d'essai pour la mesure de la temporisation du temps de fonctionnement	147
Tableau 19 – Points d'essai pour la précision de la temporisation du temps de fonctionnement	147
Tableau 20 – Déclaration de la précision de la temporisation du temps de fonctionnement des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence	148
Tableau 21 – Points d'essai pour le temps de dégagement de la fonction de protection à maximum de fréquence	151
Tableau 22 – Points d'essai pour le temps de dégagement de la fonction de protection à minimum de fréquence	151

Tableau 23 – Déclaration du temps de dégagement des fonctions de protection à maximum/minimum de fréquence	151
Tableau 24 – Points d'essai pour le temps de dégagement de la fonction de protection ROCOF	153
Tableau 25 – Temps de dégagement typique de la protection ROCOF	154
Tableau 26 – Harmoniques superposés	156
Tableau 27 – Points d'essai pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence en présence d'harmoniques	159
Tableau 28 – Points d'essai pour les fonctions de protection ROCOF en présence d'harmoniques	160
Tableau 29 – Réglages des protections à minimum/à maximum de fréquence pour les essais de stabilité dans le cas d'une perte de tension/d'un retour de tension	166
Tableau D.1 – Inter-harmoniques superposés	182
Tableau D.2 – Points d'essai pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence en présence d'inter-harmoniques	184

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RELAIS DE MESURE ET DISPOSITIFS DE PROTECTION –

**Partie 181: Exigences fonctionnelles relatives
aux protections de fréquence**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60255-181 a été établie par le comité d'études 95 de l'IEC: Relais de mesure et dispositifs de protection.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
95/402/FDIS	95/409/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette Norme internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60255, publiées sous le titre général *Relais de mesure et dispositifs de protection*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

RELAIS DE MESURE ET DISPOSITIFS DE PROTECTION –

Partie 181: Exigences fonctionnelles relatives aux protections de fréquence

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60255 spécifie les exigences minimales relatives à l'évaluation fonctionnelle et à l'évaluation de la performance des protections de fréquence. Le présent document définit également comment documenter et publier les résultats des essais de performance.

Le présent document couvre les fonctions basées sur la mesure de fréquence ou la mesure de la dérivée de fréquence. Il couvre également la protection de fréquence lorsque des éléments de blocage complémentaires sont utilisés.

Le présent document définit les facteurs d'influence qui affectent la précision dans des conditions de régime établi et les caractéristiques de performance dans des conditions dynamiques. Les méthodologies d'essai pour la vérification des caractéristiques de performance et de précision figurent également dans le présent document.

Les fonctions relatives à la fréquence qui sont couvertes par le présent document sont présentées dans le Tableau 1:

Tableau 1 – Désignation de la protection de fréquence

	Code IEEE/ANSI C37.2 associé à la fonction	Nœuds logiques de l'IEC 61850-7-4
Protection à minimum de fréquence	81U	PTUF
Protection à maximum de fréquence	81O	PTOF
Protection à dérivée de fréquence (ROCOF)	81R	PFRC

Le présent document fonctionnel s'applique aux fonctions relatives à la fréquence qui sont intégrées dans un relais de protection, mais aussi à d'autres dispositifs physiques intégrant une protection de fréquence (par exemple dans l'unité de protection intégrée dans un disjoncteur basse tension ou dans les convertisseurs statiques associés à un système photovoltaïque ou de stockage énergétique).

Le présent document ne couvre pas les fonctions de synchrocoupleur ni de contrôle de synchronisme.

Il ne spécifie pas la description fonctionnelle des caractéristiques complémentaires qui sont souvent associées aux fonctions relatives à la fréquence, telles que le blocage sur minimum de tension, la supervision par la dérivée de fréquence, df/dt ou $\Delta f/\Delta t$, la supervision par la valeur du courant ou de la puissance (fonction f/P). Le présent document couvre uniquement l'influence des caractéristiques complémentaires sur la fonction de protection de fréquence.

Les mesures de la fréquence et de la dérivée de fréquence éventuellement fournies par les dispositifs de protection ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

En outre, le présent document ne couvre pas explicitement les relais de fréquence qui exploitent le courant comme grandeur d'alimentation d'entrée, mais les principes ici décrits peuvent être étendus afin de fournir des recommandations pour ces applications.

Les exigences générales relatives aux relais de mesure et aux dispositifs de protection sont définies dans l'IEC 60255-1.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60255-1, *Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 1: Exigences communes*

IEC 60050-103, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 103: Mathématiques – Fonctions*

IEC 60050-447, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 447: Relais de mesure*

IEC 60050-601, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique – Généralités*

IEC 61850 (toutes les parties), *Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques*

IEC 61869 (toutes les parties), *Transformateurs de mesure*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 60050-103, IEC 60050-447, IEC 60050-601 ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

grandeur d'alimentation d'entrée

grandeur d'alimentation qui constitue par elle-même la grandeur caractéristique ou qui est nécessaire à sa constitution

Note 1 à l'article: Pour la fonction de protection de fréquence, la grandeur caractéristique d'entrée peut correspondre à une tension.

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-03-02, modifié – La note à l'article a été remplacée par une nouvelle note.]

3.2

grandeur caractéristique

grandeur électrique ou un de ses paramètres dont le nom caractérise un relais de mesure ou des dispositifs de protection et dont les valeurs font l'objet d'exigences relatives à la précision

Note 1 à l'article: Pour la protection à minimum de fréquence et la protection à maximum de fréquence, la grandeur caractéristique est la fréquence; pour la protection à dérivée de fréquence, la grandeur caractéristique est la dérivée de fréquence.

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-07-01, modifié – Les exemples ont été remplacés par une nouvelle note à l'article.]

3.3

courbe caractéristique

courbe représentant la relation entre le temps de fonctionnement théorique spécifié et la grandeur caractéristique

3.4

valeur de réglage de la grandeur caractéristique

G_S

valeur de la grandeur caractéristique utilisée comme référence pour la définition de la courbe caractéristique

3.5

valeur de démarrage

valeur de la grandeur caractéristique pour laquelle un relais de mesure ou un dispositif de protection démarre (s'active)

Note 1 à l'article: La valeur de démarrage est également appelée valeur de déclenchement.

3.6

valeur de retour

valeur de la grandeur caractéristique pour laquelle un relais de mesure ou un dispositif de protection retourne à sa valeur de repos

3.7

temps de démarrage

temps écoulé entre l'instant où la ou les grandeurs d'alimentation d'entrée subissent une variation spécifiée, susceptible d'entraîner le démarrage du relais de mesure ou du dispositif de protection à son état initial ou à l'état de retour, et l'instant où il démarre (s'active)

Note 1 à l'article: Le temps de démarrage est également appelé temps de fonctionnement instantané.

3.8

temps de fonctionnement

temps écoulé entre l'instant où la ou les grandeurs d'alimentation d'entrée subissent une variation spécifiée, susceptible d'entraîner le fonctionnement du relais de mesure ou du dispositif de protection à son état initial ou à l'état de retour, et l'instant où il fonctionne

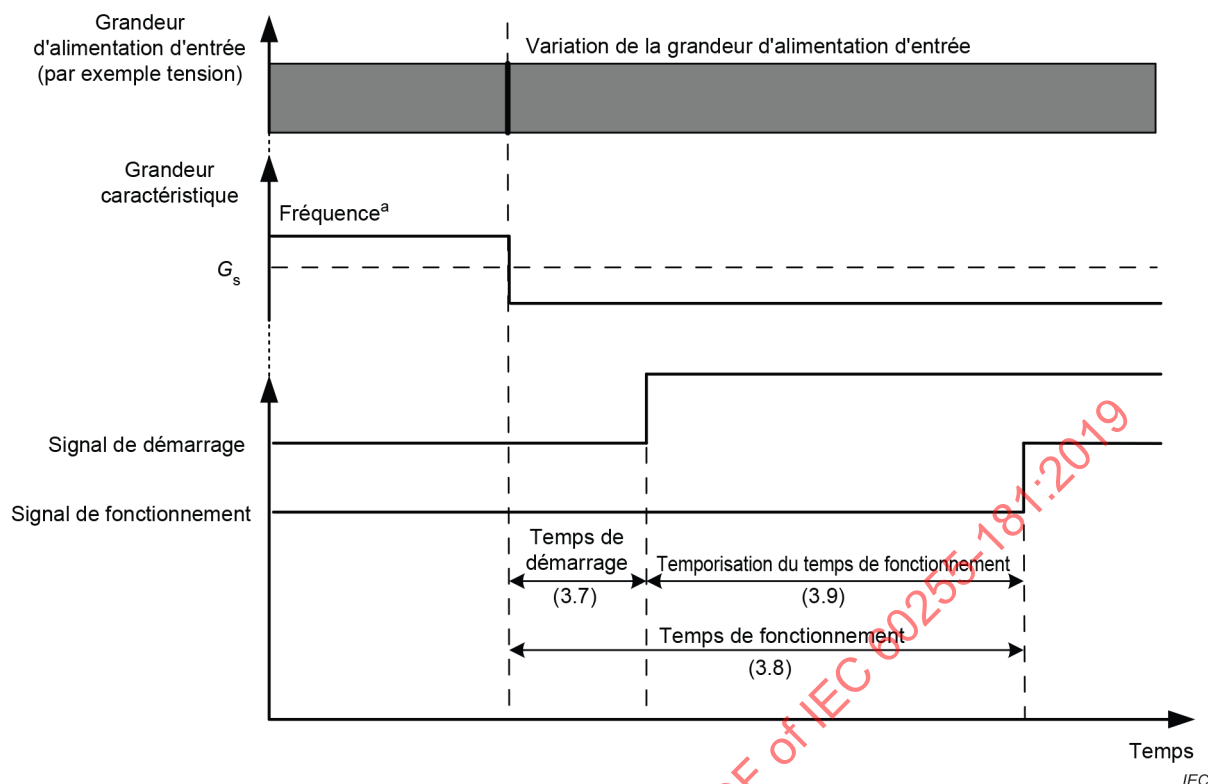
Note 1 à l'article: Le temps de fonctionnement de la fonction de protection correspond à la somme du temps de démarrage et de la temporisation du temps de fonctionnement.

3.9

temporisation du temps de fonctionnement

temporisation définie intentionnellement par le biais d'un réglage utilisateur, qui est déclenchée par le signal de démarrage pour confirmer le signal de fonctionnement

Note 1 à l'article: Le temps de fonctionnement de la fonction de protection de fréquence correspond à la somme du temps de démarrage (temps de fonctionnement instantané) et de la temporisation du temps de fonctionnement. La différence entre le temps de fonctionnement et la temporisation du temps de fonctionnement est spécifiée dans la Figure 1. La Figure 1 prend pour hypothèse une variation subite de la fréquence, afin de rendre plus explicite la définition de l'initialisation du temps de démarrage.



^a L'exemple est celui d'une protection à minimum de fréquence.

Figure 1 – Temps de fonctionnement et temporisation du temps de fonctionnement

3.10

temps de dégagement

temps écoulé entre l'instant où la ou les grandeurs d'alimentation d'entrée subissent une variation spécifiée, susceptible de faire dégager le relais de mesure ou le dispositif de protection à l'état de fonctionnement et l'instant où il dégage

3.11

temps de retour

durée entre l'instant où la ou les grandeurs d'alimentation d'entrée subissent une variation spécifiée, susceptible d'entraîner le retour du relais de mesure ou du dispositif de protection et l'instant où il retourne à sa valeur de repos

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-05-06, modifié. Voir Figure 6.]

3.12

hystérésis de retour

valeur absolue correspondant à la différence entre la valeur de retour et la valeur de démarrage de la fonction de protection

3.13

rapport de retour

rapport de la valeur de retour sur la valeur de démarrage de la fonction de protection

Note 1 à l'article: Le rapport de retour est utilisé pour la dérivée de fréquence, comme défini en 4.4.2 et 5.8.

3.14

domaine de fonctionnement

domaine à l'intérieur duquel dans des conditions spécifiées, un relais de mesure est capable d'assurer sa fonction prévue, conformément aux exigences spécifiées

Note 1 à l'article: Lorsque des exigences concernant la précision doivent être respectées, voir domaine de précision (IEC 60050-447:2010, 447-07-08).

Note 2 à l'article: Un niveau minimal de la grandeur d'alimentation d'entrée, par exemple la tension, est exigé pour pouvoir calculer correctement la fréquence industrielle.

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-03-16, modifié – La Note 2 à l'article a été ajoutée.]

3.15

domaine de précision

partie du domaine de fonctionnement d'une grandeur d'alimentation d'un relais ou de sa grandeur caractéristique, à l'intérieur de laquelle les exigences relatives à la précision sont remplies

Note 1 à l'article: Le terme "étendue de mesure" a été remplacé par "domaine de précision".

[SOURCE: IEC 60050-447:2010, 447-07-08, modifié – la note 1 a été ajoutée]

3.16

protection à dérivée de fréquence

ROCOF

fonction de protection destinée à fonctionner au-delà d'une valeur donnée de la variation de fréquence divisée par le temps

Note 1 à l'article: Le terme abrégé "ROCOF" est dérivé du terme anglais développé correspondant "Rate Of Change Of Frequency".

3.17

période

T

différence positive minimale entre deux valeurs de la variable indépendante pour lesquelles se reproduisent identiquement les valeurs d'une grandeur périodique

Note 1 à l'article: Si $f(t)$ représente une grandeur périodique, on a $f(t + T) = f(t)$.

Note 2 à l'article: Cette note ne concerne que la version anglaise.

Note 3 à l'article: Le symbole T est utilisé principalement pour représenter la période lorsque la variable indépendante est le temps.

[SOURCE: IEC 60050-103:2009, 103-06-01]

3.18

fréquence

f

inverse de la période

Note 1 à l'article: Le symbole f est utilisé principalement lorsque la période est un temps. Le symbole ν (nu) est utilisé principalement en optique.

Note 2 à l'article: Pour une forme d'onde sinusoïdale, la fréquence est la première dérivée de la phase du signal (voir IEC/IEEE 60255-118-1:2018). Une description détaillée est donnée à l'Annexe D.

[SOURCE: IEC 60050-103:2017, 103-06-02, modifié – La Note 2 à l'article a été remplacée par une nouvelle note.]

3.19

fréquence industrielle

désignation conventionnelle des valeurs des fréquences utilisées dans les réseaux d'énergie électrique

[SOURCE: IEC 60050-601:1985, 601-01-05]

4 Spécification de la fonction

4.1 Généralités

La Figure 2 donne un exemple de fonction de protection avec ses entrées et sorties, l'élément de mesure, les caractéristiques de temporisation et la logique fonctionnelle. Le fabricant doit fournir le schéma synoptique fonctionnel spécifique à l'implémentation de la fonction.

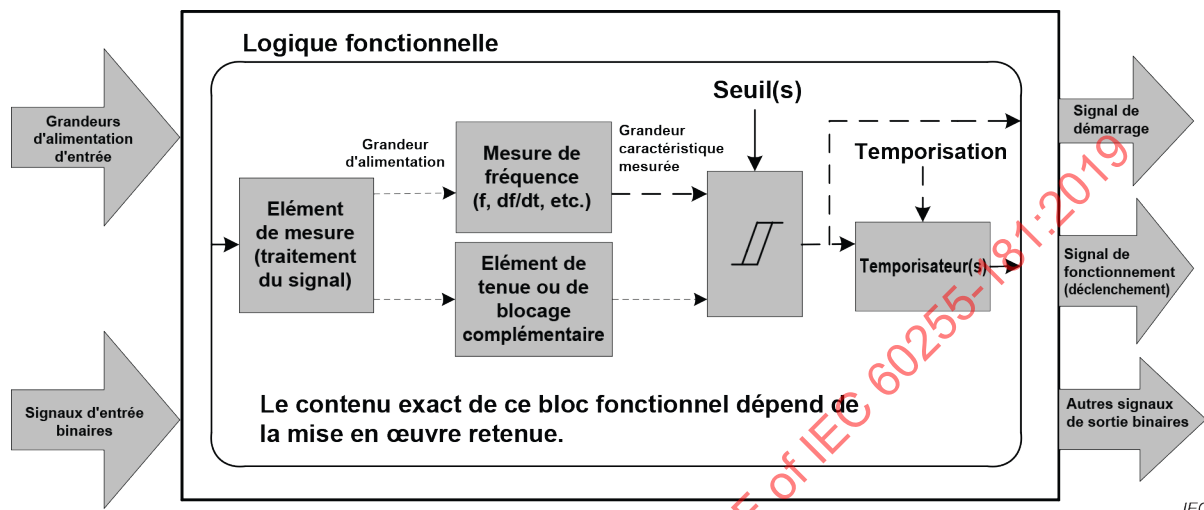


Figure 2 – Schéma de principe simplifié d'une fonction de protection

4.2 Grandeurs d'alimentation d'entrée/grandeurs d'alimentation

Les grandeurs d'alimentation d'entrée correspondent aux signaux mesurés, par exemple des tensions. Pour les entrées analogiques, leurs caractéristiques nominales et les normes pertinentes sont spécifiées dans l'IEC 60255-1. L'acquisition des grandeurs d'alimentation d'entrée peut se faire par connexion directe avec des conducteurs primaires (par exemple un jeu de barres basse tension) ou à partir de transformateurs de mesure (par exemple des transformateurs de tension (VT, Voltage Transformer), conformément à l'IEC 61869 (toutes parties), ou bien sous forme de données numériques transitant par un port de communication à l'aide d'un protocole de communication approprié (tel que celui donné dans l'IEC 61850-9-2 et plus spécifiquement l'IEC 61869-9).

La documentation de la fonction de protection doit spécifier le type de grandeurs d'alimentation d'entrée utilisé par la fonction de protection. Exemples:

- mesure de tension phase-terre ou phase-neutre pour une ou plusieurs phases;
- mesure de tension phase-phase pour une ou plusieurs phases;
- courants de phase.

Le fabricant doit spécifier les grandeurs d'alimentation utilisées pour le fonctionnement de la protection de fréquence. Comme représenté à la Figure 2, les grandeurs d'alimentation peuvent différer des grandeurs d'alimentation d'entrée, par exemple:

- utilisation d'une tension entre phase et terre (tension simple), ou entre phases (tension composée);
- utilisation de deux sources de tension différentes;
- utilisation de signaux dérivés issus de grandeurs de phase comme la tension directe ou les tensions composées calculées à partir des tensions simples, etc.;
- utilisation du courant, par exemple courant de phase, ou courant direct, etc.

Le fabricant doit spécifier la grandeur caractéristique utilisée pour le fonctionnement des protections de fréquence. Exemples:

- mesure de la fréquence industrielle;
- mesure de la dérivée de fréquence (df/dt) (ROCOF).

La fréquence industrielle et la grandeur df/dt peuvent être mesurées sur une fenêtre temporelle différente (par exemple un ou plusieurs cycles de la fréquence industrielle). Cette fenêtre temporelle peut être fixe ou ajustable par un réglage accessible à l'utilisateur. Si cette fenêtre temporelle est ajustable, la valeur de réglage a un impact sur la caractéristique temporelle (par exemple le temps de démarrage).

Le fabricant doit indiquer si la mesure de fréquence ou la mesure ROCOF est impactée par un réglage utilisateur (par exemple calcul d'une fréquence moyenne sur un nombre de cycles ajustable). Dans ce cas, le fabricant doit déclarer l'impact de ces réglages sur les performances de la fonction, et recommander des réglages pour les essais fonctionnels impactés par ce réglage et pour les cas d'applications.

Toutes ces grandeurs caractéristiques sont basées sur la mesure d'une fréquence de base. Il existe différents algorithmes, dont une sélection est décrite à l'Annexe C.

