

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Nuclear power plants – Electrical power systems – Electrical power systems analysis

Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'alimentation électrique – Analyse des systèmes d'alimentation électrique

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Nuclear power plants – Electrical power systems – Electrical power systems analysis

Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'alimentation électrique – Analyse des systèmes d'alimentation électrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.120.20

ISBN 978-2-8322-3589-8

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	10
2 Normative references.....	11
3 Terms and definitions	11
4 Symbols and abbreviations	12
5 Electrical power system analyses.....	13
5.1 Overview of typical studies	13
5.1.1 Transient stability analyses	13
5.1.2 Load flow studies	13
5.1.3 Transient and dynamic studies	13
5.1.4 Short circuit studies	14
5.1.5 Electrical protection coordination and selectivity	14
5.1.6 Lightning protection studies.....	14
5.2 Applicability of analyses to different plant states	14
5.2.1 General	14
5.2.2 Recommendations	14
5.3 Selection, verification and validation of analytical tools	15
5.3.1 General	15
5.3.2 Recommendations	16
5.4 Electrical power system model.....	17
5.5 Grid and NPP connection	17
5.6 Updating of system analyses	17
5.7 Prerequisites for the performance of electrical studies	17
5.8 Acceptance requirements.....	18
6 Off-site power transient stability analyses.....	18
6.1 General.....	18
6.2 Recommendation.....	18
6.3 Acceptance requirements	18
7 AC on-site power system analyses.....	18
7.1 General.....	18
7.2 Load flow studies	19
7.2.1 General	19
7.2.2 Recommendations	19
7.2.3 Acceptance requirements	19
7.3 Transient studies.....	19
7.3.1 General	19
7.3.2 Faulted conditions.....	19
7.3.3 Bus transfer studies	20
7.3.4 Motor starting and reacceleration studies.....	21
7.3.5 House load operation	22
7.3.6 Voltage disturbances.....	22
7.3.7 Voltage surge caused by switching and malfunctions	23
7.3.8 Load sequencer studies	23
7.3.9 Frequency studies.....	24
7.4 Fault studies	24

7.4.1	Short-circuit studies	24
7.4.2	Earth fault (degraded insulation) studies	25
7.5	Electrical protection coordination studies	25
7.5.1	Recommendations	25
7.5.2	Acceptance requirements	26
8	DC system and uninterruptible AC system analyses	26
8.1	Load flow studies	26
8.1.1	General	26
8.1.2	Recommendations	26
8.1.3	Acceptance requirements	27
8.2	Transient studies	27
8.2.1	Rectifier	27
8.2.2	Inverter/UPS and bypass switch	27
8.3	Fault studies	28
8.3.1	Short circuit studies	28
8.3.2	Earth fault (degraded insulation) studies	28
8.4	Electrical protection coordination studies	28
8.4.1	Recommendations	28
8.4.2	Acceptance requirements	29
9	Miscellaneous analyses	29
9.1	Lightning protection studies	29
9.1.1	General	29
9.1.2	Recommendation	29
9.1.3	Acceptance requirements	30
9.2	Electromagnetic compatibility	30
9.2.1	General	30
9.2.2	Recommendation	30
9.3	Harmonic studies	30
9.3.1	General	30
9.3.2	Recommendation	30
9.4	Geomagnetic induced current (GIC)	30
9.5	Ferroresonance studies	30
Annex A (informative)	Establishment of design bases for nuclear power plant electrical power systems	31
A.1	Overview	31
A.2	Site electrical characteristics	34
A.2.1	General	34
A.2.2	Grid disturbances	35
A.2.3	Short circuit power	35
A.2.4	Lightning protection and insulation coordination	36
A.2.5	Earthing characteristics	36
A.3	Plant electrical characteristics	37
A.3.1	General	37
A.3.2	Main generator characteristics	37
A.3.3	Standby AC power sources and alternate AC source	37
A.3.4	DC power sources	39
A.4	Conceptual electrical design criteria	39
A.4.1	General	39
A.4.2	Capacity of power sources	39

A.4.3	Protection coordination	39
A.4.4	Voltage transients and interruptions	40
A.4.5	Capability for bus transfer	40
A.4.6	Capability for motor start and reacceleration	40
A.4.7	System earthing	40
A.4.8	Capability of electrical equipment	41
A.4.9	Electromagnetic interference	41
A.4.10	Geomagnetic induced currents	41
A.4.11	Ferroresonance	41
A.5	Conceptual nuclear design criteria	42
A.5.1	General	42
A.5.2	Reliability and availability, single failure criterion	42
A.5.3	Common cause failures (CCF) and common mode failures (CMF)	43
A.6	Design bases analysis	43
A.6.1	General	43
A.6.2	Voltage	44
A.6.3	Sizing of safety standby AC power sources	45
A.6.4	Frequency	46
A.6.5	Electrical consumers' databases and power balances	46
Annex B (informative)	Guidelines for analytical studies	48
B.1	Analytical studies methodology	48
B.1.1	General	48
B.1.2	Process	48
B.2	Example of detailed level	50
B.2.1	Purpose	50
B.2.2	Analysis and basics	50
B.2.3	Minimum required data	51
B.2.4	Contribution of the study	51
Annex C (informative)	Verification of design bases and equipment specification	52
Annex D (informative)	Example of plant specific acceptance criteria	55
Bibliography		56
Figure A.1	– Input and process to determine the specific electrical design bases for a nuclear power plant and verification analyses	32
Figure A.2	– Relationship of the plant electrical power system, the off-site electrical power system and the on-site electrical power system for a nuclear power plant	33
Figure A.3	– Relationship of power supplies important to safety, safety power supplies, and the preferred power supply for a nuclear power plant	34
Figure A.4	– Typical voltage design bases	44
Figure B.1	– Overview of analytical studies	48
Figure B.2	– Phenomena	49
Table C.1	– AC on-site power system analyses	52
Table C.2	– DC system and uninterruptible AC system analyses	53

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR POWER PLANTS –
ELECTRICAL POWER SYSTEMS –
ELECTRICAL POWER SYSTEMS ANALYSIS**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62855 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation, control and electrical systems of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

The text of this document is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
45A/1094/FDIS	45A/1100/RVD

Full information on the voting for the approval of this document can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

INTRODUCTION

a) Technical background, main issues and organisation of the Standard

The principal function of the electrical power system is to support the safe operation of a nuclear power plant (NPP) in all modes of operation. A subset of the electrical power system is essential for supporting nuclear safety functions at various voltage levels. This subset is critical for all plant states and events requiring plant cool-down in a controlled manner. A reliable power system is critical for maintaining control to power, control and monitor plant safety functions. This is required to support the barriers that prevent radiological releases during design basis accidents and design extension conditions.

