

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 34-4

Première édition — First edition

1967

**Recommandations pour les machines électriques tournantes
(à l'exclusion des machines pour véhicules de traction)**

**Quatrième partie Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs
des machines synchrones**

**Recommendations for rotating electrical machinery
(excluding machines for traction vehicles)**

**Part 4 Methods for determining synchronous machine quantities
from tests**



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 Varembé

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	8
PRÉFACE	8
Articles	
SECTION UN – DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET	
1 Domaine d'application	12
2 Objet	12
SECTION DEUX – GÉNÉRALITÉS	
3 Généralités	12
SECTION TROIS – TERMINOLOGIE ET MÉTHODES D'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE	
4 Réactance synchrone longitudinale X_d	16
5 Rapport de court-circuit K_c	16
6 Réactance synchrone transversale X_q	16
7 Réactance transitoire longitudinale X_d'	18
8 Réactance subtransitoire longitudinale X_d''	18
9 Réactance subtransitoire transversale X_q'	18
10 Réactance inverse X_2	20
11 Résistance inverse R_2	20
12 Réactance homopolaire X_0	20
13 Résistance homopolaire R_0	20
14 Réactance de Potier X_p	22
15 Résistance en courant continu de l'induit et de l'enroulement d'excitation R_a et R_f	22
16 Résistance directe de l'enroulement d'induit R_1	22
17 Constante de temps transitoire longitudinale à circuit ouvert τ_{do}	22
18 Constante de temps transitoire longitudinale en court-circuit τ_d'	22
19 Constante de temps subtransitoire longitudinale en court-circuit τ_d''	24
20 Constante de temps en court-circuit de l'induit τ_a	24
21 Temps d'accélération τ_J	24
22 Énergie cinétique réduite H	26
23 Courant d'excitation nominal I_{fn}	26
24 Variation nominale de tension ΔU_n	26
SECTION QUATRE – DESCRIPTION DES ESSAIS ET DÉTERMINATION DES GRANDEURS DES MACHINES A PARTIR DE CES ESSAIS	
25 Essai de saturation à vide	26
26 Essai en court-circuit triphasé permanent	28
27 Détermination des grandeurs à partir des caractéristiques de saturation à vide et en court-circuit triphasé permanent	30
28 Essai de surexcitation à facteur de puissance nul	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
PREFACE	9
Clause	
SECTION ONE – SCOPE AND OBJECT	
1 Scope	13
2 Object	13
SECTION TWO – GENERAL	
3 General	13
SECTION THREE – TERMINOLOGY AND METHODS OF DETERMINATION	
4 Direct-axis synchronous reactance X_d	17
5 Short-circuit ratio K_c	17
6 Quadrature-axis synchronous reactance X_q	17
7 Direct-axis transient reactance X_d'	19
8 Direct-axis subtransient reactance X_d''	19
9 Quadrature-axis subtransient reactance X_q''	19
10 Negative-sequence reactance X_2	21
11 Negative-sequence resistance R_2	21
12 Zero-sequence reactance X_0	21
13 Zero-sequence resistance R_0	21
14 Potier reactance X_p	23
15 Armature and excitation winding direct-current resistance R_a and R_f	23
16 Positive sequence armature winding resistance R_1	23
17 Direct-axis transient open-circuit time constant τ_{do}	23
18 Direct-axis transient short-circuit time constant τ_d'	23
19 Direct-axis subtransient short-circuit time constant τ_d''	25
20 Armature short-circuit time constant τ_a	25
21 Acceleration time τ_f	25
22 Stored energy constant H	27
23 Rated excitation current I_{fn}	27
24 Rated voltage regulation ΔU_n	27
SECTION FOUR—DESCRIPTION OF THE TESTS AND DETERMINATION OF MACHINE QUANTITIES FROM THESE TESTS	
25 No-load saturation test	27
26 Sustained three-phase short-circuit test	29
27 Determination of quantities from the no-load saturation and sustained three-phase short-circuit characteristics	31
28 Overexcitation test at zero power-factor	33

