

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



---

**Overhead lines – Method for fatigue testing of conductors**

**Lignes aériennes – Méthode d'essai de fatigue des conducteurs**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 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  
Fax: +41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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 corrigenda or an amendment might have been published.

#### IEC Catalogue - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

#### IEC publications search - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

More than 60 000 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.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://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: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

---

### 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.

#### Catalogue IEC - [webstore.iec.ch/catalogue](http://webstore.iec.ch/catalogue)

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

#### Recherche de publications IEC - [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

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](http://webstore.iec.ch/justpublished)

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

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

Plus de 60 000 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.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch).

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



---

**Overhead lines – Method for fatigue testing of conductors**

**Lignes aériennes – Méthode d'essai de fatigue des conducteurs**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 29.060, 29.240.20

ISBN 978-2-8322-2778-7

|                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.</b></p> <p><b>Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.</b></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## CONTENTS

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                                         | 3  |
| INTRODUCTION.....                                                                                                     | 5  |
| 1 Scope.....                                                                                                          | 6  |
| 2 Terms and definitions .....                                                                                         | 6  |
| 3 Symbols and abbreviated terms.....                                                                                  | 7  |
| 4 Requirements .....                                                                                                  | 7  |
| 5 Test method .....                                                                                                   | 7  |
| 5.1 Test set-up .....                                                                                                 | 7  |
| 5.1.1 General .....                                                                                                   | 7  |
| 5.1.2 Clamp.....                                                                                                      | 7  |
| 5.1.3 Length of bench.....                                                                                            | 7  |
| 5.1.4 Conductor tension .....                                                                                         | 7  |
| 5.1.5 Sinusoidal excitation.....                                                                                      | 8  |
| 5.1.6 Excitation frequency .....                                                                                      | 8  |
| 5.2 Test parameters for resonance type benches.....                                                                   | 8  |
| 5.3 Termination of a test.....                                                                                        | 8  |
| 5.4 Number of tests .....                                                                                             | 8  |
| 6 Test results .....                                                                                                  | 9  |
| Annex A (informative) Fatigue testing of conductors .....                                                             | 10 |
| A.1 Background.....                                                                                                   | 10 |
| A.2 Confirmation .....                                                                                                | 11 |
| A.3 Present knowledge of fatigue endurance capability of conductors .....                                             | 11 |
| A.4 Important characteristics related to conductor fatigue .....                                                      | 11 |
| A.5 Test details .....                                                                                                | 12 |
| A.5.1 Typical test benches for fatigue tests of conductors.....                                                       | 12 |
| A.5.2 Typical configuration recommended.....                                                                          | 12 |
| A.6 Failure detection .....                                                                                           | 12 |
| A.7 Collection of data base results .....                                                                             | 13 |
| A.7.1 Simple analytical representation of fatigue phenomenon.....                                                     | 13 |
| A.7.2 Idealized stress .....                                                                                          | 14 |
| A.8 Use of results.....                                                                                               | 15 |
| A.9 Type of clamps .....                                                                                              | 15 |
| A.10 Performance comparison .....                                                                                     | 15 |
| Bibliography.....                                                                                                     | 16 |
| Figure 1 – Schematic representation of a resonance-type test bench.....                                               | 8  |
| Figure A.1 – Schematic representation of a typical resonance fatigue test bench.....                                  | 12 |
| Figure A.2 – Conductor supported in a typical short metallic clamp.....                                               | 13 |
| Figure A.3 – Bending model of a conductor supported in a metallic clamp, cantilever beam in a square face block ..... | 13 |
| Figure A.4 – Free loop amplitude $y_{\max}$ .....                                                                     | 14 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OVERHEAD LINES – METHOD FOR FATIGUE  
TESTING OF CONDUCTORS****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 62568 has been prepared by IEC technical committee 7: Overhead electrical conductors.

The text of this standard is based on the following documents:

| FDIS       | Report on voting |
|------------|------------------|
| 7/638/FDIS | 7/640/RVD        |

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

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

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

## INTRODUCTION

Fatigue behaviour of conductors cannot simply be calculated from the fatigue characteristics of the materials used and the stresses that occur. Fatigue characteristics of conductors must be determined by fatigue tests conducted on specific conductor/clamp systems reproducing as closely as possible the field loading conditions. In such tests, the fatigue life must be determined as a function of some measure of vibration intensity rather than of the stress or stress combination that causes the failure.

Fatigue test data are available for only a small fraction of the conductor sizes and types that are in use, and such data are expensive to acquire. Since none of the above parameters is simply related to the fatigue-initiating stresses, results from tests on one conductor size are not necessarily applicable to others.

This IEC Standard is based on these considerations and others explained in Annex A. The user of this standard is encouraged to consult this annex in order to understand the origin of some of the requirements herein.

## OVERHEAD LINES – METHOD FOR FATIGUE TESTING OF CONDUCTORS

### 1 Scope

This International Standard provides test procedures to measure the fatigue characteristics of conductor/clamp systems. For the purposes of this standard, clamps shall be of the metallic type only.

### 2 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

#### 2.1

##### **antinode amplitude**

mid-loop single peak vibration amplitude

#### 2.2

##### **bending amplitude**

peak-to-peak vibration amplitude of conductor with respect to the clamp, measured 89 mm from the last point of contact between the conductor and the clamp

#### 2.3

##### **failure criterion**

benchmark at which the test is deemed terminated.

Note 1 to entry: Two different failure criteria may be chosen:

- a) failure of the first wire, or
- b) failure of three wires or of 10% of the total number of envelope wires for composite conductors, or of the total number of wires for homogeneous conductors

#### 2.4

##### **idealized bending stress**

alternating stress amplitude calculated based on the measured bending amplitude

#### 2.5

##### **idealized dynamic stress**

alternating stress amplitude calculated based on the measured  $f\gamma_{\max}$  product

#### 2.6

##### **idealized strain**

computed dynamic bending alternating strain obtained by dividing the idealised stress by the Young's modulus of the outer layer material

Note 1 to entry: This calculated idealized strain does not correspond to the strain measured on given wires at the exit of the clamp

#### 2.7

##### **resonance fatigue test**

cyclic motion imposed on a conductor in a vertical plane at a resonant frequency of the system

### 3 Symbols and abbreviated terms

|                       |                                                                                                                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f$                   | frequency (Hz)                                                                                                                                              |
| $i$                   | occurrence of wire failure (first = 1, second = 2, third = 3 ...)                                                                                           |
| $N$                   | number of cycles of vibration                                                                                                                               |
| $N_i$                 | number of cycles corresponding to wire failure $i$                                                                                                          |
| $Mc$                  | million cycle                                                                                                                                               |
| $T$                   | conductor mechanical tension                                                                                                                                |
| $Y_b$                 | bending amplitude                                                                                                                                           |
| $y_{\max}$            | antinode amplitude                                                                                                                                          |
| $\sigma_a(Y_b)$       | idealized bending stress                                                                                                                                    |
| $\sigma_a(fy_{\max})$ | idealized dynamic stress                                                                                                                                    |
| $S/N$                 | calculated idealised stress $S$ – number of cycles of vibration $N$                                                                                         |
| $LPC$                 | the last point of contact of the conductor with the clamp in the calculation of an idealized bending stress on an external wire of the conductor in a plane |
| $p-p$                 | peak-to-peak (bending amplitude)                                                                                                                            |
| $RTS$                 | rated tensile strength                                                                                                                                      |
| $LVDT$                | linear variable differential transformer                                                                                                                    |

### 4 Requirements

Fatigue tests on conductor/clamp systems shall be in accordance with the method described in this standard.

### 5 Test method

#### 5.1 Test set-up

##### 5.1.1 General

The test set-up shall be conceptually in accordance with Figure 1. The following elements shall be adhered to:

##### 5.1.2 Clamp

The test bench shall be such as to reproduce the exit angle of the conductor at the clamp. The clamp shall be fixed in such a way as to prevent any movement.

##### 5.1.3 Length of bench

Behind the clamp where the conductor experiences no motion, there shall be a minimum of 1 m of free conductor between the clamp under test and the dead-end clamp.

There shall be a minimum of 5 m between the clamp under test and the point of excitation.