International Standards and National safety codes provide guidance on acceptable requirements for safe and reliable operation of electrical distribution systems. Compliance with these safety codes and standards generally provides reasonable assurance for the correct electrical functionality and capability of these systems in the nuclear power plant (NPP).

The design basis of the electrical power systems in a NPP should be established by consideration of the following elements:

- nuclear design criteria, defence in depth approach, safety classification, design basis conditions (DBC) and design extension conditions (DEC);
- requirements for transmission system operating limits, grid safety, grid code, plant performance and operating limits;
- architecture and specification of the electrical power systems;
- sizing of main components and systems such as unit auxiliary and standby transformers, switchgear, cables, motors and standby alternating current (AC) and direct current (DC) power sources;
- load allocations and load power balance;
- load flow calculations;
- coordination of characteristics (voltage, current and short circuit current);
- support system requirements during postulated DBCs;
- design verification including verification analyses.

An example of design bases considerations for electrical power systems is provided in informative Annex A.

Guidelines and an example of analytical methods are detailed in informative Annex B. The relationship between analyses and verification of design bases and equipment specification is given in informative Annex C. An example of plant specific acceptance criteria (see 5.8) is given in informative Annex D.

It is intended that the Standard will be used by operators of NPPs (utilities), systems evaluators and by licensors.

b) Situation of the current Standard in the structure of the IEC SC 45A standard series

IEC 62855 is a third level IEC SC 45A document covering the topic of electrical power systems analysis.

This standard supports the guidance provided in the IAEA Safety Guide SSG-34 related to the design of electrical power systems for nuclear power plants.

This standard is related to

- IAEA Nuclear Energy Series NG-T-3.8 dealing with electric grid reliability and interface with nuclear power plants, and
- IEC 61513 establishing general requirement for I&C systems important to safety used in nuclear power plants..

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see item d) of this introduction.

c) Recommendations and limitations regarding the application of this standard

To ensure that the Standard will continue to be relevant in future years, the emphasis has been placed on issues of principle, rather than specific technologies.

d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)

The top-level documents of the IEC SC 45A standard series are IEC 61513 and IEC 63046¹. IEC 61513 provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 63046 provides general requirements for electrical power systems of NPP; it covers power supply systems including the supply systems of the I&C systems. IEC 61513 and IEC 63046 are to be considered in conjunction and at the same level. IEC 61513 and IEC 63046 structure the IEC SC 45A standard series and shape a complete framework establishing general requirements for instrumentation, control and electrical systems for nuclear power plants.

IEC 61513 and IEC 63046 refer directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorization of functions and classification of systems, qualification, separation, defence against common cause failure, control room design, electromagnetic compatibility, cybersecurity, software and hardware aspects for programmable digital systems, coordination of safety and security requirements and management of ageing. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 and IEC 63046 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 or by IEC 63046 are standards related to specific equipment, technical methods, or specific activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level, extending the IEC SC 45 standard series, corresponds to the Technical Reports, which are not normative.

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the safety and security principles and basic aspects provided in the relevant IAEA safety standards and in the relevant documents of the IAEA nuclear security series (NSS). In particular, this includes the IAEA requirements SSR-2/1, establishing safety requirements related to the design of nuclear power plants (NPP), the IAEA safety guide SSG-30 dealing with the safety classification of structures, systems and components in NPP, the IAEA safety guide SSG-39 dealing with the design of instrumentation and control systems for NPP, the IAEA safety guide SSG-34 dealing with the design of electrical power systems for NPP and the implementing guide NSS 17 for computer security at nuclear facilities. The safety and security terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

¹ Under preparation. Stage at the time of publication: IEC ANW 63046:2016.

IEC 61513 and IEC 63046 have adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 (all parts) with an overall life-cycle framework and a system life-cycle framework. Regarding nuclear safety, IEC 61513 and IEC 63046 provide the interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. In this framework, IEC 60880, IEC 62138 and IEC 62566 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector. IEC 61513 and IEC 63046 refer to ISO as well as to IAEA GS-R-3 and IAEA GS-G-3.1 and IAEA GS-G-3.5 for topics related to quality assurance (QA). At level 2, regarding nuclear security, IEC 62645 is the entry document for the IEC SC 45A security standards. It builds upon the valid high level principles and main concepts of the generic security standards, in particular ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 27002; it adapts them and completes them to fit the nuclear context and coordinates with IEC 62443 (all parts). At level 2, regarding control rooms, IEC 60964 is the entry document for the IEC SC 45A control rooms standards, and IEC 62342 is the entry document for the IEC SC 45A ageing management standards.

NOTE 1 It is assumed that for the design of I&C systems in NPPs that implement conventional safety functions (e.g. to address worker safety, asset protection, chemical hazards, process energy hazards) international or national standards would be applied.

NOTE 2 IEC SC 45A domain was extended in 2013 to cover electrical systems. In 2014 and 2015 discussions were held in IEC SC 45A to decide how and where general requirement for the design of electrical systems were to be considered. IEC SC 45A experts recommended that an independent standard be developed at the same level as IEC 61513 to establish general requirements for electrical systems. Project IEC 63046 is now launched to cover this objective. When IEC 63046 will be published this NOTE 2 of the introduction of IEC SC 45A standards will no longer be valid.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

NUCLEAR POWER PLANTS – ELECTRICAL POWER SYSTEMS – ELECTRICAL POWER SYSTEMS ANALYSIS

1 Scope

IEC 62855 provides the electrotechnical engineering guidelines for analysis of AC and DC electrical power systems in nuclear power plants (NPPs) in order to demonstrate that the power sources and the distribution systems have the capability for safe operation and shut down of the NPP, bringing it to a controlled state after an anticipated operational occurrence or accident conditions and finally reaching a safe state.

The analytical studies discussed in this document provide assurance that the design bases are satisfied to meet their functional requirements under the conditions produced by the applicable design basis events. The studies provide assurance that the electrical power system is capable of supporting safety functions during all required plant conditions.

