

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

34-10

Première édition
First edition
1975-01

Machines électriques tournantes

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

Rotating electrical machines

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 34-10: 1975

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.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

34-10

Première édition
First edition
1975-01

Machines électriques tournantes

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

Rotating electrical machines

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

© IEC 1975 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

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembeé Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

K

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

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

Withdrawing
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60034-10:1975

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60034-10:1975

Without 2M

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
Austria
Belgium
Czechoslovakia
Denmark
France
Germany
Israel
Italy
Japan
Korea (Democratic People's
Republic of)

Poland
Portugal
South Africa (Republic of)
Sweden
Switzerland
Turkey
Union of Soviet
Socialist Republics
United Kingdom
United States of America
Yugoslavia

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 "I" 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;

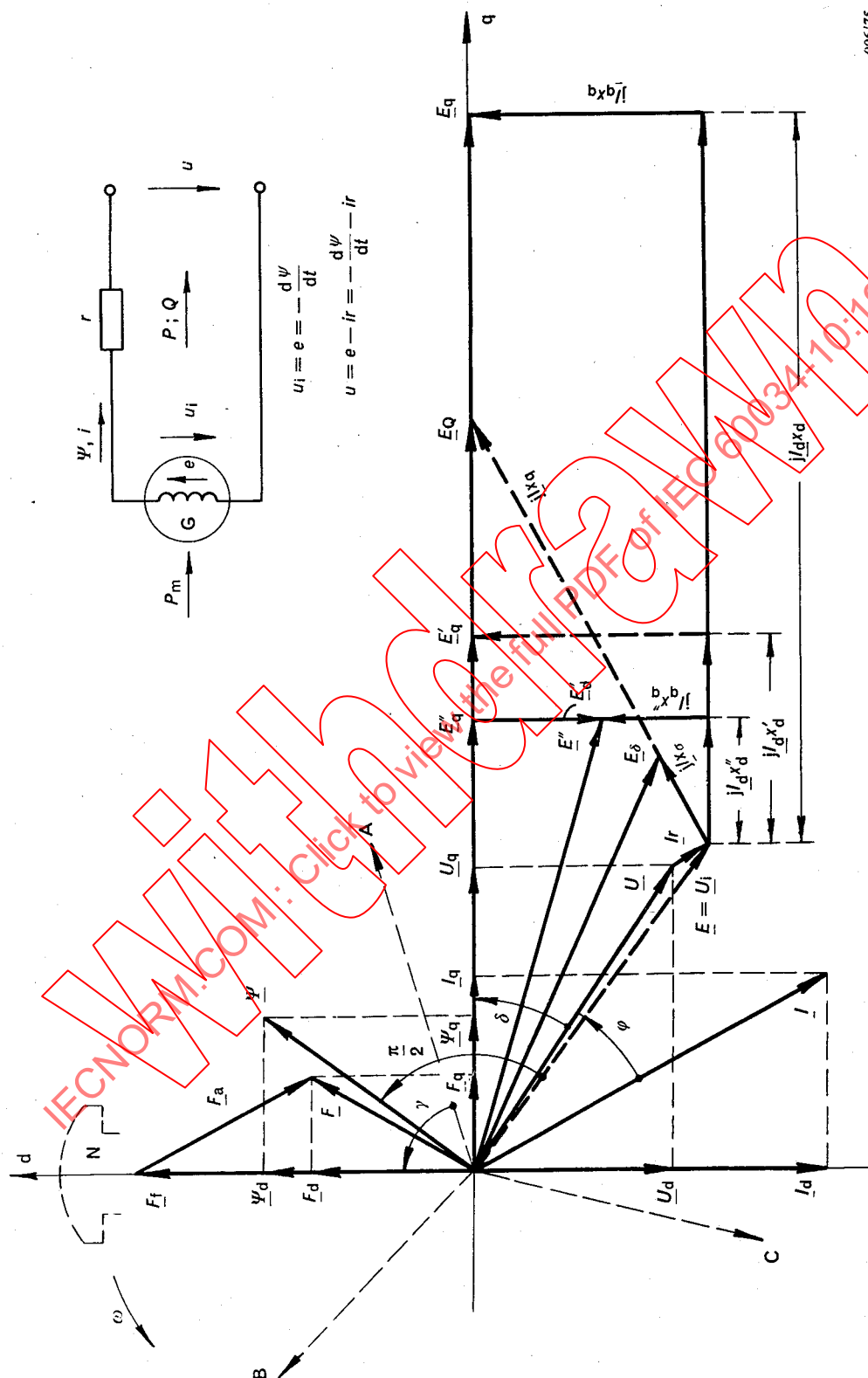
- h) the direct and quadrature axis components of all the quantities (current, voltage, e.m.f., etc.) are designated according to the axes they are referred to.