Si le dispositif de protection n'est pas équipé d'entrée tension ou si les signaux de tension ne sont pas présents ou s'ils sont inférieurs à un seuil de blocage, la mesure de fréquence peut être effectuée sur les entrées courant de phase. Ce mode opératoire est généralement utilisé pour gérer l'asservissement de fréquence associé au traitement du signal; il n'est pas recommandé pour réaliser les fonctions de protection de fréquence. Le fabricant doit déclarer si les courants de phase sont utilisés comme grandeurs d'alimentation d'entrée pour les fonctions de protection de fréquence. Les performances de la protection de fréquence qui dépendent du courant de phase ne sont pas couvertes par les essais de type décrits à l'Article 6, mais le principe d'essai peut être étendu afin de fournir des recommandations pour ces applications.

4.3 Signaux d'entrée binaires

Si des signaux d'entrée binaires (d'origine externe ou interne) sont utilisés, leur influence sur la fonction de protection doit être clairement explicitée dans le schéma de principe fonctionnel. Un texte descriptif supplémentaire peut également être inséré, afin de clarifier la fonctionnalité des signaux d'entrée et leur utilisation prévue.

Les signaux d'entrée binaires de cette fonction peuvent provenir de plusieurs sources différentes. Exemples:

- liaison filaire conventionnelle sur des entrées logiques physiques (habituellement les entrées TOR à isolement galvanique);
- par un port de communications partagé avec des dispositifs externes utilisant par exemple des signaux GOOSE conformément à l'IEC 61850;
- par des connexions logiques internes en provenance d'autres éléments fonctionnels au sein du relais de protection comme un blocage sur minimum de tension, la supervision df/dt ou $\Delta f/\Delta t$ ou encore la supervision en fonction du courant ou de la puissance (fonction f/P);
- par une logique interne au sein des éléments de la protection de fréquence.

La méthode de réception du signal ne relève pas du domaine d'application des essais fonctionnels, excepté si elle est imposée par les exigences fonctionnelles. Les définitions, caractéristiques nominales et normes applicables aux signaux d'entrée binaires sont spécifiées dans l'IEC 60255-1.

4.4 Logique fonctionnelle

4.4.1 Caractéristiques de fonctionnement

4.4.1.1 Généralités

La relation entre le temps de fonctionnement et la grandeur caractéristique peut être exprimée au moyen d'une courbe caractéristique. La forme de cette courbe doit être déclarée par le fabricant par le biais d'une formule (méthode à privilégier) ou par une représentation graphique.

Le présent document spécifie une caractéristique à temps indépendant (c'est-à-dire une temporisation à temps constant).

La caractéristique à temps indépendant est définie par la valeur de réglage de la grandeur caractéristique G_S et la temporisation du temps de fonctionnement t_{delay} . Si aucune temporisation intentionnelle n'est utilisée, alors la fonction de protection est considérée comme une fonction instantanée.

4.4.1.2 Caractéristique de la protection à minimum de fréquence

Pour la fonction de protection à minimum de fréquence, $t_{(G)} = t_{\text{delay}}$ lorsque $G < G_S$. La caractéristique à temps indépendant est représentée à la Figure 3.

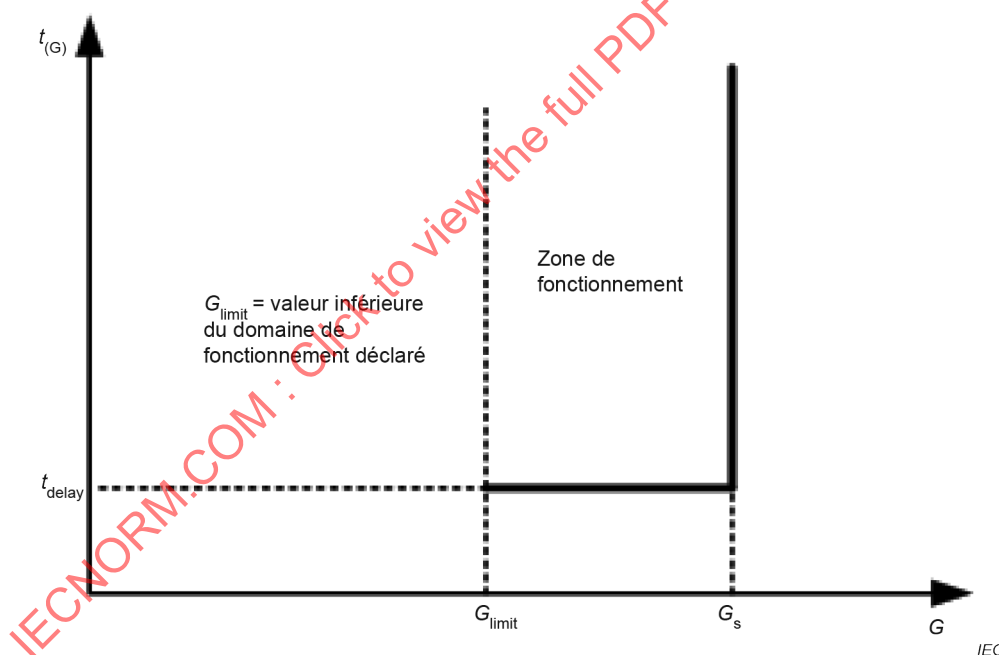


Figure 3 – Caractéristique à temps indépendant pour la protection à minimum de fréquence

NOTE La précision des caractéristiques temporelles est garantie sur le domaine de précision, mais la fonction est susceptible d'être opérationnelle sur le domaine de fonctionnement, comme décrit en 5.2.

4.4.1.3 Caractéristique de la protection à maximum de fréquence

Pour la fonction de protection à maximum de fréquence, $t_{(G)} = t_{\text{delay}}$ lorsque $G < G_S$. La caractéristique à temps indépendant est représentée à la Figure 4.

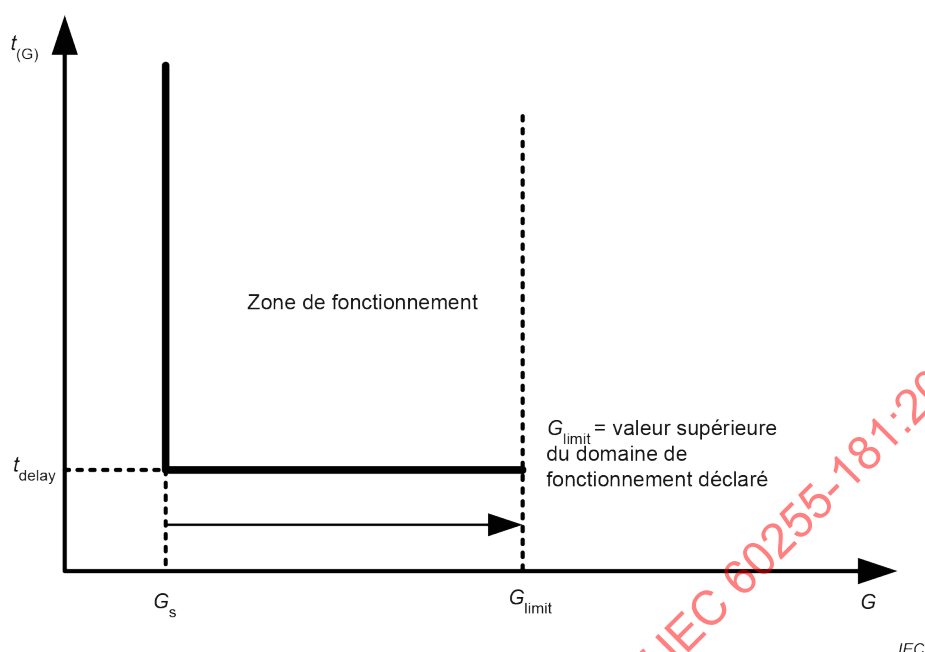


Figure 4 – Caractéristique à temps indépendant pour la protection à maximum de fréquence

NOTE La précision des caractéristiques temporelles est garantie sur le domaine de précision, mais la fonction est susceptible d'être opérationnelle sur le domaine de fonctionnement, comme décrit en 5.2.

4.4.1.4 Caractéristique de la protection à dérivée de fréquence (ROCOF)

Pour la fonction ROCOF, $t_{(G)} = t_{\text{delay}}$ lorsque $|G| < |G_s|$. La caractéristique à temps indépendant est représentée à la Figure 5.

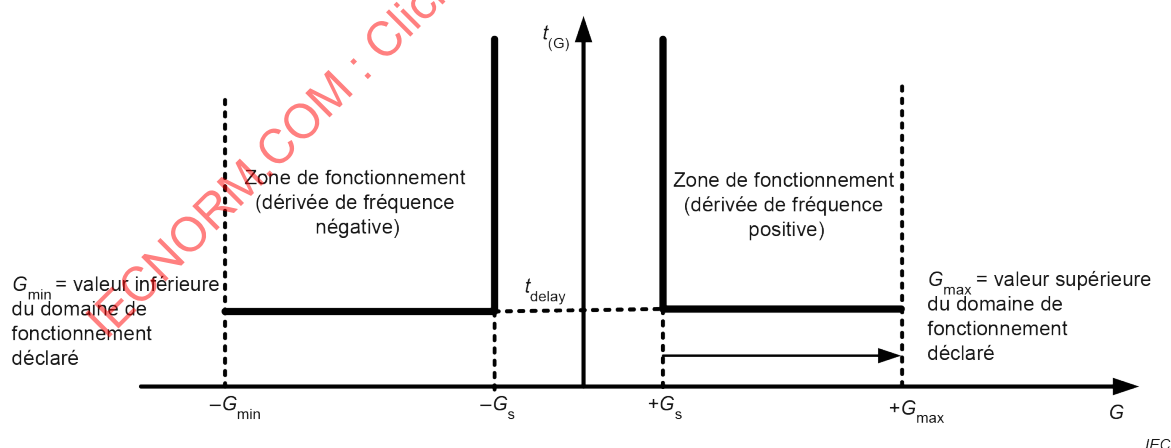


Figure 5 – Caractéristique à temps indépendant pour la protection ROCOF (dérivée de fréquence négative ou positive)

NOTE La précision des caractéristiques temporelles est garantie sur le domaine de précision, mais la fonction est susceptible d'être opérationnelle sur le domaine de fonctionnement, comme décrit en 5.2.

La caractéristique de fonctionnement peut être définie pour une dérivée de fréquence positive seulement, négative seulement ou aussi bien positive que négative, selon un réglage utilisateur. Une telle caractéristique de fonctionnement doit être déclarée par le fabricant. Les seuils positifs et négatifs peuvent être différents, et gérés par deux éléments ROCOF distincts.

4.4.2 Caractéristiques de retour

Il n'y a généralement pas de temporisation intentionnelle sur un retour à l'état repos. La fonction doit revenir à son état repos lorsque:

- $G < G_s +$ (hystérésis de retour), pour la fonction de protection à minimum de fréquence;
- $G < G_s -$ (hystérésis de retour), pour la fonction de protection à maximum de fréquence; et
- $|G| < (\text{rapport de retour}) \times |G_s|$ ou $|G| < |G_s| -$ (hystérésis de retour), pour la fonction ROCOF, ou la formule applicable lorsqu'une valeur df/dt signée est utilisée.

Et

hystérésis de retour = valeur de retour – valeur de fonctionnement

rapport de retour = $\frac{\text{valeur de retour}}{\text{valeur de fonctionnement}}$

Pour les fonctions ROCOF, le rapport de retour peut être associé à une hystérésis de retour minimale absolue, applicable aux valeurs des seuils minimaux. Dans ce cas, la valeur de retour correspond à la plus grande valeur définie par le rapport de retour ou l'hystérésis de retour (par exemple, rapport de retour de 98 % avec hystérésis de retour minimale à 40 mHz/s).

Avec les fonctions de protection de fréquence, seul le temps de dégagement doit être déclaré. Les fonctions de protection de fréquence n'intègrent généralement pas de caractéristique de temps de retour réglable. La différence entre le temps de dégagement et le temps de retour est rappelée à la Figure 6.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

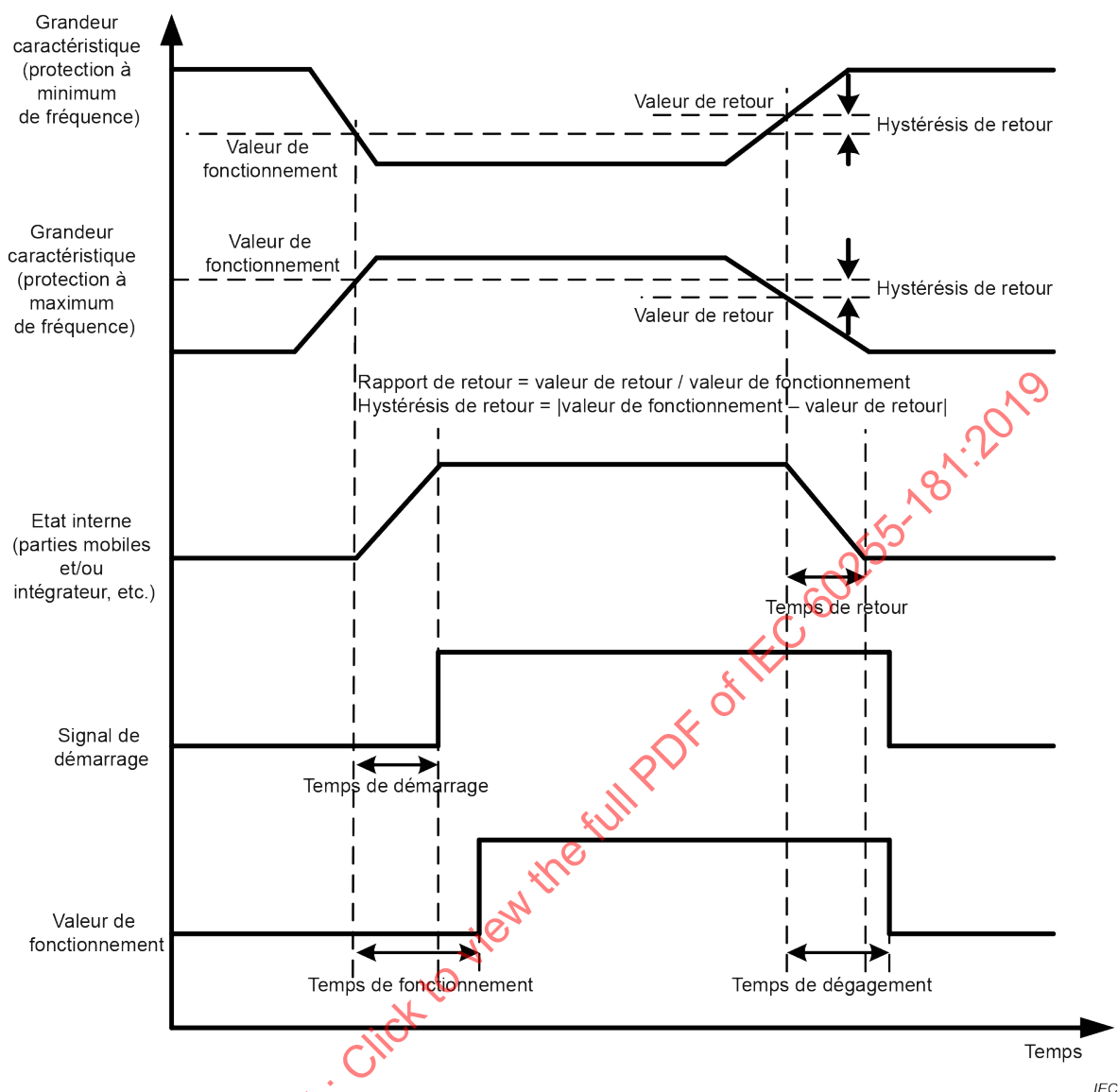


Figure 6 – Schéma explicatif détaillant les temps de démarrage, de fonctionnement, de dégagement et de retour

4.5 Fonctions/conditions d'influence supplémentaires

4.5.1 Généralités

Les conditions suivantes peuvent affecter le comportement de la fonction de protection de fréquence. Ces conditions peuvent être détectées grâce à des éléments fonctionnels supplémentaires, qui interagissent avec la protection de fréquence via des entrées tout ou rien (TOR), selon des modalités prédéfinies, par exemple en bloquant la protection de fréquence lorsque les niveaux de tension se situent au-dessous des limites prescrites. La performance de ces caractéristiques spécifiques doit être décrite par le fabricant dans la documentation. Le présent document ne précise pas les essais fonctionnels associés mais le fabricant doit décrire les méthodes d'essai employées pour vérifier ces caractéristiques dans le rapport d'essai de type.

4.5.2 Caractéristiques spécifiques pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

Voici des exemples de caractéristiques spécifiques pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence:

- blocage sur minimum de tension,
- supervision par le déséquilibre du circuit triphasé,
- supervision par la dérivée de fréquence df/dt ,
- supervision par le courant,
- supervision par la puissance (fonction f/P).

4.5.3 Caractéristiques spécifiques de la protection à dérivée de fréquence (ROCOF)

Voici des exemples de caractéristiques spécifiques pour les fonctions de protection ROCOF:

- blocage sur minimum de tension,
- supervision par le déséquilibre du circuit triphasé,
- supervision par un maximum/minimum de fréquence,
- supervision par le courant.

4.6 Signaux de sortie binaires

4.6.1 Généralités

Les signaux de sortie binaires de cette fonction peuvent être disponibles dans différents formats. Exemples:

- liaison filaire conventionnelle depuis les contacts de sortie physiques du dispositif de protection;
- par le port de communication à destination de dispositifs externes;
- par des connexions logiques internes à destination d'autres éléments fonctionnels au sein du dispositif de protection;
- par une logique interne au sein des éléments de protection de fréquence.

La méthode d'émission du signal ne relève pas du domaine d'application des essais fonctionnels, excepté si elle est imposée par les exigences fonctionnelles. Les définitions, caractéristiques nominales et normes applicables aux signaux de sortie binaires utilisant des contacts sont spécifiées dans l'IEC 60255-1.

4.6.2 Signal de démarrage

Le signal de démarrage correspond à la sortie des éléments de mesure et des éléments seuils, sans temporisation intentionnelle.

Le fabricant doit spécifier, dans la limite de ce qui est nécessaire pour garantir la bonne exécution de l'application et des essais, les informations sur les signaux de démarrage, la caractéristique et la logique utilisés pour l'élément de démarrage/de détection de défaut, les paramètres exigés, la signification et l'utilisation des réglages, et les signaux de sortie élaborés par la fonction.

En l'absence de signal de démarrage, le fabricant doit fournir des informations sur la façon dont doivent être menés les essais qui exploitent le signal de démarrage, comme défini à l'Article 6.

4.6.3 Signal de fonctionnement (déclenchement)

Le signal de fonctionnement correspond à la sortie des éléments de mesure et des éléments seuils, après expiration, le cas échéant, d'une temporisation intentionnelle de fonctionnement. Dans le cas d'éléments instantanés (temporisation nulle), ce signal peut se produire en même temps que le signal de démarrage (s'il est accessible).

4.6.4 Autres signaux de sortie binaires

Si un quelconque autre signal de sortie binaire est disponible, son mode de fonctionnement doit être clairement représenté sur le schéma de principe fonctionnel. Un texte descriptif supplémentaire peut également être inséré, s'il peut permettre de clarifier la fonctionnalité du signal de sortie et son utilisation prévue.

5 Spécification de la performance

5.1 Généralités

Comme le présent document spécifie les exigences minimales relatives à la protection de fréquence, seules les caractéristiques liées à ces exigences minimales sont définies et décrites ici. Le présent document définit également la façon dont la performance associée à ces exigences minimales doit être documentée par le fabricant.

