

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

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 volt-mètre 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

- 3 2 La température des enroulements doit être mesurée dans tous les essais où les grandeurs à déterminer dépendent de la température, ou bien lorsque la connaissance de cette dernière est nécessaire pour des questions de sécurité de la machine pendant les essais

Lorsqu'il y a risque que les températures atteignent transitoirement des valeurs anormalement élevées, il est recommandé d'entreprendre les essais seulement après que la machine ait fonctionné à vide avec son refroidissement normal ou ait été maintenue à l'arrêt suffisamment longtemps pour obtenir une faible température initiale. On devra également soigneusement surveiller ou prédéterminer les températures afin de pouvoir suspendre l'essai avant qu'elles deviennent excessives.

- 3 3 Le mode de connexion de l'enroulement de la machine pendant l'essai doit, en général, être le même qu'en utilisation normale.

La détermination de toutes les grandeurs est faite en considérant que l'enroulement de la machine est couplé en étoile (à moins que des connexions spéciales, par exemple en triangle ouvert, soient spécifiées). Si l'enroulement d'induit est couplé normalement en triangle, la valeur obtenue pour les grandeurs conformément aux présentes recommandations correspond à un enroulement équivalent couplé en étoile.

- 3 4 Toutes les grandeurs et caractéristiques sont données en valeurs « réduites », en considérant les valeurs nominales de la tension (U_n) et de la puissance apparente (S_n) comme les valeurs de base. Dans ce cas, le courant de base sera

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n}$$

et l'impédance de base

$$Z_n = \frac{U_n^2}{S_n} = \left[\frac{S_n}{3 I_n^2} \right] \Omega$$

Si cela est jugé plus facile, les calculs intermédiaires peuvent être effectués sur les grandeurs physiques avec conversion ultérieure de la grandeur en sa valeur réduite. Il est recommandé d'exprimer les temps en secondes. Dans les calculs des caractéristiques et pour l'établissement des diagrammes, c'est le courant d'excitation correspondant à la tension nominale sur la caractéristique à vide qui doit être pris comme valeur de base du courant d'excitation.

Si la machine possède plusieurs valeurs nominales, celles qui ont été choisies comme valeurs de base doivent être indiquées.

À moins d'indication différente, le système mentionné ci-dessus a été adopté dans les présentes recommandations. Les lettres minuscules désignent les grandeurs exprimées en valeur réduite et les majuscules désignent les grandeurs physiques.

- 3 5 Dans les formules données dans les présentes recommandations pour la détermination des réactances des machines synchrones, la résistance directe de l'induit est, à moins d'indication contraire, considérée comme étant négligeable.

Lorsque la résistance directe de l'induit est supérieure à 0,2 fois la résistance mesurée, les formules doivent être considérées comme approchées.

- 3 6 Les définitions de la plupart des grandeurs et de leurs méthodes expérimentales de détermination, telles qu'elles figurent dans ces recommandations, reposent sur la théorie largement acceptée des deux axes des machines synchrones, comportant la représentation approximative de tous les circuits s'ajoutant à l'enroulement d'excitation et aux circuits fixes qui s'y rapportent au moyen de deux circuits équivalents, l'un le long de l'axe longitudinal, et l'autre le long de l'axe transversal, en négligeant les résistances de l'induit ou en tenant compte seulement d'une manière approximative. Il résulte de cette représentation approximative d'une machine que dans les présentes recommandations les grandeurs suivantes interviennent pour l'étude des phénomènes transitoires : trois réactances (synchrone, transitoire et subtransitoire) et deux constantes de temps (transitoire et subtransitoire),

- 3 2 The temperature of the windings is measured in those tests when the quantities to be determined depend on it or when knowledge of it is required by the safety considerations of the machine during tests

In cases where transient temperatures might exceed the safe values, it is recommended that the tests be started only after the machine has been run at no-load with normal cooling or has been at rest for a period to assure low starting temperature, and the temperatures should be carefully monitored or pre-determined so that the test may be discontinued before the temperature becomes excessive

- 3 3 During the test, the machine winding connection as a rule should be as for normal working

The determination of all quantities is made considering star connection of the armature winding (unless special connections such as open delta are specified) If the armature winding is actually delta connected, the values of the quantities obtained in accordance with these Recommendations correspond to an equivalent star connected winding