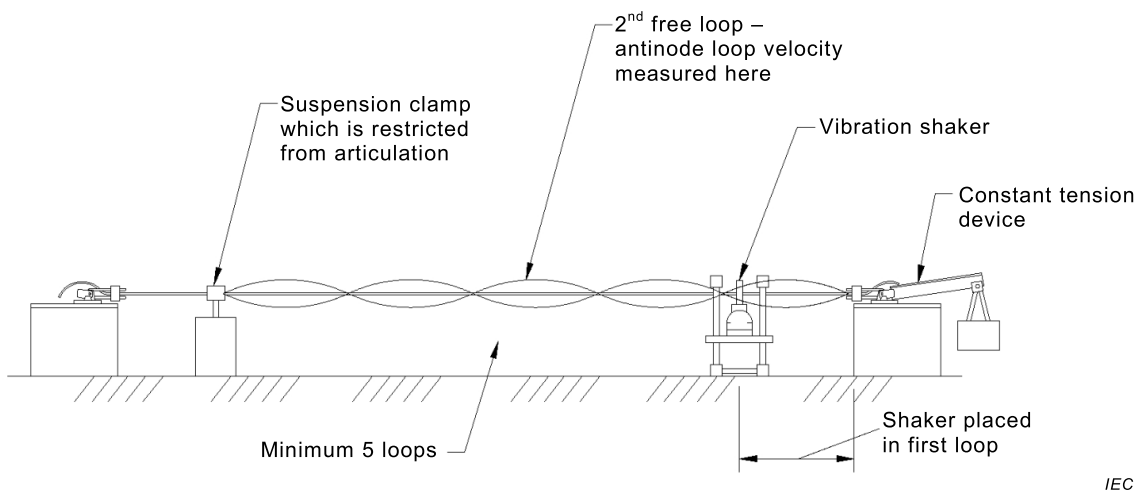
The active length of the test bench shall be long enough to allow the formation of at least 5 vibrating free loops at the resonant frequency chosen for the test.

##### 5.1.4 Conductor tension

The conductor tension shall be maintained at a constant value with a maximum variation of  $\pm 2,5$  %.

### 5.1.5 Sinusoidal excitation

A shaker, or any other appropriate means, shall be placed at the end of the test span opposite to the clamp under test and shall be capable of maintaining constant ( $\pm 5\%$ ) free loop amplitude and frequency.



**Figure 1 – Schematic representation of a resonance-type test bench**

### 5.1.6 Excitation frequency

The frequency of excitation shall be in the range of (10 to 60) Hz.

## 5.2 Test parameters for resonance type benches

The following parameters shall be monitored:

- bending amplitude  $Y_b$
- antinode amplitude  $y_{\max}$
- frequency  $f$
- conductor mechanical tension  $T$
- number of cycles  $N$
- each occurrence of wire failure and the corresponding number of cycles  $N_i$

### 5.3 Termination of a test

The test shall be terminated when a predetermined number of wire failures  $i$  is recorded or when the test has reached  $N = 500$  Mc.

At the end of each test, the clamp region of the conductor shall be dissected and the number of wire failures found shall correspond to the number of failures recorded by the wire failure detector. If the results cannot be reconciled, the test shall be discarded.

### 5.4 Number of tests

A minimum of 12 tests shall be performed to determine the endurance limit of a conductor/clamp system. Three of these tests shall be at an amplitude that shall produce no wire failure up to 500 Mc. The vibration amplitude of the other nine tests shall be determined in order to distribute, as evenly as possible, the wire failures between (0,8 and 500) Mc.

## 6 Test results

The following information shall be provided in the report for each test:

- the failure criterion used
- number of cycles corresponding to wire failure(s)  $N_i$
- number of cycles  $N$  completed if there was no failure
- mapping of the wire failure locations in the transverse and the longitudinal planes with respect to the support clamp
- frequency  $f$ , antinode amplitude  $y_{\max}$  and, the resulting fatigue indicator  $fy_{\max}$
- bending amplitude  $Y_b$
- conductor mechanical tension  $T$
- S/N diagram of the idealized bending stress  $\sigma_a(Y_b)$  using the Poffenberger-Swart relationship. (see A.7.2)
- S/N diagram of the idealized dynamic stress  $\sigma_a(fy_{\max})$  (see A.7.2)
- The endurance limits  $\sigma_a(Y_b)$  and  $\sigma_a(fy_{\max})$  which correspond to the maximum vibration amplitude under which the conductor has experienced no fatigue damage up to 500 Mc.

## Annex A (informative)

### Fatigue testing of conductors

#### A.1 Background

It has long been recognized that conductor fatigue and its resulting consequence, the breaking of conductor strands, was due to a phenomenon known as fretting fatigue, in locations on the conductor where its motion is restrained, e.g. suspension clamps, spacer clamps or damper clamps.

Relating the measurable vibration of an overhead span of conductor to the likelihood of fatigue of its strand is a complicated matter. The stresses that cause the failures are not related in a simple way to the gross motions of the conductor. The failures originate at locations where there is surface contact and fretting between components (wire/wire or wire/support contacts). A valid analysis relating the fretting fatigue mechanism to the vibration of the conductor has yet to be published.

Fatigue behaviour of conductors cannot simply be calculated from the fatigue characteristics of the materials used and the stresses that occur. Fatigue characteristics of conductors must be determined by fatigue tests conducted on specific conductor/clamp systems reproducing as closely as possible the field loading conditions. In such tests, the fatigue life must be determined as a function of some measure of vibration intensity rather than of the stress or stress combination that causes the failure.

Several parameters of vibration intensities have been employed. None came out as outstanding to relate results from tests on laboratory spans to actual in situ measurements of conductor vibration with different conductor/clamp systems. For practical reasons, the bending amplitude  $Y_b$  and the product of the free loop amplitude  $y_{\max}$  and the frequency  $f$  ( $fy_{\max}$ ) have gradually been accepted with their inherent limitations.

Fatigue test data are available for only a small fraction of the conductor sizes and types that are in use, and such data is expensive to acquire. Since none of the above parameters is simply related to the fatigue-initiating stresses, results from tests on one conductor size are not necessarily applicable to others. To deal with that situation, an idealized stress (or strain) that can be calculated from vibration amplitude and that correlates well enough with conductor fatigue life to permit its use in establishing a single endurance limit for a range of conductor sizes and type of support was assumed.

Use of such an idealized stress lacks a fundamental analytical basis. However, ranges of conductor size and support arrangement have been found where its use gives results that are reliable enough to be usefully applied. It is important and useful to propose an IEC Standard based on the previous considerations to characterize the fatigue behaviour of conductor/clamp systems.

The scope of the new standard is to provide test procedures based on the experience gained in the recent years. The following three references are particularly relevant:

- CIGRE SC 22 WG 04 *Guide for Endurance Tests of Conductors Inside Clamps*, ELECTRA No 100, 1985, May pp.77-86
- CIGRE SC B2 WG11 TF7 *Fatigue Endurance capability of Conductor/Clamp Systems – Update of Present Knowledge*, CIGRE TB # 332, 2007, Paris
- EPRI Chapter 3, *Fatigue of Overhead Conductors*, EPRI Transmission Line Reference Book: Wind-Induced Conductor Motion, 2<sup>nd</sup> Ed., EPRI, Palo Alto, CA 2006

## A.2 Confirmation

A standard to measure a mechanical characteristic of a component should:

- correctly represent conditions of loading to which the component is subjected to;
- specify acceptable conditions of loading and range of loads representative of in situ conditions of use;
- propose set up for testing enabling duplication of results by independent laboratories;
- permit collection of data leading to the use of simple and current methods of interpretation;
- lend itself to interpretation of results without ambiguous application to the cases being evaluated.