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.

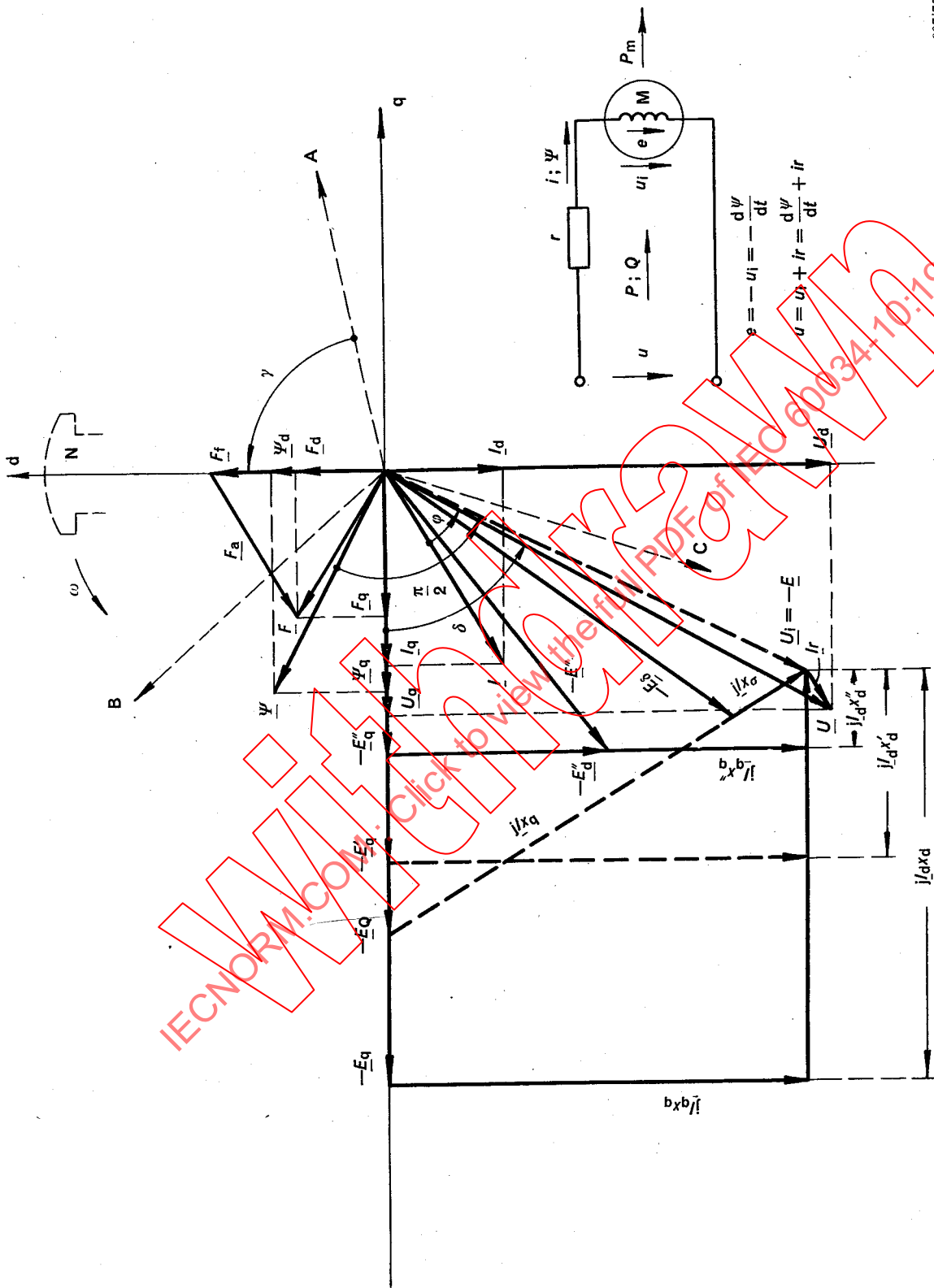
The use of a motor (or load) convention as a base may be convenient in cases of motor studies only. The corresponding phasor diagram for an underexcited synchronous motor is shown in Figure 2, page 9. Here, as in the case of generator convention, the quadrature axis is recommended as reference axis.