5.2 Domaine de précision et domaine de fonctionnement

Les Tableaux 2 et 3 donnent des exemples sur la façon dont le domaine de précision et le domaine de fonctionnement doivent être déclarés par le fabricant, pour la protection à minimum/maximum de fréquence et la protection ROCOF. Selon la technologie de la protection de fréquence, le domaine peut ne pas correspondre au tableau donné, en ce sens que les valeurs sont données à titre d'exemple, pour indiquer le format des données. Le domaine de précision et le domaine de fonctionnement doivent être déclarés par le fabricant et les données doivent être publiées conformément au format présenté dans les Tableaux 2 et 3. Lorsque les domaines de précision et de fonctionnement sont exprimés en fonction de la tension nominale ou de la fréquence nominale, le fabricant doit déclarer les valeurs de ces grandeurs admises par la fonction de protection.

Tableau 2 – Exemple de domaine de précision et de domaine de fonctionnement pour la protection à minimum/maximum de fréquence

Grandeur	Domaine de précision	Domaine de fonctionnement
Tension	5 % à 150 % de la tension nominale	2 % à 200 % de la tension nominale
	2,9 V à 86,6 V (tension secondaire du VT)	1,5 V à 115,5 V (tension secondaire du VT)
Fréquence industrielle	0,95 à 1,05 fois la fréquence nominale	0,9 à 1,1 fois la fréquence nominale
	47,5 Hz à 52,5 Hz	45 Hz à 55 Hz
NOTE La plage de tensions peut être exprimée en pourcentage de la valeur de la tension nominale, ou en valeur absolue de tension (tension secondaire du VT). Dans le cas de plages déclarées en valeur absolue, la limite supérieure du domaine de précision est supérieure aux valeurs nominales acceptées (par exemple, valeur nominale de 57,7 V pour un domaine de précision pouvant s'étendre jusqu'à 86,6 V).		

Tableau 3 – Exemple de domaine de précision et de domaine de fonctionnement pour la protection ROCOF

Grandeur	Domaine de précision	Domaine de fonctionnement
Tension	5 % à 150 % de la tension nominale	2 % à 200 % de la tension nominale
	2,9 V à 86,6 V (tension secondaire du VT)	1,5 V à 115,5 V (tension secondaire du VT)
Fréquence industrielle^a	0,95 à 1,05 fois la fréquence nominale	0,9 à 1,1 fois la fréquence nominale
	47,5 Hz à 52,5 Hz	45 Hz à 55 Hz
ROCOF	-5 Hz/s à +5 Hz/s	-10 Hz/s à +10 Hz/s

NOTE La plage de tensions peut être exprimée en pourcentage de la valeur de la tension nominale ou en valeur absolue de tension (valeur secondaire du VT). Dans le cas de plages déclarées en valeur absolue, la limite supérieure du domaine de précision est supérieure aux valeurs nominales acceptées (par exemple, valeur nominale de 57,7 V pour un domaine de précision pouvant s'étendre jusqu'à 86,6 V).

^a Si l'algorithme qui mesure la dérivée de fréquence n'est pas affecté par la valeur de la fréquence, le fabricant doit spécifier la mention "sans objet". Le comportement de la protection ROCOF en dehors du domaine de précision de la fréquence industrielle doit être déclaré par le fabricant. Dans tous les cas, le domaine de la fréquence industrielle doit être cohérent avec le temps de démarrage pour tous les réglages de dérivée de fréquence (ROCOF) déclarés, afin de permettre la mise en œuvre des essais fonctionnels décrits à l'Article 6. En particulier, la fréquence industrielle initiale utilisée pour les essais fonctionnels est égale à la valeur nominale.

Lorsque des courants de phase sont utilisés comme grandeurs d'alimentation d'entrée pour la protection de fréquence, le fabricant doit déclarer le domaine de précision et le domaine de fonctionnement pour les courants.

Lorsque la caractéristique nominale des entrées tension du dispositif de protection dispose d'une valeur de tenue associée à la valeur du flux (V/Hz), le fabricant doit déclarer la courbe qui indique la valeur maximale en V/Hz en fonction du temps, pour respecter la tenue des entrées tension.

5.3 Précision liée à la grandeur caractéristique

Le fabricant doit déclarer la précision liée à la grandeur caractéristique, ainsi que la plage de valeurs de réglage sur laquelle elle s'applique. Le fabricant doit en outre déclarer le comportement de la fonction sur le domaine de fonctionnement déclaré.

Pour les protections à minimum/maximum de fréquence, la précision doit être déclarée en valeur absolue de la fréquence (par exemple ± 10 mHz). Outre la valeur absolue, une valeur relative à la valeur de réglage (G_s) peut être déclarée et la précision doit correspondre à la plus élevée des deux valeurs déclarées (par exemple " $\pm 0,01$ % ou ± 10 mHz, la plus élevée des deux valeurs").

Pour la protection ROCOF, la précision doit être déclarée en valeur relative de la valeur de réglage (G_s), ou en valeur absolue de df/dt ou encore en combinant ces deux valeurs (par exemple " ± 5 % ou ± 15 mHz/s, la plus élevée des deux valeurs"). Le fabricant peut déclarer des précisions variables sur la plage de réglages ROCOF.

Le mode opératoire d'essai pour l'évaluation de la précision liée à la grandeur caractéristique est défini en 6.2.1.

5.4 Temps de démarrage pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

Le temps de démarrage des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence dépend de plusieurs facteurs:

- la valeur initiale de la fréquence industrielle (généralement proche de la fréquence nominale);
- la valeur finale de la fréquence industrielle (dans des conditions d'essai en régime établi);
- le type de transition entre valeur initiale et valeur finale;
- la méthode de mesure de la fréquence, par exemple mesure de la fréquence sur la base de la moyenne, calculée sur une fenêtre temporelle variable.

Le temps de démarrage doit être déclaré par le fabricant avec le résultat de deux méthodes d'essai différentes:

- avec une variation subite entre la valeur d'essai initiale et la valeur finale de la fréquence;
- avec une dérivée de fréquence constante entre la valeur initiale et la valeur finale de la fréquence.

Des informations complètes sur la méthodologie d'essai et les points d'essai sont données en 6.3.2.

Pour chaque méthode d'essai, le fabricant doit fournir les temps de démarrage minimal, moyen et maximal, basés sur l'ensemble des points d'essai définis en 6.3.2. En outre, une représentation graphique de l'ensemble complet des résultats d'essai doit être fournie. Une clarification de la terminologie statistique est donnée à l'Annexe B.

Lorsque la mesure de la fréquence se base sur une fenêtre temporelle ajustable, définie par un réglage utilisateur, le temps de démarrage doit être déclaré avec la valeur de réglage par défaut pour ladite fenêtre temporelle ajustable.

5.5 Temps de démarrage relatif à la protection à dérivée de fréquence (ROCOF)

Le temps de démarrage des fonctions de protection ROCOF dépend de différents facteurs, similaires à ceux des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence. Le temps de démarrage doit être déclaré par le fabricant comme étant le résultat d'essais basés sur des dérivées de fréquence de valeurs différentes, avec une dérivée de fréquence constante entre la valeur d'essai initiale et la valeur d'essai finale de la fréquence.

Des informations complètes sur la méthodologie d'essai et les points d'essai définis sont données en 6.3.3.

Le fabricant doit fournir les temps de démarrage moyen, minimal et maximal, basés sur l'ensemble des points d'essai définis en 6.3.3. En outre, une représentation graphique de l'ensemble complet des essais doit être fournie, en indiquant le mode et la médiane. Une clarification de la terminologie statistique est donnée à l'Annexe B.

Lorsque la mesure de la fréquence se base sur une fenêtre temporelle ajustable, définie par un réglage utilisateur, le temps de démarrage doit être déclaré avec la valeur de réglage par défaut pour ladite fenêtre temporelle ajustable.

5.6 Précision liée à la temporisation du temps de fonctionnement

La temporisation du temps de fonctionnement correspond à la période entre l'instant où le signal de démarrage est activé et l'instant où le signal de fonctionnement est activé. Cette période est fixée par le réglage de la temporisation (t_{delay}), défini en 3.9.

La tolérance maximale admissible de la temporisation du temps de fonctionnement doit être exprimée de l'une ou l'autre des deux manières suivantes:

- un pourcentage de la valeur de réglage de la temporisation, associé à une tolérance de temps maximale fixe (lorsque celle-ci peut dépasser la valeur en pourcentage), la valeur retenue étant la plus élevée des deux (par exemple, $\pm 5\%$ ou $\pm 20\text{ ms}$);
- une tolérance de temps maximale fixe (par exemple $\pm 20\text{ ms}$).

Le fabricant doit déclarer la tolérance limite maximale applicable au réglage de la temporisation du temps de fonctionnement, pour toutes les valeurs définies par la plage de réglage.

Le mode opératoire d'essai pour l'évaluation de la temporisation du temps de fonctionnement est donné en 6.4.

Dans certaines mises en œuvre, le temps de mesure de l'algorithme (temps de fonctionnement instantané) peut être compris dans le temps de fonctionnement; il ne vient pas s'ajouter au réglage de temporisation tel que défini ci-dessus. Le fabricant doit déclarer la façon dont le temps de fonctionnement est géré dans les fonctions de protection de fréquence.

5.7 Temps de dégagement

Dans les applications de protection de fréquence, il peut être important de tenir compte du temps de dégagement des seuils de la protection de fréquence, lorsque la fréquence retrouve des conditions normales. Cette donnée a un impact sur la coordination des temporisations des différents étages de protection ou sur la coordination des protections de fréquence situées dans le réseau avec les protections de fréquence des générateurs, etc.

Le fabricant doit déclarer le temps de dégagement conformément au mode opératoire d'essai décrit en 6.5.

Si la protection de fréquence est proposée avec un temps de retour intentionnel réglable, le fabricant doit déclarer la façon dont le temps de retour est géré, et le mode opératoire d'essai associé doit être décrit dans le rapport d'essai de type.

5.8 Hystérésis de retour et rapport de retour

Pour une fonction de protection à minimum/maximum de fréquence, le fabricant doit déclarer l'hystérésis de retour constatée, exprimée en mHz (par exemple hystérésis de retour: 5 mHz).

Pour une fonction de protection ROCOF, le fabricant doit déclarer la valeur de retour, qui peut être limitée à un rapport de retour (par exemple rapport de retour de 98 %), ou bien définie par un rapport de retour associé à une valeur absolue de l'hystérésis de retour minimale, applicable aux valeurs seuils minimales (par exemple rapport de retour de 98 % avec une hystérésis de retour minimale de 40 mHz/s).

Le mode opératoire d'essai pour l'évaluation de l'hystérésis de retour et du rapport de retour est donné en 6.2.2.

NOTE Il n'existe pas de relation directe entre la précision déclarée (5.3) et l'hystérésis de retour ou le rapport de retour déclaré. L'hystérésis de retour, comme le rapport de retour, sont définis afin de masquer l'instabilité de la mesure et d'éviter le bagotement du signal de démarrage. Par exemple, l'hystérésis de retour peut être inférieure ou supérieure à la précision déclarée de la grandeur caractéristique. Plus l'instabilité de la mesure est grande, plus l'hystérésis de retour est élevée. L'amplitude de l'instabilité de la mesure n'est pas directement liée à la précision de la mesure.

5.9 Précision liée aux éléments de tenue/de blocage

Le fabricant doit déclarer les éléments de tenue ou de blocage utilisés. Lorsque les éléments de tenue ou de blocage intègrent des seuils spécifiques comme décrits en 4.5, le fabricant doit déclarer la précision de ces éléments.

5.10 Performance en présence d'harmoniques

Des conditions de charges non linéaires ou la présence d'un réseau haute tension à courant continu (HVDC, High Voltage Direct Current) à proximité peuvent induire la présence d'harmoniques superposés à la fréquence fondamentale des tensions (et des courants) mesurées par les protections de fréquence. La présence d'harmoniques sur une charge en

régime établi peut être simulée par l'injection de signaux en régime permanent. Ces harmoniques peuvent affecter la précision liée à la grandeur caractéristique des protections de fréquence.

La précision de la mesure de fréquence ou de la dérivée de fréquence en présence d'harmoniques doit être vérifiée conformément au mode opératoire d'essai décrit en 6.6.

5.11 Stabilité dans le cas d'une variation subite de tension (saut de phase et changement d'amplitude)

Pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence et les fonctions de protection ROCOF, le fabricant doit déclarer si le signal de démarrage est stable (pas de fonctionnement intempestif) en présence d'une variation de tension (saut de phase ou changement d'amplitude) sans variation de la fréquence.

L'influence du changement d'amplitude et du saut de phase de la tension doit être vérifiée conformément au mode opératoire d'essai décrit en 6.7.

Ces essais reposent sur deux scénarios types:

- un premier scénario d'essai défini en 6.7.2 qui introduit un saut de phase et un changement d'amplitude de la tension, représentatifs de l'occurrence d'un défaut, suivis d'une élimination du défaut (retour de la tension nominale);
- un deuxième scénario d'essai défini en 6.7.3 qui considère une perte totale de la tension suivie par un retour de la tension, représentatifs d'un défaut franc proche.

Si la fonction est instable (c'est-à-dire qu'un signal de démarrage est émis), le fabricant doit déclarer la temporisation minimale exigée pour assurer la stabilité du signal de fonctionnement.

5.12 Exigences relatives à l'entrée tension

Si des transformateurs de tension sont utilisés, le fabricant doit déclarer les types de transformateurs de tension exigés conformément à l'IEC 61869 (toutes parties), afin de garantir les niveaux de performance déclarés pour les protections de fréquence.

Si des connexions directes aux conducteurs primaires sont utilisées, la plage de tensions nominales doit être définie par les tensions du domaine de précision et du domaine de fonctionnement, comme défini en 5.2.

6 Méthodologie pour les essais fonctionnels

6.1 Généralités

L'Article 6 donne une description détaillée des essais à réaliser pour vérifier la précision et les spécifications de performance de la protection de fréquence conformément aux exigences décrites à l'Article 5. Ces essais ne sont pas destinés aux essais de mise en service des relais de protection ou aux essais individuels de série, dans lesquels les instructions du fabricant doivent servir de référence, bien que plusieurs méthodologies d'essai et exigences de performance décrites dans le présent document puissent aussi s'appliquer aux essais de mise en service ou de maintenance.

Comme cela est expliqué à l'Article 5, ces essais constituent une partie obligatoire des essais de type pour la fonction de protection. Une description détaillée des conditions d'essai et de la façon dont les résultats d'essai doivent être publiés dans la documentation du fabricant est fournie. Cela permet de comparer les exigences techniques de l'utilisateur avec les spécifications de la fonction de protection données dans la documentation du fabricant.

Ces essais sont conçus de manière à cibler tous les aspects des éléments matériels et logiciels (le cas échéant) de la fonction de protection de fréquence. Cela signifie que l'injection de tension (ou de courant) doit se faire au niveau de l'interface avec le dispositif de protection, soit directement au niveau des bornes des entrées tension susceptibles d'être raccordées sur des VT conventionnels, soit via un signal numérique équivalent avec le protocole approprié, sur l'interface appropriée. De la même manière, le fonctionnement doit être considéré au niveau des contacts de sortie, lorsque cela est possible, ou via des signaux équivalents sur une interface appropriée.

Pour les essais relatifs aux performances de temps, le fabricant doit déclarer la sortie avec laquelle le temps de démarrage et le temps de fonctionnement ont été mesurés – par exemple contact de sortie TOR, sortie statique ou message GOOSE conformément à l'IEC 61850 (toutes les parties). Si le dispositif de protection peut fournir différents supports de sortie, le fabricant doit déclarer la façon dont les performances de temps sont affectées.

Pour les dispositifs de protection dont une partie des réglages sont définis en valeurs de tension primaires, un rapport de transformateur de tension unique doit être sélectionné pour réaliser les essais (le cas échéant).

Afin de déterminer la précision des fonctions de protection de fréquence en régime établi, la grandeur caractéristique injectée doit être une sinusoïde d'amplitude correspondant à la tension nominale, et il convient que sa fréquence soit modulée selon les exigences de l'essai. Pendant les transitions, le signal injecté ne doit pas présenter de discontinuité, sans saut de phase et sans modification de l'amplitude de la tension, à l'exception des modifications de la fréquence, sauf spécification contraire. Il est admis d'ajuster le niveau de tension pour qu'il satisfasse aux exigences de tenue des entrées tension relatives au niveau nominal en volts/Hz. Si les fonctions de protection de fréquence sont basées sur le courant de phase, la même méthodologie d'essai doit être suivie, et les conditions d'essai doivent être décrites de manière exhaustive dans le rapport d'essai de type.

Plusieurs des essais fonctionnels décrits à l'Article 6 utilisent des signaux à dérivée de fréquence constante. La formule de ces signaux d'essai est spécifiée dans l'Annexe A normative. Si le signal d'essai consiste en l'injection d'un fichier au format COMTRADE (ou d'autres fichiers d'essai au format binaire) et lorsque ce signal est généré à l'aide d'un dispositif d'essai, la fréquence d'échantillonnage utilisée pour restituer la forme d'onde doit être d'au moins 4 800 Hz. Le taux d'échantillonnage doit satisfaire aux critères de Nyquist selon le contenu en fréquence des signaux soumis à essai.

La fréquence d'échantillonnage de 4 800 Hz correspond au taux d'échantillonnage préconisé pour les transformateurs de mesure dotés d'une interface numérique (IEC 61869-9). Le taux d'échantillonnage de 4 000 Hz est admis pour les équipements existants, conformément au Tableau 902 de l'IEC 61869-9:2016.

De 6.1 à 6.7, les réglages définis pour les essais sont exprimés en pourcentage de la plage de réglages disponible.

Pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence, les valeurs minimale/maximale de la plage de réglages peuvent présenter un écart important par rapport aux valeurs nominales. Pour limiter le nombre de points d'essai et se focaliser sur les réglages typiques, la plage de réglages soumise à essai doit être définie comme allant de la valeur nominale de la fréquence jusqu'à la valeur supérieure de la plage de réglages (pour des pourcentages positifs), ou jusqu'à la valeur inférieure de la plage de réglages (pour des pourcentages négatifs). Le réglage effectif à utiliser peut être calculé à l'aide de la formule suivante:

pour les points d'essai définis avec des pourcentages positifs:

$$G_s = (f_{\max} - f_R) \times X + f_R$$

pour les points d'essai définis avec des pourcentages négatifs:

$$G_s = (f_R - f_{\min}) \times X + f_R$$

où:

- G_s est la valeur de réglage: la valeur soumise à essai peut être arrondie selon le pas de réglage de la protection de fréquence;
- $f_{\max}$ est la valeur de réglage maximale disponible;
- $f_{\min}$ est la valeur de réglage minimale disponible;
- f_R est la fréquence nominale (par exemple 50 Hz, 60 Hz);
- X est le pourcentage du point d'essai divisé par 100, valeur définie dans la méthodologie d'essai (voir Tableaux 4, 9, 13, 14 et 27).

Par exemple, pour les réglages de fréquence définis dans le Tableau 4 et sous l'hypothèse d'une plage de réglages comprise entre 40 Hz et 70 Hz (cette plage ne dépendant pas de la fréquence nominale f_R), les réglages de fréquence effectifs à utiliser seraient (les valeurs arrondies peuvent être utilisées en fonction du pas de réglage):

- avec une fréquence industrielle nominale de 50 Hz: 40 Hz, 49 Hz, 49,5 Hz, 49,75 Hz, 49,9 Hz, 50 Hz, 50,2 Hz, 50,5 Hz, 51 Hz, 52 Hz, 70 Hz;
- avec une fréquence industrielle nominale de 60 Hz: 40 Hz, 58 Hz, 59 Hz, 59,5 Hz, 59,8 Hz, 60 Hz, 60,1 Hz, 60,25 Hz, 60,5 Hz, 61 Hz, 70 Hz.

