

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**NORME DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC STANDARD**

**Publication 34-10**

Première édition — First edition

1975

---

**Machines électriques tournantes**

**Dixième partie: Conventions relatives à la description des machines synchrones**

---

**Rotating electrical machines**

**Part 10: Conventions for description of synchronous machines**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

### Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**  
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement

### Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

### Symboles graphiques et littéraux

Seuls des symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

### Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

### Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**  
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**  
Published yearly

### Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

### Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

### Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

IEC 34 PT\*10 75 ■ 4844891 0032428 5 ■

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

**NORME DE LA CEI**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**IEC STANDARD**

**Publication 34-10**

Première édition — First edition

1975

---

**Machines électriques tournantes**

**Dixième partie: Conventions relatives à la description des machines synchrones**

---

**Rotating electrical machines**

**Part 10: Conventions for description of synchronous machines**

---



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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe  
Genève, Suisse

Prix Fr. s. **23.-**  
Price S. Fr.

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Objet . . . . .	6
2. Diagrammes vectoriels . . . . .	6
3. Description mathématique des machines synchrones . . . . .	10
ANNEXE A . . . . .	16
ANNEXE B . . . . .	18

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. Object . . . . .	7
2. Phasor diagrams . . . . .	7
3. Mathematical description of synchronous machines . . . . .	11
APPENDIX A . . . . .	16
APPENDIX B . . . . .	19

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES

## Dixième partie: Conventions relatives à la description des machines synchrones

## 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

La présente publication a été établie par le Sous-Comité 2G: Grandeurs des machines synchrones et des machines à induction, du Comité d'Etudes N° 2 de la CEI: Machines tournantes.

Elle fait partie d'une série de publications traitant des machines électriques tournantes dont les autres parties sont:

- Première partie: Valeurs nominales et caractéristiques de fonctionnement, éditée comme Publication 34-1 de la CEI.  
 Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction), éditée comme Publication 34-2 de la CEI.  
 Troisième partie: Valeurs nominales et caractéristiques des turbo-machines triphasées à 50 Hz, éditée comme Publication 34-3 de la CEI.  
 Quatrième partie: Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs des machines synchrones, éditée comme Publication 34-4 de la CEI.  
 Cinquième partie: Degrés de protection procurés par les enveloppes des machines tournantes, éditée comme Publication 34-5 de la CEI.  
 Sixième partie: Modes de refroidissement des machines tournantes, éditée comme Publication 34-6 de la CEI.  
 Septième partie: Symboles pour les formes de construction et les dispositions de montage des machines électriques tournantes, éditée comme Publication 34-7 de la CEI.  
 Huitième partie: Marques d'extrémités et sens de rotation des machines tournantes, éditée comme Publication 34-8 de la CEI.  
 Neuvième partie: Limites du bruit, éditée comme Publication 34-9 de la CEI.

Les projets de cette publication, préparés sur la base de principes essentiels et conventions adoptés à la réunion tenue à Tokyo en 1965, ont été discutés lors des réunions tenues à Rome en 1967 et à Paris en 1970. A la suite de cette dernière réunion, un nouveau projet, document 2G(Bureau Central)10, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en juillet 1971.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Pologne
Australie	Portugal
Autriche	Royaume-Uni
Belgique	Suède
Corée (République démocratique populaire de)	Suisse
Danemark	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
France	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Israël	Yougoslavie
Italie	

Les Pays-Bas, qui ont soumis un vote négatif, sont d'avis qu'il existe un conflit entre la convention concernant le signe principal pour la force électromotrice (f.é.m.) (paragraphe 2.1, point g) et la convention de base «moteur». Du fait de cette observation et de remarques analogues de la part de l'Allemagne et de la Suisse, qui ont néanmoins voté favorablement, certaines explications relatives à la f.é.m., à la tension, au courant et à la puissance, aux sens de référence et à leur corrélation mutuelle, ont été introduites dans le texte définitif de la présente publication.

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## ROTATING ELECTRICAL MACHINES

## Part 10: Conventions for description of synchronous machines

## 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 publication has been prepared by Sub-Committee 2G, Synchronous and Induction Machine Quantities, of IEC Technical Committee No. 2, Rotating Machinery.

It constitutes part of a series of publications dealing with rotating electrical machinery, other parts being:

- Part 1: Rating and performance, issued as IEC Publication 34-1.  
 Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles), issued as IEC Publication 34-2.  
 Part 3: Ratings and characteristics of three-phase, 50-Hz turbine-type machines, issued as IEC Publication 34-3.  
 Part 4: Methods for determining synchronous machine quantities from tests, issued as IEC Publication 34-4.  
 Part 5: Degrees of protection by enclosures for rotating machinery, issued as IEC Publication 34-5.  
 Part 6: Methods of cooling rotating machinery, issued as IEC Publication 34-6.  
 Part 7: Symbols for types of construction and mounting arrangements of rotating electrical machinery, issued as IEC Publication 34-7.  
 Part 8: Terminal markings and direction of rotation of rotating machines, issued as IEC Publication 34-8.  
 Part 9: Noise limits, issued as IEC Publication 34-9.

Drafts of this publication, prepared on the basis of essential principles and conventions agreed at the meeting held in Tokyo in 1965, were discussed during the meetings held in Rome in 1967 and in Paris in 1970. As a result of the latter meeting, a new draft, document 2G(Central Office)10, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in July 1971.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Poland
Austria	Portugal
Belgium	South Africa (Republic of)
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Israel	Socialist Republics
Italy	United Kingdom
Japan	United States of America
Korea (Democratic People's	Yugoslavia
Republic of)	

The Netherlands, having cast a negative vote, is of the opinion that there is a conflict between the main sign convention for the electromotive force (e.m.f.) (Clause 2.1, Item g) and the motor convention as a base. In view of this and similar comments received from Germany and Switzerland, which nevertheless voted positively, some additional clarifications concerning e.m.f., voltage, current and power reference directions and their mutual correlation have been introduced in the final text of this publication.

## MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES

### Dixième partie: Conventions relatives à la description des machines synchrones

#### 1. Objet

L'objet de la présente norme est d'établir certaines conventions concernant la description des machines synchrones, en liaison avec les conventions admises pour les circuits électriques et magnétiques.