006/75

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 séquence 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

Equations particulières pour la convention
« génératrice »:

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

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

Equations particulières pour la convention
« moteur »:

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

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

Equations communes pour les deux conventions:

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

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

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

$$P = u_d i_d + u_q i_q$$

$$Q = u_d i_q - u_q i_d$$

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

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

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

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

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

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

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

3.3 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

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

δ = angle interne entre la tension de l'induit et l'axe transversal

τ = constante de temps

φ = angle correspondant au facteur de puissance

Ψ, ψ = flux d'enroulement

ω = 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:

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

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

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

$$P = u_d i_d + u_q i_q$$

$$Q = u_d i_q - u_q i_d$$

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

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

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

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

$$\psi_t = x_{ffd} i_t + x_{afd} i_d + \sum_{k=1}^{k=n} x_{fk d} i_{kd}$$

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

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

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

γ = angle measured in direction of rotation from phase A axis to direct axis

δ = load angle between armature voltage and quadrature axis

τ = time constant

φ = power factor angle

Ψ, ψ = flux linkage

ω = 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
δ	= entrefer
σ	= 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
δ	= air gap
σ	= 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.

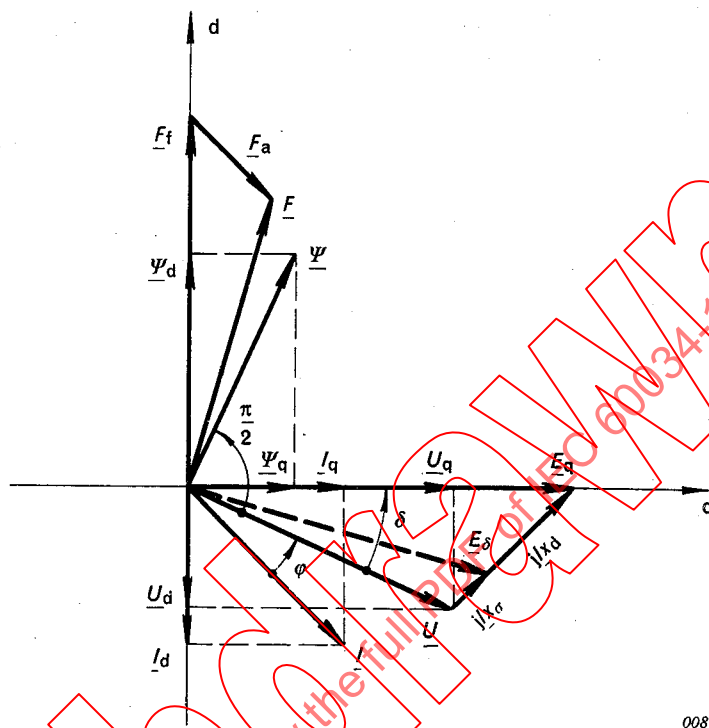
Transient and sub-transient values are designated by one or two marks at the upper right-hand side of the symbol (x' ; x'').

ANNEXE A

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 $x_d = x_q$.

