

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
60892**

Première édition
First edition
1987-03

**Effets d'un système de tensions déséquilibré
sur les caractéristiques de fonctionnement
des moteurs asynchrones triphasés à cage**

**Effects of unbalanced voltages
on the performance
of three-phase cage induction motors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60892: 1987

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

60892

Première édition
First edition
1987-03

**Effets d'un système de tensions déséquilibré
sur les caractéristiques de fonctionnement
des moteurs asynchrones triphasés à cage**

**Effects of unbalanced voltages
on the performance
of three-phase cage induction motors**

© IEC 1987 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

E

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**EFFETS D'UN SYSTÈME DE TENSIONS DÉSÉQUILIBRÉ
SUR LES CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT
DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS À CAGE**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Comité d'Etudes n° 2 de la CEI: Machines tournantes.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
2(BC)507	2(BC)513

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans le présent rapport:

Publications n°s 34-1 (1983): Machines électriques tournantes, Première partie: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement.

34-12 (1980): Douzième partie: Caractéristiques de démarrage des moteurs triphasés à induction à cage à une seule vitesse pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 660 V.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**EFFECTS OF UNBALANCED VOLTAGES ON THE PERFORMANCE
OF THREE-PHASE CAGE INDUCTION MOTORS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This report has been prepared by IEC Technical Committee No. 2: Rotating Machinery.

This text of this report is based on the following documents:

Six Months' Rule	Report on Voting
2(CO)507	2(CO)513

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

The following IEC publications are quoted in this report:

Publications Nos. 34-1 (1983): Rotating Electrical Machines. Part 1: Rating and Performance.

34-12 (1980): Rotating Electrical Machines. Part 12: Starting Performance of Single-speed Three-phase Cage Induction Motors for Voltages up to and including 660 V.

EFFETS D'UN SYSTÈME DE TENSIONS DÉSÉQUILIBRÉ SUR LES CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DES MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASÉS À CAGE

INTRODUCTION

Lorsque les tensions appliquées aux bornes d'un moteur asynchrone triphasé à cage ne sont pas égales, les courants dans les enroulements stators sont également inégaux. Un faible pourcentage de déséquilibre en tension provoquera un pourcentage beaucoup plus important de déséquilibre en courant.

L'application d'un système de tensions déséquilibré à un moteur asynchrone triphasé introduit une «composante inverse de tension» et celle-ci produit dans l'entrefer un champ tournant en sens inverse de celui du rotor, tendant ainsi à produire des courants élevés. Une faible composante inverse de tension peut produire dans les enroulements des courants bien supérieurs à ceux qui existent dans les conditions d'un système de tension équilibré. En conséquence, l'échauffement du moteur en fonctionnement sous une charge donnée et un pourcentage donné de déséquilibre en tension sera supérieur à celui du moteur fonctionnant dans les mêmes conditions avec un système de tensions équilibré.

1. Domaine d'application

Le présent rapport est applicable aux effets d'un système de tension déséquilibré sur les caractéristiques de fonctionnement des moteurs asynchrones triphasés à cage.

2. Effets d'un système de tensions déséquilibré sur les caractéristiques de fonctionnement

Les effets d'un système de tensions déséquilibré sur les caractéristiques de fonctionnement d'un moteur sont les suivants:

- a) *Courants*: Les courants à vitesse normale de fonctionnement seront fortement déséquilibrés, de l'ordre d'environ six à dix fois le déséquilibre en tension.
Les courants à rotor bloqué seront déséquilibrés dans la même proportion que le déséquilibre en tension, mais la puissance apparente à rotor bloqué n'augmentera que faiblement.
- b) *Couples*: Le couple à rotor bloqué, le couple minimal pendant le démarrage et le couple maximal (couple de décrochage) diminuent lorsque les tensions sont déséquilibrées. Si le déséquilibre en tension devenait très important, les couples pourraient ne plus convenir à l'application.
- c) *Vitesse à pleine charge*: La vitesse à pleine charge diminue légèrement lorsque le moteur fonctionne avec un système de tensions déséquilibré.
- d) *Bruit et vibration*: Le bruit et la vibration peuvent augmenter par suite de l'augmentation du déséquilibre en tension (et en courant). La vibration peut être destructive pour le moteur, ou pour l'ensemble du système d'entraînement.