#### 2. Diagrammes vectoriels

2.1 Les conventions principales suivantes concernant le sens de référence et les conventions de signe nécessaires à la présentation des diagrammes vectoriels des machines synchrones sont recommandées:

a) le sens de rotation positif de l'ensemble du diagramme vectoriel avec ses axes est le sens antihoraire; le même sens est considéré comme positif pour les mesures d'angle;

b) l'axe longitudinal présente par rapport à l'axe transversal une avance de phase de 90 degrés électriques;

c) le flux magnétique (flux d'enroulement) et la force magnétomotrice de tout enroulement (circuit) sont considérés comme positifs lorsque leur sens coïncide avec le sens positif de l'axe correspondant;

d) les composantes d'un vecteur sont considérées comme positives lorsque leur sens coïncide avec le sens positif de l'axe correspondant;

e) l'orientation du vecteur représentant la force magnétomotrice de l'enroulement d'excitation d'axe longitudinal coïncide avec le sens positif de l'axe longitudinal;

f) un courant est considéré comme positif lorsqu'il produit un flux magnétique (flux d'enroulement) positif dans l'enroulement (circuit) correspondant;

g) la f.é.m. induite est de polarité telle qu'elle s'oppose à toute variation du flux d'enroulement et satisfait à l'équation  $e = -\frac{d\psi}{dt}$  (pour les régimes permanents à vitesse angulaire constante, la f.é.m. induite peut également être représentée par  $E = -j\omega\psi$ ).

Cette convention en combinaison avec la convention « f » signifie que la f.é.m. dans une branche quelconque d'un circuit est considérée comme positive lorsqu'elle est fermée sur une résistance; elle produit un courant positif dans la même branche;

h) les composantes longitudinales et transversales de toutes les grandeurs (courant, tension, f.é.m., etc.) sont définies en fonction des axes auxquels elles se rapportent.

2.2 L'utilisation de la convention prenant comme base le fonctionnement en génératrice (ou source) est préférée.

La figure 1, page 8, représente le diagramme d'induit correspondant, avec les polarités de référence des f.é.m., des tensions, des courants et de la puissance, ainsi que le diagramme vectoriel dans le cas d'une génératrice synchrone surexcitée à pôles saillants. L'axe transversal est recommandé comme axe de référence pour le diagramme vectoriel. Lorsque la machine fait partie d'un système, tout autre axe de référence plus commode (tension aux bornes, courant, etc., par exemple) peut toutefois être utilisé. Le fonctionnement est supposé permanent et équilibré. Cependant, les vecteurs représentant les f.é.m. transitoires et subtransitoires sont indiqués.

Les axes triphasés stationnaires A, B et C sont représentés par des traits discontinus afin de montrer la relation entre les axes stationnaires et les vecteurs tournants et de faciliter la détermination des valeurs instantanées de chaque f.é.m., courant, etc.

L'utilisation de la convention prenant comme base le fonctionnement en moteur (ou en charge) peut être pratique lors d'études limitées aux moteurs. Le diagramme vectoriel correspondant dans le cas d'un moteur synchrone sous-excité est représenté à la figure 2, page 9. Comme dans le cas de la convention prenant comme base le fonctionnement en génératrice, l'axe transversal est recommandé comme axe de référence.

## ROTATING ELECTRICAL MACHINES

### Part 10: Conventions for description of synchronous machines

#### 1. Object

The object of this standard is to establish certain conventions concerning the description of synchronous machines, in correlation with accepted conventions concerning electric and magnetic circuits.

#### 2. Phasor diagrams

2.1 The following main reference direction and sign conventions necessary for drawing phasor diagrams of synchronous machines are recommended:

- a) the positive direction of rotation of the whole phasor diagram including its axes is counter-clockwise; the same direction is taken as a positive one for angle measurements;
- b) the direct axis leads the quadrature axis by 90 electrical degrees;
- c) the magnetic flux (flux linkage) and the magnetomotive force of any winding (circuit) are taken as positive when their directions coincide with the positive direction of the corresponding axis;
- d) the components of a phasor are taken as positive when their direction coincides with the positive direction of the corresponding axis;
- e) orientation of the direct axis magnetomotive force phasor of the excitation winding coincides with the positive direction of the direct axis;
- f) a current is considered positive when it produces positive magnetic flux (flux linkage) in the corresponding winding (circuit);
- g) the induced e.m.f. is of such a polarity as to oppose a change in flux linkages and satisfies the equation  $e = -\frac{d\psi}{dt}$  (for steady-state phenomena with constant angular velocity, induced e.m.f. may also be represented as  $E = -j\omega\psi$ ).

This convention in connection with the "f" convention means that the e.m.f. in any branch of a circuit is considered as positive when being closed on a resistance; it produces the positive current in the same branch;

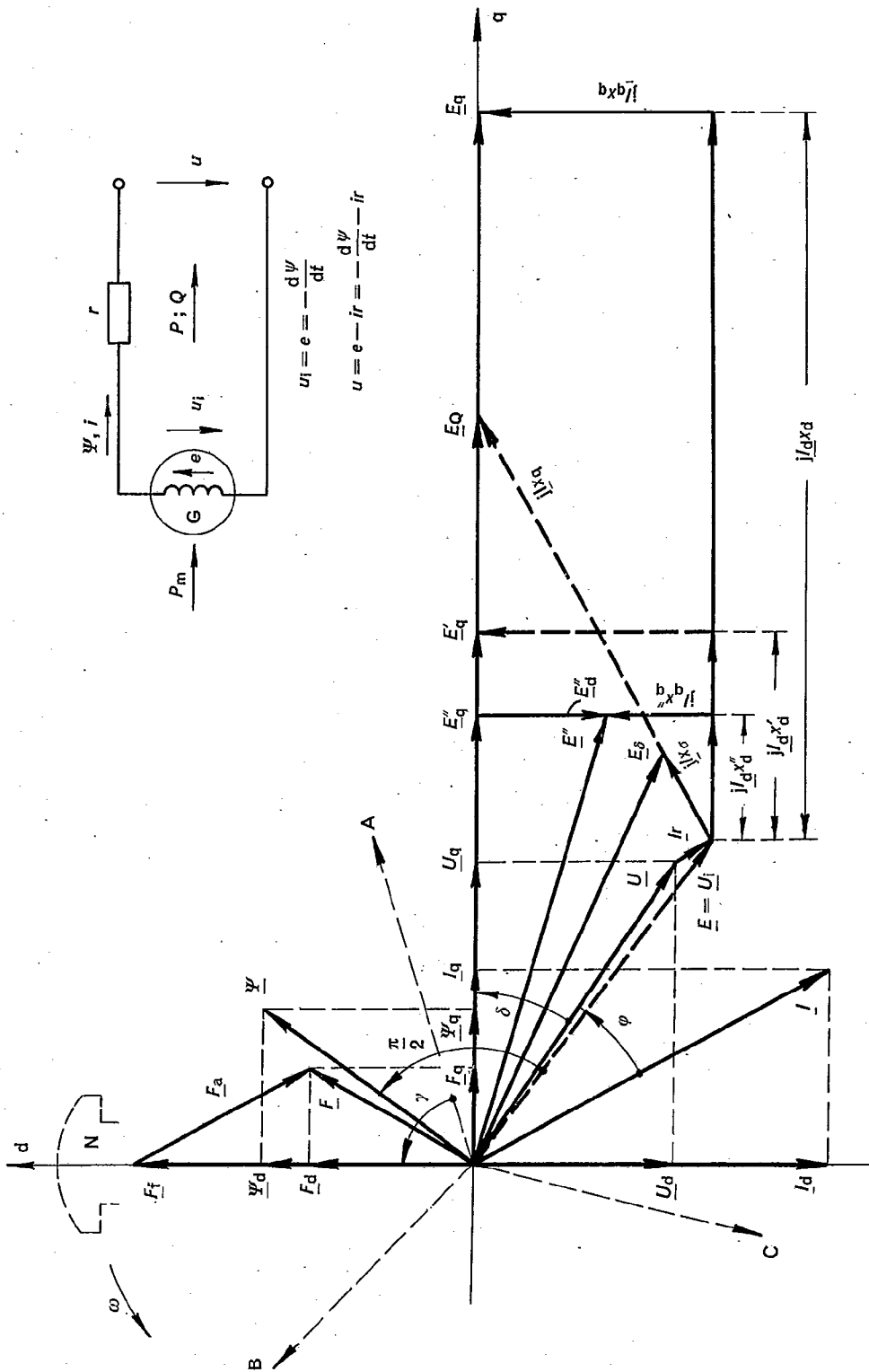
- h) the direct and quadrature axis components of all the quantities (current, voltage, e.m.f., etc.) are designated according to the axes they are referred to.