## A.3 Present knowledge of fatigue endurance capability of conductors

Present knowledge of fatigue endurance capability of conductors includes the following:

- Conductor fatigue, resulting in the breaking of conductor strands, is due to fretting fatigue (contact stresses and micro-slip at wire/wire or wire/clamp contacts).
- Conductor fatigue happens where conductor motion is restrained (e.g. at suspension clamps, spacer clamps, damper clamps, etc).
- The stresses (contact stresses and micro-slip) that cause the strand failures are not related in a simple way to the gross motion of the conductor.
- A valid analysis relating the fretting fatigue mechanism to the vibration motion of conductors has yet to be developed.
- The characterization in fatigue of conductor wires alone is not yet possible; fatigue characteristics of conductors are determined by fatigue tests conducted on specific conductor/clamp systems.
- The bending amplitude model presently in use represents a conductor supported as a cantilever beam in a square face block.
- The bending amplitude model proposes, as a fatigue index, the calculation of an idealized bending stress on an external wire of the conductor in a plane encompassing the last point of contact (LPC) of the conductor with the clamp.
- For practical reasons, the bending amplitude  $Y_b$  (measured at 89 mm from the LPC) and the product of the frequency  $f$  and the free loop amplitude  $y_{\max}$  ( $fy_{\max}$ ) have gradually been accepted as parameters for the calculation of the amplitude of the idealized bending stress.

## A.4 Important characteristics related to conductor fatigue

Some important characteristics related to conductor fatigue include:

- Aeolian vibration, with a frequency range of (3 to 150) Hz and antinode amplitudes (p-p) up to 1 conductor diameter, is the main cause of conductor fatigue.
- Free loop amplitudes of aeolian vibration are variable and result in spectrum loading at the support.
- The frequency is related to the wind velocity by a law proposed by Strouhal ( $f = 0,185 V/d$ ).
- Large amplitude vibrations at conductor support, related to conductor galloping, are also reckoned as possible source of fretting fatigue of conductors.

## A.5 Test details

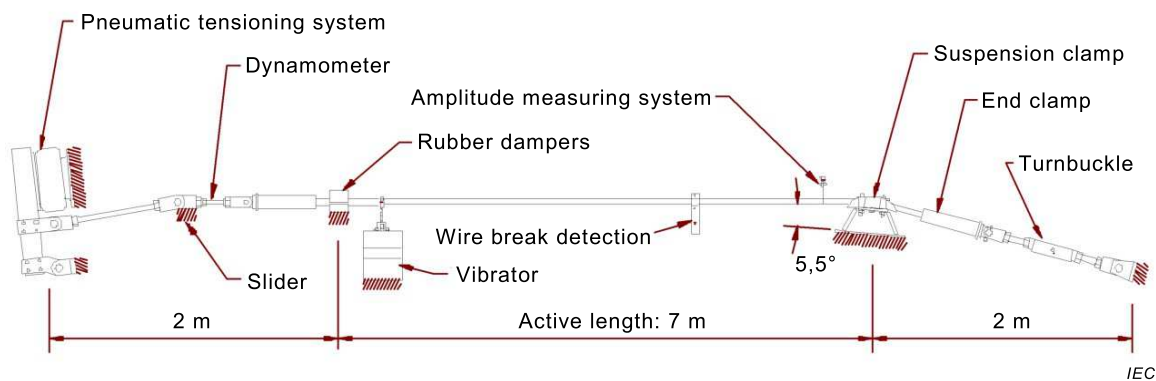
### A.5.1 Typical test benches for fatigue tests of conductors

Typical test benches for fatigue tests of conductors include:

- Resonance type: a cyclic motion is imposed on a conductor in a vertical plane at a resonant frequency of the system. It is the most common and the most accepted way for testing conductor fatigue.
- Alternating tension: a cyclic tension force is applied to a piece of conductor in a tension machine.
- Inverted bending: a cyclic motion is imposed to a conductor by imposing a forced cyclic motion to the supporting clamp.
- Fretting fatigue of wires: fatigue tests are performed directly on conductor wires.

### A.5.2 Typical configuration recommended

The resonance type test bench is the configuration retained for the IEC standard as illustrated in Figure 1. A typical resonance fatigue test bench is also shown in Figure A.1.



**Figure A.1 – Schematic representation of a typical resonance fatigue test bench**

Its main characteristics can be summarized as follows:

- Asymmetrical model: only one side of the supported conductor forms the test bench to evaluate a given conductor/clamp system.
- Clamp angle: The test bench permits to reproduce the exit angle of the conductor at the clamp (e.g. suspension clamp, spacer clamp, etc).
- Fixation of clamp: although the suspension clamp is normally articulated, fatigue tests are conducted in a configuration restricted from articulation (rotation). It thus ensures more repeatable and meaningful results. If the clamp is allowed to rotate, the amount of rotation will affect the fatigue results.
- Conductor mechanical tension: the tension for the test is held constant ( $\pm 2,5\%$ ) at a value typical of the H/w normally encountered (or typical % RTS).
- Length of the test bench: The active “free length” of the test bench is dictated by its ability to produce a minimum of 5 loop resonant frequency in the range of the frequencies encountered by a given conductor.

## A.6 Failure detection

Comparable results may be obtained based on the means available to determine conductor wire damage. Due to complicated stress distribution and fretting conditions inside the conductor, failures are also observed in the inner layers. Detection of failures by periodic

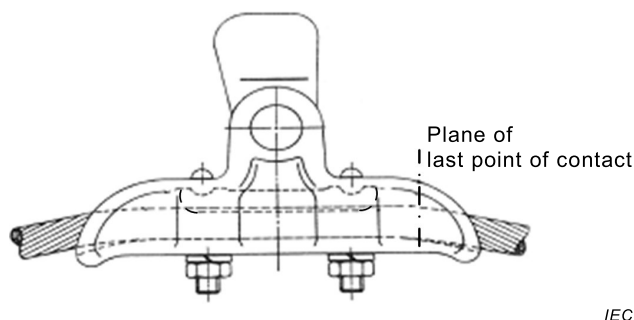
visual inspection of the conductor's outer surface is not sufficient and this problem can be solved using a strand failure detector.

Every available non-destructive method may be used during the fatigue test, such as radiography, shock detection, torsional effects, etc. A simple method based on torsional effects has been developed at Alcoa Laboratories and has been extensively used at GREMCA's Laboratories (EPRI Chapter 3). It consists of a small arm attached to the conductor in order to amplify its relaxation in torsion when a strand failure occurs. The rotational motion of the arm is detected by any suitable sensor (LVDT, proximity sensor, optical sensor), that sends a step signal that may be associated with  $N$ , the number of cycles applied.

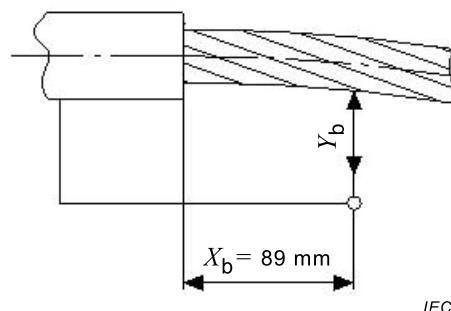
## A.7 Collection of data base results

### A.7.1 Simple analytical representation of fatigue phenomenon

The conductor/clamp system may be simply represented as a cantilever beam supported in a square face block. Although this model is not exact, because the conductor fatigue is caused by inter wire fretting and not by bending of the wire only, it gives the engineer some useful tools to correctly monitor different aspects of the fatigue endurance capability of conductor clamp/systems. Figures A.2 and A.3 illustrate clearly why the bending amplitude method may be valid for conductors fitted with solid metallic clamps, but invalid for conductors in cushioned clamps. In the latter case, it is not possible to locate a precise position for an equivalent plane for the last point of contact (LPC).



**Figure A.2 – Conductor supported in a typical short metallic clamp**



**Figure A.3 – Bending model of a conductor supported in a metallic clamp, cantilever beam in a square face block**

## A.7.2 Idealized stress

### A.7.2.1 Idealized bending stress $\sigma_a(Y_b)$

From the model shown in Figure A.3, Poffenberger and Swart proposed the calculation of an idealized bending stress  $\sigma_a(Y_b)$  in the top-most outer-layer strand of the conductor, in the plane of the last point of contact:

$$\sigma_a(Y_b) = \frac{E_a d p^2}{4 \left( e^{px} - 1 + px \right)} Y_b \quad (\text{A.1})$$

where:

$Y_b$ : bending amplitude (m peak-to-peak)

$E_a$ : Young's modulus of elasticity of outer-layer wire material (N/m<sup>2</sup>)

$d$ : diameter of outer layer wire (m)

$p = (H/EI)^{1/2}$

$H$ : conductor tension at average temperature during test period (N)

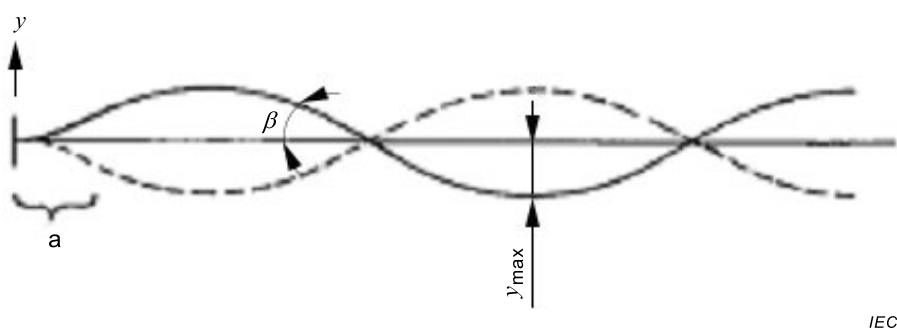
$EI$ : sum of flexural rigidities of individual wires in the cable (N m<sup>2</sup>)

$x$ : distance from the point of measurement to the last point of contact between the clamp and the conductor (m).