NOTE The safety functions are described in IAEA Specific Safety Requirements SSR-2/1 related to the design of the nuclear power plants..

Analytical studies validate the robustness and adequacy of design margins and demonstrate the capability of electrical power systems to support plant operation for normal, abnormal, degraded and accident conditions.

The analyses are used to verify that the electrical power system can withstand minor disturbances and that the consequences of major disturbances or failures do not degrade the capability of the electrical power systems to support safe shutdown of the plant and maintain the plant in shutdown condition.

The analyses are performed with one or more of

- simulation tools (software and hardware) that have been verified and validated,
- hand calculations, and
- tests.

This document provides guidance on the types of analyses required to demonstrate that the plant's auxiliary power system can perform the required safety functions. This document does not provide specific details on how the analysis should be conducted.

This document does not cover digital controllers (such as controllers for rectifiers, inverters, sequencers and electrical protection devices) used in electrical power systems. IEC 61513 gives recommendations that apply to the electronic controls and protective elements of the electrical power systems.

This document does not include environmental conditions (i.e. temperature, humidity, etc.) or external events (seismic, flooding, fire, high energy electromagnetic pulse, etc.) that may impact equipment sizing or protection requirements. The external events lightning and geomagnetic storms are included.

This document does not cover additional or unique requirements for stand-alone power system, such as power supplies for security measures in NPPs. Pertinent clauses of this document may be used as a guideline for such systems.

Redundancy in the power system design can increase the availability of electrical power to critical plant equipment. Performing a probabilistic risk assessment (PRA) is a method of assessing system availability and optimizing design for high reliability. This document does not cover improving the reliability of NPP electrical power systems using statistical or diverse and redundant schemes.

Requirements for safeguards of personnel involved with installation, maintenance and operation of electrical systems and general personal safety are outside the scope of this document. General guidance for lightning protection of equipment is provided in relevant clauses of this document.

This document is intended to be used:

- for verification of the design of new nuclear power plants,
- for demonstrating the adequacy and impact of major modifications of electrical power systems in operating nuclear power plants, and
- where there is a requirement to assess and establish operating limits and constraints for existing plants.

Pertinent parts of this document can be used as guidance for decommissioning stages.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

alternate AC source

power source reserved for the use for the power supply to the plant during total loss of all non-battery power in the safety power systems (station blackout) and other design extension conditions

Note 1 to entry: Figure A.2 gives a graphical representation.

3.2

house load operation

operation of a nuclear power plant to supply power only to its own electrical loads

3.3

design extension conditions

postulated accident conditions that are not considered for design basis accidents, but that are considered in the design process of the facility in accordance with best estimate methodology, and for which releases of radioactive material are kept within acceptable limits.

Design extension conditions include conditions in events without significant fuel degradation and conditions with core melting

[SOURCE: IAEA SSR-2/1:2012, definitions revised as DS462]

3.4

loss of off-site power

simultaneous loss of electrical power to all unit safety buses, requiring the standby AC power sources to start and supply power to the safety buses

Note 1 to entry: DC systems and uninterruptible AC systems safety buses are not included.

3.5

power balance

steady state active and reactive power required by the electrical power system

Note 1 to entry: This document provides the basis for sizing electrical equipment (switchboards, cables, power sources, transformers, batteries, rectifiers/inverters, etc.).

3.6

preferred power supply

power supply from the transmission system to the safety classified electrical power system, comprising transmission system, switchyard, main generator, distribution system up to the safety classified electrical power system

Note 1 to entry: Some portions of the preferred power supply are not part of the safety classification.

3.7

standby AC power source

power source, capable of supplying the necessary power in anticipated operational occurrences and accident conditions, in the event of the loss of off-site power and main generator

3.8

station blackout

plant condition with complete loss of all AC power from off-site sources, from the main generator and from standby AC power sources important to safety to the essential and non-essential switchgear buses

Note 1 to entry: DC power supplies and uninterruptible AC power supplies may be available as long as batteries can supply the loads.

Note 2 to entry: Alternate AC supplies are available.

3.9

total harmonic distortion

ratio of the rms value of the harmonic content of an alternating quantity to the rms value of the fundamental component of the quantity

[SOURCE: 60050-551:1998, 17-06]

3.10

transmission system operator

party responsible for providing and operating networks for long-distance transmission of electricity as well as regional distribution and responsible to ensure the system security with a high level of reliability and quality

4 Symbols and abbreviations

AC	alternating current
AOO	anticipated operational occurrences
CCF	common cause failure
CMF	common mode failure
DBA	design basis accident

DBC	design basis conditions
DC	direct current
DEC	design extension conditions
EMC	electromagnetic compatibility
LOOP	loss of off-site power
NPP	nuclear power plant
PPS	preferred power supply
PRA	probabilistic risk assessment
QA	quality assurance
SSC	structures, systems and components
THD	total harmonic distortion.
TSO	transmission system operator
UPS	uninterruptible power supply
V&V	verification and validation

5 Electrical power system analyses

5.1 Overview of typical studies

5.1.1 Transient stability analyses

Grid disturbances, such as a short circuit on a transmission line, sudden loss of generation, or the loss of a large load, may cause instability. If such disturbances are not cleared rapidly, instability may ultimately lead to loss of parts or total loss of the preferred power supply.

Transient stability studies investigate the transient behaviour of the NPP generator after a disturbance on the electrical network in the vicinity of the plant. The study determines the capability of the generator to remain connected to the grid and studies the effects of the transient on the unit electrical power supply system.

5.1.2 Load flow studies

The different power balances are input data for the load flow studies. Load flow studies are performed to determine the steady-state operation of an electric power system. The study is used to establish

- the voltage drop on each feeder,
- the bus voltage,
- the load terminal voltage, and
- the power flow in all branch and feeder circuits.

The study is used to determine if system voltages remain within specified limits under all defined conditions.

5.1.3 Transient and dynamic studies

Transient studies determine the voltage, current, power and frequency in a power system when a fault or a disturbance occurs in an interconnected network. This may result from events such as starting and loading of standby power sources, starting and running of large motors and failures of voltage regulation for generators.

During and after such a disturbance, these dynamic studies

- investigate the behaviour of rotating machinery and electrical equipment, and
- verify the operability of rotating machinery and supporting electrical equipment.