- 3 4 All the quantities and characteristics should be designated in per unit values considering rated values of the voltage (U_n), and the apparent power (S_n) as basic ones. In this case basic current will be:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n}$$

and basic impedance

$$Z_n = \frac{U_n^2}{S_n} = \left[\frac{S_n}{3 I_n^2} \right] \Omega$$

The intermediate calculations, if it is convenient, may be performed in physical values with subsequent conversion to the quantity in per unit value. It is recommended to express time in seconds. In the calculations of characteristics, and when drawing diagrams, excitation current corresponding to the rated voltage on the no-load curve is taken as the basic value of the excitation current

If a machine has several rated values, those taken for the basic values should be stated

Unless otherwise stated, the above-mentioned system is accepted in these Recommendations. Small letters designate the quantities in per unit values, and capital letters designate them in physical values

- 3 5 In the formulae given in these Recommendations for determining synchronous machine reactances, the positive sequence armature resistance, unless otherwise stated, is considered to be negligible

When the positive sequence armature resistance constitutes more than 0.2 of the measured reactance, the formulae must be considered as approximate

- 3 6 The definitions of the majority of quantities and their experimental methods of determination, as given in these Recommendations, correspond to the widely accepted two-axis theory of synchronous machines with approximate representation of all circuits additional to the field winding, and stationary circuits relative to it, by two equivalent circuits, one along the direct axis and the other along the quadrature axis, neglecting armature resistance or taking it into consideration only approximately

As a consequence of this approximate machine representation, three reactances (synchronous, transient and sub-transient) and two time constants (transient and sub-transient) are considered in these Recommendations for transient phenomena studies along the direct axis, two reactances

dans l'axe longitudinal, deux réactances (synchrone et subtransitoire) et une seule constante de temps subtransitoire dans l'axe transversal, et la constante de temps en court-circuit de l'induit. Ces constantes de temps sont basées sur l'hypothèse d'une décroissance exponentielle des composantes des grandeurs impliquées (courants, tensions, etc.). Si la courbe des valeurs mesurées de la composante examinée ne décroît pas selon une exponentielle pure, comme par exemple dans le cas d'une machine à rotor massif, la constante de temps devra normalement être interprétée comme le temps nécessaire pour que la composante tombe à $1/e \approx 0,368$ de sa valeur initiale. Les courbes de décroissance exponentielle correspondant à ces constantes de temps doivent être considérées comme des courbes équivalentes qui remplacent les courbes résultant des mesures effectives.

- 3.7 Les grandeurs des machines synchrones varient avec la saturation des circuits magnétiques. Dans les calculs pratiques, on utilise aussi bien les valeurs saturées que les valeurs non saturées. Dans ces recommandations, sauf indications contraires, il convient d'entendre par « valeur saturée » d'une réactance ou d'une résistance sa valeur pour la tension nominale (induit) et par « valeur non saturée » sa valeur pour le courant nominal (induit), exception faite de la réactance synchrone qui n'est pas définie en régime saturé.
- La valeur d'une telle grandeur à la tension nominale (induit) correspond à l'état magnétique de la machine au moment du court-circuit brusque de l'enroulement induit à partir des conditions de fonctionnement à vide sous tension nominale et à vitesse nominale.
- La valeur d'une telle grandeur du courant nominal (induit) correspond à un état dans lequel la valeur de l'onde fondamentale alternative de la composante du courant d'induit, qui détermine cette grandeur particulière, est égale au courant nominal.

SECTION TROIS – TERMINOLOGIE ET MÉTHODES D'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

4 Réactance synchrone longitudinale X_d

Quotient de la valeur en régime établi du terme fondamental de la composante de la tension d'induit produite par le flux longitudinal total dû au courant d'induit longitudinal, par la valeur du terme fondamental de ce courant, la machine tournant à sa vitesse nominale.

- 4.1 La réactance synchrone longitudinale X_d correspondant à l'état non saturé est déterminée (voir article 27) en partant de la caractéristique de saturation à vide (voir paragraphe 25.1) et de la caractéristique en court-circuit triphasé permanent (voir paragraphe 26.1).

5 Rapport de court-circuit K_c

Le rapport de court-circuit est le rapport du courant d'excitation pour la tension nominale de l'induit à vide au courant d'excitation pour le courant nominal d'induit en court-circuit triphasé permanent, la machine tournant à sa vitesse nominale.