2.2 The use of generator (or source) convention as a base is preferred.

The corresponding armature circuit diagram of reference polarity of e.m.f., voltage, current and power and the phasor diagram for an overexcited salient pole synchronous generator are shown in Figure 1, page 8. The quadrature axis is recommended as reference axis in the phasor diagram. However, when the machine forms part of a system, any other convenient reference axis (for example terminal voltage, current, etc.) may be used. Symmetrical steady-state conditions of operation are considered. However, the corresponding phasors of transient and sub-transient e.m.f. are shown.

The stationary three axes A, B and C are shown in broken lines so as to illustrate the relationship of the stationary axes and rotating phasors, facilitating determination of instantaneous phase quantities of e.m.f., current, etc.

The use of a motor (or load) convention as a base may be convenient in cases of motor studies only. The corresponding phasor diagram for an underexcited synchronous motor is shown in Figure 2, page 9. Here, as in the case of generator convention, the quadrature axis is recommended as reference axis.



006175

FIG. 1. — Circuit et diagramme vectoriel de la génératrice synchrone surexcitée à la convention de base « génératrice ».

Overexcited synchronous generator phasor and circuit diagrams with generator convention as a base.

007175

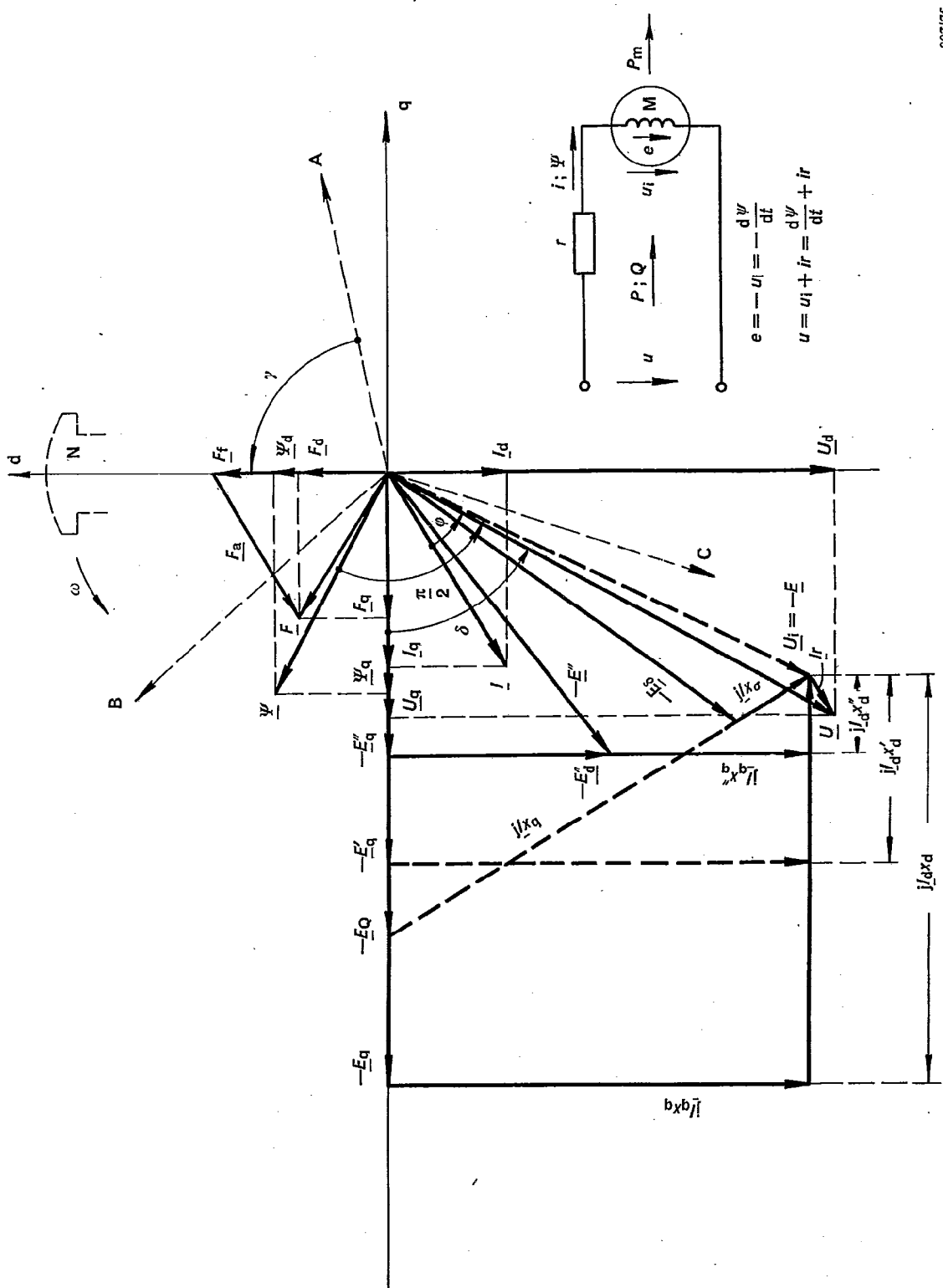


FIG. 2. — Circuit et diagramme vectoriel d'un moteur synchrone sous-excité à la convention de base « moteur ». Underexcited synchronous motor phasor and circuit diagrams with motor convention as a base.

Comme dans le cas d'un diagramme vectoriel prenant comme base le fonctionnement en génératrice, tout autre axe de référence peut être utilisé en prenant comme base le fonctionnement en moteur. La figure 2 montre, en traits discontinus, les axes de phases stationnaires A, B et C. Un diagramme du circuit d'induit avec les polarités de référence, dans lequel le fonctionnement en moteur est pris comme base, est également donné.