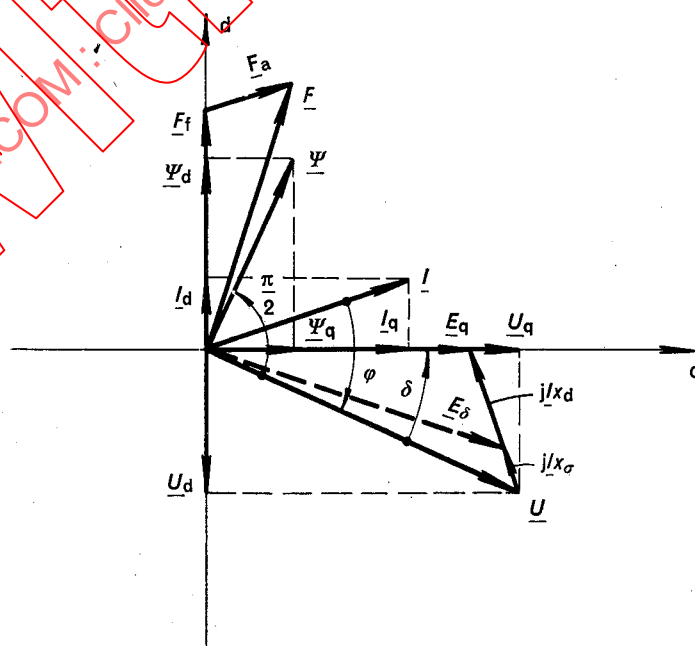
APPENDIX A

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



008/75

FIG 3. — Génératrice surexcitée
Overexcited generator



009/75

FIG 4. — Génératrice sous-excité
Underexcited generator

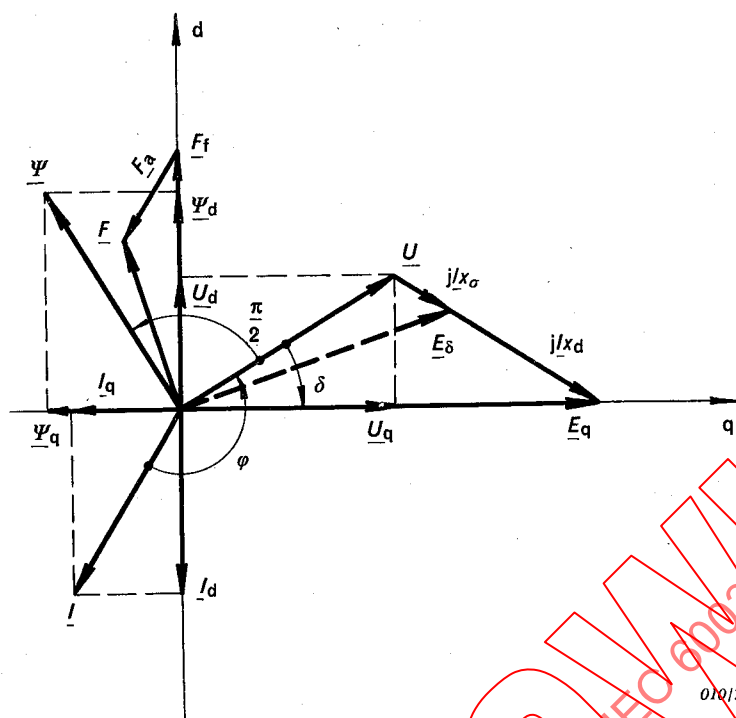


FIGURE 5. — Moteur surexcité
Overexcited motor

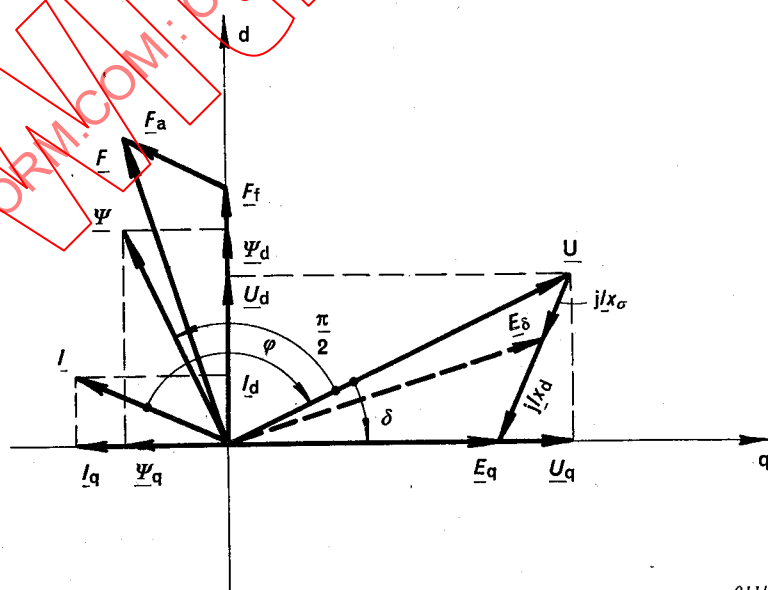


FIGURE 6. — Moteur sous-excité
Underexcited motor