EFFECTS OF UNBALANCED VOLTAGES ON THE PERFORMANCE OF THREE-PHASE CAGE INDUCTION MOTORS

INTRODUCTION

When the line voltages applied to a three-phase cage induction motor are not equal, the currents in the stator windings will also be unequal. A small percentage voltage imbalance will result in a much larger percentage current imbalance.

The application of unbalanced voltages to a three-phase induction motor introduces a “negative sequence voltage”, and this produces in the air gap a flux rotating against the rotation of the rotor, thus tending to produce high currents. A small negative sequence voltage may produce currents in the windings considerably in excess of those present under balanced voltage conditions. Consequently, the temperature rise of the motor operating at a particular load and percentage voltage imbalance will be greater than for the motor operating under the same conditions with balanced voltages.

1. Scope

This report is applicable to the effects of unbalanced voltages on the performance of three-phase cage induction motors.

2. Effects of unbalanced voltages on performance

The effects of unbalanced voltages on motor performance are as follows:

- a) *Currents*: The currents at normal operating speed will be greatly unbalanced to the order of approximately six to ten times the voltage imbalance.

The locked-rotor currents will be unbalanced to the same degree that the voltages are unbalanced, but the locked-rotor apparent power will increase only slightly.

- b) *Torques*: The locked-rotor, pull-up and breakdown torques are decreased when the voltages are unbalanced. If the voltage imbalance should be extremely severe, the torques might not be adequate for the application.

- c) *Full-load speed*: The full-load speed is reduced slightly when the motor operates with unbalanced voltages.

- d) *Noise and vibration*: Noise and vibration may increase with an increase in voltage (and current) imbalance. The vibration could be detrimental to the motor or to the entire drive system.

3. Calcul du pourcentage de déséquilibre en tension

Le pourcentage de déséquilibre en tension peut facilement être déterminé par l'utilisateur du moteur à partir de la mesure des tensions des trois phases. Il est calculé par la formule suivante :

$$\text{Pourcentage de déséquilibre en tension} = \frac{\text{écart maximal de tension par rapport à la valeur moyenne de la tension}}{\text{valeur moyenne de la tension}} \times 100$$

Exemple : Pour des tensions de 220 V, 215 V et 210 V, la valeur moyenne de tension est de 215 V, et l'écart maximal de tension par rapport à la valeur moyenne est égal à 5 V. Donc :

$$\text{Pourcentage de déséquilibre en tension} = \frac{5}{215} \times 100 = 2,3 \%$$

La valeur exacte de la composante inverse de tension peut être jusqu'à 18 % supérieure à la valeur obtenue par la formule.

La formule ci-dessus est donnée pour la commodité de l'utilisateur du moteur et n'est qu'une approximation de la valeur relative de la composante inverse de tension. Une détermination plus précise peut être effectuée avec l'aide des composantes symétriques.

Pour des déséquilibres en tension supérieurs à 5 %, une étude de la composante inverse des courants est nécessaire.

4. Déclassement d'un moteur pour prévenir un suréchauffement

Les tensions devraient, de préférence, être pratiquement équilibrées. Voir le paragraphe 12.2.1 de la Publication 34-1 de la CEI : Machines électriques tournantes, Première partie : Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement. Dans certaines applications, un déséquilibre plus important que celui admis par la Publication 34-1 de la CEI peut être inévitable, et un certain déclassement du moteur peut être nécessaire, afin de réduire la possibilité d'un dommage dû à un suréchauffement.

Note. – Le déclassement peut ne pas être nécessaire lorsqu'un moteur est conçu pour fonctionner (aux conditions assignées) à des températures plus basses que celles conformes à la Publication 34-1, de la CEI.