- 5.1 Le rapport de court-circuit est déterminé (voir paragraphe 27.1) en partant de la caractéristique de saturation à vide (voir paragraphe 25.1) et de la caractéristique en court-circuit triphasé permanent (voir paragraphe 26.1).

6 Réactance synchrone transversale X_q

Quotient de la valeur en régime établi du terme fondamental de la composante de la tension d'induit produite par le flux transversal total dû au courant d'induit transversal, par la valeur du terme fondamental de ce courant, la machine tournant à sa vitesse nominale.

(synchronous and sub-transient) and one time constant (sub-transient) along the quadrature axis, and the armature short-circuit time constant

These time constants are based on the assumption of an exponential decrease of the particular components of quantities involved (currents, voltages, etc). If the plot of the measured component under consideration does not decrease as a pure exponential, as in the case, for example, of a solid rotor machine, the time constant should normally be interpreted as the time required for the component to decrease to $1/e \approx 0.368$ of its initial value. Exponential decay curves corresponding to these time constants should be considered as equivalent curves replacing the actual measured ones.

- 3.7 Synchronous machine quantities vary with saturation of the magnetic circuits. In practical calculations both saturated and unsaturated values are used.

In these Recommendations, unless otherwise stated, the “saturated value” of reactances and resistances will be taken as the rated (armature) voltage value of the quantity, and their “unsaturated value” will be taken as the rated (armature) current value, except synchronous reactance which is not defined as saturated.

The rated (armature) voltage value of a quantity corresponds to the magnetic condition of the machine during sudden short-circuit of the armature winding from no-load rated voltage operation, the machine running at rated speed.

The rated (armature) current value of a quantity corresponds to the condition in which the fundamental a.c. component of armature current which determines this particular quantity is equal to the rated current.

SECTION THREE – TERMINOLOGY AND METHODS OF DETERMINATION

4 Direct-axis synchronous reactance X_d

The quotient of the sustained value of that fundamental a.c. component of armature voltage which is produced by the total direct-axis armature flux due to direct-axis armature current, and the value of the fundamental a.c. component of this current, the machine running at rated speed.

- 4.1 The direct-axis synchronous reactance X_d corresponding to the unsaturated state is determined (see Clause 27) from the no-load saturation (see Sub-clause 25.1) and sustained three-phase short-circuit (see Sub-clause 26.1) characteristics.

5 Short-circuit ratio K_c

The ratio of the field current for rated armature voltage on open-circuit to the field current for rated armature current on sustained symmetrical short-circuit, both with the machine running at rated speed.

- 5.1 The short-circuit ratio is determined (see Sub-clause 27.1) from the no-load saturation (see Sub-clause 25.1) and sustained three-phase short-circuit (see Sub-clause 26.1) characteristics.

6 Quadrature-axis synchronous reactance X_q

The quotient of the sustained value of that fundamental a.c. component of armature voltage which is produced by the total quadrature-axis armature flux due to quadrature axis armature current, and the value of the fundamental a.c. component of this current, the machine running at rated speed.

6 1 La réactance synchrone transversale est déterminée au moyen des méthodes suivantes

- a) essai d'excitation négative (voir articles 34 et 35),
- b) essai à faible glissement (voir articles 36 et 37),
- c) essai de charge avec mesure de l'angle de charge (voir articles 38 et 39)

Les deux premières méthodes sont préférentielles

7 Réactance transitoire longitudinale X_d

Quotient de la valeur initiale d'une variation brusque du terme fondamental de la composante de la tension d'induit produite par le flux longitudinal total, par la valeur de la variation simultanée du terme fondamental de ce courant, la machine tournant à sa vitesse nominale et les composantes à décroissance rapide pendant les premières périodes étant enlevées

7 1 La réactance transitoire longitudinale est déterminée au moyen des méthodes suivantes

- a) court-circuit triphasé brusque (voir articles 40 et 41),
- b) rétablissement de la tension (voir articles 42 et 43),
- c) par le calcul en partant des valeurs de X_d' (voir article 4), de τ_{do} (voir article 17) et de τ_d (voir article 18) déterminées par des essais et en effectuant ce calcul au moyen de la formule donnée à l'article 72

La méthode du court-circuit triphasé brusque est préférentielle. Elle permet de déterminer les valeurs saturée et non saturée de X_d