5.1.4 Short circuit studies

Short circuit studies are required to establish the maximum available short circuit power available at each point in the electrical power system and to ensure that existing and new equipment ratings are adequate. Short circuit studies are also required to determine the minimum short circuit current in order to verify the sensitivity of the electrical protection system.

5.1.5 Electrical protection coordination and selectivity

The electrical protection system detects and responds to electrical faults in order to minimize equipment damage. Electrical protective schemes minimize hazards to personnel, equipment and the plant by isolating the faulted portion of the power system. This enables continuity and availability of power to the balance of the system.

A coordination study determines the selection or setting of all protective devices from the load upstream to the power supply. In selecting or setting these protective devices, a comparison is made of the operating times of all devices in response to various levels of current, voltage and frequency. The objective is to design a selectively coordinated electrical power system.

5.1.6 Lightning protection studies

Lightning protection systems are used to minimise the possible consequences of a direct lightning strike. Lightning protection studies determine the magnitude of voltages and currents after a lightning strike in order to verify the capability of protection schemes and equipment.

5.2 Applicability of analyses to different plant states

5.2.1 General

During normal plant operation, the safety buses are generally powered from the preferred power supply with non-safety power sources and connected with non-safety buses. The electrical power system verification analyses should therefore cover all interacting parts of the electrical power systems, including grid, generators and non-safety systems for all operating and shutdown modes of the NPP.

5.2.2 Recommendations

The following recommendations apply.

- a) As part of the design verification process, the following analyses should be performed and maintained for future plant modifications.
 - 1) Steady state analyses and transient analyses to demonstrate that the electrical power systems
 - are capable of supplying the plant safety systems to perform their intended functions during postulated worst case plant loading conditions with minimum allowable system voltage and frequency,
 - meet design basis requirements for anticipated operational occurrences and accident conditions,
 - include adequate measures for design extension conditions such as station blackout, and
 - include adequate measures for external electrical events that can degrade on-site and off-site power sources.
 - 2) Demonstration that systems of higher safety classification are adequately protected from impacts of systems of lower safety classification such as

- propagation of faults,
 - initiation of electrical common cause failures, and
 - overloading.
- 3) Demonstration that off-site circuits, when credited for supplying safety loads, meet the required reliability and availability. This should also be demonstrated after planned changes to transmission and generation facilities that can influence the network connected to the plant.
- 4) Demonstration that the off-site circuits, when credited for supplying safety loads, will continue to provide the required capacity and capability in the case of:
- loss of the nuclear plant,
 - loss of the largest generating unit connected to the grid,
 - loss of the largest transmission circuit or interconnection, and
 - loss of the largest load.
- b) The analyses should cover all defined modes of operation and events of the NPP such as:
- 5) normal operation:
- start-up;
 - power operation;
 - shutting down;
 - shutdown operation;
 - outage;
 - refuelling;
 - maintenance;
 - testing.
- 6) anticipated operational occurrences:
- unit trip/full-load rejection;
 - loss of off-site power;
 - loss of preferred power supply.
- 7) design basis accidents
- 8) design extension conditions:
- station blackout;
 - extended loss of AC power.
- c) The analyses for the off-site circuits' capacity and capability should be performed in conjunction with the TSO.

5.3 Selection, verification and validation of analytical tools

5.3.1 General

A systematic approach should be adopted to ensure that the simulations accurately establish requirements determined from the preconditions and that the results can be validated independently by field measurements or other diverse and alternative methods.

The scope of the study to be carried out, the phenomena to be modelled and the complexity of the network to be analysed determine the type of software that should be used to perform the analyses. The software should have the capability to model asymmetric faults and conditions. The majority of commercially available software, developed for power system analyses of large industrial complexes, will have the capability to simulate all the major buses and loads in a NPP and perform the minimum set of analyses identified by the designer.

This document does not recommend any specific software.

5.3.2 Recommendations

The following recommendations apply.

- a) The following requirements should be considered for the specific software that will be used to establish the design basis of the electrical system.
 - An auditable quality assurance process which complies with international standards should be established and maintained.
 - The software system should have been subject to a verification and validation (V&V) process to check that the system meets specifications and that it fulfils its intended purpose. This V&V process should also be implemented for the simulation studies. This approach requires
 - the production of a report of the V&V activities,
 - the definition of a validated domain (domain in which the difference between the results of the tools and those of another validated reference or tests is considered satisfactory for its intended use), and
 - the appropriate archiving of the documentation.
 - a detailed and formal description of the simulation tool (software version number, user configuration, other settings and parameters) should be provided.
- b) To perform the verification and validation, including functional verification, of the specific software that will be used, the following should be achieved:
 - the functional verification should demonstrate that the architecture of the software tool does not include errors;
 - the functional verification should be demonstrated through certification or the report of a QA audit. The documents used for functional validation should be fully referenced;
 - the functional validation should allow the user to ensure that the equations correctly represent the physical phenomena studied in the defined operating range of the software tool;
 - the functional V&V may be done by comparing simulation results with
 - test results, or
 - results obtained from other functionally validated simulation tools, hand calculation, past experience and similar work, supplemented if necessary by expert feedback and evaluation.

NOTE 1 This could be part of a QA program.

- c) For each significant change of the simulation software or its environment that is intended to be utilised, the user should conduct an analysis of the impact of this modification. If the test results or the functional V&V process are successful, then the new version should be utilised to replace the old version which should be archived.

NOTE 2 This is normally part of configuration management.

- d) To ensure correct use of qualified software, a user guide should be written. The guide should allow different users
 - to identify
 - the different types of studies that may be performed with the software,
 - the models whose validity domain are consistent with the physical phenomena, and
 - the necessary input data,
 - to transform input data into a format recognised by the software (using quality checked spreadsheets),
 - to create the necessary files to carry out the simulation, and

- to achieve consistent results.

e) Personnel performing software studies should be able to demonstrate adequate and relevant training and suitable qualification.

5.4 Electrical power system model

The model should be adapted to the specific studies, and the following actions should for example be done.

- The analyses should simulate major AC load buses, cables, transformers and all current limiting devices. For large systems, a common technique is to group the loads that have similar characteristics (e.g. rotating load, static resistive load) and simulate a "lumped" load that is expected to have an "equivalent" impact to that of the individual loads;
- For transient stability, the main generator with its regulators (voltage and speed), the step-up transformer, large motors and the network in the vicinity of the plant should be modelled in detail. The network in general may be modelled as an equivalent system for simplification based on technical justification.