Pour les fonctions de protection ROCOF, le réglage à utiliser peut être calculé à l'aide de la formule suivante:

$$G_s = (G_{s_max} - G_{s_min}) \times X + G_{s_min}$$

où:

- G_s est la valeur de réglage: la valeur soumise à essai peut être arrondie selon le pas de réglage de la protection de fréquence;
- G_{s_max} est la valeur de réglage maximale disponible;
- G_{s_min} est la valeur de réglage minimale disponible;
- X est le pourcentage du point d'essai divisé par 100, valeur définie dans la méthodologie d'essai (voir Tableaux 7, 11, 16, 24 et 28).

Par exemple, pour le réglage ROCOF défini dans le Tableau 7 et sous l'hypothèse d'une plage de réglages comprise entre 0,1 Hz/s et 10 Hz/s, les réglages ROCOF à utiliser seraient: 0,1 Hz/s, 0,595 Hz/s, 1,09 Hz/s, 3,07 Hz/s, 6,04 Hz/s, 10 Hz/s. Les valeurs arrondies peuvent être utilisées en fonction du pas de réglage.

6.2 Détermination des erreurs en régime établi relatives à la grandeur caractéristique

6.2.1 Précision de la valeur de démarrage

6.2.1.1 Protection à minimum/maximum de fréquence

6.2.1.1.1 Description de la rampe de fréquence générée

La méthode d'essai doit s'appuyer sur une rampe de fréquence pseudo-continue.

La rampe démarre à la fréquence initiale f_{initial} . La fréquence initiale doit être supérieure (respectivement inférieure) à la valeur de démarrage G_s attendue pour les fonctions de protection à minimum (respectivement maximum) de fréquence, avec une différence minimale égale à 5 fois la précision de fréquence déclarée (par exemple pour la fonction de protection à maximum de fréquence, avec une précision déclarée de ± 10 mHz, la fréquence initiale est égale $G_s - 0,05$ Hz).

La rampe peut être interrompue après l'activation du signal de démarrage. L'activation du signal de démarrage doit être une "activation certaine" ce qui signifie qu'il ne doit pas y avoir de bagotement du signal avec plusieurs transitions activé-désactivé-activé pendant l'injection du palier. Le seul bagotement admis dans le signal est lié au contact de sortie qui peut présenter un temps de rebondissement inférieur à 4 ms. Si le signal de démarrage bagote pendant plus de 4 ms, l'activation du signal de démarrage ne doit pas être prise en compte et la rampe doit se poursuivre vers le prochain palier. Pour les autres supports de sortie, comme un message GOOSE conformément à l'IEC 61850 ou une sortie statique, aucun bagotement ne doit être constaté dans l'activation du signal de démarrage pour que celui-ci soit considéré comme valide.

La méthode d'essai est représentée à la Figure 7, qui s'applique à une fonction de protection à maximum de fréquence.

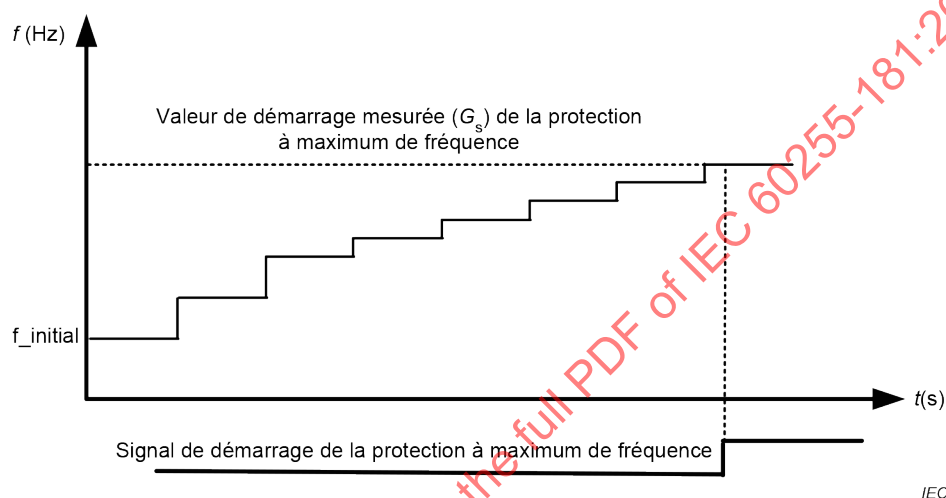


Figure 7 – Exemple de méthode d'essai pour la protection à maximum de fréquence

Chaque palier de la rampe présente une durée de: 500 ms ou 5 fois le temps de démarrage maximal, la valeur retenue étant la plus élevée des deux.

Si un asservissement de fréquence est réalisé, la durée du palier est normalement suffisante pour permettre l'ajustement de la fréquence d'échantillonnage.

Pendant la transition entre deux paliers de fréquence successifs, le signal injecté doit être continu, sans discontinuité de phase ni d'amplitude, à l'exception de l'évolution de la fréquence.

Pour réduire la durée de l'essai, l'incrément de fréquence peut être plus élevé au début de l'essai, avec les règles suivantes:

- Pour la fonction de protection à maximum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s moins trois fois la "précision de fréquence déclarée".
- Pour la fonction de protection à minimum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s plus trois fois la "précision de fréquence déclarée".

La précision de fréquence déclarée dépend des exigences spécifiées en 5.3.

Une fois que la valeur ci-dessus est atteinte, l'incrément de fréquence sera inférieur ou égal à 10 % de la précision de fréquence déclarée jusqu'à atteindre la fin de la rampe suite à l'activation du signal de démarrage.

6.2.1.1.2 Réglages des fonctions de protection

Les réglages de la fréquence de démarrage doivent être modulés sur la plage de réglages comme indiqué dans le Tableau 4.

Si certaines fonctions de protection présentent un réglage de la fenêtre temporelle utilisée pour la mesure de la fréquence, la valeur du réglage doit correspondre à la valeur par défaut, sauf si le fabricant recommande que la largeur de la fenêtre soit fonction du réglage de fréquence (G_s) soumis à essai. Dans ce cas, la recommandation du fabricant doit être respectée.

6.2.1.1.3 Points d'essai et calcul de la précision de fréquence

Même si la plage de réglages est indépendante du réglage de fréquence nominale (habituellement 50 Hz ou 60 Hz), les essais sont répétés pour chacune des valeurs nominales de la fréquence industrielle de la fonction de protection, avec les points d'essai du Tableau 4 et conformément à la règle définie en 6.1.

La fréquence de démarrage est mesurée pour les points d'essai suivants (Tableau 4). Chaque essai est répété 5 fois et les résultats d'essai sont déclarés comme indiqué dans le Tableau 4.

Tous les points d'essai sont considérés à la tension nominale. En outre, le premier point d'essai (–100 % – réglage minimal) et le dernier point d'essai (+100 % – réglage maximal) sont répétés à la tension maximale et à la tension minimale du domaine de précision. Les résultats des points d'essai aux tensions minimale et maximale du domaine de précision doivent être documentés avec les autres points d'essai à la tension nominale.

Pour chaque essai, la fréquence de démarrage mesurée doit respecter la précision déclarée. Les valeurs acceptées sont calculées pour chaque valeur mesurée, en procédant comme décrit ci-après.

Le démarrage de la fonction de protection doit intervenir dans la bande de fréquences autour de la valeur de démarrage attendue (G_s). La bande est délimitée comme suit:

Valeurs hautes acceptées = (G_s + précision de fréquence déclarée);

Valeurs basses acceptées = (G_s – précision de fréquence déclarée).

Tableau 4 – Points d'essai pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

Valeur du point d'essai X^a	Réglage de fréquence (seuil de démarrage, G_s) ^a Hz	Amplitude de tension ^c	Essai 1 Hz	Essai 2 Hz	Essai 3 Hz	Essai 4 Hz	Essai 5 Hz	Critères d'acceptation Hz
–100 % (réglage min.)		Min. U						$G_s \pm \text{précision}_f$
–100 %		Max. U						$G_s \pm \text{précision}_f'$
–100 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f'$
–10 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
–5 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
–2,5 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
–1 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
0 % ($f_R = 50 \text{ Hz}$, 60 Hz) ^b		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
+1 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
+2,5 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
+5 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
+10 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f$
+100 %		U_n						$G_s \pm \text{précision}_f'$
+100 %		Min. U						$G_s \pm \text{précision}_f'$
+100 % (réglage max.)		Max. U						$G_s \pm \text{précision}_f$

^a Les points d'essai sont exprimés en pourcentage pour le calcul des réglages de fréquence (seuil G_s) conformément à la règle commune définie en 6.1. Les plages de réglage de la fonction de protection à minimum (respectivement maximum) de fréquence peuvent être définies avec des valeurs inférieures (respectivement supérieures) à la fréquence nominale. Les points d'essai sont définis de manière à couvrir toutes les plages de réglage possibles.

^b Si le réglage défini à la fréquence industrielle nominale n'est pas disponible, ce point d'essai peut être ignoré.

^c U_n désigne la tension nominale, " U min." et " U max." désignent respectivement les tensions minimale et maximale du domaine de précision déclaré.

6.2.1.1.4 Déclaration de la précision de fréquence

La précision de fréquence est déclarée sous forme d'erreur de mesure comme dans l'exemple du Tableau 5, où la valeur indiquée est donnée à titre d'exemple.

Tableau 5 – Déclaration de la précision de fréquence

Protection à maximum de fréquence	
Précision de fréquence	$\pm 10,0 \text{ mHz}$

En variante, le fabricant peut choisir d'exprimer la tolérance de précision en utilisant la plus élevée des deux valeurs, comme indiqué dans le Tableau 6.

Tableau 6 – Déclaration de la précision de fréquence (autre solution)

Protection à maximum de fréquence	
Précision de fréquence	$\pm 10,0$ mHz ou $\pm 0,01$ % de G_s (la plus élevée des deux valeurs)

6.2.1.2 Dérivée de fréquence

6.2.1.2.1 Description de la rampe de fréquence générée

La précision du réglage ROCOF (G_s) est évaluée avec une succession de rampes de fréquence, dans laquelle la fréquence augmente ou diminue par rapport à la valeur nominale en fonction du signe ("+" ou "-") de la dérivée de fréquence. La méthode d'essai est représentée à la Figure 8, qui s'applique à une fonction de protection à dérivée de fréquence positive.

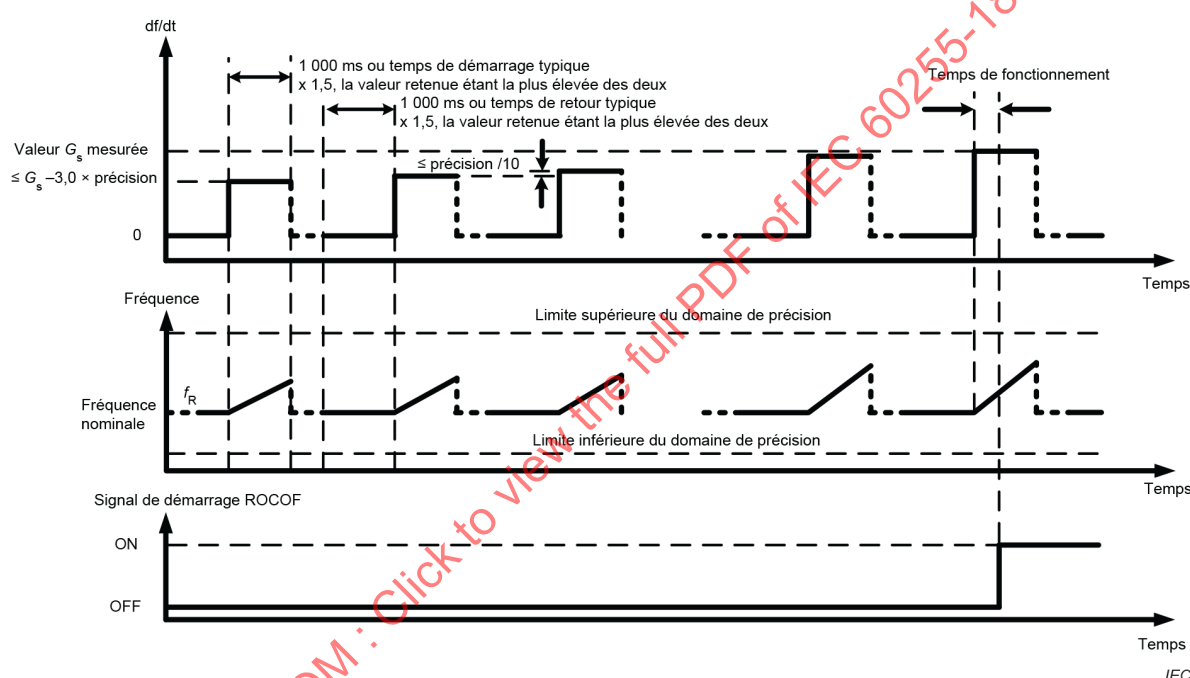


Figure 8 – Exemple de méthode d'essai pour une fonction de protection à dérivée de fréquence positive

La rampe débute à la fréquence nominale f_R et s'arrête lorsque le signal de démarrage de la fonction de protection est activé ou lorsque la rampe s'achève sans que le démarrage de la fonction de protection ait été confirmé. La durée de la rampe pour évaluer si la fonction de protection a démarré ou pas au cours de l'injection est de:

1 000 ms ou $1,5 \times$ temps de démarrage typique (la plus élevée des deux valeurs).

La fréquence injectée doit toujours être comprise dans le domaine de précision de la fonction de protection, si un domaine de précision est déclaré pour la fonction de protection ROCOF. Cette condition peut exiger une durée limitée pour la rampe de fréquence. S'il est nécessaire que la rampe de fréquence soit plus courte que le temps de démarrage maximal pour la fonction de protection ROCOF, la fonction ne peut pas être soumise à essai pour ce réglage compte tenu des conditions d'essai normalisées. Dans ce cas, le fabricant doit signaler cette information et déclarer la méthode d'essai appropriée à utiliser pour vérifier la précision de ces réglages de la valeur de démarrage.

La première rampe a une dérivée de fréquence largement inférieure par rapport à la valeur absolue du réglage G_s .

Si la fonction de protection ne démarre pas pendant la durée de la rampe, la prochaine rampe est injectée avec une nouvelle dérivée de fréquence, avec un point de démarrage toujours égal à la valeur de la fréquence nominale.

Avant chaque rampe, la fréquence doit se maintenir à sa valeur nominale pendant au moins:

1 000 ms ou $1,5 \times$ temps de dégagement typique (la plus élevée des deux valeurs).

La fréquence est ensuite modifiée de manière linéaire par rapport à sa valeur nominale. Pendant cette transition, le signal injecté doit être continu, sans discontinuité au niveau de la phase ou de l'amplitude, à l'exception de l'évolution de la fréquence.

A la fin de chaque rampe, la fréquence retourne à sa valeur nominale afin d'être prête pour la rampe suivante. Pendant cette transition, le signal injecté n'est pas défini dans le présent document. Tout démarrage ou fonctionnement pendant cette transition doit être ignoré.

La prochaine rampe présente un incrément (palier) de dérivée de fréquence inférieur ou égal à:

(précision de la dérivée de fréquence / 10) Hz/s.

Lorsque le signal de démarrage de la fonction de protection est activé, l'injection peut être interrompue et la dérivée de fréquence mesurée correspond à la valeur de la dérivée de fréquence pour la dernière rampe.

L'activation du signal de démarrage doit être une "activation certaine" ce qui signifie qu'il ne doit pas y avoir de bagotement du signal avec plusieurs transitions activé-désactivé-activé pendant l'injection de la rampe. Le seul bagotement admis dans le signal est lié au contact de sortie, qui peut présenter un temps de rebondissement inférieur à 4 ms. Si le signal de démarrage bagote pendant plus de 4 ms, l'activation du signal de démarrage ne doit pas être prise en compte et la rampe doit se poursuivre vers le prochain palier. Pour les autres supports de sortie, comme un message GOOSE conformément à l'IEC 61850 ou une sortie statique, aucun bagotement ne doit être constaté dans l'activation du signal de démarrage pour que celui-ci soit considéré comme valide.

L'Annexe A normative définit la formule pour les signaux d'essai présentant une pente de fréquence constante.

Pour réduire la durée de l'essai, l'incrément de fréquence peut être plus élevé au début de l'essai, avec les règles suivantes:

- Pour la fonction de protection à maximum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s moins trois fois la "précision de fréquence déclarée".
- Pour la fonction de protection à minimum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s plus trois fois la "précision de fréquence déclarée".

La précision de dérivée de fréquence déclarée dépend des exigences spécifiées en 5.3.

Une fois que la valeur ci-dessus est atteinte, l'incrément de dérivée de fréquence sera inférieur ou égal à 10 % de la précision de dérivée de fréquence déclarée, jusqu'à atteindre la fin des rampes, correspondant au fonctionnement du signal de démarrage.

6.2.1.2.2 Réglages des fonctions de protection

Les réglages du seuil de la protection ROCOF doivent être modulés sur la plage de réglages comme indiqué dans le Tableau 7.

Si certaines fonctions de protection présentent un réglage de la fenêtre temporelle utilisée pour la mesure de la dérivée de fréquence, la valeur du réglage doit correspondre à la valeur par défaut, sauf si le fabricant recommande que la largeur de la fenêtre soit fonction du réglage de dérivée de fréquence (G_s). Dans ce cas, la recommandation du fabricant doit être respectée.

6.2.1.2.3 Points d'essai et calcul de la précision de la dérivée de fréquence

Les essais sont répétés pour chacune des valeurs nominales de fréquence industrielle de la fonction de protection (habituellement 50 Hz et 60 Hz).

La précision de la dérivée de fréquence est mesurée pour les points d'essai suivants (Tableau 7). Chaque essai est répété 5 fois et les résultats d'essai sont déclarés comme indiqué dans le Tableau 7.

Tous les points d'essai sont considérés à la tension nominale. En outre, le premier point d'essai (0 % – réglage minimal) et le dernier point d'essai (100 % – réglage maximal) sont répétés à la tension maximale et à la tension minimale du domaine de précision. Les résultats des points d'essai aux tensions minimale et maximale du domaine de précision doivent être documentés avec les autres points d'essai à la tension nominale.

Lorsque la fonction utilise la valeur absolue de df/dt , chaque ligne d'essai définie dans le Tableau 7 doit être effectuée avec une dérivée de fréquence positive et une dérivée de fréquence négative.

Pour chaque essai, la dérivée de fréquence mesurée doit respecter la précision déclarée. Le critère d'acceptation des grandeurs mesurées est défini comme décrit ci-après.

Le démarrage de la fonction de protection doit intervenir dans la bande d'erreur autour de la valeur de démarrage attendue (G_s). La bande est délimitée comme suit:

Valeurs hautes acceptées = (G_s + précision de dérivée de fréquence déclarée);

Valeurs basses acceptées = (G_s – précision de dérivée de fréquence déclarée).