8 Réactance subtransitoire longitudinale X_d'

Quotient de la valeur initiale d'une variation brusque du terme fondamental de la composante de la tension d'induit produite par le flux longitudinal d'induit total, par la valeur de la variation simultanée du terme fondamental de la composante longitudinale du courant d'induit, la machine tournant à sa vitesse nominale

8 1 La réactance subtransitoire longitudinale est déterminée au moyen des méthodes suivantes

- a) court-circuit triphasé brusque (voir article 40 et paragraphe 41 1),
- b) rétablissement de la tension (voir article 42 et paragraphe 43 1),
- c) applications de tension dans les deux positions longitudinale et transversale de l'axe des pôles par rapport à l'axe du champ de l'induit (voir articles 44 et 45),
- d) applications de tension dans une position unique arbitraire de l'axe polaire (voir articles 46 et 47)

La méthode du court-circuit triphasé brusque est la méthode préférée. Elle permet de déterminer les valeurs saturée et non saturée de X_d'

Les méthodes d'application de la tension (c et d) peuvent être utilisées dans le cas de valeur non saturée de X_d' , mais elles ne sont généralement pas applicables dans le cas de valeur saturée en raison des intensités élevées nécessaires et de l'échauffement possible des pièces massives

9 Réactance subtransitoire transversale X_q

Quotient de la valeur initiale d'une variation brusque du terme fondamental de la composante de la tension d'induit produite par le flux transversal total, par la valeur de la variation simultanée du terme fondamental de la composante transversale du courant d'induit, la machine tournant à sa vitesse nominale

6.1 Quadrature-axis synchronous reactance is determined by the following methods:

- a) negative excitation (see Clauses 34 and 35),
- b) low slip (see Clauses 36 and 37),
- c) on load measurement of the load angle (see Clauses 38 and 39)

The first two methods are preferred

7 Direct-axis transient reactance X_d

The quotient of the initial value of a sudden change in that fundamental a c component of armature voltage which is produced by the total direct-axis armature flux, and the value of the simultaneous change in fundamental a c component of direct-axis armature current, the machine running at rated speed and the high decrement components during the first cycles being excluded

7.1 Direct-axis transient reactance is determined by the following methods

- a) sudden three-phase short-circuit (see Clauses 40 and 41),
- b) voltage recovery (see Clauses 42 and 43),
- c) calculation from the test values of X_d (see Clause 4), τ_{do} (see Clause 17) and τ_d (see Clause 18) by the formula given in Clause 72

The method of the sudden three-phase short-circuit is preferred. It permits saturated and unsaturated values of X_d to be determined

8 Direct-axis subtransient reactance X_d'

The quotient of the initial value of a sudden change in that fundamental a c component of armature voltage which is produced by the total direct-axis armature flux, and the value of the simultaneous change in fundamental a c component of direct axis armature current, the machine running at rated speed

8.1 Direct-axis subtransient reactance is determined by the following methods

- a) sudden three-phase short-circuit (see Clause 40 and Sub-clause 41.1),
- b) voltage recovery (see Clause 42 and Sub-clause 43.1),
- c) applied voltage with the rotor in the direct and quadrature axis positions with respect to the armature winding field axis (see Clauses 44 and 45),
- d) applied voltage with an arbitrary position of the pole axis (see Clauses 46 and 47)

The sudden three-phase short-circuit method is preferred. It permits saturated and unsaturated values of X_d' to be determined

The applied-voltage methods (c and d) may be used for the unsaturated value of X_d' , but are usually not practicable for the saturated value because of the large current required and possible overheating of solid parts

9 Quadrature-axis subtransient reactance X_q'

The quotient of the initial value of a sudden change in that fundamental a c component of armature voltage which is produced by the total quadrature-axis armature flux, and the value of the simultaneous change in fundamental a c component of quadrature-axis armature current, the machine running at rated speed

9 1 La réactance subtransitoire transversale est déterminée au moyen des méthodes suivantes

- a) application de tension dans les deux positions de l'axe polaire (voir article 44 et paragraphe 45 1),
- b) application de tension dans une position arbitraire de l'axe polaire (voir article 46 et paragraphe 47 1)

Ces deux méthodes sont pratiquement équivalentes et sont employées pour déterminer la valeur non saturée. Ces méthodes ne sont généralement pas applicables pour l'obtention de la valeur saturée en raison de l'intensité élevée nécessaire et de l'échauffement possible des pièces massives.