Assumptions made in the physical model used in the analysis should be clearly identified and validated, and constraints identified.

5.5 Grid and NPP connection

Analytical studies related to off-site power systems should be performed. The NPP design needs to take account of these analyses and evaluate the impact on the on-site power systems.

The intent of these studies is to include all expected power supply alignments and NPP operating scenarios to evaluate the off-site power supply design and operation in supporting safe operation of the NPP under all conditions.

The studies should provide a comprehensive evaluation of off-site power source capability and capacity to meet the design requirements of the NPP. Additionally, the studies should be reviewed on a routine basis to assure that any changes in either on-site or off-site power systems are adequately evaluated for impact on the NPP power system.

An analysis should be carried out to verify that maximum and minimum voltage and frequency deviations remain within the defined NPP design requirements.

5.6 Updating of system analyses

Compliance with existing analyses should be confirmed or the analyses repeated

- when major replacements and/or major modifications of the electrical power system (on-site or off-site) are implemented, and
- during licence renewal or periodic safety review.

Motor starting studies should be performed as part of plant modifications including

- relocation of plant loads, and
- replacement of motors (which may have different operating characteristics) or generators.

5.7 Prerequisites for the performance of electrical studies

The following parameters should be established prior to the commencement of studies:

- preliminary ratings of electrical equipment;
- a power balance;
- all the operating modes of the NPP and the most onerous case identified.

In order to establish the most onerous operating conditions, different scenarios should be considered taking into account combinations of the following parameters:

- operation from on-site or off-site power sources;
- maximum and minimum short circuit power;
- maximum and minimum voltage range;
- maximum and minimum frequency range;
- all operating modes of the NPP;
- maximum and minimum power generation of the NPP;
- maximum and minimum load taking account of all operating loads and environmental conditions;
- maximum and minimum electrical power system impedances;
- operating modes following single failures of electrical equipment;
- transfer of loads between power sources.

5.8 Acceptance requirements

This document identifies the acceptance requirements.

The acceptance criteria shall be derived from these requirements on a plant specific basis. Failure to meet the acceptance criteria shall be justified as not adversely impacting nuclear safety, or a design change shall be made.

6 Off-site power transient stability analyses

6.1 General

Clause 6 applies to the grid and the main generator in the NPP.

The recovery of a power transmission system subjected to a severe disturbance is of importance to reliable and safe operation of a NPP. The grid transient stability analyses should establish the limiting cases for the plant to ride through and remain connected to the grid for disturbances that do not result in the generator falling out of synchronism. These analyses should be performed in conjunction with the TSO to establish parameters such as fault clearing time.

6.2 Recommendation

Transient stability analyses should be performed to simulate power system operating conditions and establish the impact on the system stability.

6.3 Acceptance requirements

The main generator shall remain connected to the grid and not fall out of synchronism on faults cleared by the TSO's protection scheme. The main generator shall fully comply with the TSO grid code requirements unless deviations are agreed with the TSO. The result of the analysis shall verify that the NPP on-site power system and connected loads can ride through transients in accordance with the TSO grid code requirements.

7 AC on-site power system analyses

7.1 General

This clause applies to low and medium voltage AC power systems (not supplied by inverters or UPS) including standby AC power sources and alternate AC sources.

7.2 Load flow studies

7.2.1 General

Conducting a load flow study using multiple scenarios with different plant configurations and generation sources (see 5.7) provides assurance that the power system is adequately designed to meet the defined performance criteria.

7.2.2 Recommendations

The following recommendations apply to load flow studies.

- a) Load flow studies for AC systems should be performed, simulating actual steady-state power system for normal, abnormal and emergency conditions enabling the evaluation of bus voltage, voltage at rotating machinery terminals, current, and power flow.
- b) The grid code of the TSO normally defines a voltage range that a nuclear plant should be able to withstand when producing electrical power, continuously or for a limited time period. The consequences of high and low grid voltages should be evaluated for impact on the plant's electrical power systems during different modes of operation, and if on-load tap changers exist, they should be considered in the study.
- c) The voltage range on the on-site distribution system when the generator is disconnected from the grid (i.e. shutdown and start-up modes) should be evaluated.
- d) The following cases should be specifically considered in load flow studies.
 - Extreme operating conditions of maximum and minimum loading of the electrical power system to check the adequacy of the on-site and off-site power sources. This should include conditions during operation at power and during plant shutdown.
 - Contingency conditions such as outages of lines, transformers and generators for the off-site source coupled with minimum and maximum loading of plant electrical power system. This should include plant equipment required to mitigate consequences of an accident.

NOTE During design optimisation, studies can be performed, with consideration to safety margins, of plant parameters such as:

- transformer taps and impedances,
- generator excitation limits,
- reactive power compensations, and
- cable sizing.

7.2.3 Acceptance requirements

The results of the load flows shall be consistent with

- a) the power flow capability of various electrical equipment (including margins), and
- b) the permissible voltage range for operation of all electrical equipment.

7.3 Transient studies

7.3.1 General

Transient studies for AC systems enable the evaluation of bus voltage amplitude and load angle, current and frequency following a system disturbance such as an electrical fault or inadvertent loss of a critical element.

7.3.2 Faulted conditions

7.3.2.1 Recommendations

The following recommendations apply to transient studies.

- a) The transient and steady state voltage and frequency on the on-site buses after an external or internal event should be investigated for all modes of plant operation. In addition, consideration should be given to phase shifts which can impact connected loads and their control circuits.

NOTE Phase shift (here) is a change in the phase difference between two (or more) quantities.

Typical events that should be considered include:

- grid events such as short circuits and earth faults cleared by primary or backup protection,
- short circuit and earth faults on the main generator, unit transformer or auxiliary transformer,
- short circuit and earth faults on the on-site electrical power systems (sensitivity studies should be carried out to identify the limiting case(s)), and
- frequency variations.

Note that this list is not comprehensive. Additional fault studies may be necessary depending on plant specific design criteria.