In Equation (A.1) the *idealized bending stress* is expressed as a function of the bending amplitude  $Y_b$ .

### A.7.2.2 Idealized dynamic stress $\sigma_a(fy_{\max})$

However in certain circumstances, the product of the free loop amplitude of vibrations  $y_{\max}$  by the frequency  $f$  (the parameter  $fy_{\max}$ ), could be a more practical parameter. Figure A.4 shows the case of a standing wave vibration with a rigidly fixed supporting clamp at the left end of section (a).



IEC

**Figure A.4 – Free loop amplitude  $y_{\max}$**

In that case, the idealized dynamic stress  $\sigma_a(fy_{\max})$  can be expressed as a function of  $fy_{\max}$ :

$$\sigma_a(fy_{\max}) = \pi d E_a \sqrt{\frac{m}{EI}} fy_{\max} \quad (\text{A.2})$$

where:

$E_a$ : Young's modulus of elasticity of outer-layer wire material (N/m<sup>2</sup>)

$d$ : diameter of outer layer wire (m)

- $f$ : frequency of the motion (Hz)  
 $y_{\max}$ : free loop amplitude (m peak)  
 $m$ : conductor mass per unit length (kg/m)  
 $EI$ : sum of flexural rigidities of individual wires in the cable (N m<sup>2</sup>)

The most common format for presenting conductor fatigue test results is the semi logarithmic fatigue endurance curve, representing the  $S/N$  curve. The abscissa is the number of cycles  $N$  and the ordinate the calculated idealised stress. Calculations results differ based on whether  $Y_b$  or  $f y_{\max}$  is used (EPRI Chap. 3).

It is possible to superimpose on the same graph points indicating the 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, and  $k^{\text{th}}$  strand failures for a series of tests. The dispersion of the results is then shown as well as certain particular anomalies when, for instance, an early first failure occurs but is not followed by a second one within the first 500 Mc duration of the test.

The correlation of calculated values and measured values of  $\sigma_a$  may appear to be somewhat academic, since the stresses that initiate fatigue failures are located at metal-to-metal contacts and  $\sigma_a$  is a free-surface stress. The comparisons do, however, provide some measure of the sensitivity of the analysis to the degree of idealization involved in the assumptions employed. There is a strong temptation to attribute to  $\sigma_a$  a meaning different from that of a useful index for a rational interpretation of the bending amplitude of conductors measured at the mouth of a rigid metallic clamp. The reader is urged not to succumb to this temptation! It is common practice to report fatigue performance of conductors relative to either  $Y_b$  or  $f y_{\max}$  (EPRI Chap. 3).

## A.8 Use of results

The results can be used as follows:

- The  $S/N$  curves enable one to establish the fatigue endurance limit of a conductor /clamp system when it includes tests up to  $N = 500$  Mc .
- In certain cases special techniques are used to take into account cumulative damage due to spectrum loading. To assist in the interpretation of available data on the fatigue endurance of certain conductor/clamp systems, statistical analysis allows the determination of various  $S/N$  curves on a probabilistic basis.
- Tests are useful for a comparison of clamps and other accessories on the basis of their influence on the endurance of the conductors.

## A.9 Type of clamps

Although this standard is solely intended to test metal-to-metal clamps, its use may be extended to other type of clamps. However, in those cases, the stress derived from the bending amplitude  $Y_b$  measured at the clamp end can no longer be compared with the bending amplitude obtained with other clamps since the conductor curvature is no longer comparable due to the local influence of the elastomer stiffness. The comparison may only be done through the fatigue indicator  $f Y_{\max}$ .

## A.10 Performance comparison

Tests to compare the performance of a conductor/clamp system with another one are sometimes requested. In that case, a minimum of 6 tests shall be performed. The vibration amplitude of the six tests shall be determined in order to distribute, as evenly as possible, the wire failures between (0,8 and 100) Mc.

## Bibliography

CIGRE SC 22 WG 04 *Guide for Endurance Tests of Conductors Inside Clamps*, ELECTRA No 100, 1985, May pp.77-86

CIGRE SC B2 WG11 TF7 *Fatigue Endurance capability of Conductor/Clamp Systems – Update of Present Knowledge*, CIGRE TB # 332, 2007, Paris

EPRI Chapter 3, *Fatigue of Overhead Conductors*, *EPRI Transmission Line Reference Book: Wind-Induced Conductor Motion*, 2<sup>nd</sup> Ed., EPRI, Palo Alto, CA 2006

---



## SOMMAIRE

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                          | 19 |
| INTRODUCTION .....                                                                                                          | 21 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                               | 22 |
| 2 Termes et définitions .....                                                                                               | 22 |
| 3 Symboles et abréviations .....                                                                                            | 23 |
| 4 Exigences .....                                                                                                           | 23 |
| 5 Méthode d'essai .....                                                                                                     | 23 |
| 5.1 Montage d'essai .....                                                                                                   | 23 |
| 5.1.1 Généralités .....                                                                                                     | 23 |
| 5.1.2 Pince .....                                                                                                           | 23 |
| 5.1.3 Longueur du banc .....                                                                                                | 23 |
| 5.1.4 Tension du conducteur .....                                                                                           | 23 |
| 5.1.5 Excitation sinusoïdale .....                                                                                          | 24 |
| 5.1.6 Fréquence d'excitation .....                                                                                          | 24 |
| 5.2 Paramètres d'essai pour des bancs de type à la résonance .....                                                          | 24 |
| 5.3 Fin d'un essai .....                                                                                                    | 24 |
| 5.4 Nombre d'essais .....                                                                                                   | 24 |
| 6 Résultats d'essais .....                                                                                                  | 25 |
| Annexe A (informative) Essai de fatigue des conducteurs .....                                                               | 26 |
| A.1 Contexte .....                                                                                                          | 26 |
| A.2 Confirmation .....                                                                                                      | 27 |
| A.3 Connaissances actuelles de la capacité d'endurance en fatigue de conducteurs .....                                      | 27 |
| A.4 Caractéristiques importantes liées à la fatigue des conducteurs .....                                                   | 27 |
| A.5 Détails des essais .....                                                                                                | 28 |
| A.5.1 Bancs d'essais typiques pour les essais de fatigue de conducteurs .....                                               | 28 |
| A.5.2 Configuration typique recommandée .....                                                                               | 28 |
| A.6 Détection de défaillances .....                                                                                         | 29 |
| A.7 Collecte des résultats de la base de données .....                                                                      | 29 |
| A.7.1 Représentation analytique simple du phénomène de fatigue .....                                                        | 29 |
| A.7.2 Contrainte idéale .....                                                                                               | 30 |
| A.8 Exploitation des résultats .....                                                                                        | 31 |
| A.9 Types de pinces .....                                                                                                   | 32 |
| A.10 Comparaison des performances .....                                                                                     | 32 |
| Bibliographie .....                                                                                                         | 33 |
| Figure 1 – Représentation schématique d'un banc d'essai de type à la résonance .....                                        | 24 |
| Figure A.1 – Représentation schématique d'un banc d'essai de fatigue à la résonance typique .....                           | 28 |
| Figure A.2 – Conducteur attaché par une petite pince métallique typique .....                                               | 29 |
| Figure A.3 – Modèle de flexion d'un conducteur attaché par une pince métallique, console dans un bloc à faces carrées ..... | 30 |
| Figure A.4 – Amplitude de boucle libre $y_{\max}$ .....                                                                     | 31 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**LIGNES AÉRIENNES – MÉTHODE D'ESSAI  
DE FATIGUE DES CONDUCTEURS****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 62568 a été établie par le comité d'études 7 de l'IEC: Conducteurs pour lignes électriques aériennes.