Des diagrammes vectoriels simplifiés sont représentés à l'annexe A comme référence afin d'illustrer le fonctionnement en régime permanent d'une génératrice synchrone à pôles lisses (voir la figure 3, génératrice surexcitée, et la figure 4, génératrice sous-excité, page 16) et d'un moteur synchrone (voir la figure 5, moteur surexcité, et la figure 6, moteur sous-excité, page 17) en prenant comme base le fonctionnement en génératrice. Dans tous ces cas, on estime que la résistance de l'induit est négligeable et que  $x_d = x_q$ .

*Note.* — Les f.é.m. induites utilisées dans les diagrammes vectoriels et les diagrammes de circuits des figures 1 à 6 peuvent être remplacées, si nécessaire (par exemple, pour la convention « moteur »), par les tensions correspondantes, qui sont égales aux f.é.m. (c'est-à-dire, sous la forme générale,  $u = +e$ ,  $\underline{U} = +\underline{E}$ ) dans le cas de la convention « génératrice », et leur sont opposées dans le cas d'une convention « moteur » ( $u = -e$ ,  $\underline{U} = -\underline{E}$ ).

Des explications complémentaires concernant certaines des conventions admises dans la présente publication sont données à l'annexe B.

### 3. Description mathématique des machines synchrones

3.1 Pour une description plus complète des machines synchrones et leur représentation mathématique, les conventions complémentaires suivantes sont recommandées:

- a) lorsque le fonctionnement en génératrice est pris comme base, la puissance active est considérée comme positive lorsqu'elle est fournie par la machine au réseau (charge). Lorsque le fonctionnement en moteur est pris comme base, la puissance active est considérée comme positive lorsqu'elle est absorbée par la machine synchrone;
- b) le glissement est considéré comme positif lorsque la vitesse de rotation du rotor est inférieure à la vitesse de synchronisme;
- c) la tension d'excitation est positive lorsqu'elle produit un courant inducteur positif;
- d) tous les couples qui accélèrent les parties tournantes dans le sens de rotation positif sont pris comme positifs (par exemple, en fonctionnement normal établi d'une génératrice, le couple mécanique de l'arbre est considéré comme positif et le couple électromagnétique correspondant de la génératrice comme négatif; en fonctionnement normal d'un moteur, le couple mécanique de l'arbre est pris comme négatif, et le couple électromagnétique comme positif); dans le cas de plusieurs couples agissant sur le rotor, les moments de couples sont additionnés algébriquement.
- e) conformément au paragraphe 14.2 de la Publication 375 de la CEI: Conventions concernant les circuits électriques et magnétiques, un signe positif est affecté à la puissance réactive absorbée par une bobine à réactance d'où il résulte que la puissance réactive d'une machine synchrone est positive en fonctionnement surexcité pour la convention « génératrice » et en fonctionnement sous-excité pour la convention « moteur ».

*Note.* — La valeur positive de la puissance réactive  $Q$  correspond au sens de référence de la puissance active  $P$ .

3.2 Les équations suivantes de machines synchrones, écrites conformément à la théorie bien connue des deux axes, correspondent, les composantes de séquencé zéro mises de côté, aux conventions précitées et aux diagrammes vectoriels de l'article 2.

Toutes les valeurs sont réduites, comme suit:

- le temps est représenté par l'inverse de la pulsation nominale  $1/\omega_n$ ;
- les tensions, intensités et flux sont rapportés à l'enroulement statorique et à leurs valeurs de crête nominales;
- la puissance est rapportée à la puissance apparente nominale (volt-ampères);
- le couple est rapporté au moment de couple apparent nominal correspondant à la puissance apparente nominale;
- les résistances et réactances sont rapportées à l'enroulement statorique et à l'impédance nominale.

Il est recommandé de prendre les valeurs nominales de la machine comme base, lorsqu'on considère la machine elle-même.

Similarly to the phasor diagram taking the generator as a base, any other convenient reference axis may be used taking the motor as a base. Figure 2 shows, in broken lines, the stationary phase axes A, B and C. The armature circuit diagram of reference polarity concerning the motor as a base is also given.

Simplified phasor diagrams are given in Appendix A as a reference to represent steady-state operation of a non-salient pole synchronous generator (see Figure 3, overexcited generator, and Figure 4, underexcited generator, page 16) and a synchronous motor (see Figure 5, overexcited motor, and Figure 6, underexcited motor, page 17), using the generator as a base. In all these cases it was assumed that armature resistance is negligible and that  $x_d = x_q$ .

*Note.* — The induced e.m.f.'s used in the phasor and circuit diagrams of Figures 1 to 6 may be replaced, if it is convenient (for example for motor convention as a base), by the corresponding voltages, which are equal to the e.m.f.'s (i.e. in the general form  $u = +e$ ,  $\underline{U} = +\underline{E}$ ) in case of generator convention, and negative to them ( $u = -e$ ,  $\underline{U} = -\underline{E}$ ) in the case of motor convention as a base.

Additional clarifications concerning some of the conventions taken in this publication are given in Appendix B.

### 3. Mathematical description of synchronous machines

3.1 For further description of synchronous machines and their mathematical representation, the following additional conventions are recommended:

- a) when a generator is taken as a base, its active power is considered as positive when it flows from generator to the network (load). In cases where a motor is taken as a base, its active power drawn from a source of electric energy is considered as positive;
- b) slip is considered positive when the speed of rotor rotation is below synchronous speed;
- c) excitation voltage is positive when it produces positive field current;
- d) all torques accelerating the rotating parts in the positive direction of rotation are taken as positive (for example at normal steady-state generator operation, the shaft mechanical torque is taken as positive and the corresponding generator electromagnetic torque as negative; for normal motor operation, the shaft mechanical torque is taken as negative and the electromagnetic torque as positive); in the case of several torques acting on the rotor, the algebraic sum should be taken.
- e) according to Sub-clause 14.2 of IEC Publication 375, Conventions concerning Electric and Magnetic Circuits, a positive sign is given to the reactive power absorbed by an inductor, that is, the synchronous machine operates with positive reactive power when overexcited for generator convention and when underexcited for motor convention.

*Note.* — The positive value of reactive power  $Q$  corresponds to the reference direction of active power  $P$ .

3.2 The following equations of synchronous machines written in accordance with the well-known two-axis theory, aside from zero-sequence components, correspond to the above-stated conventions and to the phasor diagrams of Clause 2.

All values are per unit values, with:

- time related to reciprocal rated (base) angular frequency  $1/\omega_n$ ;
- voltages, currents and fluxes converted to the stator winding and related to their base crest values;
- power related to the base apparent power (voltamperes);
- torque related to the base "apparent" torque corresponding to the base apparent power;
- resistances and reactances converted to the stator winding and related to the base impedance.

It is recommended that the rated values be taken as base values when considering the machine itself.