Tableau 7 – Points d'essai pour la fonction de protection ROCOF

Valeur du point d'essai x^a	Réglage ROCOF (seuil de démarrage, G_s) ^a Hz/s	Amplitude de tension ^b	Essai 1 Hz/s	Essai 2 Hz/s	Essai 3 Hz/s	Essai 4 Hz/s	Essai 5 Hz/s	Critères d'acceptation Hz/s
Minimum (0 %)		Min. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
0 %		Max. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
0 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
5 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
10 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
30 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
60 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
100 %		U_n						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
100 %		Min. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$
Maximum (100 %)		Max. U						$G_s \pm f'_{\text{accuracy}}$

^a Les points d'essai sont exprimés en pourcentage pour le calcul des réglages de la protection ROCOF (seuil G_s) conformément à la règle commune définie en 6.1.

^b U_n désigne la tension nominale, " U min." et " U max." désignent respectivement les tensions minimale et maximale du domaine de précision déclaré.

6.2.1.2.4 Déclaration de la précision de la protection ROCOF

La précision de la protection ROCOF est déclarée sous forme d'erreur de mesure comme dans l'exemple du Tableau 8.

Tableau 8 – Déclaration de la précision de la protection ROCOF

Protection ROCOF	
Précision de dérivée de fréquence	± 5 % (de G_s) ou ± 15 mHz/s (la plus élevée des deux valeurs)

6.2.2 Détermination de l'hystérésis de retour ou du rapport de retour

6.2.2.1 Protection à minimum/maximum de fréquence

6.2.2.1.1 Description de l'essai

Les essais permettant d'évaluer l'hystérésis de retour pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence sont basés sur deux rampes de fréquence pseudo-continues, évoluant selon l'état du signal de démarrage de la fonction de protection qui est surveillé.

La première rampe de fréquence (rampe croissante pour les fonctions de protection à maximum de fréquence et rampe décroissante pour les fonctions de protection à minimum de fréquence) commence à la valeur nominale de la fréquence industrielle (ou à une quelconque fréquence pour laquelle la fonction de protection est stable dans son état de non-démarrage, afin de réduire la durée des essais); le signal de DEMARRAGE de la fonction de protection est surveillé. Lorsque le signal de DEMARRAGE de la protection est activé:

- la valeur de la fréquence injectée est enregistrée comme la "fréquence de DEMARRAGE"; et

- la deuxième rampe (rampe décroissante pour les protections à maximum de fréquence et rampe croissante pour les protections à minimum de fréquence) va démarrer.

La deuxième rampe démarre à la "fréquence de DEMARRAGE" qui a été enregistrée et s'arrête lorsque le signal de DEMARRAGE de la fonction de protection retourne. Arrivé à ce point, la fréquence injectée est enregistrée comme la "fréquence de RETOUR".

L'activation du signal de démarrage doit être une "activation certaine" ce qui signifie qu'il ne doit pas y avoir de bagotement du signal avec plusieurs transitions activé-désactivé-activé pendant l'injection de la rampe. Le seul bagotement admis dans le signal est lié au contact de sortie qui peut présenter un temps de rebondissement inférieur à 4 ms. Si le signal de démarrage bagote pendant plus de 4 ms, l'activation du signal de démarrage ne doit pas être prise en compte et la rampe doit se poursuivre vers le prochain palier. Pour les autres supports de sortie, comme un message GOOSE conformément à l'IEC 61850 ou une sortie statique, aucun bagotement ne doit être constaté dans l'activation du signal de démarrage pour que celui-ci soit considéré comme valide.

Pour la transition activé-désactivé associée à la fréquence de retour du signal de démarrage et quel que soit le support de sortie considéré, aucun bagotement ne doit être présent au niveau de la transition activé-désactivé du signal pour être considérée comme valide.

L'hystérésis de retour est calculée à partir de la "fréquence de DEMARRAGE" et de la "fréquence de RETOUR", comme indiqué dans les alinéas suivants de 6.2.2.1.1.

Les Figures 9 et 10 représentent le principe des deux rampes de fréquence permettant de déterminer l'hystérésis de retour.

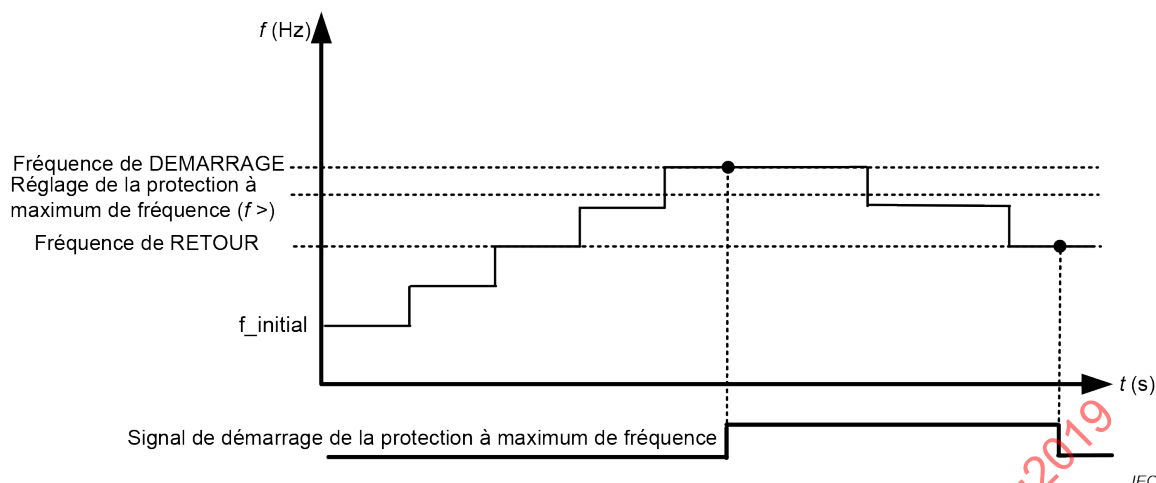


Figure 9 – Ranges de fréquence pour l'évaluation de l'hystérésis de retour associée aux fonctions de protection à maximum de fréquence

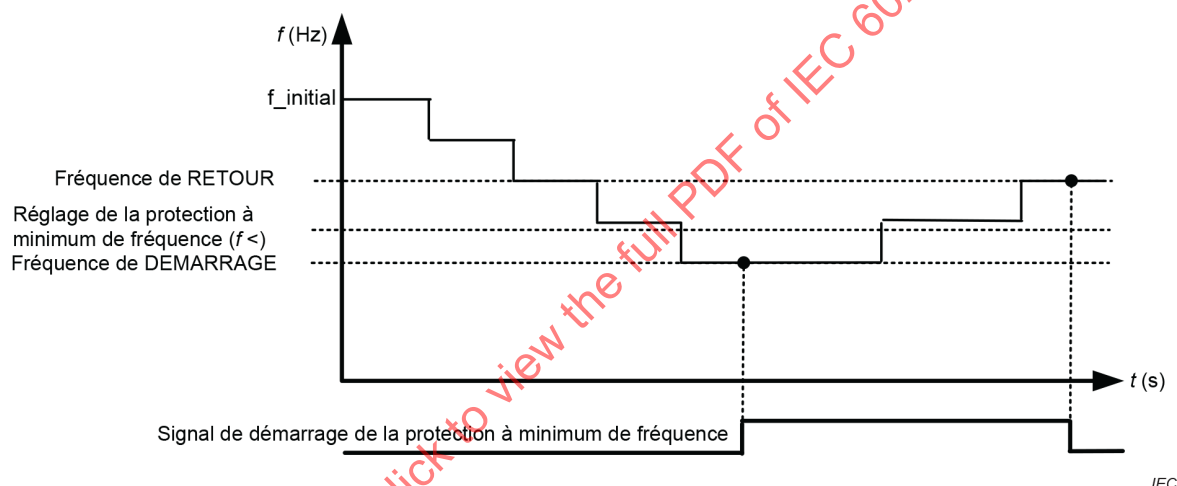


Figure 10 – Ranges de fréquence pour l'évaluation de l'hystérésis de retour associée aux fonctions de protection à minimum de fréquence

Chaque palier de la première rampe présente une durée de: 500 ms ou 5 fois le temps de démarrage maximal, la valeur retenue étant la plus élevée des deux.

Si un asservissement de fréquence est réalisé, la durée du palier est normalement suffisante pour permettre l'ajustement de la fréquence d'échantillonnage.

Pendant la transition entre deux paliers de fréquence successifs, le signal injecté doit être continu, sans discontinuité au niveau de la phase ou de l'amplitude, à l'exception de l'évolution de la fréquence.

Pour réduire la durée de l'essai, l'incrément de fréquence peut être plus élevé au début de l'essai, avec les règles suivantes:

- Pour la fonction de protection à maximum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s moins trois fois la "précision de fréquence déclarée".
- Pour la fonction de protection à minimum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s plus trois fois la "précision de fréquence déclarée".

G_s désigne le réglage de fréquence pour l'essai, indiqué par "f >" dans la Figure 9 et par "f <" dans la Figure 10, et la précision de fréquence déclarée tient compte des exigences spécifiées en 5.3.

Une fois que la valeur ci-dessus est atteinte, l'incrément de fréquence sera inférieur ou égal à 10 % de la précision de fréquence déclarée, jusqu'au fonctionnement du signal de démarrage, qui va provoquer l'enregistrement de la valeur "fréquence de DEMARRAGE" et le déclenchement de la deuxième rampe.

Chaque palier de la deuxième rampe présente une durée de:

500 ms ou 5 fois le temps de dégagement attendu,
la valeur retenue étant la plus élevée des deux.

Pendant la transition entre deux paliers de fréquence successifs, le signal injecté doit être continu, sans discontinuité au niveau de la phase ou de l'amplitude, à l'exception de l'évolution de la fréquence.

L'incrément de fréquence est égal à la valeur du dernier incrément de la première rampe (celui précédant immédiatement le DEMARRAGE de la fonction de protection).

La deuxième rampe se poursuit jusqu'à ce que le signal de DEMARRAGE de la fonction de protection retourne, ce qui va permettre l'enregistrement de la "fréquence de RETOUR" et le calcul final de l'hystérésis de RETOUR.

6.2.2.1.2 Réglages des fonctions de protection

Les réglages de la fréquence de démarrage doivent être modulés sur la plage de réglages comme indiqué dans le Tableau 9.

Si certaines fonctions de protection présentent un réglage de la fenêtre temporelle utilisée pour la mesure de la fréquence, la valeur du réglage doit correspondre à la valeur par défaut, sauf si le fabricant recommande que la largeur de la fenêtre soit fonction du réglage de fréquence (G_s) soumis à essai. Dans ce cas, la recommandation du fabricant doit être respectée.

6.2.2.1.3 Points d'essai et calcul de l'hystérésis de retour

L'hystérésis de la fréquence est mesurée pour tous les points d'essai donnés dans le Tableau 9 pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence.

Tous les points d'essai sont considérés à la tension nominale. En outre, le premier point d'essai (-100 % – réglage minimal) et le dernier point d'essai (+100 % – réglage maximal) sont répétés à la tension maximale et à la tension minimale du domaine de précision. Les résultats des points d'essai aux tensions minimale et maximale du domaine de précision doivent être documentés avec les autres points d'essai à la tension nominale.

Chaque essai est répété 5 fois et les résultats d'essai sont déclarés comme indiqué dans le Tableau 9.

L'hystérésis de retour mesurée est calculée comme suit:

- hystérésis de retour = "fréquence de DEMARRAGE" – "fréquence de RETOUR", pour les fonctions de protection à maximum de fréquence;
- hystérésis de retour = "fréquence de RETOUR" – "fréquence de DEMARRAGE", pour les fonctions de protection à minimum de fréquence.

Pour tous les essais, l'hystérésis de retour mesurée doit être inférieure à l'hystérésis de retour déclarée.

Tableau 9 – Points d'essai pour l'hystérésis de retour des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

Valeur du point d'essai x^a	Réglage de fréquence (seuil de démarrage, G_s) ^a Hz	Amplitude de tension ^c	Essai 1 Hz	Essai 2 Hz	Essai 3 Hz	Essai 4 Hz	Essai 5 Hz	Critères d'acceptation Hz
–100 % (réglage min.)		Min. U						≤ Hystérésis de retour
–100 %		Max. U						≤ Hystérésis de retour
–100 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
–10 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
–5 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
–2,5 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
–1 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
0 % ($f_R = 50$ Hz, 60 Hz) ^b		U_n						≤ Hystérésis de retour
+1 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
+2,5 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
+5 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
+10 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
+100 %		U_n						≤ Hystérésis de retour
+100 %		Min. U						≤ Hystérésis de retour
+100 % (réglage max.)		Max. U						≤ Hystérésis de retour

^a Les points d'essai sont exprimés en pourcentage pour le calcul des réglages de fréquence (seuil G_s) conformément à la règle commune définie en 6.1.

^b Si le réglage défini à la fréquence industrielle nominale n'est pas disponible, ce point d'essai peut être ignoré.

^c U_n désigne la tension nominale, " U min." et " U max." désignent respectivement les tensions minimale et maximale du domaine de précision déclaré.

6.2.2.1.4 Déclaration de l'hystérésis de retour

L'hystérésis de retour pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence est déclarée en mHz, comme dans l'exemple du Tableau 10.

Tableau 10 – Déclaration de l'hystérésis de retour pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

Protection à minimum (ou maximum) de fréquence Hystérésis de retour	
Hystérésis de retour	5,0 mHz

6.2.2.2 Protection à dérivée de fréquence**6.2.2.2.1 Description de l'essai**

Les essais permettant d'évaluer la valeur de retour des fonctions de protection ROCOF sont basés sur des séquences de rampes de fréquence, évoluant selon l'état du signal de démarrage de la fonction de protection qui est surveillé.

Les essais sont réalisés conformément au mode opératoire suivant.

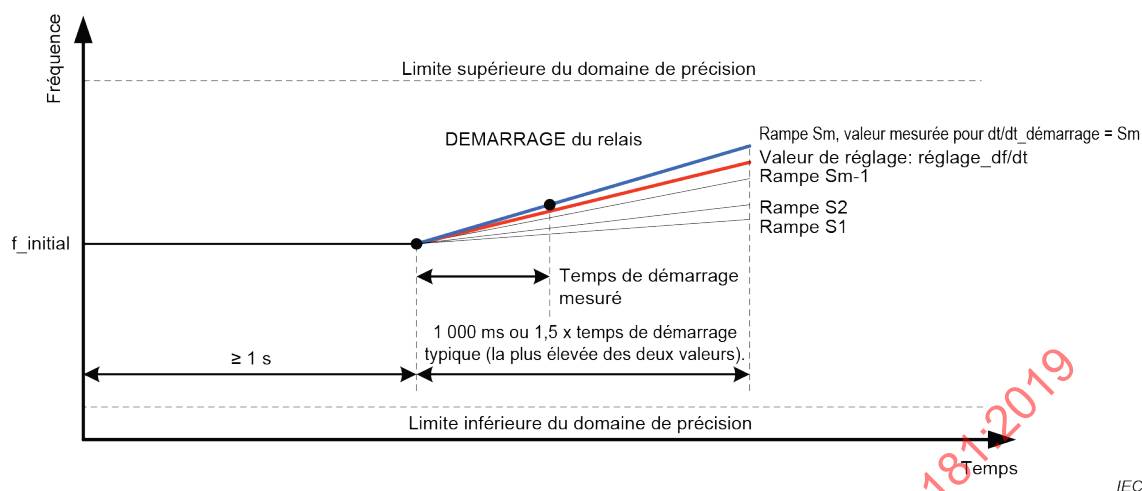
- La valeur de démarrage de df/dt (associée au réglage de la fonction de protection G_s , également indiquée sous la forme réglage df/dt) est détectée à l'aide d'une succession de rampes de fréquence dont la pente de fréquence est croissante pour une dérivée de fréquence positive (et décroissante pour une dérivée de fréquence négative). La valeur de démarrage détectée pour la dérivée de fréquence est associée à la valeur $df/dt_{\text{démarrage}}$. Voir les rampes $S_1, S_2, \dots, S_{m-1}$ et S_m de la Figure 11 (a), dans laquelle le démarrage est détecté à l'aide de la rampe S_m , dans le cas d'une erreur positive sur la valeur de démarrage.
- Une rampe de fréquence de valeur $1,2 \times df/dt_{\text{démarrage}}$ est générée, entraînant un démarrage certain.

À la fin de cette rampe de fréquence, une rampe de fréquence présentant une pente de fréquence inférieure est générée (df/dt_1 , représentée par la rampe R_1 dans la Figure 11 (b)). Pendant cette rampe, la fonction de protection peut ou non retourner:

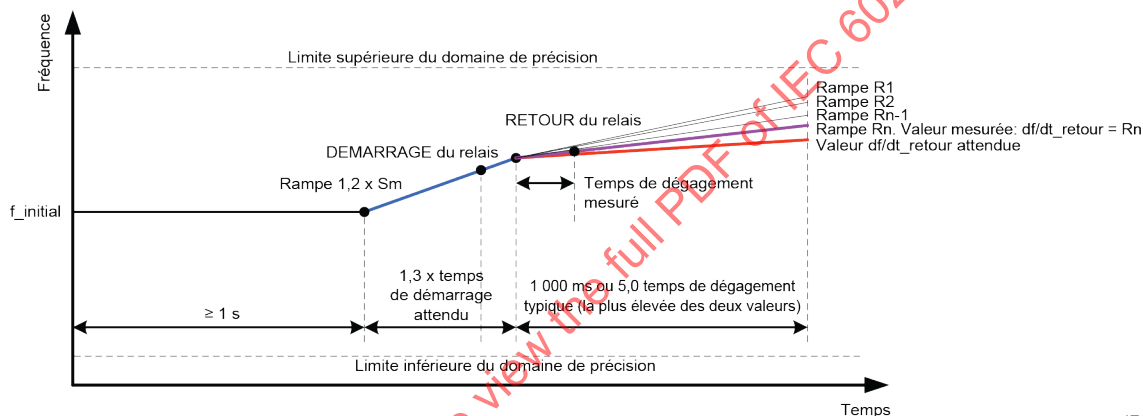
- si la fonction ne retourne pas, alors la rampe initiale à $1,2 \times df/dt_{\text{démarrage}}$ est générée à nouveau, et est suivie d'une rampe présentant une pente de fréquence encore plus basse (df/dt_2 , représentée par la rampe R_2 dans la Figure 11 (b));
- ce processus se poursuit jusqu'à ce que la fonction de protection retourne, ce qui se produit à la rampe dont la valeur de dérivée de fréquence est df/dt_{retour} . Voir les rampes $R_1, R_2, \dots, R_{n-1}$ et R_n de la Figure 11 (b) dans laquelle le retour est détecté par la rampe R_{n-1} dans le cas d'une erreur positive sur la valeur de retour de la rampe ou par la rampe R_n dans le cas d'une erreur négative sur la valeur de retour. Lorsque la fonction de protection retourne, la valeur de retour peut être calculée.
- La valeur de retour est calculée en se basant sur les valeurs $df/dt_{\text{démarrage}}$ et df/dt_{retour} .

NOTE En fonction de la précision déclarée de la valeur de démarrage, si la rampe de fréquence associée à la valeur $1,2 \times df/dt_{\text{démarrage}}$ ne suffit pas à assurer un démarrage certain, la rampe de fréquence peut être réglée à $(1 + 2 \times \varepsilon) \times df/dt_{\text{démarrage}}$, où ε désigne la précision déclarée de la valeur de démarrage. Cette condition d'essai particulière peut être utilisée pour des valeurs seuils de bas niveau si la précision déclarée est supérieure ou égale à 20 %.

La Figure 11 représente la méthode d'essai pour une fonction de protection ROCOF.



a) Essai de détermination de $df/dt_{\text{démarrage}}$



b) Essai de détermination de df/dt_{retour}

Figure 11 – Méthode d'essai pour la mesure de la valeur de retour des fonctions de protection ROCOF: exemple d'une fonction de protection à dérivée de fréquence positive

Essai de détermination de $df/dt_{\text{démarrage}}$ (voir Figure 11 (a)).