Le texte de la présente Norme est issu des documents suivants:

| FDIS       | Rapport de vote |
|------------|-----------------|
| 7/638/FDIS | 7/640/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication 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 à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

**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.**

## INTRODUCTION

Le comportement de fatigue des conducteurs ne peut pas être simplement calculé à partir des caractéristiques de fatigue des matériaux utilisés et des contraintes qui apparaissent. Les caractéristiques de fatigue des conducteurs doivent être déterminées par des essais de fatigue réalisés sur des systèmes conducteur/pince spécifiques qui reproduisent aussi fidèlement que possible les conditions de charge sur le terrain. Dans de tels essais, la durée de vie en fatigue doit être déterminée en fonction de certaines mesures de l'intensité des vibrations plutôt qu'en fonction de la contrainte ou d'une combinaison de contraintes à l'origine de la défaillance.

Des données d'essai de fatigue sont disponibles uniquement pour une petite fraction de tailles et de types de conducteurs en utilisation. L'obtention de telles données est onéreuse. Puisqu'aucun des paramètres ci-dessus n'est simplement lié aux contraintes à l'origine de la fatigue, les résultats des essais sur une taille de connecteurs ne s'appliquent pas nécessairement à d'autres.

La présente Norme IEC est basée sur ces considérations et sur d'autres considérations expliquées à l'Annexe A. L'utilisateur de la présente Norme est invité à consulter cette Annexe pour comprendre l'origine de certaines des exigences de celle-ci.

## **LIGNES AÉRIENNES – MÉTHODE D'ESSAI DE FATIGUE DES CONDUCTEURS**

### **1 Domaine d'application**

La présente Norme internationale fournit des procédures d'essais pour mesurer les caractéristiques de fatigue de systèmes conducteur/pince. Pour les besoins de la présente norme, les pinces doivent être de type métallique uniquement.

### **2 Termes et définitions**

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

#### **2.1**

##### **amplitude du ventre**

amplitude de crête des vibrations au milieu d'une boucle

#### **2.2**

##### **amplitude de flexion**

amplitude crête-à-crête des vibrations d'un conducteur par rapport à la pince, mesurée à 89 mm du dernier point de contact entre le conducteur et la pince

#### **2.3**

##### **critère de défaillance**

point de référence auquel on considère que l'essai est terminé

Note 1 à l'article: Deux critères de défaillance différents peuvent être choisis:

- a) défaillance du premier fil, ou
- b) défaillance de trois fils ou de 10 % du nombre total de fils dans l'enveloppe pour les conducteurs composites ou du nombre total de fils pour les conducteurs homogènes

#### **2.4**

##### **contrainte de flexion idéale**

amplitude de contrainte alternée calculée en se basant sur l'amplitude de flexion mesurée

#### **2.5**

##### **contrainte dynamique idéale**

amplitude de contrainte alternée calculée en se basant sur le produit  $f\gamma_{\max}$  mesuré

#### **2.6**

##### **déformation idéale**

déformation alternée de flexion dynamique calculée, obtenue en divisant la contrainte idéale par le module de Young du matériau externe

Note 1 à l'article: Cette déformation idéale calculée ne correspond pas à la déformation mesurée sur des fils donnés à la sortie de la pince

#### **2.7**

##### **essai de fatigue à la résonance**

mouvement cyclique appliqué à un conducteur dans un plan vertical à une fréquence de résonance du système

### 3 Symboles et abréviations

|                       |                                                                                                                                                               |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f$                   | fréquence (Hz)                                                                                                                                                |
| $i$                   | apparition d'une défaillance d'un fil (première = 1, deuxième = 2, troisième = 3 ...)                                                                         |
| $N$                   | nombre de cycles de vibrations                                                                                                                                |
| $N_i$                 | nombre de cycles correspondants à une défaillance du fil $i$                                                                                                  |
| $Mc$                  | million de cycles                                                                                                                                             |
| $T$                   | tension mécanique du conducteur                                                                                                                               |
| $Y_b$                 | amplitude de flexion                                                                                                                                          |
| $y_{\max}$            | amplitude du ventre                                                                                                                                           |
| $\sigma_a(Y_b)$       | contrainte de flexion idéale                                                                                                                                  |
| $\sigma_a(fy_{\max})$ | contrainte dynamique idéale                                                                                                                                   |
| $S/N$                 | déformation idéale calculée $S$ – Nombre de cycle de vibrations $N$                                                                                           |
| $LPC$                 | dernier point de contact du conducteur avec la pince, contenu dans un plan, où est calculée une contrainte de flexion idéale sur un fil externe du conducteur |
| $p-p$                 | crête à crête (amplitude de flexion)                                                                                                                          |
| $RTS$                 | résistance à la traction assignée                                                                                                                             |
| $LVDT$                | transformateur différentiel à variable linéaire                                                                                                               |

### 4 Exigences

Les essais de fatigue sur des systèmes conducteur/pince doivent être conformes à la méthode décrite dans la présente norme.

### 5 Méthode d'essai

#### 5.1 Montage d'essai

##### 5.1.1 Généralités

La conception du montage d'essai doit être conforme à la Figure 1. Les éléments suivants doivent être respectés:

##### 5.1.2 Pince

Le banc d'essai doit reproduire l'angle de sortie du conducteur au niveau de la pince. La pince doit être fixée pour empêcher tout mouvement.

##### 5.1.3 Longueur du banc

Derrière la pince, où le conducteur ne subit aucun mouvement, il doit y avoir au moins 1 m de conducteur libre entre la pince en essai et la pince d'extrémité.

Il doit y avoir au moins 5 m entre la pince en essai et le point d'excitation.

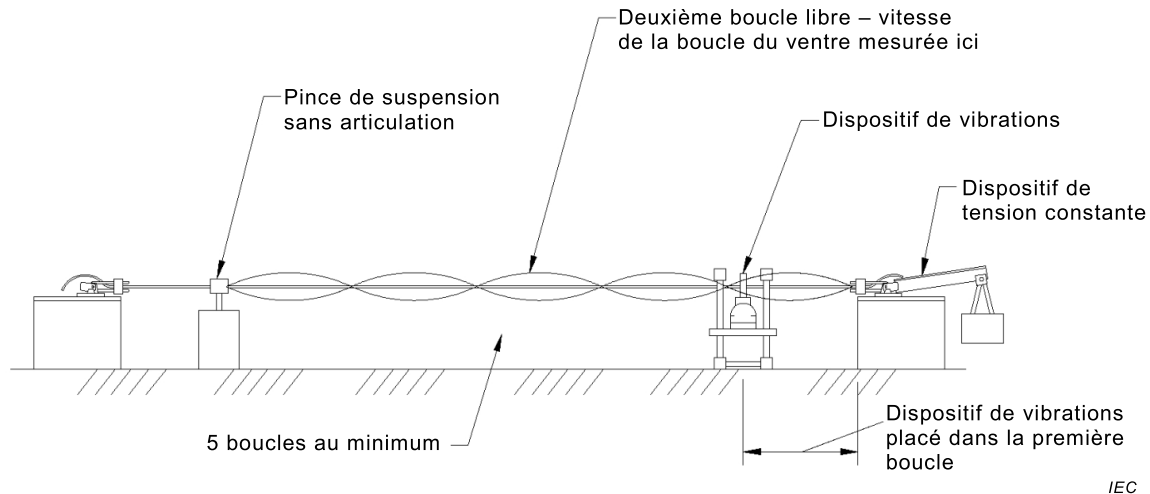
La longueur active du banc d'essai doit être assez grande pour permettre la formation d'au moins 5 boucles libres vibrant à la fréquence de résonance choisie pour l'essai.

##### 5.1.4 Tension du conducteur

La tension du conducteur doit être maintenue à une valeur constante avec une variation maximale de  $\pm 2,5$  %.