## ÉQUATIONS DES MACHINES SYNCHRONES

Équations particulières pour la convention  
« génératrice »:

$$u_a = -u \sin \delta = -p\psi_a - \psi_a p\gamma - r i_a$$

$$u_q = u \cos \delta = \psi_a p\gamma - p\psi_q - r i_q$$

Équations particulières pour la convention  
« moteur »:

$$u_a = -u \sin \delta = p\psi_a + \psi_a p\gamma + r i_a$$

$$u_q = -u \cos \delta = -\psi_a p\gamma + p\psi_q + r i_q$$

Équations communes pour les deux conventions:

$$u_r = p\psi_r + r i_r$$

$$O = p\psi_{kd} + r_{kd} i_{kd} \quad k = 1, 2 \dots n$$

$$O = p\psi_{kq} + r_{kq} i_{kq} \quad k = 1, 2 \dots m$$

$$P = u_a i_a + u_q i_q$$

$$Q = u_a i_q - u_q i_a$$

$$m = -\psi_a i_q + \psi_q i_a$$

$$m_m + m = \tau_j p^2 \gamma$$

$$\psi_d = x_a i_a + x_{ad} i_r + \sum_{k=1}^{k=n} x_{akd} i_{kd}$$

$$\psi_q = x_q i_q + \sum_{k=1}^{k=m} x_{akq} i_{kq}$$

$$\psi_r = x_{ra} i_r + x_{ra} i_a + \sum_{k=1}^{k=n} x_{rkd} i_{kd}$$

$$\psi_{kd} = x_{akd} i_a + x_{rkd} i_r + \sum_{j=1}^{j=n} x_{kjd} i_{jd} \quad k = 1, 2 \dots n$$

$$\psi_{kq} = x_{akq} i_q + \sum_{j=1}^{j=m} x_{kjq} i_{jq} \quad k = 1, 2 \dots m$$

### 3.3 Liste des symboles utilisés dans la présente publication:

$E, e$  = force électromotrice

$F$  = force magnétomotrice

$I, i$  = courant

$m$  = couple

$P$  = puissance active

$p$  =  $\frac{d}{dt}$  = opérateur de dérivation

$Q$  = puissance réactive

$r$  = résistance

$U, u$  = tension aux bornes

$x$  = réactance

$\gamma$  = angle mesuré dans le sens de rotation entre l'axe de la phase A et l'axe longitudinal

$\delta$  = angle interne entre la tension de l'induit et l'axe transversal

$\tau$  = constante de temps

$\varphi$  = angle correspondant au facteur de puissance

$\Psi, \psi$  = flux d'enroulement

$\omega$  = pulsation

*Note.* — Dans le cas où la lettre majuscule et la lettre minuscule sont indiquées, la première se rapporte aux vecteurs et l'autre aux valeurs instantanées.

## SYNCHRONOUS MACHINE EQUATIONS

Particular equations for generator convention:

$$u_d = -u \sin \delta = -p\psi_d - \psi_q p\gamma - r i_d$$

$$u_q = u \cos \delta = \psi_d p\gamma - p\psi_q - r i_q$$

Particular equations for motor convention:

$$u_d = -u \sin \delta = p\psi_d + \psi_q p\gamma + r i_d$$

$$u_q = -u \cos \delta = -\psi_d p\gamma + p\psi_q + r i_q$$

Common equations for both conventions:

$$u_t = p\psi_t + r i_t$$

$$0 = p\psi_{kd} + r_{kd} i_{kd} \quad k = 1, 2 \dots n$$

$$0 = p\psi_{kq} + r_{kq} i_{kq} \quad k = 1, 2 \dots m$$

$$P = u_d i_d + u_q i_q$$

$$Q = u_d i_q - u_q i_d$$

$$m = -\psi_d i_q + \psi_q i_d$$

$$m_m + m = \tau_J p^2 \gamma$$

$$\psi_d = x_d i_d + x_{afd} i_t + \sum_{k=1}^{k=n} x_{akd} i_{kd}$$

$$\psi_q = x_q i_q + \sum_{k=1}^{k=m} x_{akq} i_{kq}$$

$$\psi_t = x_{ttd} i_t + x_{afd} i_d + \sum_{k=1}^{k=n} x_{tkd} i_{kd}$$

$$\psi_{kd} = x_{akd} i_d + x_{tkd} i_t + \sum_{j=1}^{j=n} x_{kjd} i_{jd} \quad k = 1, 2 \dots n$$

$$\psi_{kq} = x_{akq} i_q + \sum_{j=1}^{j=m} x_{kjq} i_{jq} \quad k = 1, 2 \dots m$$

## 3.3 List of symbols used in this publication:

$E, e$  = electromotive force

$F$  = magnetomotive force

$I, i$  = current

$m$  = torque

$P$  = active power

$p$  =  $\frac{d}{dt}$  = derivative operator

$Q$  = reactive power

$r$  = resistance

$U, u$  = terminal voltage

$x$  = reactance

$\gamma$  = angle measured in direction of rotation from phase A axis to direct axis

$\delta$  = load angle between armature voltage and quadrature axis

$\tau$  = time constant

$\varphi$  = power factor angle

$\Psi, \psi$  = flux linkage

$\omega$  = angular frequency

Note. — In the case where both capital and small letters are indicated, the first refers to phasors and the latter to instantaneous values.

Les indices désignent:

- a = enroulement d'induit
- d, q = axes longitudinal et transversal
- f = enroulement d'excitation
- i = interne
- j, k = circuit amortisseur, numéros des circuits
- J = inertie pour le temps d'accélération
- m = mécanique
- n = valeur nominale
- $\delta$  = entrefer
- $\sigma$  = circuit de fuite

La combinaison de deux indices différents se rapportant à des enroulements indique la présence d'une inductance mutuelle; deux indices identiques indiquent une inductance propre.

Les valeurs transitoires et subtransitoires sont désignées par une ou deux marques en haut et à droite du symbole ( $x'$ ;  $x''$ ).

## Subscripts designate:

a	=	armature winding
d, q	=	direct and quadrature axes
f	=	field winding
i	=	internal
j, k	=	damper circuit numbers
J	=	inertia for acceleration time
m	=	mechanical
n	=	rated value
$\delta$	=	air gap
$\sigma$	=	leakage circuit

The combination of two different subscripts indicating windings designates the presence of mutual inductance between them, and two similar subscripts designate the presence of self-inductance.