29	Détermination du courant d'excitation correspondant à la tension nominale et au courant d'induit à facteur de puissance nul (surexcitation)	32
30	Détermination de la réactance de Potier à partir des caractéristiques à vide et en court-circuit triphasé permanent et du courant d'excitation correspondant à la tension nominale et au courant d'induit nominal à facteur de puissance nul (surexcitation)	34
31	Détermination du courant d'excitation nominal au moyen du diagramme de Potier	36
32	Détermination du courant d'excitation nominale au moyen du diagramme de l'ASA	38
33	Détermination du courant d'excitation nominal au moyen du diagramme suédois	40
34	Essai d'excitation négative	42
35	Détermination de X_q à partir de l'essai d'excitation négative	42
36	Essai à faible glissement	44
37	Détermination de X_q à partir de l'essai à faible glissement	46
38	Essai en charge avec mesure de l'angle de charge δ	48
39	Détermination de X_q à partir de l'essai en charge avec mesure de l'angle de charge	48
40	Essai de court-circuit triphasé brusque	48
41	Détermination des grandeurs à partir de l'essai de court-circuit triphasé brusque	54
42	Essai de rétablissement de la tension	58
43	Détermination des grandeurs à partir de l'essai de rétablissement de la tension	58
44	Essai d'application de tension pour les positions longitudinale et transversale de l'axe des pôles du rotor par rapport à l'axe du champ d'induit	60
45	Détermination des grandeurs à partir de l'essai d'application de tension pour les positions longitudinale et transversale de l'axe des pôles du rotor par rapport à l'axe du champ de l'induit du rotor	60
46	Essai d'application de tension dans une position quelconque du rotor	62
47	Détermination des grandeurs à partir de l'essai d'application de tension dans une position quelconque du rotor	62
48	Essai de court-circuit permanent entre deux phases	64
49	Détermination des grandeurs à partir de l'essai de court-circuit permanent entre deux phases	64
50	Essai de rotation inverse	66
51	Détermination des grandeurs à partir de l'essai de rotation inverse	66
52	Essai d'alimentation en monophasé des trois phases	66
53	Détermination des grandeurs à partir de l'essai d'alimentation en monophasé des trois phases	68
54	Essai en court-circuit permanent entre deux conducteurs de phase et le point neutre	68
55	Détermination des grandeurs à partir de l'essai de court-circuit permanent entre deux conducteurs de phase et le point neutre	70
56	Mesures de la résistance en courant continu d'un enroulement au moyen de la méthode du volt-mètre et de l'ampèremètre ou de la méthode du pont	70
57	Détermination de la résistance en courant continu d'un enroulement à partir des mesures en courant continu par la méthode du voltmètre et de l'ampèremètre ou par la méthode du pont	72
58	Essai de décroissance du courant d'excitation avec l'enroulement d'induit à circuit ouvert	74
59	Détermination de τ_{do} à partir de l'essai de décroissance du courant d'excitation avec l'enroulement d'induit à circuit ouvert	74
60	Essai de décroissance du courant d'excitation avec l'enroulement d'induit en court-circuit	74
61	Détermination de τ_d à partir de l'essai de décroissance du courant d'excitation avec l'enroulement d'induit en court-circuit	74
62	Essai d'oscillation du rotor suspendu à un câble	76
63	Détermination de τ_j et de H à partir de l'essai d'oscillation du rotor suspendu à un câble	76
64	Essai d'oscillation avec pendule auxiliaire	78
65	Détermination de τ_j et de H à partir de l'essai d'oscillation avec pendule auxiliaire	78
66	Essai de ralentissement à vide	78
67	Détermination de τ_j et de H à partir de l'essai de ralentissement à vide	78

29	Determination of the excitation current corresponding to the rated voltage and rated armature current at zero power-factor (overexcitation)	33
30	Determination of Potier reactance from the no-load and sustained three-phase short-circuit characteristics and the excitation current corresponding to the rated voltage and rated armature current at zero power-factor (overexcited)	35
31	Determination of the rated excitation current by the Potier diagram	37
32	Determination of the rated excitation current by the ASA diagram	39
33	Determination of the rated excitation current by the Swedish diagram	41
34	Negative excitation test	43
35	Determination of X_q from the negative excitation test	43
36	Low slip test	45
37	Determination of X_q from the low slip test	47
38	On-load test measuring the load angle δ	49
39	Determination of X_q from the on-load test measuring the load angle	49
40	Sudden three-phase short-circuit test	49
41	Determination of quantities from the sudden three-phase short-circuit test	55
42	Voltage recovery test	59
43	Determination of quantities from the voltage recovery test	59
44	Applied voltage test with the rotor in direct and quadrature axis positions with respect to the armature winding field axis	61
45	Determination of quantities from the applied voltage test with the rotor in direct and quadrature axis positions with respect to the armature winding field axis	61
46	Applied voltage test with the rotor in any arbitrary position	63
47	Determination of quantities from the applied voltage test with the rotor in any arbitrary position	63
48	Line-to-line sustained short-circuit test	65
49	Determination of quantities from the line-to-line sustained short-circuit test	65
50	Negative-phase sequence test	67
51	Determination of quantities from the negative-phase sequence test	67
52	Single-phase voltage application to the three-phase test	67
53	Determination of quantities from the single-phase voltage application to the three-phase test	69
54	Line-to-line and to neutral sustained short-circuit test	69
55	Determination of quantities from the line-to-line and to neutral sustained short-circuit test	71
56	Direct-current winding resistance measurements by the voltmeter and ammeter method and by the bridge method	71
57	Determination of winding d.c. resistance from the direct-current winding resistance measurements by the voltmeter and ammeter and by the bridge methods	73
58	Field current decay test with the armature winding open-circuited	75
59	Determination of τ_{do} from the field current decay test with the armature winding open-circuited	75
60	Field current decay test with the armature winding short-circuited	75
61	Determination of τ_d from the field current decay test with the armature winding short-circuited	75
62	Suspended rotor oscillation test	77
63	Determination of τ_j and H from suspended rotor oscillation test	77
64	Auxiliary pendulum swing test	79
65	Determination of τ_j and H from the auxiliary pendulum swing test	79
66	No-load retardation test	79
67	Determination of τ_j and H from the no-load retardation test	79