### 5.1.5 Excitation sinusoïdale

Un dispositif de vibrations, ou tout autre moyen approprié, doit être placé à l'extrémité de la portée d'essai opposée à la pince en essai et doit être capable de maintenir constantes ( $\pm 5\%$ ) la fréquence et l'amplitude de la boucle libre.



**Figure 1 – Représentation schématique d'un banc d'essai de type à la résonance**

### 5.1.6 Fréquence d'excitation

La fréquence d'excitation doit être dans la gamme allant de (10 à 60) Hz.

## 5.2 Paramètres d'essai pour des bancs de type à la résonance

Les paramètres suivants doivent être surveillés:

- amplitude de flexion  $Y_b$
- amplitude du ventre  $y_{\max}$
- fréquence  $f$
- tension mécanique du conducteur  $T$
- nombre de cycles  $N$
- chaque apparition de défaillance de fil et le nombre de cycles correspondants  $N_i$

### 5.3 Fin d'un essai

L'essai doit être terminé lorsqu'un nombre prédéterminé de défaillances de fils  $i$  est enregistré ou lorsque l'essai a atteint  $N = 500$  Mc.

A la fin de chaque essai, la région de la pince du conducteur doit être disséquée et le nombre de défaillances de fils trouvées doit correspondre au nombre de défaillances enregistrées par le détecteur de défaillances de fils. Si les résultats ne correspondent pas, l'essai doit être rejeté.

### 5.4 Nombre d'essais

Au moins 12 essais doivent être réalisés pour déterminer la limite d'endurance d'un système conducteur/pince. Trois de ces essais doivent être effectués à une amplitude qui ne doit pas produire de défaillance de fil jusqu'à 500 Mc. L'amplitude des vibrations des 9 autres essais doit être déterminée pour distribuer, aussi uniformément que possible, les défaillances des fils entre (0,8 et 500) Mc.

## 6 Résultats d'essais

Les informations suivantes doivent figurer dans le rapport pour chaque essai:

- le critère de défaillance utilisé
- le nombre de cycles correspondants à une ou plusieurs défaillances de fils  $N_i$
- le nombre de cycles  $N$  terminés en l'absence de défaillance
- la cartographie des emplacements des défaillances de fils dans le plan transversal et dans le plan longitudinal par rapport à la pince de support
- la fréquence  $f$ , l'amplitude du ventre  $y_{\max}$  et l'indicateur de fatigue résultant  $fy_{\max}$
- l'amplitude de flexion  $Y_b$
- la tension mécanique du conducteur  $T$
- le diagramme S/N de la contrainte de flexion idéale  $\sigma_a(Y_b)$  en utilisant la relation de Poffenberger-Swart. (Voir A.7.2)
- le diagramme S/N de la contrainte dynamique idéale  $\sigma_a(fy_{\max})$  (voir A.7.2)
- les limites d'endurance  $\sigma_a(Y_b)$  et  $\sigma_a(fy_{\max})$  qui correspondent à l'amplitude maximale des vibrations qui n'a pas provoqué, au niveau du conducteur, de dommage de fatigue jusqu'à 500 Mc.

## Annexe A (informative)

### Essai de fatigue des conducteurs

#### A.1 Contexte

On sait depuis longtemps que la fatigue des conducteurs et ses conséquences, à savoir la rupture des brins des conducteurs, est due à un phénomène connu sous le nom de fatigue par frottement, à des emplacements où le mouvement du conducteur est limité, par exemple au niveau des pinces de suspension, des pinces d'espacement ou des pinces d'amortissement.

Il est compliqué d'établir un lien entre les vibrations mesurables d'une portée de conducteur pour ligne aérienne et la probabilité de fatigue de ses brins. Les contraintes à l'origine des défaillances ne sont pas simplement liées aux mouvements bruts du conducteur. Les défaillances apparaissent à des endroits où il y a contact de surface et frottement entre des composants (contacts entre fils ou entre fils et support). Une analyse valide liant le mécanisme de fatigue par frottement aux vibrations du conducteur doit encore être publiée.

Le comportement de fatigue des conducteurs ne peut pas être simplement calculé à partir des caractéristiques de fatigue des matériaux utilisés et des contraintes qui apparaissent. Les caractéristiques de fatigue des conducteurs doivent être déterminées par des essais de fatigue réalisés sur des systèmes conducteur/pince spécifiques qui reproduisent aussi fidèlement que possible les conditions de charge sur le terrain. Dans de tels essais, la durée de vie en fatigue doit être déterminée en fonction de certaines mesures de l'intensité des vibrations plutôt qu'en fonction de la contrainte ou d'une combinaison de contraintes à l'origine de la défaillance.

Différents paramètres des intensités des vibrations ont été utilisés. Aucun ne s'est montré particulièrement efficace pour établir un lien entre les résultats des essais réalisés sur des portées de laboratoire et les mesures in-situ des vibrations de conducteurs avec différents systèmes conducteur/pince. Pour des raisons pratiques, l'amplitude de flexion  $Y_b$  et le produit de l'amplitude de la boucle libre  $y_{\max}$  par la fréquence  $f$  ( $f y_{\max}$ ) ont été acceptés progressivement avec leurs limitations inhérentes.

Des données d'essai de fatigue sont disponibles uniquement pour une petite fraction de tailles et de types de conducteurs en utilisation. L'obtention de telles données est onéreuse. Puisqu'aucun des paramètres ci-dessus n'est simplement lié aux contraintes à l'origine de la fatigue, les résultats des essais sur une taille de conducteur ne s'appliquent pas nécessairement à d'autres. Pour traiter cette situation, on a utilisé une contrainte idéale (ou déformation) qui peut être calculée à partir de l'amplitude des vibrations et qui est suffisamment corrélée à la durée de vie en fatigue d'un conducteur pour permettre de l'utiliser pour établir une seule limite d'endurance pour une gamme de tailles de conducteurs et de types de supports.

Il manque à l'utilisation d'une contrainte idéale une base analytique fondamentale. Toutefois, on a trouvé des gammes de tailles de conducteurs et de dispositions de supports dont l'utilisation donne des résultats suffisamment fiables pour être appliqués. Il est important et utile de proposer une Norme IEC basée sur les considérations précédentes pour caractériser le comportement de fatigue de systèmes conducteur/pince.

La nouvelle norme est destinée à fournir des procédures d'essais basées sur l'expérience acquise au cours des dernières années. Les trois références suivantes sont particulièrement utiles:

- CIGRE SC 22 WG 04 *Guide for Endurance Tests of Conductors Inside Clamps*, ELECTRA No 100, 1985, May pp.77-86 (disponible en anglais seulement)

- CIGRE SC B2 WG11 TF7 *Fatigue Endurance capability of Conductor/Clamp Systems – Update of Present Knowledge*, CIGRE TB # 332, 2007, Paris (disponible en anglais seulement)
- EPRI *Chapter 3, Fatigue of Overhead Conductors*, EPRI Transmission Line Reference Book: Wind-Induced Conductor Motion, 2<sup>nd</sup> Ed., EPRI, Palo Alto, CA 2006 (disponible en anglais seulement)

## A.2 Confirmation

Il convient qu'une norme sur la mesure des caractéristiques mécaniques d'un composant:

- représente correctement les conditions de charges auxquelles le composant est soumis;
- spécifie des conditions de charges acceptables et une gamme de charges représentatives des conditions d'utilisation in-situ;
- propose des montages d'essai permettant à des laboratoires indépendants de reproduire les résultats;
- permette de collecter des données pour l'utilisation de méthodes d'interprétation simples et actuelles;
- se prête à l'interprétation des résultats sans application ambiguë pour les cas évalués.