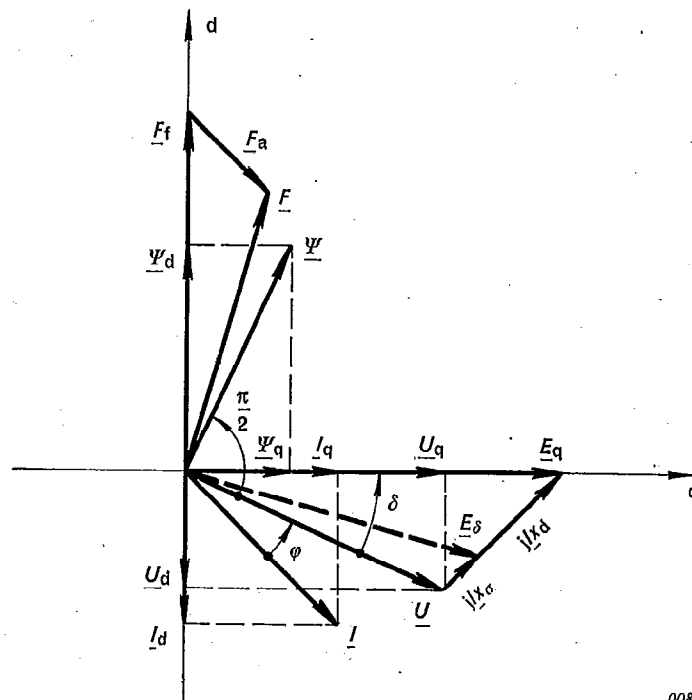
Transient and sub-transient values are designated by one or two marks at the upper right-hand side of the symbol ( $x'$ ;  $x''$ ).

## ANNEXE A

## APPENDIX A

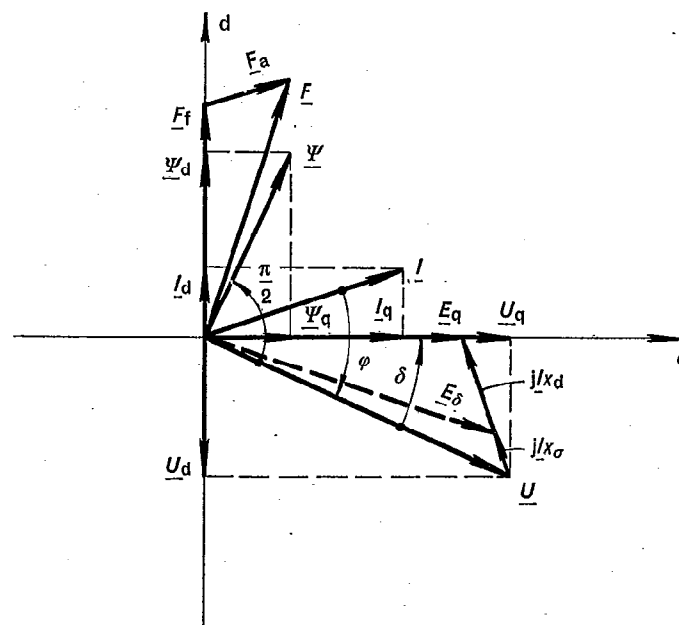
Diagrammes vectoriels de machines synchrones présentés comme référence. On a adopté la convention « génératrice » dans le cas des génératrices à pôles lisses ou des moteurs où  $x_d = x_q$ .

Phasor diagrams of synchronous machines for reference. Generator convention is considered for non-salient generator or motor with  $x_d = x_q$ .



008175

FIG 3. — Génératrice surexcitée  
Overexcited generator



009175

FIG 4. — Génératrice sous-excitée  
Underexcited generator



## ANNEXE B

Conformément à la pratique existante et à la Publication 375 de la CEI, les notions de f.é.m. et de tension sont utilisées, toutes les deux, dans la présente publication bien que certaines écoles aient rejeté la première. De plus, la notion de f.é.m. est prise comme notion de base puisque la convention prenant comme base le fonctionnement en génératrice (source) est adoptée comme étant préférable.

Pour les deux conventions « génératrice » et « moteur », le sens de la f.é.m. est considéré comme positif lorsque le courant résultant de la f.é.m. dans un circuit fermé sur une résistance pure est positif.

Cette convention en combinaison avec les conventions définies aux paragraphes 2.1e) et f) conduit à la convention de base « f.é.m. induite » décrite au paragraphe 2.1g), notamment:  $e = - \frac{d\psi}{dt}$

Il semble important de souligner que cette convention se rapporte simplement à la f.é.m. induite et non pas aux tensions correspondantes, et que cela est valable pour les deux conventions de base « génératrice » et « moteur ».

Ces deux conventions ne diffèrent l'une de l'autre que par le sens de référence et les conventions de signe de la tension, des puissances active et réactive, laissant de côté certaines particularités de mesures des angles  $\varphi$  et  $\delta$  (voir ci-dessous).

Dans le cas de la convention de base « génératrice », la tension de l'induit est considérée comme positive lorsqu'elle est appliquée au circuit fermé sur une résistance pure; elle tend à produire un courant positif, c'est-à-dire le même que pour la f.é.m.; par conséquent, la tension et la f.é.m. sont mutuellement égales en fonctionnement à vide. Dans le cas de la convention de base « moteur », la tension de l'induit est considérée comme positive lorsqu'elle est appliquée à l'enroulement de l'induit lui-même; elle tend à créer un courant positif dans cet enroulement. Il est évident que cette tension est opposée à la tension du cas précédent et, par conséquent, à la f.é.m. positive, puisque le sens et la polarité de cette dernière sont les mêmes pour les deux conventions.

Les conventions mentionnées ci-dessus pour la tension de l'induit sont valables non seulement pour la tension aux bornes  $u$ , mais aussi pour toutes les tensions intérieures, y compris  $u_1$ .

On a donc:  $u_1 = +e = - \frac{d\psi}{dt}$  dans le cas de la convention « génératrice »

$u_1 = -e = + \frac{d\psi}{dt}$  dans le cas de la convention « moteur »

Le sens des flèches indiquant le sens de référence de la tension et de la f.é.m. dans les diagrammes de circuits des figures 1 et 2, pages 8 et 9, sont conformes à ceux des paragraphes 3.4 et 4.3 de la Publication 375 de la CEI, selon laquelle la queue de la flèche correspond au point ayant le potentiel de référence le plus élevé pour la tension et le potentiel de référence le plus bas pour la f.é.m. Par conséquent, dans le cas de la convention de base « génératrice » ayant la même polarité de référence pour la tension et la f.é.m., les flèches correspondantes  $u_1$  et  $e$  sont mutuellement opposées (voir la figure 1). Mais dans le cas de la convention de base « moteur » ayant les polarités de référence mutuellement opposées pour la tension et la f.é.m., les flèches correspondantes ont un sens identique.

C'est grâce au changement simultané, décrit ci-dessus, des sens de référence des tensions de l'induit, d'une part, et des puissances active et réactive, d'autre part — le sens de référence du courant de l'induit étant inchangé lors de la conversion de la convention « génératrice » en convention « moteur » et vice versa —, que les formules déterminant la puissance comme fonction des tensions et courants de l'induit sont les mêmes pour les deux conventions (voir les formules au paragraphe 3.2).

Certaines explications concernant l'angle de phase  $\varphi$  et les puissances active et réactive  $P$  et  $Q$  pour les deux conventions de base, « génératrice » et « moteur », sont données à la figure 7, page 20.