La première séquence de rampes de fréquence (rampe croissante pour une fonction de protection à dérivée de fréquence positive et rampe décroissante pour une fonction de protection à dérivée de fréquence négative) va démarrer à la valeur de fréquence f_{initial} , en restant comprise dans le domaine de précision de fréquences de la fonction de protection.

Au début de chaque rampe, la fréquence doit se trouver à la valeur f_{initial} pendant au moins 1 s. Si cette durée n'est pas suffisante, le fabricant doit déclarer dans le rapport d'essai de type la durée à utiliser pour cet essai.

La fréquence est ensuite modifiée de manière linéaire par rapport à sa valeur initiale. Pendant cette transition, le signal injecté doit être continu, sans discontinuité au niveau de la phase ou de l'amplitude, à l'exception de l'évolution de la fréquence.

La rampe de fréquence a une durée de:

1 000 ms ou $1,5 \times$ temps de démarrage typique (la plus élevée des deux valeurs).

La fréquence injectée doit toujours être comprise dans le domaine de précision de la fonction de protection, si un domaine de précision de fréquences a été déclaré pour la fonction de protection ROCOF. Cette condition peut exiger une durée limitée pour la rampe de fréquence.

La valeur de fréquence f_{initial} doit être égale à la fréquence nominale. Si, pendant les essais, la valeur de fréquence sort du domaine de précision, la valeur de fréquence f_{initial} peut être définie à la valeur minimale ou maximale du domaine de précision de fréquences déclaré. La valeur de fréquence initiale doit être déclarée dans le rapport d'essai de type.

Le signal de DEMARRAGE de la fonction de protection est surveillé; lorsque le signal de DEMARRAGE est activé, la valeur de la dérivée de la fréquence injectée est enregistrée en tant que " $df/dt_{\text{démarrage}}$ ".

L'activation du signal de démarrage doit être une "activation certaine" ce qui signifie qu'il ne doit pas y avoir de bagotement du signal avec plusieurs transitions activé-désactivé-activé pendant l'injection de la rampe. Le seul bagotement admis dans le signal est lié au contact de sortie qui peut présenter un temps de rebondissement inférieur à 4 ms. Si le signal de démarrage bagote pendant plus de 4 ms, l'activation du signal de démarrage ne doit pas être prise en compte et la rampe doit se poursuivre vers le prochain palier. Pour les autres supports de sortie, comme un message GOOSE conformément à IEC 61850 ou une sortie statique, aucun bagotement ne doit être constaté dans l'activation du signal de démarrage pour que celui-ci soit considéré comme valide.

Si la fonction de protection ne démarre pas, la rampe de fréquence se poursuit jusqu'au bout, la fréquence f_{initial} est appliquée pendant une durée minimale de 1 seconde, puis une nouvelle rampe est générée avec une nouvelle pente de fréquence. L'incrément de la nouvelle pente de fréquence est de:

(Précision de la dérivée de fréquence / 10) Hz/s.

L'Annexe A définit la formule pour les signaux d'essai présentant une pente de fréquence constante.

Pour réduire la durée de l'essai, l'incrément de fréquence peut être plus élevé au début de l'essai, avec les règles suivantes:

- Pour la fonction de protection à maximum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s moins trois fois la "précision de fréquence déclarée".
- Pour la fonction de protection à minimum de fréquence, l'incrément peut être égal à G_s plus trois fois la "précision de fréquence déclarée".

La précision de dérivée de fréquence déclarée dépend des exigences spécifiées en 5.3.

Une fois que la valeur ci-dessus est atteinte, l'incrément de dérivée de fréquence sera inférieur ou égal à 10 % de la précision de dérivée de fréquence déclarée, jusqu'à atteindre la fin des rampes suite à l'activation du signal de démarrage.

A ce point, la valeur de démarrage de la fonction de protection a été déterminée comme étant $df/dt_{\text{démarrage}}$, et la séquence de rampes permettant de déterminer la valeur de retour va commencer.

Essai de détermination de df/dt_{retour} (voir Figure 11 (b)).

Chacune des rampes de la séquence est en fait constituée de deux rampes: une première rampe avec une pente de fréquence de $1,2 \times df/dt_{\text{démarrage}}$, et une deuxième rampe avec une pente de fréquence variable. La première pente ($1,2 \times df/dt_{\text{démarrage}}$) présente une durée de:

Temps de démarrage attendu $\times 1,3$.

La rampe démarre à la fréquence f_{initial} , la valeur recommandée étant la valeur minimale du domaine de précision de fréquences, pour une dérivée de fréquence positive, et la valeur maximale du domaine de précision de fréquences, pour une dérivée de fréquence négative.

Au début de chaque rampe, la fréquence doit se trouver à la valeur f_{initial} pendant au moins 1 s. Si cette durée n'est pas suffisante, le fabricant doit déclarer dans le rapport d'essai de type la durée à utiliser pour cet essai.

La fréquence est ensuite modifiée de manière linéaire par rapport à sa valeur initiale. Pendant cette transition, le signal injecté doit être continu, sans discontinuité au niveau de la phase ou de l'amplitude, à l'exception de l'évolution de la fréquence.

A la fin de cette rampe, une nouvelle rampe commence. La transition entre la première rampe et la deuxième doit être "fluide". Cela signifie que le signal injecté doit être continu, sans discontinuité au niveau de la phase ou de l'amplitude, à l'exception de l'évolution de la fréquence.

La deuxième rampe présente une durée de:

La plus grande des valeurs 1 000 ms ou 5 fois le temps de dégagement attendu

et une pente de fréquence

$$df/dt = (df/dt_{\text{précédent}}) - (\text{précision de la dérivée de fréquence} / 10) \text{ Hz/s,}$$

où la valeur $df/dt_{\text{précédent}}$ désigne:

- $df/dt_{\text{démarrage}}$ si la rampe correspond à la première itération de la séquence visant à déterminer la valeur de retour df/dt_{retour} (rampe R1);
- la dérivée de fréquence de la rampe précédente si la rampe ne correspond pas à la première itération de la séquence visant à déterminer la valeur de retour df/dt_{retour} (rampe R2, R3...).

Si, pendant cette deuxième rampe, la fonction de protection ROCOF ne retourne pas, une nouvelle séquence de rampes de fréquence est générée à la fin de la rampe. La valeur de fréquence f_{initial} est appliquée pendant une durée minimale de 1 seconde suivie de la première rampe pour garantir un démarrage et d'une seconde rampe avec la nouvelle valeur de df/dt . Si par contre la fonction retourne, la dérivée de fréquence de la rampe générée est consignée comme étant df/dt_{retour} .

Le retour du signal de démarrage est considéré comme valide en l'absence de bagotement, que le support de sortie soit un contact, un message GOOSE conformément à l'IEC 61850 ou une sortie statique.

Le rapport de retour est calculé grâce à la formule:

$$\text{Rapport de retour} = (df/dt_{\text{retour}} / df/dt_{\text{démarrage}}) \times 100 \%$$

Si une valeur absolue minimale est déclarée pour l'hystérésis de retour, l'hystérésis de retour est calculée grâce à la formule:

$$\text{Hystérésis de retour} = df/dt_{\text{démarrage}} - df/dt_{\text{retour}}$$

6.2.2.2 Réglages des fonctions de protection

Les réglages du seuil de la protection ROCOF doivent être modulés sur la plage de réglages comme indiqué dans le Tableau 11.

Si certaines fonctions de protection présentent un réglage de la fenêtre temporelle utilisée pour la mesure de la fréquence, la valeur du réglage doit correspondre à la valeur par défaut, sauf si le fabricant recommande que la largeur de la fenêtre soit fonction du réglage de protection ROCOF (G_s) soumis à essai. Dans ce cas, la recommandation du fabricant doit être respectée.

6.2.2.3 Points d'essai et vérification de l'hystérésis de retour

La valeur de retour est mesurée pour les points d'essai indiqués dans le Tableau 11.

Tous les points d'essai sont considérés à la tension nominale. En outre, le premier point d'essai (0 % – réglage minimal) et le dernier point d'essai (100 % – réglage maximal) sont répétés à la tension maximale et à la tension minimale du domaine de précision. Les résultats des points d'essai aux tensions minimale et maximale du domaine de précision doivent être documentés avec les autres points d'essai à la tension nominale.

Chaque essai est répété 5 fois; pour chacun des cinq essais, le résultat doit être inférieur ou égal à la valeur de retour déclarée.

Tableau 11 – Points d'essai pour la valeur de retour de la fonction de protection ROCOF

Valeur du point d'essai x^a	Réglage ROCOF (seuil de démarrage, G_s^a) Hz/s	Amplitude de tension ^b	Résultats de l'essai 1 % ou Hz/s	Résultats de l'essai 2 % ou Hz/s	Résultats de l'essai 3 % ou Hz/s	Résultats de l'essai 4 % ou Hz/s	Résultats de l'essai 5 % ou Hz/s	Critères d'acceptation
0 % (minimum)		Min. U						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
0 %		Max. U						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
0 %		U_n						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
5 %		U_n						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
10 %		U_n						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
30 %		U_n						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
60 %		U_n						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
100 %		U_n						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
100 %		Min. U						≤ rapport (ou hystérésis) de retour
100 % (maximum)		Max. U						≤ rapport (ou hystérésis) de retour

^a Les points d'essai sont exprimés en pourcentage pour le calcul des réglages de la protection ROCOF (seuil G_s) conformément à la règle commune définie en 6.1.

^b U_n désigne la tension nominale, " U min." et " U max." désignent respectivement les tensions minimale et maximale du domaine de précision déclaré.

6.2.2.2.4 Déclaration de la valeur de retour

La valeur de retour de la fonction de protection ROCOF est déclarée par le fabricant sous la forme d'un rapport de retour exprimé en pourcentage, associé ou non à une hystérésis de retour minimale, comme dans l'exemple du Tableau 12.

Tableau 12 – Déclaration de la valeur de retour de la fonction de protection ROCOF

Protection ROCOF Valeur de retour	
Rapport de retour	98 %
(solution alternative)	98 % ou 40 mHz/s
Rapport de retour avec hystérésis de retour minimale	

Lorsque le rapport de retour est associé à une hystérésis de retour minimale, la valeur de retour est définie par la plus élevée des deux valeurs. L'hystérésis de retour minimale s'applique principalement aux valeurs seuils de faible valeur.

6.3 Détermination du temps de démarrage

6.3.1 Généralités

Les essais suivants décrivent les méthodes permettant d'évaluer la performance de la fonction de protection, en réponse à une variation de fréquence dans la grandeur de tension du réseau électrique.

Le temps de démarrage est déterminé à partir du signal de démarrage de la fonction de protection. Si aucune sortie spécifique n'est fournie pour le signal de démarrage, l'essai est réalisé en utilisant le signal de fonctionnement avec une temporisation définie à zéro (déclenchement instantané).

Pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence, cette performance est synthétisée dans les diagrammes représentatifs du temps de démarrage de la fonction de protection, où le temps de démarrage est fonction de la vitesse de variation de la fréquence du réseau électrique (dérivée de fréquence du réseau électrique) à l'approche et lors du dépassement du réglage de la fonction de protection ($G_s = f >$ ou $G_s = f <$).

Les essais doivent être réalisés avec des rampes de fréquence présentant une pente de fréquence constante, allant d'une valeur initiale égale à la fréquence nominale jusqu'à la valeur supérieure/inférieure au réglage. La fréquence varie selon les pentes définies. Ces essais sont représentatifs des conditions dans les réseaux électriques où la fréquence peut varier selon une certaine pente, ce qui représente les inerties électromécaniques typiques d'un réseau électrique.

La limite supérieure de cette variation de fréquence est le "saut de fréquence", qui peut se produire au sein d'un environnement dans lequel la production de puissance est essentiellement assurée par des convertisseurs statiques. Dans cette configuration, la fréquence du réseau électrique peut varier subitement pour passer d'une valeur initiale nominale à la valeur finale, qui sera respectivement supérieure ou inférieure au réglage de la fonction de protection selon qu'il s'agit de fonctions de protection à maximum de fréquence ou à minimum de fréquence.

Pour les fonctions de protection ROCOF, cette performance est synthétisée dans le temps de démarrage typique de la fonction de protection. Les essais permettant d'évaluer le temps de démarrage doivent être réalisés en appliquant une méthode d'essai, basée sur différentes variations constantes de la fréquence et avec des valeurs de dérivée de fréquence situées dans la zone de fonctionnement de la protection à dérivée de fréquence.

Pour les essais de précision des seuils (6.2), chaque point d'essai est généralement répété 5 fois. Pour les essais de type relatifs au temps de démarrage, chaque point d'essai est répété 10 fois afin d'obtenir une distribution temporelle plus précise, incluant les valeurs minimales et maximales.

6.3.2 Protections à minimum/maximum de fréquence

6.3.2.1 Description de la forme d'onde générée

La méthode d'essai basée sur une variation subite de la fréquence est représentée à la Figure 12 (pour la fonction de protection à maximum de fréquence).

Pendant la transition caractérisée par une variation subite de fréquence, le signal injecté doit être géré sans discontinuité au niveau de la forme d'onde de tension, à l'exception de l'évolution de la fréquence. Cette variation de fréquence est représentée à l'Annexe E.

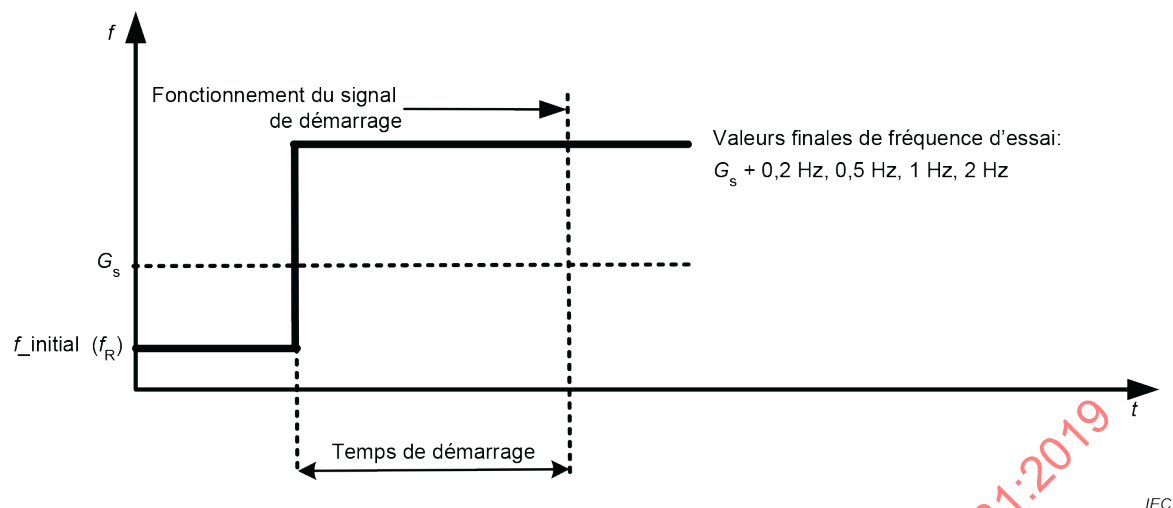


Figure 12 – Mesure du temps de démarrage de la protection à maximum de fréquence avec variation subite de fréquence

Ces essais reprennent les points d'essai définis dans les Tableaux 13 et 14. Ces points d'essai sont identifiés avec une pente de fréquence de valeur infinie (variation subite).

- La valeur initiale de fréquence d'essai est toujours égale à la fréquence industrielle nominale soumise à essai.
- La valeur finale du point d'essai est égale au réglage G_s plus (pour la protection à maximum de fréquence) ou moins (pour la protection à minimum de fréquence) différentes valeurs de fréquence (0,2 Hz, 0,5 Hz, 1 Hz et 2 Hz) afin de mesurer le temps de démarrage avec différents rapports entre le seuil et le signal de fréquence.
- Le temps de démarrage est mesuré entre l'instant où la fréquence varie et l'instant où le signal de démarrage est confirmé.

La fréquence injectée doit toujours être comprise dans le domaine de fonctionnement de la fonction de protection. Pour les réglages les plus bas/haut de la plage de réglages des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence, la valeur finale de la fréquence d'essai peut se situer en dehors du domaine de fonctionnement. Dans ce cas, la fonction ne peut pas être soumise à l'essai avec la méthode en question pour le point d'essai en question. Le fabricant doit indiquer cette information dans le rapport d'essai de type et l'essai doit être réalisé à la limite supérieure/inférieure du domaine de fonctionnement déclaré.

La méthode d'essai basée sur une pente de fréquence constante de valeur finie est représentée à la Figure 13 (pour la fonction de protection à maximum de fréquence).

Pendant la transition caractérisée par une variation de fréquence, le signal injecté doit être géré sans discontinuité au niveau de la forme d'onde de tension, à l'exception de l'évolution de la fréquence. Cette variation de fréquence est représentée à l'Annexe E.

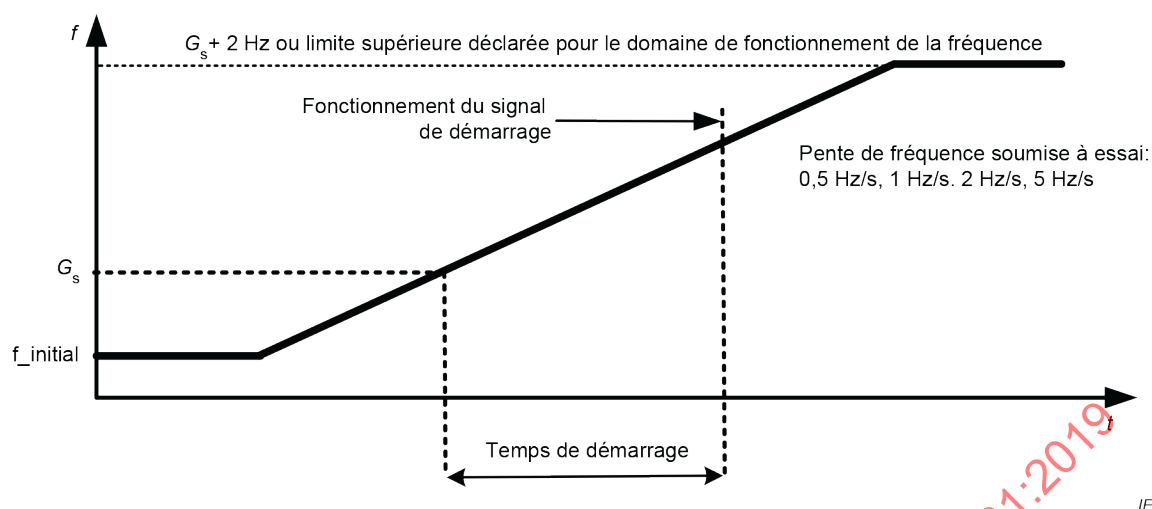


Figure 13 – Mesure du temps de démarrage de la protection à maximum de fréquence avec rampe de fréquence à pente de fréquence constante

Ces essais reprennent les points d'essai définis dans les Tableaux 13 et 14. Ces points d'essai sont identifiés avec des valeurs finies de pente de fréquence.