## A.3 Connaissances actuelles de la capacité d'endurance en fatigue de conducteurs

Les connaissances actuelles de la capacité d'endurance en fatigue de conducteurs concernent ce qui suit:

- La fatigue des conducteurs, entraînant la rupture de brins de conducteurs, est due à la fatigue par frottement (contraintes de contact et micro-glissements au niveau des contacts entre fils ou entre fils et pince).
- La fatigue du conducteur se produit lorsque le mouvement du conducteur est limité (par exemple au niveau des pinces de suspension, des pinces d'espacement, des pinces d'amortissement, etc.).
- Les contraintes (contraintes de contact et micro-glissements) à l'origine des défaillances des brins ne sont pas simplement liées au mouvement brut du conducteur.
- Une analyse valide liant le mécanisme de fatigue par frottement aux mouvements par vibrations du conducteur doit encore être développée.
- La caractérisation de la fatigue de fils de conducteurs seuls n'est pas actuellement possible. Les caractéristiques de la fatigue des conducteurs sont déterminées par des essais de fatigue réalisés sur des systèmes conducteurs/pince spécifiques.
- Le modèle de l'amplitude de flexion actuellement utilisé représente un conducteur attaché comme une console dans un bloc à faces carrées.
- Le modèle d'amplitude de flexion propose, comme indice de fatigue, le calcul d'une contrainte de flexion idéale sur un fil externe du conducteur dans un plan contenant le dernier point de contact (LPC) du conducteur avec la pince.
- Pour des raisons pratiques, l'amplitude de flexion  $Y_b$  (mesurée à 89 mm du dernier point de contact) et le produit de la fréquence  $f$  par l'amplitude de la boucle libre  $y_{\max}$  ( $fy_{\max}$ ) ont été acceptés progressivement comme des paramètres pour le calcul de l'amplitude de la contrainte de flexion idéale.

## A.4 Caractéristiques importantes liées à la fatigue des conducteurs

Quelques caractéristiques importantes liées à la fatigue des conducteurs sont:

- Les vibrations d'origine éolienne, avec une gamme de fréquences comprises entre (3 et 150) Hz et des amplitudes de vent (crête-à-crête) pouvant atteindre le diamètre d'un conducteur, sont la cause principale de la fatigue des conducteurs.
- Les amplitudes de la boucle libre des vibrations éoliennes sont variables et entraînent une charge du spectre au niveau du support.
- La fréquence est liée à la vitesse du vent par une loi proposée par Strouhal ( $f = 0,185 V/d$ ).
- Des vibrations de large amplitude au niveau du support du conducteur, liées au gallop des conducteurs, constituent également une source possible de fatigue par frottement des conducteurs.

## A.5 Détails des essais

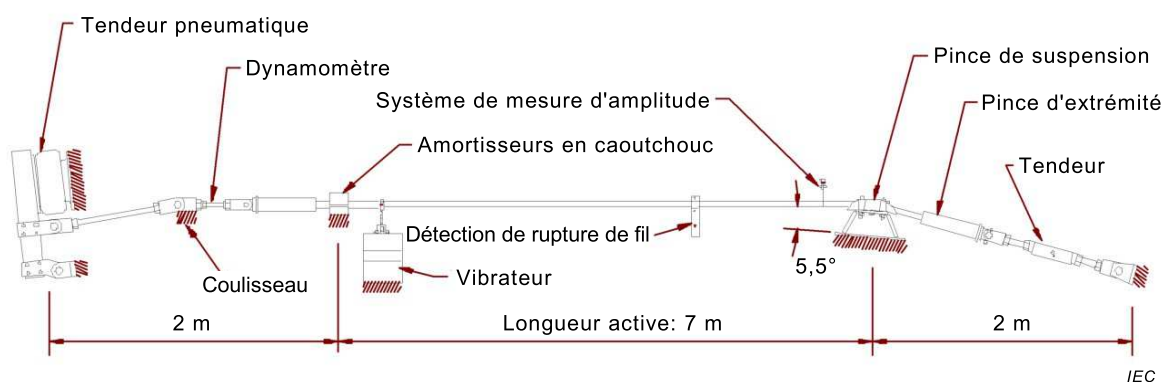
### A.5.1 Bancs d'essais typiques pour les essais de fatigue de conducteurs

Les bancs d'essais typiques pour les essais de fatigue de conducteurs comprennent:

- Type à la résonance: un mouvement cyclique est appliqué à un conducteur dans un plan vertical, à une fréquence de résonance du système. Il s'agit de la manière la plus courante et la mieux acceptée pour réaliser des essais de fatigue de conducteurs.
- Tension alternée: une force de tension cyclique est appliquée à une partie d'un conducteur dans une machine de tension.
- Flexion inversée: un mouvement cyclique est appliqué à un conducteur en imposant un mouvement cyclique forcé à la pince de support.
- Fatigue par frottement des fils: des essais de fatigue sont réalisés directement sur des fils d'un conducteur.

### A.5.2 Configuration typique recommandée

Le banc d'essai de type à la résonance est la configuration retenue pour la Norme IEC illustrée à la Figure 1. Un banc d'essai de fatigue à la résonance typique est représenté à la Figure A.1.



**Figure A.1 – Représentation schématique d'un banc d'essai de fatigue à la résonance typique**

Les principales caractéristiques peuvent être résumées comme suit:

- Modèle asymétrique: un seul côté du conducteur attaché constitue le banc d'essai pour évaluer un système conducteur/pince donné.
- Angle de la pince: le banc d'essai permet de reproduire l'angle de sortie du conducteur au niveau de la pince (par exemple, pince de suspension, pince d'espacement, etc.).
- Fixation de la pince: bien que la pince de suspension soit normalement articulée, des essais de fatigue sont réalisés dans une configuration sans articulation (rotation). Ceci

garantit des résultats plus significatifs et répétables. Si la pince peut tourner, la quantité de rotation affectera les résultats de la fatigue.

- Tension mécanique du conducteur: la tension pour l'essai est maintenue constante ( $\pm 2,5\%$ ) à une valeur typique du rapport H/w normalement rencontrée (ou RTS % typique).
- Longueur du banc d'essai: la "longueur libre" active du banc d'essai est déterminée par son aptitude à produire au moins 5 boucles à la fréquence de résonance dans la gamme des fréquences rencontrées par un conducteur donné.

## A.6 Détection de défaillances

La façon d'obtenir des résultats comparables dépend également du moyen utilisé pour déterminer les dommages subis par les fils d'un conducteur. En raison de la complexité de la distribution des contraintes et des conditions de frottements à l'intérieur du conducteur, des défaillances apparaissent également au niveau des couches internes. La détection de défaillances par un contrôle visuel périodique de la surface externe du conducteur ne suffit pas. Une solution consiste à utiliser un détecteur de défaillances des brins.

Toute méthode non destructive disponible peut être utilisée pendant l'essai de fatigue (par exemple, la radiographie, la détection de chocs, les effets de torsion, etc.). Une méthode simple basée sur les effets de torsion a été développée par les laboratoires Alcoa et a été couramment utilisée par les laboratoires GREMCA (EPRI Chap. 3). Cette méthode utilise un petit bras attaché au conducteur qui permet d'amplifier sa relaxation en torsion lorsqu'une défaillance de brin se produit. Le mouvement de rotation du bras est détecté par n'importe quel capteur approprié (LVDT, capteur de proximité, capteur optique), qui envoie un signal d'échelon pouvant être associé au nombre de cycles appliqués,  $N$ .

## A.7 Collecte des résultats de la base de données

### A.7.1 Représentation analytique simple du phénomène de fatigue

Le système conducteur/pince peut être représenté simplement comme une console fixée dans un bloc à faces carrées. Bien que ce modèle ne soit pas exact, parce que la fatigue du conducteur est causée par des frottements des fils internes et non uniquement par la flexion des fils, il constitue un outil utile pour vérifier correctement les différents aspects de la capacité d'endurance en fatigue des systèmes conducteur/pince. Les Figures A.2 et A.3 illustrent clairement la raison pour laquelle la méthode d'amplitude de flexion peut être valide pour des conducteurs attachés par des pinces métalliques rigides, mais pas pour des conducteurs attachés par des pinces avec amortissement. Dans le dernier cas, il n'est pas possible de déterminer la position précise d'un plan équivalent pour le dernier point de contact (LPC).