10 Réactance inverse X_2

Quotient du terme fondamental de la composante réactive de la tension d'induit inverse due à un courant d'induit inverse purement sinusoïdal à fréquence nominale, par la valeur de ce courant, la machine tournant à sa vitesse nominale

Note – Une valeur différente peut être obtenue pour cette réactance si l'on utilise le terme fondamental d'un courant contenant également des harmoniques. Cependant, la valeur correcte de X_2 , retenue dans cette publication, est celle obtenue à partir d'un courant sinusoïdal.

11 Résistance inverse R_2

Quotient du terme fondamental de la composante active de la tension d'induit inverse due à un courant d'induit inverse purement sinusoïdal à fréquence nominale, par la valeur de ce courant, la machine tournant à sa vitesse nominale

Note – Une valeur différente peut être obtenue pour cette résistance si l'on utilise le terme fondamental d'un courant contenant également des harmoniques.

11 1 La réactance et la résistance inverses sont déterminées au moyen des méthodes suivantes

- a) court-circuit permanent entre deux phases (voir articles 48 et 49 et paragraphe 49 1),
- b) essai de rotation inverse (voir articles 50 et 51),
- c) la réactance inverse peut également être déterminée par le calcul en partant des valeurs trouvées aux essais de X_d (voir article 8) et de X_q (voir article 9), le calcul est effectué au moyen de l'équation donnée au paragraphe 72 1

La méthode du court-circuit permanent entre deux phases est préférentielle

12 Réactance homopolaire X_0

Quotient du terme fondamental de la composante réactive de la tension d'induit homopolaire due à la présence du terme fondamental du courant d'induit homopolaire à fréquence nominale, par cette composante du courant, la machine tournant à sa vitesse nominale

13 Résistance homopolaire R_0

Quotient du terme fondamental de la composante active de la tension d'induit homopolaire due à la présence du terme fondamental du courant d'induit homopolaire à fréquence nominale, par la valeur de ce courant, la machine tournant à sa vitesse nominale

13 1 La réactance et la résistance homopolaires sont déterminées au moyen des essais suivants

- a) application d'une tension monophasée aux trois phases connectées en série (en triangle ouvert) ou en parallèle (voir articles 52 et 53),

9 1 The quadrature axis subtransient reactance is determined by the following methods:

- a) applied voltage with the rotor in the direct and quadrature axis positions with respect to the armature winding field axis (see Clause 44 and Sub-clause 45 1),
- b) applied voltage with the pole axis in any arbitrary position (see Clause 46 and Sub-clause 47 1)

Both these methods are practically equivalent and may be used to determine the unsaturated value. These methods are usually not practicable for the determination of the saturated value because of the large current required and possible overheating of solid parts.

10 Negative-sequence reactance X_2

The quotient of the reactive fundamental component of negative-sequence armature voltage due to sinusoidal negative-sequence armature current of rated frequency, and the value of this current, the machine running at rated speed.

Note – A different value might be obtained for this reactance if the fundamental component of a current, which also contains harmonics, is used. The correct value of X_2 , however, is the one determined with sinusoidal current.

11 Negative-sequence resistance R_2

The quotient of the in-phase fundamental component of negative-sequence armature voltage, due to sinusoidal negative-sequence armature current of rated frequency, and the value of this current, the machine running at rated speed.

Note – A different value might be obtained for this resistance if the fundamental component of a current, which also contains harmonics, is used.

11 1 Negative-sequence reactance and resistance are determined by the following methods:

- a) line-to-line sustained short-circuit (see Clauses 48 and 49 and Sub-clause 49 1);
- b) negative-phase sequence (see Clauses 50 and 51),
- c) negative-sequence reactance may also be determined by calculation from the test values of X_d (see Clause 8) and X_q (see Clause 9), the calculation is made using the equation given in Sub-clause 72 1.

The line-to-line sustained short-circuit method is preferred.

12 Zero-sequence reactance X_0

The quotient of the reactive fundamental component of zero-sequence armature voltage, due to the presence of fundamental zero-sequence armature current of rated frequency, and this component of current, the machine running at rated speed.

13 Zero-sequence resistance R_0

The quotient of the in-phase fundamental component of zero-sequence armature voltage, due to the presence of fundamental zero-frequency armature current of rated frequency, and the value of this current, the machine running at rated speed.