Des valeurs typiques de déclassement de moteurs à induction triphasés à cage, de conception N (voir Publication 34-12 de la CEI : Machines électriques tournantes, Douzième partie : Caractéristiques de démarrage des moteurs triphasés à induction à cage à une seule vitesse pour des tensions d'alimentation inférieures ou égales à 660 V) sont indiquées dans la figure 1, page 8. Pour d'autres types de conception et pour des puissances assignées supérieures à 630 kW, la courbe de déclassement peut être différente et il est recommandé de consulter le constructeur ou d'examiner les mesures de température de fonctionnement.

3. Calculation of percentage imbalance

The percentage voltage imbalance can easily be determined by a motor user from the voltage readings of the three phases. It is calculated by the following formula:

$$\text{Percentage voltage imbalance} = \frac{\text{maximum voltage deviation from average voltage}}{\text{average voltage}} \times 100$$

Example: With voltages of 220 V, 215 V and 210 V, the average voltage is 215 V, and the maximum voltage deviation from the average is 5 V. Therefore:

$$\text{Percentage voltage imbalance} = \frac{5}{215} \times 100 = 2.3\%$$

The true negative sequence voltage component may be up to 18% higher than the value obtained from the formula.

The above formula is given for the convenience of the motor user, and is only an approximation of the per cent negative sequence voltage component. A more accurate determination can be made with the aid of symmetrical components.

For voltage imbalances over 5% a study of the negative sequence component of the currents is necessary.

4. Derating of motor to prevent overheating

Voltages should preferably be virtually balanced. See Sub-clause 12.2.1 of IEC Publication 34-1: Rotating Electrical Machines, Part 1: Rating and Performance. In some applications a greater imbalance than that permitted by IEC Publication 34-1 may be unavoidable, and some derating of the motor might be necessary to reduce the possibility of damage from overheating.

Note. – Derating might not be necessary when a motor is designed to operate (under rated conditions) at temperatures lower than those in accordance with IEC Publication 34-1.

Typical values of derating of Design N, three-phase cage induction motors (see IEC Publication 34-12: Rotating Electrical Machines, Part 12: Starting Performance of Single-speed Three-phase Cage Induction Motors for Voltages up to and including 660 V), are shown in Figure 1, page 9. For other design types and for rated outputs larger than 630 kW, the derating curve may be different and the manufacturer should be consulted or operating temperature measurements should be examined.

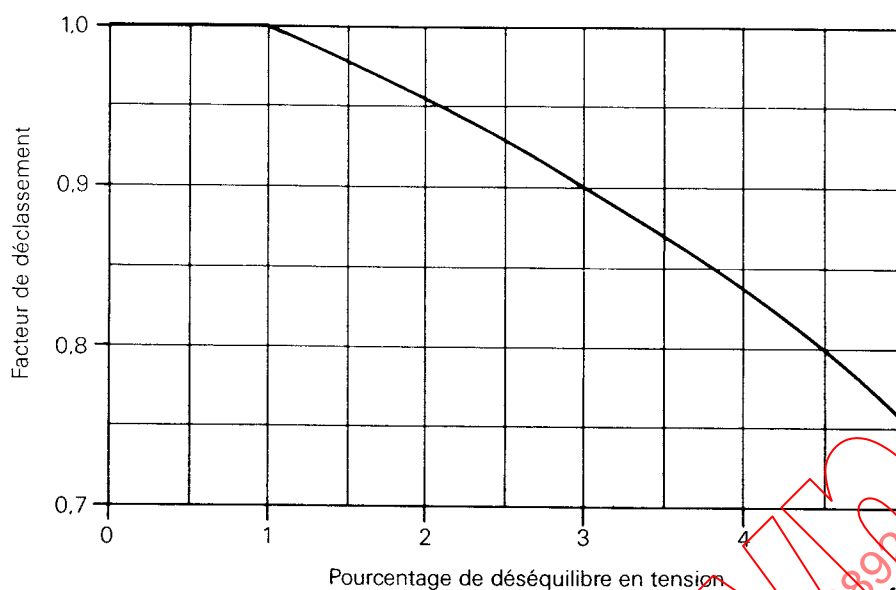


FIG. 1. – Facteur typique de déclassement dû à un système de tensions déséquilibré.