- b) The impact on electrical equipment (such as motors, rectifiers and inverters) from symmetrical and asymmetrical faults on the AC supply should be analysed. This should include on-site and off-site faults and should consider the effects of recovery voltage. The adequacy of protective equipment to detect and clear unacceptable electrical power system parameters should be validated.
- c) For system disturbances that result in tripping or isolating safety equipment, the restart or re-acceleration time of large motors should be analysed to ensure that the protective system does not actuate to prevent automatic functions of safety classified equipment.

7.3.2.2 Acceptance requirements

The transient studies shall verify the following.

- a) Unacceptable system conditions due to electrical disturbances shall be detected and cleared by the protective system in a selective and timely manner.

If a system disturbance results in loss of a power source, then the sequence of events related to transfer to alternative power source(s) shall be evaluated. This will ensure that the time limitations for operation of mitigating systems assumed in accident analyses are not exceeded.

EXAMPLE In the event of loss of one off-site power system, the transfer to house load mode or alternative off-site sources and to the on-site standby power source is validated. This will ensure that the total time to actuate and operate safety systems for mitigating design basis events is within acceptable limits.

- b) The frequency, current and the voltage of the plant electrical power system shall comply with equipment specifications and capabilities (including insulation coordination). Equipment which is required to trip to provide protection shall not exceed its rated switching capability.

7.3.3 Bus transfer studies

7.3.3.1 General

Bus transfer can be initiated by grid or plant perturbations, breaker failure protection or operator action.

7.3.3.2 Recommendation

Bus transfer should be analysed as part of transient studies.

7.3.3.3 Acceptance requirements

The bus transfer studies shall verify that

- a) the residual voltage for a slow bus transfer shall be low enough to preclude out-of-phase voltage issues for rotating equipment,
- b) the terminal voltages of plant auxiliaries started or restarted (especially induction motors) shall be adequate to successfully accelerate all equipment that starts simultaneously upon successful bus transfer,
- c) the starting and/or acceleration time of the plant auxiliaries such as large injection pumps shall conform to the nuclear safety requirements from accident analysis as well as to operational needs,
- d) the operating characteristics of the protective schemes such as overcurrent or undervoltage relays shall not result in unnecessary trips during worst case power system operation, and
- e) after starting or restarting, all electrical equipment shall operate in permissible voltage and frequency ranges.

7.3.4 Motor starting and reacceleration studies

7.3.4.1 General

The starting current for motors (especially for large motors) results in significant voltage drop at the equipment terminals (and in connected switch boards). This can potentially result in the failure of motor starting due to low starting torques or stalling of other running motors connected to the network. Motor starting studies should consider the most onerous conditions of load and power sources.

7.3.4.2 Recommendations

The following recommendations apply to motor starting and reacceleration studies.

- a) Motor starting studies should be performed as part of transient studies. These studies should cover the whole range of possible scenarios.
- b) The current and voltage profiles after a bus transfer or after a voltage dip on the on-site electrical power system should be analysed. The corresponding voltage drop in transformers and cables should be determined.

7.3.4.3 Acceptance requirements

The motor starting and reacceleration studies shall verify the following.

- a) The start or restart of all induction motors shall not lead to
 - stalling of the induction motor during starting,
 - stalling of other motors,
 - bus transfer to off-site power source, and
 - start-up of standby AC power sources.
- b) The terminal voltages of induction motors started or restarted shall comply with the requirements of equipment technical specifications (specifically as related to voltage and start-up time).
- c) The starting time of the induction motors in the postulated worst case condition (see 5.7) shall conform to:
 - the criteria established in the nuclear safety analyses,
 - any operational constraints, and
 - protection system setpoints.
- d) After starting of motors, the electrical equipment shall operate within the allowable voltage and frequency range.

7.3.5 House load operation

7.3.5.1 General

Some NPPs have the ability for house load operation, i.e. convert to generating electricity only for the unit's own needs. The initiator can be faults on the grid or in the switchyard. The transfer to house load operation will cause variations of voltage and frequency on the generator terminals and in the on-site power systems.

7.3.5.2 Recommendation

The impact on on-site electrical equipment from variations in voltage and frequency should be studied. Electronic equipment, such as rectifiers and inverters, have been shown to be sensitive to variations that are natural to a generating unit, if not designed for that application. The impact on electronic protective devices should also be studied.

7.3.5.3 Acceptance requirements

The study shall verify the following.

- a) During and after transfer to house load operation the frequency and the terminal voltages of electrical equipment shall comply with the requirements of equipment specifications and capabilities.
- b) Transfer to house load operation shall not result in
 - stalling of motors,
 - bus transfer to off-site power source, and
 - start-up of standby AC power sources.

7.3.6 Voltage disturbances

7.3.6.1 General

Examples of voltage disturbances are degraded voltage, unbalanced voltage (such as loss of phase(s)), voltage dips and interruptions.

Voltage disturbances can cause a common cause failure of redundant connected loads.

7.3.6.2 Recommendations

The following recommendations apply to voltage disturbance studies.

- a) Voltage disturbance studies should be performed as part of transient analyses to support electrical voltage protection coordination studies.
- b) Voltage disturbance studies should consider symmetrical and asymmetrical cases (such as loss of phase(s)) on normal and standby power supplies. The protection schemes should detect degraded power source conditions during no load or minimal load conditions as well as during full load operation.

7.3.6.3 Acceptance requirements

The voltage disturbance studies shall verify the following.

- a) The protective scheme settings (voltage and time) shall ensure that equipment is not degraded while operating under reduced voltage conditions.
- b) The protective scheme shall ensure that safety buses with non-acceptable voltage levels are isolated from the degraded source and transferred to an alternative power source.

7.3.7 Voltage surge caused by switching and malfunctions

7.3.7.1 Recommendations

The following recommendations apply.

- a) Overvoltage studies should be performed as part of the transient analyses. Rapid voltage transients should also be considered.
- b) Studies should be performed to show that fast transient disturbances on the electrical system will not cause damage or disruption to the system. Some of the particular phenomena to be considered are
 - inductive switching,
 - capacitive switching,
 - current chopping, and
 - unearthed three phase systems.

For overvoltages caused by lightning, see 9.1.

7.3.7.2 Acceptance requirements

Insulation coordination studies shall ensure that overvoltages do not exceed equipment withstand capabilities.

For coordination of voltage protection, see 7.5.

7.3.8 Load sequencer studies

7.3.8.1 Recommendations

The following recommendations apply to load sequencer studies.