La flèche de l'angle  $\varphi$  doit toujours être dirigée de  $I$  vers  $U$  suivant la distance la plus courte. Si le sens est horaire, l'angle  $\varphi$  est alors négatif.

Pour les conventions « génératrice » et « moteur », la puissance active et réactive est déduite des relations  $P = UI \cos \varphi$  et  $Q = UI \sin \varphi$ , respectivement.

Les mesures de l'angle de charge  $\delta$  pour les deux conventions de base, « génératrice » et « moteur », sont portées sur la figure 8, page 20. La flèche de l'angle  $\delta$  doit être dirigée du vecteur  $U$  vers l'axe transversal positif le long de la distance la plus courte dans le cas de la convention de base « génératrice », et à partir de l'axe transversal négatif vers le vecteur  $U$  dans le cas de la convention de base « moteur ».

## APPENDIX B

In accordance with existing practice and IEC Publication 375, both e.m.f. and voltage concepts are used in this publication despite the fact that the former is rejected by some schools. Moreover, the e.m.f. concept is taken as basic since the generator (source) convention has been agreed to be taken as the preferred one.

For both generator and motor conventions, the direction of the e.m.f. has been taken to be positive when the current that results from the e.m.f. in a closed resistive circuit is positive.

This convention in combination with the conventions defined under Sub-clauses 2.1c) and f) leads to the basic induced e.m.f. convention, defined under 2.1g), namely:  $e = -\frac{d\psi}{dt}$

It seems essential to emphasize that this convention relates just to the induced e.m.f.'s, but not to the corresponding voltages and that it is valid for both generator and motor conventions as a base.

These two conventions differ from each other by the reference direction and sign conventions of the voltage, active and reactive powers only, leaving aside certain particularities of angles  $\varphi$  and  $\delta$  measurements (see below).

In the case of generator convention as a base, the armature voltage is considered as positive, if being applied to the external resistive circuit it tends to cause a positive current, i.e. the same as that for the e.m.f., hence the voltage and the e.m.f. are mutually equal at no-load operation. In the case of the motor convention as a base, the armature voltage is considered as positive, if being applied to the armature winding itself it tends to cause a positive current in this winding. It is obvious that this voltage is opposed to that in the former case, and consequently to the positive e.m.f., since the latter's reference direction and polarity are the same for both conventions.

The above-mentioned armature voltage conventions are valid not only for the terminal voltage  $u$ , but also for all internal voltages, including  $u_1$  as well.

Consequently:

$$u_1 = +e = -\frac{d\psi}{dt} \quad \text{for generator convention}$$

$$u_1 = -e = +\frac{d\psi}{dt} \quad \text{for motor convention}$$

The directions of the arrows indicating the voltage and e.m.f. reference directions in circuit diagrams in Figures 1 and 2, pages 8 and 9, conform to Sub-clauses 3.4 and 4.3 of IEC Publication 375, according to which the arrow tail corresponds to the point with the higher reference potential for voltage and with the lower reference potential for e.m.f. Consequently, in the case of generator convention as a base, having the same reference polarity for both voltage and e.m.f., the corresponding arrows  $u_1$  and  $e$  are mutually opposed (see Figure 1). But in the case of motor convention as a base, having mutually opposite reference polarities for voltage and e.m.f., the corresponding arrows are directed identically.

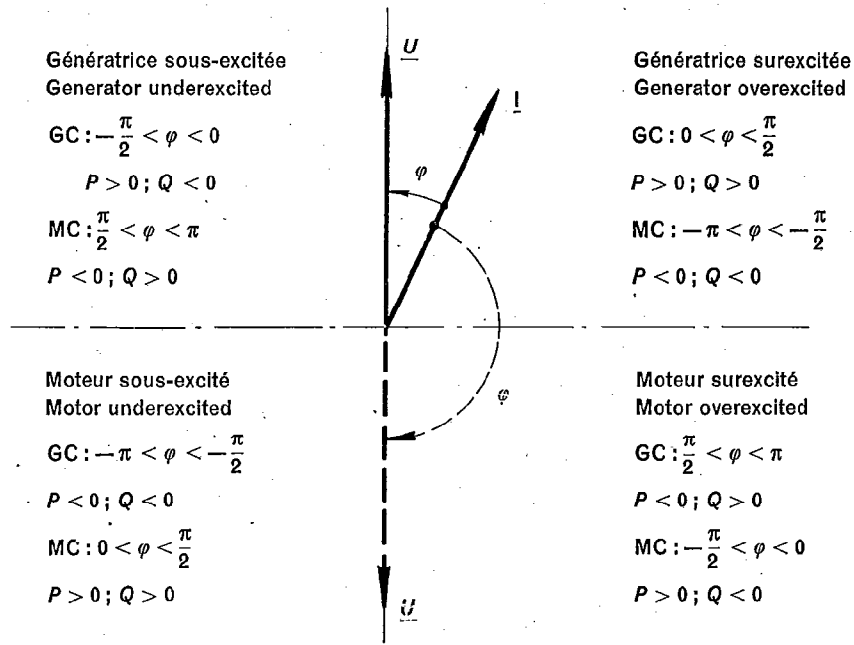
Because of the above-mentioned simultaneous change of the reference directions of the armature voltages, on one hand, and of the active and reactive powers, on the other hand, with armature current reference direction remaining unchanged on conversion from generator to motor convention and vice versa, the formulae determining powers as a function of armature voltages and currents are the same for both conventions (see formulae in Sub-clause 3.2).

Some clarification concerning phase angle  $\varphi$  and active and reactive power  $P$  and  $Q$  for both generator and motor conventions as a base are given in Figure 7, page 20.

The arrow of angle  $\varphi$  should always point from  $I$  to  $U$  along the shortest way. If this direction is clockwise, then  $\varphi$  is negative.

For both generator and motor conventions, active and reactive power follows from  $P = UI \cos \varphi$  and  $Q = UI \sin \varphi$  respectively.

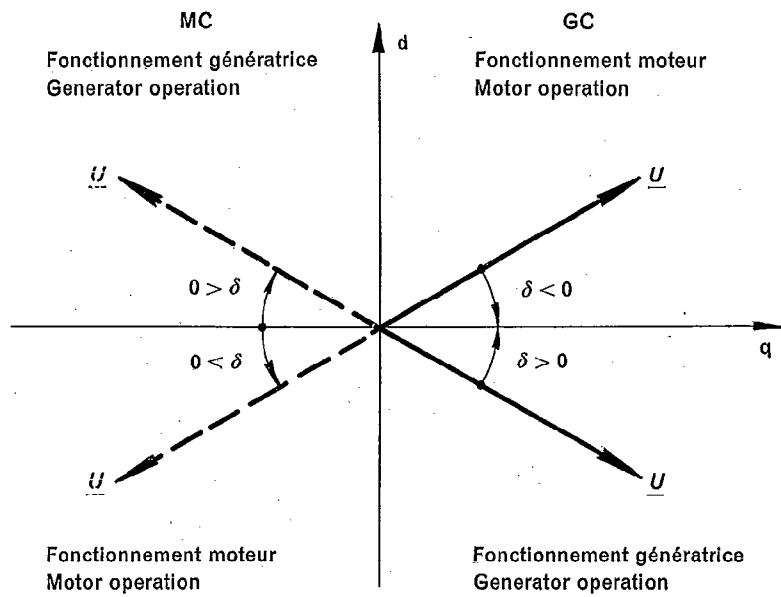
Load angle  $\delta$  measurements for both generator and motor conventions as a base are shown in Figure 8, page 20. The arrow of angle  $\delta$  should point along the shortest way from phasor  $U$  to positive quadrature axis direction in the case of generator convention as a base, and from negative quadrature axis direction to phasor  $U$  in the case of motor convention as a base.