5. Dispositifs de protection contre les surcharges pour moteurs déclassés

Si un moteur est déclassé pour un fonctionnement sur un système de tensions déséquilibré, le choix et le réglage du dispositif de protection contre les surcharges devraient tenir compte à la fois du facteur de déclassement appliqué au moteur et de l'augmentation en courant résultant du déséquilibre en tension. Ceci est un problème complexe entraînant la variation du courant du moteur en fonction de la charge et du déséquilibre en tension, en plus des caractéristiques du dispositif de protection contre les surcharges relativement au courant maximal ou à la valeur moyenne du courant.

En l'absence d'information spécifique, il est recommandé que les dispositifs de protection contre les surcharges soient choisis et/ou réglés à la valeur minimale qui ne provoque pas un déclenchement pour le facteur de déclassement et le déséquilibre en tension qui s'applique.

Si un déséquilibre en tension est susceptible de se produire, il est recommandé à l'utilisateur d'installer des dispositifs de protection contre les surcharges sensibles au courant *maximal* plutôt qu'à la valeur *moyenne* du courant.

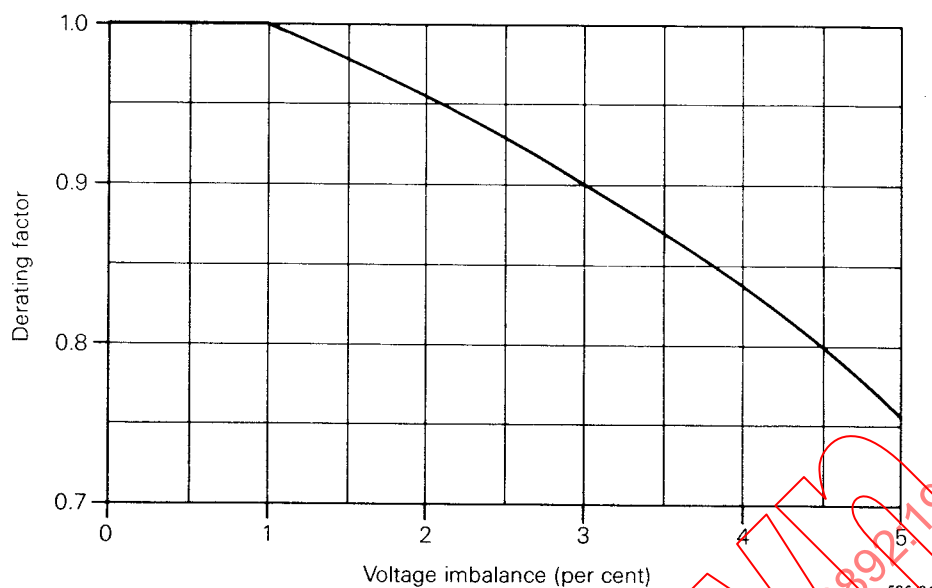


FIG. 1. – Typical derating factor due to unbalanced voltages.

5. Overload protection devices for derated motors

Where a motor is derated for operation on unbalanced voltages, the selection and setting of the overload protection device should take into account the combination of the derating factor applied to the motor and the increase in current resulting from the unbalanced voltages. This is a complex problem involving the variation in motor current as a function of load and voltage imbalance, in addition to the characteristics of the overload protection device relative to maximum current or average current.

In the absence of specific information, it is recommended that overload protection devices be selected and/or adjusted at the minimum value that does not result in tripping for the derating factor and voltage imbalance that applies.

Where unbalanced voltages are likely, it is recommended that the user install overload protection devices that are responsive to *maximum* current rather than *average* current.