- La valeur initiale de fréquence d'essai est égale à la fréquence industrielle nominale soumise à essai. Si la plage de réglages est étendue, la valeur initiale peut être égale à $G_s + 0,5 \text{ Hz}$ ou à $G_s - 0,5 \text{ Hz}$, afin d'accélérer les essais des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence.
- La fréquence est augmentée (pour la protection à maximum de fréquence) ou diminuée (pour la protection à minimum de fréquence) avec différentes valeurs de pente de fréquence, afin de mesurer le temps de démarrage dans différentes conditions d'essai.
- L'injection peut être interrompue après le fonctionnement du signal de démarrage de la fonction de protection. Dans tous les cas, l'augmentation ou la diminution de fréquence est interrompue lorsque la fréquence est supérieure à $G_s + 2 \text{ Hz}$ (pour la protection à maximum de fréquence) ou inférieure à $G_s - 2 \text{ Hz}$ (pour la protection à minimum de fréquence).
- La mesure du temps de démarrage est initiée lorsque la fréquence du signal d'essai injecté est égale au réglage de la valeur de démarrage (ce point est défini par l'équation de la rampe de fréquence donnée par la formule analytique décrite à l'Annexe A), et s'arrête lorsque le signal de démarrage de la fonction de protection est activé.

L'Annexe A définit la formule pour les signaux d'essai présentant une pente de fréquence constante.

La fréquence injectée doit toujours être comprise dans le domaine de fonctionnement de la fonction de protection, si un domaine de fréquences de fonctionnement est déclaré. Pour les seuils bas/hauts de la plage de réglage des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence, si la fréquence injectée sort du domaine de fonctionnement déclaré avant le fonctionnement du signal de démarrage, la fonction ne peut pas être soumise à l'essai avec ce réglage compte tenu des conditions d'essai normalisées. Dans ce cas, le fabricant doit signaler cette information et déclarer la méthode d'essai appropriée à utiliser pour mesurer le temps de démarrage de ces réglages.

6.3.2.2 Réglages des fonctions de protection

Les réglages du seuil de fréquence doivent être modulés sur la plage de réglages comme indiqué dans les Tableaux 13 et 14.

Si certaines fonctions de protection présentent un réglage de la fenêtre temporelle utilisée pour la mesure de la fréquence, la valeur du réglage doit correspondre à la valeur par défaut, sauf si le fabricant recommande que la largeur de la fenêtre soit fonction du réglage de fréquence (G_s). Dans ce cas, la recommandation du fabricant doit être respectée.

6.3.2.3 Points d'essai et calcul du temps de démarrage

Le temps de démarrage est mesuré pour les points d'essai suivants (Tableaux 13 et 14). Chaque essai est répété 10 fois.

Les essais sont répétés pour chacune des valeurs nominales de fréquence industrielle de la fonction de protection (habituellement 50 Hz et 60 Hz).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60255-181:2019

Tableau 13 – Points d'essai pour le temps de démarrage de la fonction de protection à maximum de fréquence

Pente de fréquence	Valeur du point d'essai x^a	Réglage de fréquence (seuil de démarrage, G_s) ^a Hz	Valeur initiale de fréquence d'essai	Valeur finale de fréquence d'essai
Valeur infinie (variation subite)	1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R)	$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
	5 %			$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
	10 %			$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
	100 % (réglage max.)			$G_s + 0,2$ Hz $G_s + 0,5$ Hz $G_s + 1$ Hz $G_s + 2$ Hz
0,5 Hz/s	1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R) ou $G_s - 0,5$ Hz	Sans objet (la valeur $G_s + 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	5 %			
	10 %			
	100 % (réglage max.)			
1 Hz/s	1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R) ou $G_s - 0,5$ Hz	Sans objet (la valeur $G_s + 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	5 %			
	10 %			
	100 % (réglage max.)			
2 Hz/s	1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R) ou $G_s - 0,5$ Hz	Sans objet (la valeur $G_s + 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	5 %			
	10 %			
	100 % (réglage max.)			
5 Hz/s	1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R) ou $G_s - 0,5$ Hz	Sans objet (la valeur $G_s + 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	5 %			
	10 %			
	100 % (réglage max.)			

^a Les points d'essai sont exprimés en pourcentage pour le calcul des réglages de fréquence (seuil G_s) conformément à la règle commune définie en 6.1.

Tableau 14 – Points d'essai pour le temps de démarrage de la fonction de protection à minimum de fréquence

Pente de fréquence	Valeur du point d'essai x^a	Réglage de fréquence (seuil de démarrage, G_s) ^a Hz	Valeur initiale de fréquence d'essai	Valeur finale de fréquence d'essai
Valeur infinie (variation subite)	-1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R)	$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
	-5 %			$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
	-10 %			$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
	-100 % (réglage min.)			$G_s - 0,2$ Hz $G_s - 0,5$ Hz $G_s - 1$ Hz $G_s - 2$ Hz
-0,5 Hz/s	-1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R) ou $G_s + 0,5$ Hz	Sans objet (la valeur $G_s - 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (réglage min.)			
-1 Hz/s	-1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R) ou $G_s + 0,5$ Hz	Sans objet (la valeur $G_s - 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (réglage min.)			
-2 Hz/s	-1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R) ou $G_s + 0,5$ Hz	Sans objet (la valeur $G_s - 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (réglage min.)			
-5 Hz/s	-1 %		Toutes les valeurs nominales déclarées (f_R)	Sans objet (la valeur $G_s - 2$ Hz peut être utilisée comme dernière valeur de la rampe de fréquence)
	-5 %			
	-10 %			
	-100 % (réglage min.)			

^a Les points d'essai sont exprimés en pourcentage pour le calcul des réglages de fréquence (seuil G_s) conformément à la règle commune définie en 6.1.

6.3.2.4 Déclaration du temps de démarrage

Les résultats d'essai sont déclarés sous forme de tableau, comme indiqué dans le Tableau 15, où les valeurs minimales, moyennes et maximales sont calculées. En outre, les résultats d'essai sont déclarés sous forme graphique, comme représenté à la Figure 14. Les résultats indiqués dans le Tableau 15 et à la Figure 14 sont fournis à titre d'exemple.

Tableau 15 – Déclaration du temps de démarrage des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

Temps de démarrage pour les fonctions de protection à minimum (ou maximum) de fréquence Fréquence nominale 50 Hz				
Dérivée de fréquence	Saut de fréquence (variation subite)	Temps de DEMARRAGE minimal	Temps de DEMARRAGE maximal	Temps de DEMARRAGE moyen
0,5 Hz/s	s.o.	75 ms	85 ms	80 ms
1,0 Hz/s	s.o.	70 ms	85 ms	81 ms
2,0 Hz/s	s.o.	75 ms	90 ms	82 ms
5,0 Hz/s	s.o.	78 ms	92 ms	85 ms
Variation subite	0,2 Hz	180 ms	200 ms	190 ms
Variation subite	0,5 Hz	170 ms	190 ms	180 ms
Variation subite	1 Hz	150 ms	180 ms	170 ms
Variation subite	2 Hz	140 ms	180 ms	165 ms

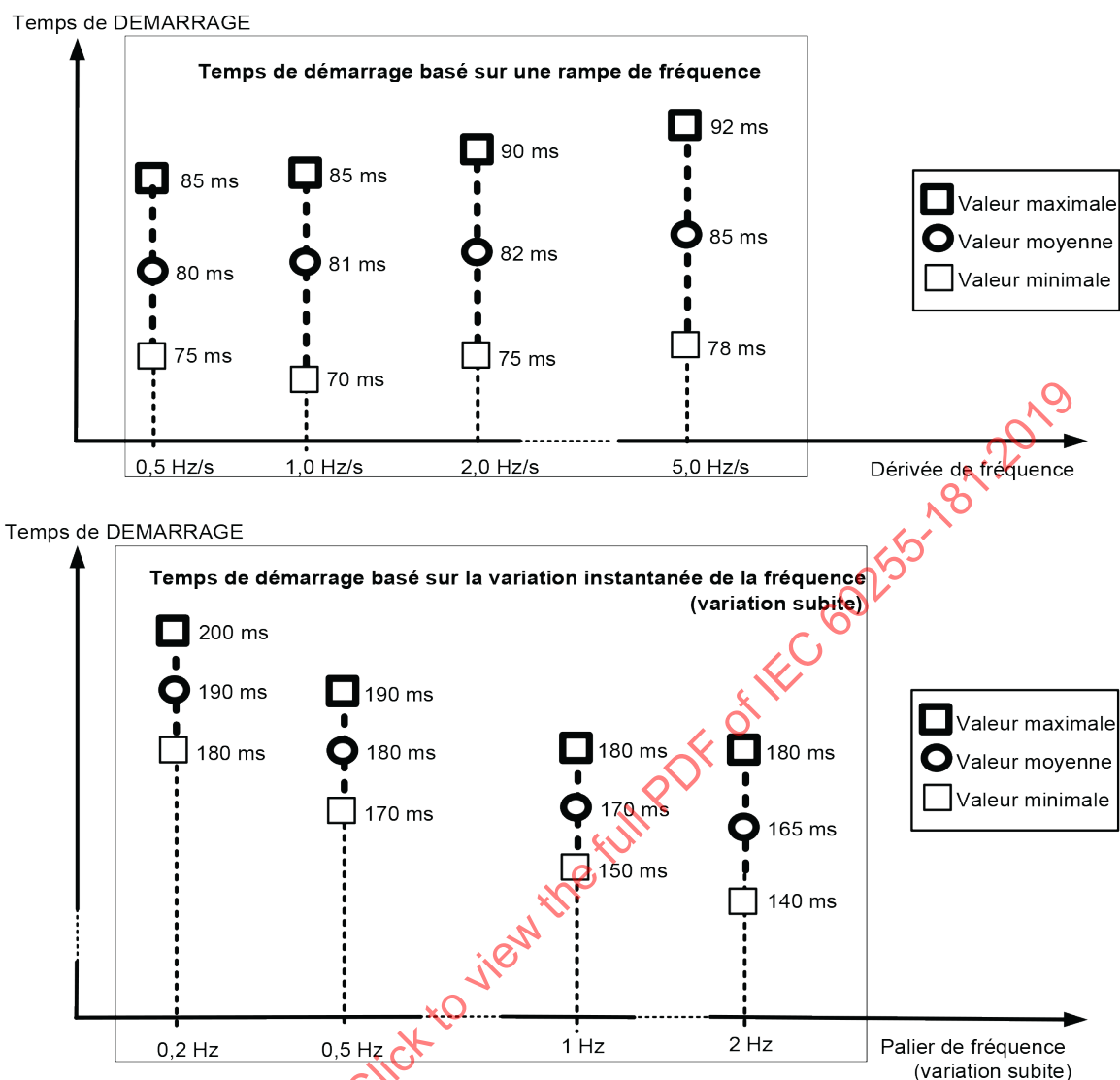


Figure 14 – Exemple de déclaration du temps de démarrage des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

6.3.3 Dérivée de fréquence

6.3.3.1 Description de la forme d'onde générée

La mesure du temps de démarrage est évaluée en utilisant une méthode d'essai basée sur une pente de fréquence constante. La méthode est représentée à la Figure 15 (pour une fonction de protection à dérivée de fréquence positive).

Pendant la transition caractérisée par une variation de fréquence, le signal injecté doit être géré sans discontinuité au niveau de la forme d'onde de tension, à l'exception de l'évolution de la fréquence. Cette variation de fréquence est représentée à l'Annexe E.

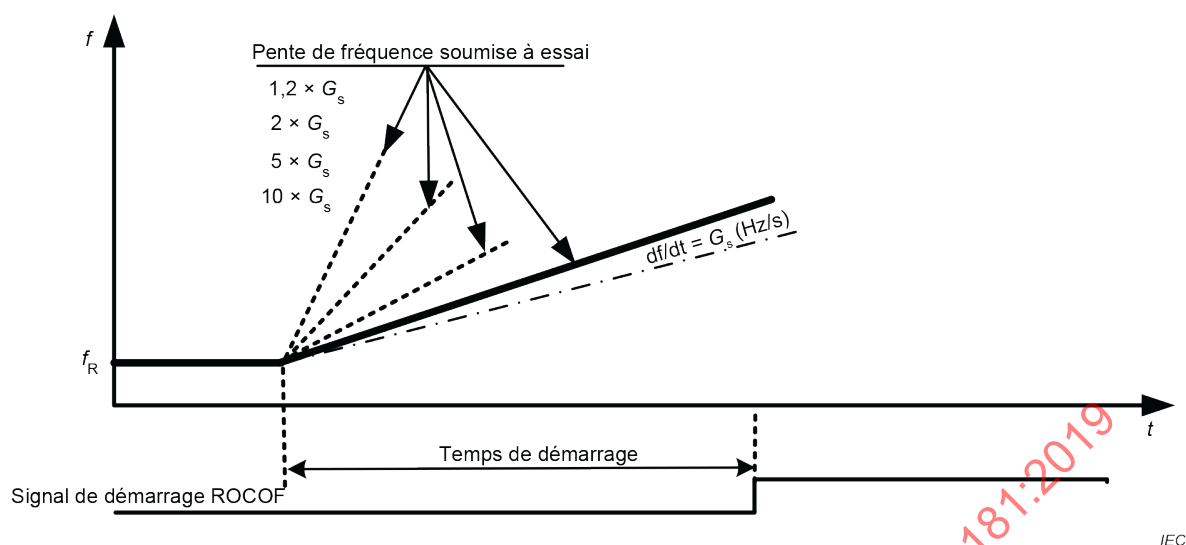


Figure 15 – Mesure du temps de démarrage d'une fonction de protection à dérivée de fréquence positive

Chaque injection d'essai est déterminée par les points d'essai définis dans le Tableau 16.

- La valeur initiale de fréquence d'essai est toujours égale à la fréquence industrielle nominale soumise à essai.
- La fréquence est augmentée avec différentes valeurs de pente de fréquence, afin de mesurer le temps de démarrage dans différentes conditions d'essai.
- L'injection peut être interrompue lorsque le signal de démarrage de la fonction de protection est activé.
- La mesure du temps de démarrage est initiée lorsque la variation de fréquence démarre, et est interrompue lorsque le signal de démarrage de la fonction de protection est activé.

L'Annexe A définit la formule pour les signaux d'essai présentant une pente de fréquence constante.

La fréquence injectée doit toujours être comprise dans le domaine de fonctionnement de la fonction de protection, si un domaine de fréquences de fonctionnement est déclaré pour la fonction de protection ROCOF. Cette condition peut exiger une durée limitée pour la rampe de fréquence. Pour les réglages hauts de plage de réglage de la protection ROCOF, si la fréquence injectée sort du domaine de fonctionnement déclaré avant le fonctionnement du signal de démarrage, la fonction ne peut pas être soumise à l'essai avec ce réglage, compte tenu des conditions d'essai normalisées. Dans ce cas, le fabricant doit signaler cette information et déclarer la méthode d'essai appropriée à utiliser pour mesurer le temps de démarrage de ces réglages.

6.3.3.2 Réglages des fonctions de protection

Les réglages du seuil de la protection ROCOF doivent être modulés sur la plage de réglages comme indiqué dans le Tableau 16.

Si certaines fonctions de protection présentent un réglage de la fenêtre temporelle utilisée pour la mesure de la fréquence, la valeur du réglage doit correspondre à la valeur par défaut, sauf si le fabricant recommande que la largeur de la fenêtre soit fonction du réglage de dérivée de fréquence (G_s). Dans ce cas, la recommandation du fabricant doit être respectée.

6.3.3.3 Points d'essai et calcul du temps de démarrage typique

Le temps de démarrage est calculé pour les cas d'essai indiqués dans le Tableau 16. Chaque essai est répété 10 fois.

Les essais sont répétés pour chacune des valeurs nominales de fréquence industrielle de la fonction de protection (habituellement 50 Hz et 60 Hz).

Tableau 16 – Points d'essai pour le temps de démarrage de la fonction de protection à minimum de fréquence

Valeur du point d'essai x^a	Réglage ROCOF (seuil de démarrage, G_s) ^a Hz/s	Valeur de la pente de fréquence Hz/s
Minimum (0 %)		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$) $5 \times G_s$ (or $-5 \times G_s$) $10 \times G_s$ (or $-10 \times G_s$)
5 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$) $5 \times G_s$ (or $-5 \times G_s$) $10 \times G_s$ (or $-10 \times G_s$)
10 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$) $5 \times G_s$ (or $-5 \times G_s$)
30 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$)
60 %		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$)
Maximum (100 %)		$1,2 \times G_s$ (or $-1,2 \times G_s$) $2 \times G_s$ (or $-2 \times G_s$)
^a Les points d'essai sont exprimés en pourcentage pour le calcul des réglages de la protection ROCOF (seuil G_s) conformément à la règle commune définie en 6.1.		

Si certains des points d'essai exigés dans le Tableau 16 conduisent à une dérivée de fréquence en dehors du domaine de fonctionnement déclaré par le fabricant (Tableau 3), ces points d'essai spécifiques doivent être ignorés et le résultat d'essai doit être déclaré "non soumis à essai – en dehors du domaine de fonctionnement df/dt " et l'essai doit être réalisé à la valeur maximale de la dérivée de fréquence, définie par le domaine de fonctionnement déclaré.

6.3.3.4 Déclaration du temps de démarrage typique

L'ensemble des 170 mesures du temps de démarrage sont consignées dans un histogramme basé sur une résolution de 1 ms. L'histogramme est accompagné de la déclaration des valeurs minimale, maximale et moyenne, comme représenté à la Figure 16 et dans le Tableau 17.

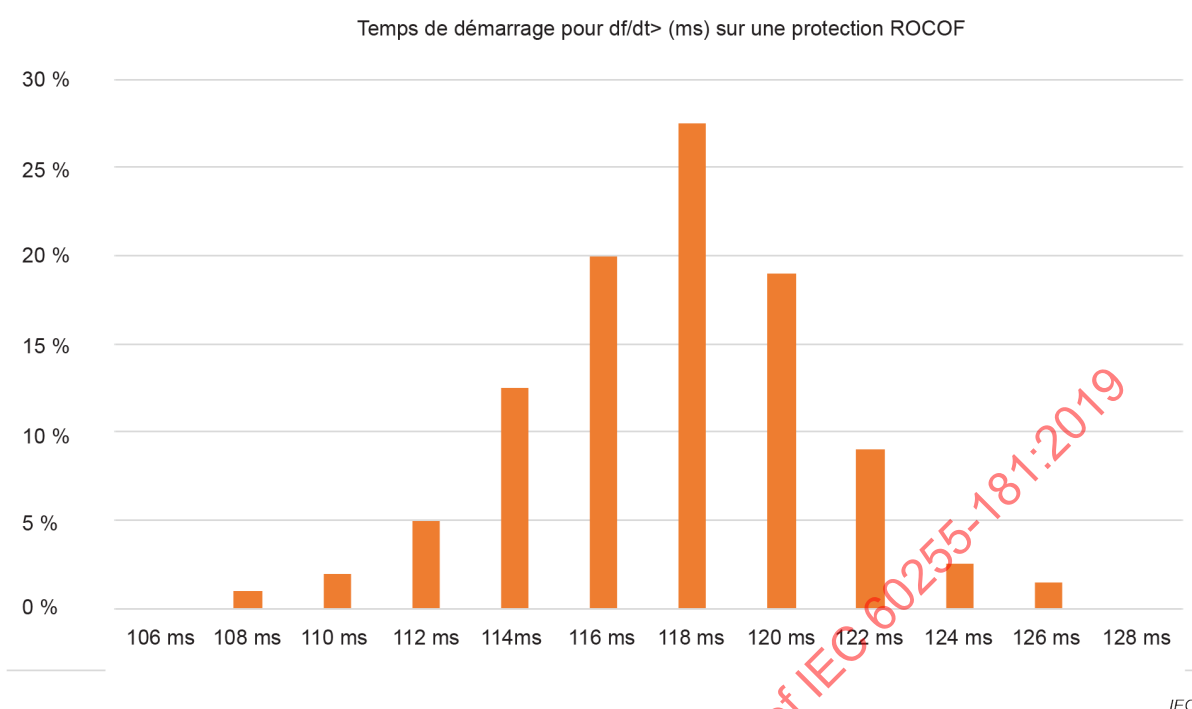


Figure 16 – Histogramme des résultats d'essai du temps de démarrage de la protection ROCOF

Tableau 17 – Déclaration du temps de démarrage typique de la fonction de protection ROCOF

Temps de démarrage typique de la protection ROCOF	
Valeur min.	108 ms
Valeur moyenne	118 ms
Valeur max.	126 ms

6.4 Détermination de la précision de la temporisation de fonctionnement

6.4.1 Généralités

La temporisation du temps de fonctionnement se définit comme la différence entre l'activation du signal de démarrage et le signal de fonctionnement (de déclenchement).