012/75

GC = convention « génératrice » (———)  
 MC = convention « moteur » (- - -)

FIG. 7. — Vecteurs tension et courant suivant les conventions « génératrice » et « moteur ». Voltage and current phasors in generator and motor convention systems.



013/75

GC = convention « génératrice » (———)  
 MC = convention « moteur » (- - -)

FIG. 8. — Diagramme de référence pour la mesure de l'angle interne  $\delta$ . Reference diagram for load angle  $\delta$  measurements.

IEC 34 PT\*J0 75 484489J 0032448 0

**Autres publications de la CEI préparées  
par le Comité d'Etudes N° 2**

- 34: — Machines électriques tournantes.
- 34-1 (1969) 1<sup>e</sup> partie: Valeurs nominales et caractéristiques de fonctionnement.
- 34-2 (1972) 2<sup>e</sup> partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction).
- 34-2A (1974) Premier complément à la Publication 34-2 (1972).
- 34-3 (1968) 3<sup>e</sup> partie: Valeurs nominales et caractéristiques des turbo-machines triphasées à 50 Hz.
- 34-4 (1967) 4<sup>e</sup> partie: Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs des machines synchrones.  
Modification N° 1 (1973).
- 34-4A (1972) Premier complément à la Publication 34-4 (1967).
- 34-5 (1968) 5<sup>e</sup> partie: Degrés de protection procurés par les enveloppes des machines tournantes.
- 34-6 (1969) 6<sup>e</sup> partie: Modes de refroidissement des machines tournantes.
- 34-7 (1972) 7<sup>e</sup> partie: Symboles pour les formes de construction et les dispositions de montage des machines électriques tournantes.
- 34-8 (1972) 8<sup>e</sup> partie: Marques d'extrémités et sens de rotation des machines tournantes.
- 34-9 (1972) 9<sup>e</sup> partie: Limites du bruit.
- 72 (1971) Dimensions et puissances normales des machines électriques tournantes — Désignation des carcasses entre 56 et 400 et des brides entre F55 et F1080.
- 72A (1970) Premier complément à la Publication 72 (1971).
- 85 (1957) Recommandations relatives à la classification des matières destinées à l'isolement des machines et appareils électriques en fonction de leur stabilité thermique en service <sup>1)</sup>.
- 136: — Dimensions des balais et porte-balais pour machines électriques.
- 136-1 (1962) 1<sup>e</sup> partie: Dimensions principales et tolérances.
- 136-1A (1972) Premier complément à la Publication 136-1 (1962).
- 136-2 (1967) 2<sup>e</sup> partie: Dimensions complémentaires des balais — Connexions des balais.
- 136-2A (1972) Premier complément à la Publication 136-2 (1967).
- 136-2B (1973) Deuxième complément à la Publication 136-2 (1967).
- 136-3 (1972) 3<sup>e</sup> partie: Questionnaire technique de la CEI pour les utilisateurs de balais de charbon.
- 276 (1968) Définitions et nomenclature des balais de charbon, des porte-balais, des collecteurs et des bagues.
- 279 (1969) Mesure de la résistance des enroulements d'une machine à courant alternatif en fonctionnement sous tension alternative.
- 356 (1971) Dimensions des collecteurs et des bagues.
- 413 (1972) Méthodes d'essai pour la mesure des propriétés physiques des matières de balais pour machines électriques.
- 467 (1974) Méthodes d'essai pour la mesure des propriétés physiques des balais de charbon pour machines électriques.

<sup>1)</sup> Le domaine couvert par cette publication est maintenant du ressort du CE 15: Matériaux isolants, et du CE 63: Systèmes d'isolation.

**Other IEC publications prepared  
by Technical Committee No. 2**

- 34: — Rotating electrical machines.
- 34-1 (1969) Part 1. Rating and performance.
- 34-2 (1972) Part 2. Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles).
- 34-2A (1974) First supplement to Publication 34-2 (1972).
- 34-3 (1968) Part 3. Ratings and characteristics of three-phase, 50 Hz turbine-type machines.
- 34-4 (1967) Part 4. Methods for determining synchronous machine quantities from tests.  
Amendment No. 1 (1973).
- 34-4A (1972) First supplement to Publication 34-4 (1967).
- 34-5 (1968) Part 5. Degrees of protection by enclosures for rotating machinery.
- 34-6 (1969) Part 6. Methods of cooling rotating machinery.
- 34-7 (1972) Part 7. Symbols for types of construction and mounting arrangements of rotating electrical machinery.
- 34-8 (1972) Part 8. Terminal markings and direction of rotating machines.
- 34-9 (1972) Part 9. Noise limits.
- 72 (1971) Dimensions and output ratings for rotating electrical machines — Frame numbers 56 to 400 and flange numbers F55 to F1080.
- 72A (1970) First supplement to Publication 72 (1971).
- 85 (1957) Recommendations for the classification of materials for the insulation of electrical machinery and apparatus in relation to their thermal stability in service <sup>1)</sup>.
- 136: — Dimensions of brushes and brush-holders for electrical machinery.
- 136-1 (1962) Part 1. Principal dimensions and tolerances.
- 136-1A (1972) First supplement to Publication 136-1 (1962).
- 136-2 (1967) Part 2. Complementary dimensions of brushes — Terminations of brushes.
- 136-2A (1972) First supplement to Publication 136-2 (1967).
- 136-2B (1973) Second supplement to Publication 136-2 (1967).
- 136-3 (1972) Part 3. IEC technical questionnaire for users of carbon brushes.
- 276 (1968) Definitions and nomenclature for carbon brushes, brush-holders, commutators and slip-rings.
- 279 (1969) Measurement of the winding resistance of an a.c. machine during operation at alternative voltage.
- 356 (1971) Dimensions for commutators and slip-rings.
- 413 (1972) Test procedures for determining physical properties of brush materials for electrical machines.
- 467 (1974) Test procedures for determining physical properties of carbon brushes for electrical machines.

<sup>1)</sup> The contents of this publication are now the responsibility of TC 15, Insulating Materials, and TC 63, Insulation Systems.