13 1 Zero-sequence reactance and resistance are determined by the following methods:

- a) single-phase voltage application to the three-phases connected in series (an open delta) or parallel (see Clauses 52 and 53),

- b) court-circuit permanent entre deux conducteurs de phase et le point neutre (voir articles 54 et 55 et paragraphe 55 1)

La méthode de l'application d'une tension monophasée aux trois phases connectées en série est préférentielle

14 Réactance de Potier X_p

Réactance de fuite équivalente utilisée à la place de la réactance de fuite d'induit pour déterminer l'excitation en charge par la méthode de Potier. Elle tient compte de la fuite supplémentaire de l'enroulement d'excitation en charge dans la zone de fonctionnement en surexcitation et est de ce fait plus élevée que la valeur effective de la réactance de fuite de l'induit

14 1 La réactance de Potier est déterminée suivant les indications de l'article 30

15 Résistance en courant continu de l'induit et de l'enroulement R_a et R_f

La résistance en courant continu d'un enroulement est mesurée au moyen des méthodes suivantes:

- a) voltmètre et ampèremètre (voir articles 56 et 57),
- b) pont simple ou double (voir article 56 et paragraphe 57 1)

La méthode du pont simple n'est pas admissible pour la mesure des résistances inférieures à 1 ohm

16 Résistance directe de l'enroulement d'induit R_i

Quotient de la composante en phase de la tension directe d'induit correspondant aux pertes par effet Joule dans l'enroulement d'induit et aux pertes en charge supplémentaires dans les conducteurs dues à la composante directe du courant sinusoïdal d'induit, par ce courant, la machine tournant à sa vitesse nominale

16 1 La résistance directe de l'enroulement induit est mesurée conformément au paragraphe 72 2

17 Constante de temps transitoire longitudinale à circuit ouvert τ_{do}

Temps nécessaire pour que la composante lentement amortie de la tension à circuit ouvert, due au flux longitudinal, décroisse jusqu'à $1/e \approx 0,368$ fois sa valeur initiale à la suite d'une variation brusque des conditions de fonctionnement, la machine tournant à sa vitesse nominale

17 1 La constante de temps transitoire longitudinale est déterminée au moyen des méthodes suivantes:

- a) décroissance du courant d'excitation avec enroulement d'induit ouvert (voir articles 58 et 59),
- b) rétablissement de la tension (voir article 42 et paragraphe 43 2),
- c) par le calcul en partant des valeurs trouvées aux essais de X_d (voir article 4), de X_d (voir article 7) et de τ_d (voir article 18) au moyen de la formule indiquée à l'article 72

La méthode de décroissance du courant d'excitation est préférentielle

18 Constante de temps transitoire longitudinale en court-circuit τ_d

Temps nécessaire pour que la composante variant lentement du courant longitudinal dans l'induit en court-circuit décroisse jusqu'à $1/e \approx 0,368$ fois sa valeur initiale à la suite d'une variation brusque des conditions de fonctionnement, la machine tournant à sa vitesse nominale

- b)* line-to-line and to neutral sustained short-circuit (see Clauses 54 and 55 and Sub-clause 55 1)

The method of single-phase voltage application to the three phases connected in series is preferred

14 Potier reactance X_p

An equivalent reactance used in place of the armature leakage reactance to calculate the excitation on load by means of the Potier method. It takes into account the additional leakage of the field winding on load and in the overexcited region and is greater than the real value of the armature leakage reactance

- 14 1 The Potier reactance is determined in accordance with Clause 30

15 Armature and excitation winding direct-current resistance R_a and R_f

Direct-current winding resistance is determined by the following methods

- a)* voltmeter and ammeter (see Clauses 56 and 57);
b) single and double bridge (see Clause 56 and Sub-clause 57 1)

The single bridge method is not permissible for measuring resistances less than 1 ohm

16 Positive-sequence armature winding resistance R_1

The quotient of the in-phase component of positive sequence armature voltage corresponding to direct-load losses in the armature winding and stray load losses in conductors, due to the sinusoidal positive sequence armature current, and of this current, the machine running at rated speed

- 16 1 The positive-sequence armature winding resistance is determined in accordance with Sub-clause 72 2