- a) Load sequencer studies for standby AC power sources should be performed, using models that enable the evaluation of bus voltage amplitude and load angle, current and frequency as well as prime mover throttling response time.
- b) The dynamic analysis should demonstrate that
 - all loads can be connected in a pre-determined sequence,
 - the time interval of the sequencer is adequate to restore adequate voltage and frequency before the next load step is applied, and
 - motor starting currents are within acceptable limits.
- c) Frequency deviations should be studied as part of the load sequencer study with the safety standby AC power source as the only source.

NOTE Frequency transients will occur during load sequencing. The impact on pump flow can generally be neglected as long as the variations are short.

7.3.8.2 Acceptance requirements

The load sequencer studies shall verify the following.

- a) During load sequencing, the frequency deviations and the terminal voltage deviations of induction motors shall not lead to stalling of other auxiliary loads.
- b) The terminal voltages of induction motors started or restarted shall comply with the requirements of equipment technical specifications (specifically as related to voltage and start up time).
- c) The starting time of the induction motors for the postulated worst case voltage, frequency and loading conditions shall conform to the assumptions and criteria established in the safety analyses.

- d) Protection system set-points shall take account of worst case voltage, frequency and loading conditions.
- e) After the loading sequence, the electrical equipment shall operate within its rated voltage and frequency range.
- f) After each sequencing step, the frequency and the terminal voltage of the standby AC power source shall be within adequate values in order to allow the following step.
- g) The safety function of equipment required for safe shutdown shall have priority when determining protective schemes.

7.3.9 Frequency studies

On-site frequency variations (around normal frequency) originating from the grid should be evaluated and shown to be acceptable for impact on equipment such as uninterruptible power supplies (UPS).

The minimum and maximum allowable steady state frequency should be evaluated for impact on operation of large induction motors and capability to satisfy flow requirements of connected pumps, fans, compressors, etc.

The maximum/minimum fluid flow requirements shall satisfy nuclear accident analyses requirements. The operating time for motor operated valves shall not exceed allowable stroke time.

These evaluations of flow requirements and stroke time are not part of the electrical power system analysis and should be performed by fluid system or nuclear safety analysis specialists.

7.4 Fault studies

7.4.1 Short-circuit studies

7.4.1.1 General

Short-circuit calculations according to IEC 60909 (all parts) should be performed to determine maximum and minimum AC currents during fault conditions. Short-circuit studies are required to check equipment withstand and to design an adequate and selective protection scheme.

Fault conditions can be balanced or un-balanced shunt faults. Faults may be caused by either short-circuits to earth or between live conductors.

7.4.1.2 Recommendations

The following recommendations apply.

- a) Fault contributions from all operating sources at any given time should be considered:
 - contributions from standby AC power sources in parallel during test operation;
 - the significant contribution from large induction motors to the available fault current in the plant electrical power system.
- b) Short-circuit studies should be used to define the required ratings of switchgear, cables and other equipment.

7.4.1.3 Acceptance requirements

The results of the symmetrical and asymmetrical short-circuit calculations shall be consistent with

- a) the maximum fault current withstand capability of all electrical equipment, and
- b) the interrupting capability of switching devices.

7.4.2 Earth fault (degraded insulation) studies

7.4.2.1 General

Earth faults can cause unbalanced voltage conditions, with the risk of insulation degradation, or unbalanced currents, with the risk of excessive heating.

7.4.2.2 Recommendation

Earth fault studies should be performed to verify that degraded insulation to earth will be detected. Fault contributions from all operating sources at any given time should be considered.

7.4.2.3 Acceptance requirements

If protective schemes have no trip function for earth fault conditions (such as earthing via impedance systems), the operating equipment shall be demonstrated to be able to perform its intended function(s).

7.5 Electrical protection coordination studies

7.5.1 Recommendations

The following recommendations apply:

- a) Adequate selectivity should be determined for all available power sources and all loads.
In particular cases and for particular sources (e.g. standby power sources) and consumers, protection of equipment may be reduced to the essential set for preservation of the nuclear safety function.
The protection scheme should not actuate for normal operating transients such as starting motor inrush, switching surges, transformer inrush current.
- b) Electrical protection coordination calculations should determine the optimum settings to achieve high availability of the electrical power systems. These calculations should take account of all operating conditions including the use of standby sources.
The protection scheme should actuate equipment nearest to the faulted portion of the system to prevent further equipment damage. This will ensure minimum system disruption by maintaining continuity of power to unaffected portions of the power systems.
- c) The over-current protection scheme should take into account
 - the highest operating transient (see 7.3), and
 - the lowest short-circuit current (see 7.4).
- d) The degraded voltage and unbalanced voltage protection scheme should operate to prevent overload current trips of safety system equipment (mostly rotating machinery), rendering them inoperable. The protective system should provide protection against thermal-withstand limits, negative phase sequence (i.e. asymmetric faults) and asymmetrical DC offset currents. It should also protect against unbalanced operating conditions as applicable to various plant components and operating situations.
- e) On degraded voltage or unbalanced voltage, the electrical safety system should, after a suitable delay, be separated from the degraded supply and transfer to its own dedicated supply.
When voting circuits (often 2/3 logic) are used for voltage supervision, the configuration of the equipment and the measuring principle should be able to detect the same degradation of the supply.
- f) A coordinated study should be undertaken of the complete voltage protection system to demonstrate the resilience of the complete electrical power system to overvoltages.

- g) The electrical power system should be monitored to alarm or trip in the event of detection of degraded insulation to earth. A coordinated study should demonstrate the resilience of the complete electrical power system.

7.5.2 Acceptance requirements

The electrical protection coordination studies shall verify the following.

- a) Faulted circuits shall be selectively isolated.
- b) Degraded voltage or unbalanced voltage shall be detected and mitigating actions initiated.
- c) The electrical power system shall be protected against harmful overvoltages.
- d) Tripping of critical safety equipment during mitigating or emergency mode of operation shall be evaluated to consider the effects on safety functional requirements.

8 DC system and uninterruptible AC system analyses

8.1 Load flow studies

8.1.1 General

Load flow analysis is an important part of power system calculations since it evaluates the network performance in its normal, abnormal and emergency operating conditions and establishes the limiting bounding conditions.

NOTE Typically, the peak loading appears at the onset of an accident signal coincident with loss of off-site power.