68	Essai de ralentissement en charge de machines accouplées mécaniquement avec la machine synchrone fonctionnant en moteur	80
69	Détermination de τ_j et de H de machines accouplées mécaniquement à partir de l'essai de ralentissement en charge avec la machine synchrone fonctionnant en moteur	80
70	Essai d'accélération après suppression brusque de la charge avec la machine fonctionnant en génératrice	80
71	Détermination de τ_j et de H de machines accouplées mécaniquement à partir de l'essai d'accélération après suppression brusque de la charge avec la machine fonctionnant en génératrice	82
72	Détermination des grandeurs au moyen de calculs utilisant des grandeurs connues par des essais	82
TABLEAU		84

Withdrawn

68	On-load retardation test of mechanically coupled machines with the synchronous machine operating as a motor	81
69	Determination of τ_j and H of mechanically coupled machines from the on-load retardation test with the synchronous machine operating as a motor	81
70	Acceleration after a load drop test with the machine operating as a generator	81
71	Determination of τ_j and H of mechanically coupled machines from the acceleration after a load drop test with the machine operating as a generator	83
72	Determination of quantities by calculations using known test quantities	83
TABLE		85

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**RECOMMANDATIONS
POUR LES MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES
(A L'EXCLUSION DES MACHINES POUR VÉHICULES DE TRACTION)**

**Quatrième partie : Méthodes pour la détermination à partir d'essais
des grandeurs des machines synchrones**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but

PRÉFACE

Les présentes recommandations ont été établies par le Sous-Comité 2G Grandeurs des machines synchrones, du Comité d'Etudes N° 2 de la CEI Machines tournantes

Elles font partie d'une série de recommandations traitant des machines électriques tournantes, et dont les autres parties sont

Première partie: Recommandations pour les machines électriques tournantes, éditée comme Publication 34-1 de la CEI

Deuxième partie: Recommandations relatives à la détermination du rendement des machines électriques tournantes, éditée comme Publication 34-2 de la CEI

Troisième partie: Valeurs nominales et caractéristiques des turbo-alternateurs triphasés à 50 Hz, éditée comme Publication 34-3 de la CEI

A la suite des discussions qui eurent lieu pendant les réunions tenues à la Nouvelle-Delhi en 1960, à Bucarest en 1962 et à Léninegrad en 1963, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1964

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**RECOMMENDATIONS FOR ROTATING ELECTRICAL MACHINERY
(EXCLUDING MACHINES FOR TRACTION VEHICLES)**

Part 4 : Methods for determining synchronous machine quantities from tests

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end

PREFACE

These Recommendations have been prepared by Sub-Committee 2G, Synchronous Machine Quantities, of IEC Technical Committee No. 2, Rotating Machinery

They constitute part of a series of recommendations dealing with rotating electrical machinery, other parts being

Part 1 Recommendations for Rotating Electrical Machinery, issued as IEC Publication 34-1

Part 2 Recommendations on Determination of Efficiency of Rotating Electrical Machinery, issued as IEC Publication 34-2

Part 3 Ratings and Characteristics of 3-phase 50 Hz (c/s) Turbine-type Generators, issued as IEC Publication 34-3

After discussions during the meetings held in New Delhi in 1960, in Bucharest in 1962 and in Leningrad in 1963, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1964

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

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

Withdrawn

The following countries voted explicitly in favour of publication of Part 4:

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

Withdrawn

RECOMMANDATIONS POUR LES MACHINES ÉLECTRIQUES TOURNANTES (A L'EXCLUSION DES MACHINES POUR VÉHICULES DE TRACTION)

Quatrième partie : Méthodes pour la détermination à partir d'essais des grandeurs des machines synchrones