17 Direct-axis transient open-circuit time constant τ_{do}

The time required for the slowly changing component of the open-circuit armature voltage which is due to the direct-axis flux, following a sudden change in operating conditions, to decrease to $1/e \approx 0.368$ of its initial value, the machine running at rated speed

- 17 1 The direct-axis transient open-circuit time constant is determined by the following methods:

- a)* field current decay with open-circuit armature winding (see Clauses 58 and 59),
b) voltage recovery (see Clause 42 and Sub-clause 43 2);
c) calculation from the test values of X_d (see Clause 4), X_d' (see Clause 7) and τ_d (see Clause 18) by the formula given in Clause 72

The field current decay method is preferred

18 Direct-axis transient short-circuit time constant τ_d

The time required for the slowly changing component of direct-axis short-circuit armature current following a sudden change in operating conditions, to decrease to $1/e \approx 0.368$ of its initial value, the machine running at rated speed

- 18 1 La constante de temps transitoire longitudinale en court-circuit est déterminée au moyen des méthodes suivantes

- a) court-circuit triphasé brusque (voir article 40 et paragraphe 41 2),
- b) décroissance du courant d'excitation avec l'enroulement induit en court-circuit (voir articles 60 et 61),
- c) par le calcul, en partant des valeurs trouvées aux essais de X_d (voir article 4), de X_d (voir article 7) et de τ_{do} (voir article 17) au moyen de la formule indiquée à l'article 72

Si un essai de court-circuit brusque est exécuté pour déterminer X_d , τ_d doit alors être déterminé à partir du même essai. Dans tous les autres cas, la préférence doit être donnée à la méthode de décroissance du courant d'excitation avec l'enroulement induit en court-circuit.

19 **Constante de temps subtransitoire longitudinale en court-circuit τ_d**

Temps nécessaire pour que la composante rapidement amortie du courant longitudinal dans l'induit en court-circuit, présente dans les toutes premières périodes qui suivent une variation brusque des conditions de fonctionnement, décroisse jusqu'à $1/e \approx 0,368$ fois sa valeur initiale, la machine tournant à sa vitesse nominale.

- 19 1 La constante de temps subtransitoire longitudinale en court-circuit est déterminée au moyen de la méthode du court-circuit triphasé brusque (voir article 40 et paragraphe 41 3)

20 **Constante de temps en court-circuit de l'induit τ_a**

Temps nécessaire pour que la composante continue apériodique, présente dans le courant de court-circuit de l'induit, décroisse jusqu'à $1/e \approx 0,368$ fois sa valeur initiale à la suite d'une variation brusque des conditions de fonctionnement, la machine tournant à sa vitesse nominale.

- 20 1 La constante de temps en court-circuit de l'induit est déterminée en partant de l'essai de court-circuit brusque au moyen des méthodes suivantes

- a) par la décroissance de la composante périodique du courant dans l'enroulement d'excitation (voir article 40 et paragraphe 41 4),
- b) par la décroissance des composantes apériodiques des courants dans les phases de l'enroulement induit (voir article 40 et paragraphe 41 5),
- c) par le calcul, en partant des valeurs trouvées aux essais de X_2 (voir article 10) et de R_a (voir article 15) au moyen de la formule indiquée au paragraphe 72 3

La méthode de la décroissance de la composante périodique du courant dans l'enroulement d'excitation est préférentielle.

21 **Temps d'accélération τ_j**

Temps nécessaire pour amener les parties tournantes de la machine synchrone du repos à la vitesse nominale sous l'action d'un couple d'accélération constant et égal au quotient de la puissance active nominale par la vitesse angulaire nominale.

Notes 1 – Pour les compensateurs synchrones, la puissance active nominale est remplacée par la puissance apparente nominale.

2 – Lorsque le temps d'accélération est déterminé pour un groupe de machines accouplées mécaniquement, le couple d'accélération est calculé pour la puissance active et la vitesse angulaire nominales de la machine synchrone de base.

18.1 The direct-axis transient short-circuit time constant is determined by the following methods:

- a) sudden three-phase short-circuit (see Clause 40 and Sub-clause 41.2);
- b) field current decay with armature winding short-circuited (see Clauses 60 and 61),
- c) calculation from the test values of X_d (see Clause 4), X_d' (see Clause 7) and τ_{d0} (see Clause 17) by the formula given in Clause 72

If a sudden short-circuit test is performed for determining X_d , then τ_d should be determined from the same test. In all other cases preference is given to the field current decay method with the armature winding short-circuited.