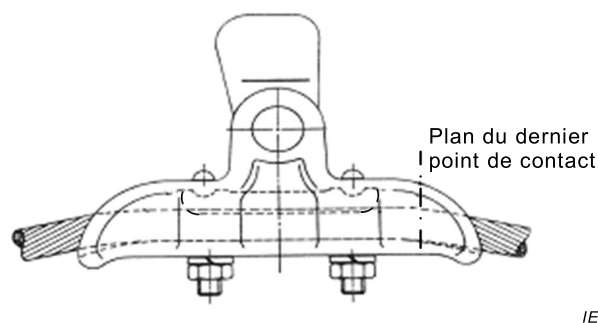
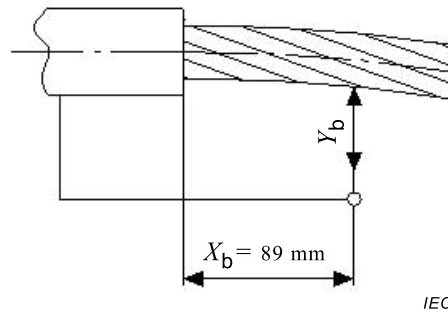


Figure A.2 – Conducteur attaché par une petite pince métallique typique



**Figure A.3 – Modèle de flexion d'un conducteur attaché par une pince métallique, console dans un bloc à faces carrées**

## A.7.2 Contrainte idéale

### A.7.2.1 Contrainte de flexion idéale $\sigma_a(Y_b)$

A partir du modèle représenté à la Figure A.3, Poffenberger et Swart ont proposé le calcul d'une contrainte de flexion idéale  $\sigma_a(Y_b)$  dans le brin de la couche externe la plus haute du conducteur, dans le plan du dernier point de contact:

$$\sigma_a(Y_b) = \frac{E_a d p^2}{4 \left( e^{px} + 1 \right)} Y_b \quad (\text{A.1})$$

où:

$Y_b$ : amplitude de flexion (m crête-à-crête)

$E_a$ : module de Young de l'élasticité du matériau du fil de la couche externe (N/m<sup>2</sup>)

$d$ : diamètre du fil de la couche externe (m)

$$p = (H/EI)^{1/2}$$

$H$ : tension du conducteur à la température moyenne pendant la durée de l'essai (N)

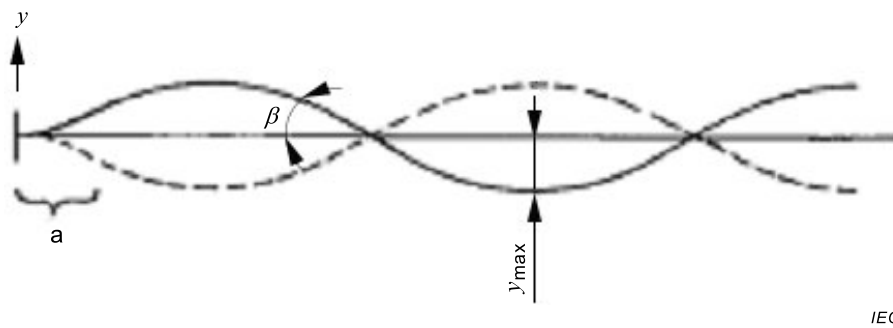
$EI$ : somme des rigidités à la flexion des fils individuels dans le câble (N m<sup>2</sup>)

$x$ : distance entre le point de mesure et le dernier point de contact entre la pince et le conducteur (m).

Dans l'équation (A.1), la *contrainte de flexion idéale* est exprimée en fonction de l'amplitude de flexion  $Y_b$ .

### A.7.2.2 Contrainte dynamique idéale $\sigma_a(fy_{\max})$

Toutefois, dans certaines circonstances, le produit de l'amplitude de la boucle libre des vibrations  $y_{\max}$  par la fréquence  $f$  (le paramètre  $fy_{\max}$ ), peut être un paramètre plus pratique. La Figure A.4 représente le cas de vibrations d'ondes stationnaires avec une pince de support attachée fermement à l'extrémité gauche de la section (a).



IEC

Figure A.4 – Amplitude de boucle libre  $y_{\max}$ 

Dans ce cas, on peut exprimer la contrainte dynamique idéale  $\sigma_a(fy_{\max})$  en fonction de  $fy_{\max}$ :

$$\sigma_a(fy_{\max}) = \pi d E_a \sqrt{\frac{m}{EI}} fy_{\max} \quad (\text{A.2})$$

où:

- $E_a$ : module de Young de l'élasticité du matériau du fil de la couche externe (N/m<sup>2</sup>)
- $d$ : diamètre du fil de la couche externe (m)
- $f$ : fréquence du mouvement (Hz)
- $y_{\max}$ : amplitude de boucle libre (m crête)
- $m$ : masse du conducteur par unité de longueur (kg/m)
- $EI$ : somme des rigidités à la flexion des fils individuels dans le câble (N m<sup>2</sup>)

Les essais de fatigue du conducteur sont couramment présentés sous la forme d'une courbe d'endurance en fatigue semi-logarithmique, représentant la courbe S/N. Les abscisses représentent le nombre de cycles  $N$  et les ordonnées représentent la contrainte idéale calculée. Les résultats obtenus par les calculs sont différents si on utilise  $Y_b$  ou  $fy_{\max}$  (EPRI Chap. 3).

Il est possible de superposer sur le même graphique des points indiquant la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et la  $k^{\text{ième}}$  défaillance de brin pour une série d'essais. La dispersion des résultats est alors représentée avec certaines anomalies particulières, par exemple lorsqu'une première défaillance précoce se produit mais n'est pas suivie d'une deuxième défaillance précoce pendant les premiers 500 Mc de l'essai.

La corrélation entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées de  $\sigma_a$  peut sembler académique puisque les contraintes à l'origine de défaillances par fatigue sont situées au niveau des contacts métal-métal et  $\sigma_a$  est une contrainte de surface libre. Les comparaisons permettent toutefois de mesurer la sensibilité de l'analyse au degré d'idéalisation engendré par les hypothèses utilisées. On est fortement tenté d'attribuer une signification différente pour  $\sigma_a$  de celle consistant à utiliser un indice pour obtenir une interprétation rationnelle de l'amplitude de flexion des conducteurs mesurée au niveau de l'embouchure d'une pince métallique rigide. Il est impératif de ne pas céder à cette tentation ! Les performances en fatigue des conducteurs sont communément indiquées par rapport à  $Y_b$  ou  $fy_{\max}$  (EPRI Chap. 3).

## A.8 Exploitation des résultats

Les résultats peuvent être exploités de la façon suivante:

- Les courbes  $S/N$  permettent d'établir la limite d'endurance en fatigue d'un système conducteur/pince qui inclut des essais allant jusqu'à  $N = 500$  Mc.
- Dans certains cas, des techniques spéciales sont utilisées pour tenir compte d'une accumulation de dommages causés par une charge spectrale. Pour aider à interpréter les données disponibles sur l'endurance en fatigue de certains systèmes conducteur/pince, une analyse statistique permet de déterminer différentes courbes  $S/N$  basées sur des probabilités.
- Des essais sont utiles pour comparer les pinces et d'autres accessoires en se basant sur leur influence sur l'endurance des conducteurs.

### A.9 Types de pinces

Bien que la présente norme soit uniquement destinée à réaliser des essais sur des pinces de type métal-métal, elle peut être étendue à d'autres types de pinces. Toutefois, dans de tels cas, les contraintes liées à l'amplitude de flexion  $Y_b$  mesurée au niveau de l'extrémité de la pince ne peuvent plus être comparées à celles liées à l'amplitude de flexion obtenue par d'autres pinces puisque la courbure des conducteurs n'est plus comparable en raison de l'influence locale de la rigidité de l'élastomère. La comparaison peut uniquement être faite à l'aide de l'indicateur de fatigue  $fY_{max}$ .

### A.10 Comparaison des performances

Des essais permettant de comparer les performances de deux systèmes conducteur/pince sont parfois nécessaires. Dans ce cas, au moins 6 essais doivent être réalisés. L'amplitude des vibrations des 6 essais doit être déterminée pour distribuer, aussi uniformément que possible, les défaillances des fils entre (0,8 et 100) Mc.

## Bibliographie

CIGRE SC 22 WG 04 *Guide for Endurance Tests of Conductors Inside Clamps*, ELECTRA No 100, 1985, May pp.77-86 (disponible en anglais seulement)

CIGRE SC B2 WG11 TF7 *Fatigue Endurance capability of Conductor/Clamp Systems – Update of Present Knowledge*, CIGRE TB # 332, 2007, Paris (disponible en anglais seulement)

EPRI *Chapter 3, Fatigue of Overhead Conductors*, EPRI Transmission Line Reference Book: *Wind-Induced Conductor Motion*, 2<sup>nd</sup> Ed., EPRI, Palo Alto, CA 2006 (disponible en anglais seulement)

---





INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)