SECTION UN – DOMAINE D'APPLICATION ET OBJET

1 Domaine d'application

Les présentes recommandations sont applicables aux machines synchrones triphasées de puissance nominale égale à 1 kVA et au-dessus et dont la fréquence nominale n'est ni supérieure à 400 Hz, ni inférieure à 15 Hz

Les méthodes d'essai ne sont pas destinées à être appliquées à des machines synchrones spéciales, telles que les machines à inducteurs à aimants permanents, les machines du type magnéto, etc

Bien que d'une façon générale les essais s'appliquent aux machines dépourvues de bagues d'excitation, certaines différences peuvent alors exister et des précautions spéciales devront être prises

2 Objet

L'objet de ces recommandations est d'établir des méthodes pour la détermination des grandeurs caractéristiques des machines synchrones triphasées en partant de résultats d'essais

Il n'entre pas dans les intentions de ces recommandations qu'elles puissent être interprétées comme impliquant l'exécution sur une machine donnée de l'un quelconque ou de l'ensemble des essais qui y sont décrits. Les essais particuliers à effectuer doivent faire l'objet d'un accord spécial

SECTION DEUX – GÉNÉRALITÉS

3 Généralités

Les essais en vue de la détermination des grandeurs des machines synchrones doivent être effectués sur la machine entièrement en bon état, tous les appareils de réglage automatique étant mis hors circuit

A moins qu'il n'en soit spécifié autrement, les essais sont exécutés à la vitesse de rotation nominale

3.1 Les appareils de mesure indicateurs et leurs accessoires, tels que les transformateurs de mesure, shunts et ponts utilisés au cours des essais doivent, à moins d'indication différente, appartenir à une classe de précision de 1,0 au plus (Publication 51 de la CEI Recommandations pour les appareils de mesure électriques indicateurs et leurs accessoires). Les appareils utilisés pour la détermination des résistances en courant continu doivent appartenir à une classe de précision de 0,5 au plus

Il n'a pas été jugé utile pour le moment de spécifier la classe de précision pour le matériel oscillographique de mesure. Celui-ci doit cependant être choisi autant que possible en tenant compte de la fréquence nominale de la machine à essayer, de manière que les lectures soient faites sur une portion rectiligne de la caractéristique de l'amplitude de vibration de l'équipage mobile en fonction de la fréquence

La mesure de la vitesse de rotation des machines synchrones peut s'effectuer au moyen d'une méthode stroboscopique ou au moyen de tachymètres (mécaniques ou électriques)

Au lieu de mesurer la vitesse de rotation, il est permis de mesurer la fréquence au moyen d'un fréquencemètre lorsque la machine tourne à la vitesse de synchronisme soit par ses propres moyens, soit entraînée par une autre machine

RECOMMENDATIONS FOR ROTATING ELECTRICAL MACHINERY (EXCLUDING MACHINES FOR TRACTION VEHICLES)

Part 4 : Methods for determining synchronous machine quantities from tests

SECTION ONE – SCOPE AND OBJECT

1 Scope

The Recommendations apply to three-phase synchronous machines of 1 kVA rating and larger with rated frequency of not more than 400 Hz(c/s) and not less than 15 Hz(c/s)

The test methods are not intended to apply to special synchronous machines such as permanent-magnet field machines, inductor type machines, etc

While the tests also apply in general to brushless machines, certain variations do exist and special precautions should be taken

2 Object

The object of these Recommendations is to establish methods for determining characteristic quantities of three-phase synchronous machines from tests

It is not intended that the Recommendations should be interpreted as requiring the carrying out of any or all of the tests described therein on any given machine. The particular tests to be carried out shall be subject to a special agreement

SECTION TWO – GENERAL

3 General

Tests for determining synchronous machine quantities should be conducted on a completely sound machine, all the devices for automatic regulation being switched off

Unless otherwise stated, the tests are conducted at the rated speed of rotation

- 3.1 Indicating measuring instruments and their accessories, such as measuring transformers, shunts and bridges used during tests, unless otherwise stated, should have an accuracy class not above 1.0 (IEC Publication 51, Recommendations for Indicating Electrical Measuring Instruments and their Accessories). The instruments used for determining d.c. resistances should have an accuracy class not above 0.5

It is not intended at this stage to specify an accuracy class for the oscillographic measuring equipment. This should, however, be chosen, having due regard to the rated frequency of the machine to be tested, so that the readings are taken in a linear portion of the vibrator amplitude against frequency characteristic

The measurement of the speed of rotation, of synchronous machines may be conducted by means of a stroboscopic method or by using tachometers (mechanical or electrical)

Instead of measuring the speed of rotation, it is permissible to measure frequency by means of a frequency meter when the machine is running synchronously with any other machine or running on its own