19 Direct-axis subtransient short-circuit time constant τ_d'

The time required for the rapidly changing component, present during the first few cycles in the direct-axis short-circuit armature current, following a sudden change in operating conditions, to decrease to $1/e \approx 0.368$ of its initial value, the machine running at rated speed.

19.1 The direct-axis subtransient short-circuit time constant is determined by the sudden three-phase short-circuit method (see Clause 40 and Sub-clause 41.3).

20 Armature short-circuit time constant τ_a

The time required for the d.c. component present in the short-circuit armature current, following a sudden change in operating conditions, to decrease to $1/e \approx 0.368$ of its initial value, the machine running at rated speed.

20.1 The armature short-circuit time constant is determined from the sudden three-phase short-circuit test by the following methods:

- a) by decrease of the periodic (a.c.) component in the excitation winding current (see Clause 40 and Sub-clause 41.4),
- b) by decrease of the aperiodic (d.c.) components of the current in the armature winding phases (see Clause 40 and Sub-clause 41.5),
- c) calculation from the test values of X_2 (see Clause 10) and R_a (see Clause 15) by the formula given in Sub-clause 72.3

The method of measurement of the decrease of periodic component in the excitation winding current is preferred.

21 Acceleration time τ_J

The time required to bring rotating parts of the synchronous machine from rest to rated speed, the accelerating torque being constant and equal to the quotient of the rated active power (output) and of the rated angular velocity.

Notes 1 – For synchronous condensers, the rated active power (output) is replaced by the rated apparent power.

- 2 – When acceleration time is determined for a group of mechanically coupled machines, the accelerating torque is calculated for rated active power and rated angular velocity of the base synchronous machine.

22 Énergie cinétique réduite H

Quotient de l'énergie cinétique accumulée dans le rotor tournant à sa vitesse nominale par la puissance apparente nominale

22.1 Le temps d'accélération d'une machine ou d'un groupe de machines et l'énergie cinétique réduite sont déterminés par les méthodes suivantes

- a) oscillation du rotor suspendu à un câble (voir articles 62 et 63),
- b) oscillation avec pendule auxiliaire (voir articles 64 et 65),
- c) ralentissement à vide (voir articles 66 et 67),
- d) ralentissement en charge avec la machine fonctionnant en moteur (voir articles 68 et 69),
- e) accélération après suppression brusque de la charge avec la machine fonctionnant en génératrice (voir articles 70 et 71)

Toutes les méthodes ci-dessus sont pratiquement équivalentes. L'utilisation d'une méthode ou d'une autre dépend du mode de réalisation et de la puissance nominale de la machine en essai

23 Courant d'excitation nominal I_{fn}

Courant circulant dans l'enroulement d'excitation lorsque la machine fonctionne à sa tension nominale, à son courant et à son facteur de puissance nominal et à sa vitesse nominale

23.1 Le courant d'excitation nominal est déterminé au moyen des méthodes suivantes

- a) mesure directe au cours d'un fonctionnement au régime nominal,
- b) graphiquement, en utilisant le diagramme vectoriel de Potier (voir article 31) ou le diagramme de l'ASA (voir article 32) ou le diagramme suédois (voir article 33)

La méthode de la mesure directe est préférentielle, mais les méthodes graphiques lui sont pratiquement équivalentes

24 Variation nominale de tension ΔU_n

Variation de la tension aux bornes de la génératrice lorsque le fonctionnement au régime nominal est remplacé par une marche à vide à la même excitation et à la même vitesse de rotation

La variation nominale de tension est déterminée au moyen des méthodes suivantes

- a) mesure directe;
- b) graphiquement, à partir de la caractéristique à vide (voir paragraphe 25.1) et du courant d'excitation nominal (voir article 23 et paragraphe 23.1) déterminés par des essais

SECTION QUATRE – DESCRIPTION DES ESSAIS ET DÉTERMINATION DES GRANDEURS DES MACHINES À PARTIR DE CES ESSAIS

25 Essai de saturation à vide

L'essai de saturation à vide est effectué

- a) en entraînant la machine à essayer en génératrice au moyen d'un moteur approprié,
- b) en faisant tourner la machine en moteur à vide au moyen d'une source de tension triphasée symétrique,
- c) pendant le ralentissement de la machine essayée