Cette définition est valide pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence et les fonctions de protection ROCOF.

6.4.2 Description de la méthode d'essai

La méthode d'essai doit se baser sur les mêmes principes que les essais de mesure du temps de démarrage:

- pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence, une méthode d'essai basée sur une variation subite de la fréquence;
- pour les fonctions de protection ROCOF, une méthode d'essai basée sur une pente de fréquence constante de valeur finie.

Ces deux méthodes d'essai sont représentées à la Figure 17 (pour les fonctions de protection à maximum de fréquence et à dérivée de fréquence positive).

Pendant la transition caractérisée par une variation de fréquence, le signal injecté doit être géré sans discontinuité au niveau de la forme d'onde de tension, à l'exception de l'évolution de la fréquence. Cette variation de fréquence est représentée à l'Annexe E.

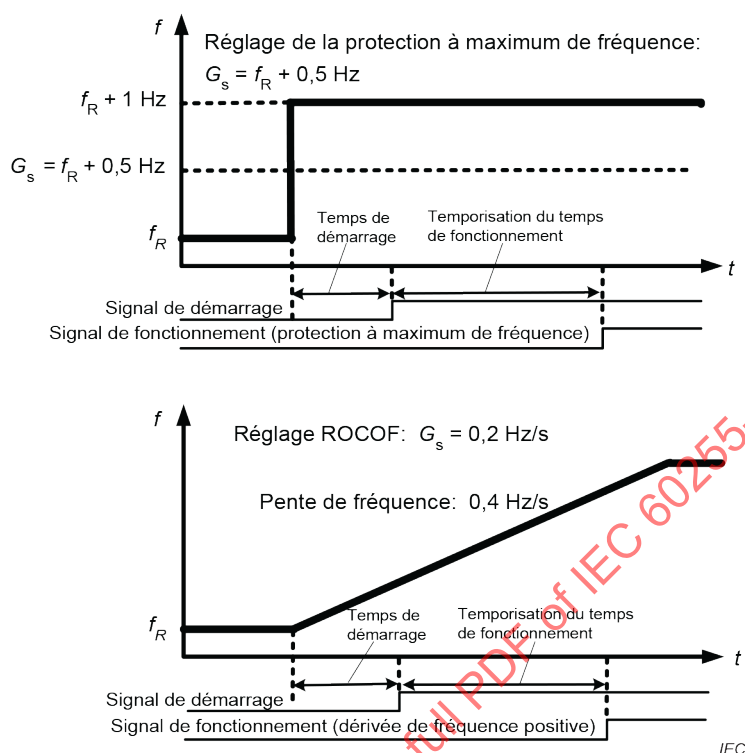


Figure 17 – Mesure de la temporisation du temps de fonctionnement des fonctions de protection à maximum de fréquence et des fonctions de protection à dérivée de fréquence positive

Ces essais reprennent les points d'essai définis dans le Tableau 18.

- La valeur initiale de fréquence d'essai est toujours égale à la fréquence industrielle nominale soumise à essai.
- Pour la protection à maximum de fréquence, le seuil G_s est défini à la fréquence nominale + 0,5 Hz, et la valeur finale de fréquence d'essai est égale à la fréquence nominale + 1 Hz.
- Pour la protection à minimum de fréquence, le seuil G_s est défini à la fréquence nominale - 0,5 Hz, et la valeur finale de fréquence d'essai est égale à la fréquence nominale - 1 Hz.
- Pour la dérivée de fréquence, le seuil G_s est de 0,2 Hz (avec seuils positifs ou négatifs, le cas échéant) et la fréquence augmente avec une pente de fréquence constante de 0,4 Hz.
- L'essai peut être interrompu lorsque la fonction de protection se déclenche (activation du signal de fonctionnement). La temporisation du temps de fonctionnement est mesurée entre l'instant où le signal de démarrage est confirmé et l'instant où le signal de fonctionnement est confirmé.

Au moins 5 réglages (c'est-à-dire 10 %, 20 %, 30 %, 50 % et 100 %) de la plage de réglages de temporisation doivent être soumis à essai. Les réglages de temporisation soumis à essai sont exprimés en pourcentage du réglage de temporisation maximal.

La temporisation du temps de fonctionnement doit être soumise à essai avec au moins les points d'essai définis dans le Tableau 18.

**Tableau 18 – Points d'essai pour la mesure de la temporisation
du temps de fonctionnement**

Fonction de protection de fréquence	Réglage de fréquence ou de dérivée de fréquence (seuil de démarrage, G_s)	Valeur initiale de fréquence d'essai	Valeur finale de fréquence d'essai
Protection à maximum de fréquence	$f_R + 0,5 \text{ Hz}$	f_R	$f_R + 1 \text{ Hz}$, avec variation subite
Protection à minimum de fréquence	$f_R - 0,5 \text{ Hz}$	f_R	$f_R - 1 \text{ Hz}$, avec variation subite
ROCOF	0,2 Hz/s (avec seuils positifs ou négatifs, le cas échéant)	f_R	0,4 Hz/s avec dérivée de fréquence positive ou négative selon le seuil soumis à essai

Les essais sont répétés pour chacune des valeurs nominales de fréquence industrielle (f_R) de la fonction de protection (habituellement 50 Hz et 60 Hz).

Chaque point d'essai doit être répété au moins 5 fois afin de garantir la répétabilité des résultats et les résultats d'essai sont déclarés comme indiqué dans le Tableau 19.

Lors de l'évaluation de la temporisation du temps de fonctionnement, la valeur de référence théorique doit être:

- la valeur de réglage de la temporisation, si la temporisation s'appuie sur un temporisateur supplémentaire basique;
- la valeur de réglage de la temporisation moins une constante définie par le fabricant, si le réglage de la temporisation intègre des corrections pour le temps de démarrage de la fonction de protection et/ou pour le temps de réponse du contact de sortie.

Le Tableau 19 indique les essais qui doivent être réalisés pour chaque fonction de protection de fréquence. Chaque fonction doit satisfaire à tous les essais, conformément aux tolérances déclarées par le fabricant.

**Tableau 19 – Points d'essai pour la précision de la temporisation
du temps de fonctionnement**

Réglage de la temporisation du temps de fonctionnement (t_{delay})	Essai 1 ms	Essai 2 ms	Essai 3 ms	Essai 4 ms	Essai 5 ms	Critères d'acceptation ms
10 %						Précision déclarée de $t_{\text{delay}} \pm$
50 %						Précision déclarée de $t_{\text{delay}} \pm$
100 % (max.)						Précision déclarée de $t_{\text{delay}} \pm$

Si le signal de démarrage et le signal de fonctionnement ne sont pas accessibles simultanément pour mesurer la différence de temps au même moment, la méthode d'essai décrite ci-dessus ne s'applique pas (méthode non appropriée). Dans ce cas, le fabricant doit déclarer que l'essai ne peut pas être réalisé conformément au présent document et indiquer la méthode d'essai appropriée à utiliser pour vérifier la précision de la temporisation du temps de fonctionnement.

6.4.3 Déclaration de la précision de la temporisation du temps de fonctionnement

La précision de la temporisation du temps de fonctionnement doit être déclarée par le fabricant conformément au Tableau 20, qui représente l'expression d'une erreur en valeur absolue et d'une erreur en valeur relative, valeurs données à titre d'exemple.

Tableau 20 – Déclaration de la précision de la temporisation du temps de fonctionnement des fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence

Protection à minimum (ou maximum) de fréquence Précision de la temporisation du temps de fonctionnement	
Précision de la temporisation du temps de fonctionnement	$\pm 0,01\%$ (de la valeur de réglage) ou $\pm 2,5$ ms (la plus élevée des deux valeurs)

Lors de l'évaluation du temps de fonctionnement, mesuré depuis l'instant où se produit le défaut sur le réseau électrique jusqu'à l'instant où la fonction de protection est activée, il est nécessaire d'additionner la précision du temps de DEMARRAGE et celle de la temporisation du temps de fonctionnement. Pour cette raison, le fabricant doit exprimer la précision de la temporisation du temps de fonctionnement de la même manière que celle choisie pour exprimer la précision du temps de démarrage.

6.5 Détermination du temps de dégagement

6.5.1 Généralités

Les essais suivants décrivent les méthodes permettant de déterminer le temps de dégagement. La méthodologie d'essai utilisée pour la détermination du temps de démarrage (6.3) doit être utilisée pour le temps de dégagement, avec un nombre réduit de points d'essai.

Pour les fonctions de protection à minimum/maximum de fréquence, cette performance est synthétisée dans les diagrammes représentatifs du temps de dégagement de la fonction de protection, où le temps de dégagement est fonction de la vitesse de variation de la fréquence du réseau électrique (dérivée de la fréquence du réseau électrique) à l'approche et lors du dépassement du réglage de la fonction de protection ($G_s = f >$ ou $G_s = f <$).

Les essais doivent être réalisés avec des rampes de fréquence présentant une pente de fréquence constante, en partant d'une valeur initiale de fréquence anormale, menant au démarrage de la fonction de protection (valeur initiale supérieure/inférieure au réglage), jusqu'à la fréquence nominale assurant le retour de la fonction de protection. La fréquence varie selon les pentes définies. Ces essais sont représentatifs des conditions dans les réseaux électriques où la fréquence peut varier selon une certaine pente, en fonction des inerties électromécaniques en présence.

La limite supérieure de cette condition est le "saut de fréquence". Dans cette condition, la fréquence du réseau électrique peut varier subitement depuis une valeur initiale "anormale" (supérieure au seuil de la protection à maximum de fréquence ou inférieure au seuil de la protection à minimum de fréquence) jusqu'à la valeur nominale.

Pour les fonctions de protection ROCOF, cette performance est synthétisée dans le temps de dégagement typique de la fonction de protection. Les essais permettant d'évaluer le temps de dégagement typique doivent être réalisés en appliquant une méthode d'essai basée sur différentes pentes de fréquence constantes et avec une dérivée de fréquence située dans la zone de fonctionnement de la protection à dérivée de fréquence.

Pour les essais de précision des seuils (6.2), chaque point d'essai est généralement répété 5 fois. Pour les essais de type relatifs au temps de dégagement, chaque point d'essai est répété 10 fois afin d'obtenir une distribution temporelle plus précise, incluant les valeurs minimales et maximales.

6.5.2 Protections à minimum/à maximum de fréquence

6.5.2.1 Description de la forme d'onde générée

La méthode d'essai basée sur une variation subite de la fréquence est représentée à la Figure 18 (pour la fonction de protection à maximum de fréquence).

Pendant la transition caractérisée par une variation de fréquence, le signal injecté doit être géré sans discontinuité au niveau de la forme d'onde de tension, à l'exception de l'évolution de la fréquence. Cette variation de fréquence est représentée à l'Annexe E.

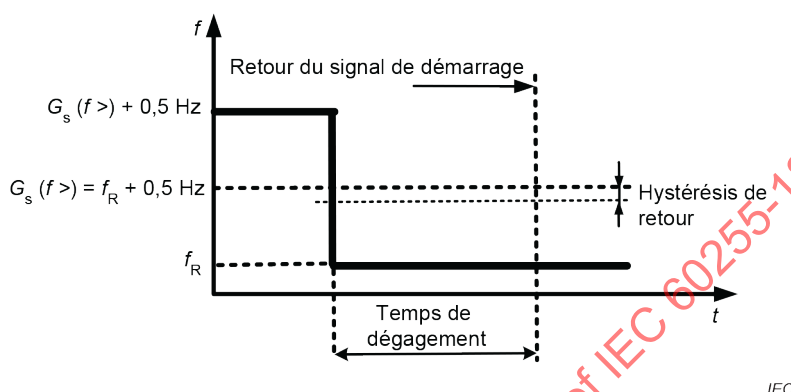


Figure 18 – Mesure du temps de dégagement de la protection à maximum de fréquence avec variation subite de fréquence

Chaque cas d'essai est déterminé par les points d'essai définis dans le Tableau 21 et le Tableau 22. Ces points d'essai sont identifiés avec une pente de fréquence de valeur infinie (variation subite).

- La valeur du point d'essai initial est égale au réglage $G_s + 0,5 \text{ Hz}$ (pour la protection à maximum de fréquence) ou au réglage $G_s - 0,5 \text{ Hz}$ (pour la protection à minimum de fréquence), pendant un temps minimal égal à la plus élevée des valeurs 1 000 ms ou au double du temps de démarrage typique. Ce premier temps d'injection doit assurer le démarrage et au final une stabilisation de l'asservissement de fréquence, lorsqu'il s'applique.
- La valeur finale de fréquence d'essai est toujours égale à la fréquence industrielle nominale soumise à essai.
- Le temps de dégagement est mesuré entre l'instant où la fréquence varie et l'instant où le signal de démarrage retourne.

La méthode d'essai basée sur une pente de fréquence constante de valeur finie est représentée à la Figure 19 (pour la fonction de protection à maximum de fréquence).

Pendant la transition caractérisée par une variation de fréquence, le signal injecté doit être géré sans discontinuité au niveau de la forme d'onde de tension, à l'exception de l'évolution de la fréquence. Cette variation de fréquence est représentée à l'Annexe E.

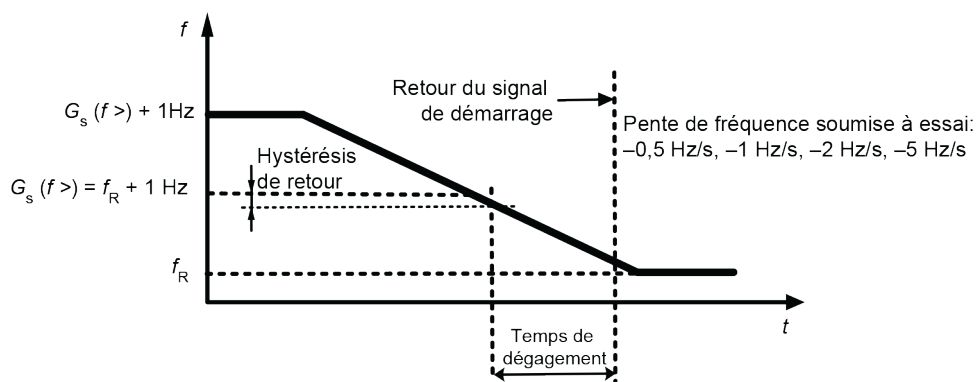


Figure 19 – Mesure du temps de dégagement de la protection à maximum de fréquence avec rampe de fréquence à pente de fréquence constante

Chaque injection d'essai est déterminée par les points d'essai définis dans le Tableau 21 et le Tableau 22. Ces points d'essai sont identifiés avec des valeurs finies de pente de fréquence.

- La valeur de la fréquence d'essai initiale est égale au réglage $G_s + 1$ Hz (pour la protection à maximum de fréquence) ou au réglage $G_s - 1$ Hz (pour la protection à minimum de fréquence), pendant un temps minimal égal à la plus élevée des valeurs 1 000 ms ou au double du temps de démarrage typique. Ce premier temps d'injection doit assurer le démarrage et au final une stabilisation de l'asservissement de fréquence, lorsqu'il s'applique.
- La fréquence est diminuée (pour la protection à maximum de fréquence) ou augmentée (pour la protection à minimum de fréquence) avec différentes valeurs de pente de fréquence, afin de mesurer le temps de dégagement dans différentes conditions d'essai.
- La valeur finale de fréquence d'essai est toujours égale à la fréquence industrielle nominale soumise à essai.
- La mesure du temps de dégagement est initiée lorsque la fréquence du signal d'essai injecté est égale à la valeur de retour (ce point est précisément défini car la rampe de fréquence est définie par la formule analytique définie dans l'Annexe A), et s'arrête lorsque le signal de démarrage retourne.

L'Annexe A définit la formule pour les signaux d'essai présentant une pente de fréquence constante.

6.5.2.2 Réglages des fonctions de protection

Les réglages de la fréquence de démarrage doivent être modulés sur la plage de réglages comme indiqué dans les Tableaux 21 et 22.

Si certaines fonctions de protection présentent un réglage de la fenêtre temporelle utilisée pour la mesure de la fréquence, la valeur du réglage doit correspondre à la valeur par défaut, sauf si le fabricant recommande que la largeur de la fenêtre soit fonction du réglage de fréquence (G_s). Dans ce cas, la recommandation du fabricant doit être respectée.

6.5.2.3 Points d'essai et calcul du temps de dégagement

Le temps de dégagement est calculé pour les points d'essai suivants (Tableau 21 et Tableau 22). Chaque essai est répété 10 fois.

Les essais sont répétés pour chacune des valeurs nominales de fréquence industrielle de la fonction de protection (habituellement 50 Hz et 60 Hz).

Tableau 21 – Points d'essai pour le temps de dégagement de la fonction de protection à maximum de fréquence

Pente de fréquence	Réglage de fréquence (seuil de démarrage, G_s)	Valeur initiale de fréquence d'essai	Valeur finale de fréquence d'essai
Valeur infinie (variation subite)	$f_R + 0,5 \text{ Hz}$	$f_R + 1 \text{ Hz}$	f_R
-0,5 Hz/s	$f_R + 1 \text{ Hz}$	$f_R + 2 \text{ Hz}$	f_R
-1 Hz/s			
-2 Hz/s			
-5 Hz/s			

Tableau 22 – Points d'essai pour le temps de dégagement de la fonction de protection à minimum de fréquence

Pente de fréquence	Réglage de fréquence (seuil de démarrage, G_s)	Valeur initiale de fréquence d'essai	Valeur finale de fréquence d'essai
Valeur infinie (variation subite)	$f_R - 0,5 \text{ Hz}$	$f_R - 1 \text{ Hz}$	f_R
0,5 Hz/s	$f_R - 1 \text{ Hz}$	$f_R - 2 \text{ Hz}$	f_R
1 Hz/s			
2 Hz/s			
5 Hz/s			

Les résultats d'essai sont consignés sous forme tabulaire, et les valeurs minimales, moyennes et maximales sont calculées.

6.5.2.4 Déclaration des temps de dégagement

La déclaration des temps de dégagement s'effectue conformément au Tableau 23, dans lequel les valeurs indiquées sont fournies à titre d'exemple.

Tableau 23 – Déclaration du temps de dégagement des fonctions de protection à maximum/minimum de fréquence

Temps de dégagement des fonctions de protection à maximum (ou à minimum) de fréquence Fréquence nominale 50 Hz			
Dérivée de fréquence	Temps de dégagement minimal	Temps de dégagement maximal	Temps de dégagement moyen
0,5 Hz/s	72 ms	85 ms	80 ms
1,0 Hz/s	70 ms	85 ms	81 ms
2,0 Hz/s	75 ms	90 ms	82 ms
5,0 Hz/s	78 ms	92 ms	85 ms
Valeur infinie (variation subite)	110 ms	120 ms	116 ms