The DC system and uninterruptible AC system (DC power supply) have to maintain adequate bus voltages during an extended period of loss of on-site and off-site AC power.

8.1.2 Recommendations

The following recommendations apply.

- a) Load flow studies including operating durations for DC system loads should be used to verify the following.
 - Battery capacity.
 - Component or circuit loading.
 - Bus and load voltage during battery charging, trickle (float) charging and discharging. Note that bus and load voltage during float or equalizing charge conditions should not be higher than the design rating of connected loads.
 - Load voltage during normal and emergency operating conditions including inrush currents.
- b) The capability of the batteries to supply loads according to load profiles during the designed discharge time should be analysed. The voltage profile at component terminals should be evaluated at the end of battery design life at minimum allowable ambient temperature considering that
 - loads may draw transient current which should be considered in battery sizing and protective equipment operation, and
 - the inrush and total current for some loads (such as breaker trip or close coils) may last for a few seconds. For conservative calculation basis, such concurrent loads should be considered for a whole minute and added to other such loads within the same minute.
- c) Load flow studies for uninterruptible AC systems (power source UPS or inverter) should be used to verify
 - component or circuit loading,

- load terminal voltage (considering voltage drop from bus to load) during normal, abnormal and emergency conditions,
- the capability of the battery as it approaches final capacity at the end of its certified life (the battery manufacturers provide details on battery life, discharge curves for final cell voltage and time to reach end of life), and
- the voltage profile at component terminals is evaluated at minimum allowable ambient temperature.

8.1.3 Acceptance requirements

The load flow studies shall verify the following.

- a) The capability of the battery shall comply with the designed requirements.
- b) The instantaneous voltage during the first minute(s) of an event or other peak load conditions coupled with loss of AC power shall be adequate for starting and operating all required loads.
- c) The load flow analyses shall demonstrate adequate battery capacity to support starting and steady state operation of all loads required following a loss of AC power supplies.

8.2 Transient studies

8.2.1 Rectifier

8.2.1.1 Recommendation

The transient studies carried out as outlined in 7.3 should verify that the DC system voltage will be maintained (as shown by tests or simulation) within an acceptable range during input AC voltage transients:

- voltage dips and interruptions with return to nominal voltage;
- voltage dips and interruptions with return to high voltage;
- high voltage transients;
- harmonics on the input of the rectifier;
- operation without connected battery.

Operation without connected battery is generally not allowed, the intent is to give time for remedial actions or planned shutdown.

8.2.1.2 Acceptance requirements

The studies shall verify the following.

- a) Disturbances in the input AC system shall be dampened or limited to an acceptable level to ensure that functionality of DC system(s) or UPS system(s) is not adversely impacted.
- b) The functional capability of the DC system(s) or UPS systems(s) shall not be degraded by voltage disturbances such as switching surges or inrush current in the AC system powering the rectifier circuits.

8.2.2 Inverter/UPS and bypass switch

8.2.2.1 Recommendations

The following recommendations apply.

- a) The transient studies carried out as outlined in 7.3 should verify that UPS system output voltages remain within an acceptable range during input AC voltage transients:
 - voltage interruptions with return to nominal voltage;
 - voltage interruptions with return to a high voltage;

- overvoltages.

Disturbances in the input AC system (including the high voltage grid) should be dampened or limited to an acceptable level to ensure that functionality of UPS powered safety loads is not adversely impacted.

- b) The overvoltage studies carried out as outlined in 7.3 and 9.1 should verify that any overvoltage will not render the bypass switch inoperable.

NOTE One example is excessive reverse voltage.

8.2.2.2 Acceptance requirements

The functional capability of the UPS system shall not be degraded by voltage disturbances such as microcuts, switching surges or inrush current in the AC system powering the UPS circuits.

8.3 Fault studies

8.3.1 Short circuit studies

8.3.1.1 Recommendation

Short circuit studies should verify according to IEC 61660 that any short circuit will be detected and cleared/alarmed in an acceptable time for both minimum and maximum fault conditions. Faults may be caused by either short-circuits to earth or between live conductors.

8.3.1.2 Acceptance requirements

The short circuit studies shall verify the following.

- a) Protective devices for DC and uninterruptible AC systems shall detect all fault conditions in the system.
- b) Equipment ratings shall not be exceeded.
- c) The critical function of the DC and AC systems to support plant safety shall be considered in determining tripping requirements for faulted circuits.
- d) Uninterruptible AC power sources shall be able to provide adequate current to operate protection to clear short circuits.

8.3.2 Earth fault (degraded insulation) studies

8.3.2.1 Recommendation

DC and uninterruptible AC systems that are not solidly earthed require specific consideration for operation with one phase/pole in fault condition. Earth fault studies for these systems should verify that degraded insulation is detected before any spurious, or loss of, action of safety equipment.

8.3.2.2 Acceptance requirements

If protective schemes have no trip function for earth fault conditions (such as earthing via impedance systems) the operating equipment shall be demonstrated to be able to perform its intended function(s).

8.4 Electrical protection coordination studies

8.4.1 Recommendations

The following recommendations apply.

- a) Selectivity should be adequate for all available power sources.

The short circuit study should establish the magnitude of currents flowing throughout the power system at various time intervals after a fault occurs and evaluate the size and settings of a system's protective devices, such as measuring elements, fuses and circuit breakers. Earth fault current magnitudes depend on the system earthing method.

- b) The protection scheme should rapidly and selectively actuate equipment nearest to the faulted portion of the system to prevent further equipment damage. The scheme should, with minimum system disruption, ensure continuity of power to unaffected portions of the power systems. Electrical protection coordination calculations determine the optimum settings to achieve high availability of the electrical power systems taking account of all operating conditions including supplies from standby sources.
- c) The voltage protection scheme should operate to prevent overload current trips of safety system equipment rendering them inoperable.
- d) The degraded voltage protection scheme should alarm and, when applicable, transfer to an alternative supply.
- e) The electrical power system should be protected against harmful overvoltages. A coordinated study should be undertaken of the complete voltage protection system to demonstrate the resilience of the complete electrical power system to overvoltages.
- f) Tripping of critical safety systems during mitigating or emergency mode of operation should be subject to analysis of safety function requirements.

8.4.2 Acceptance requirements

Faulted circuits shall be selectively isolated except where evaluated as required for safety functional requirements.

9 Miscellaneous analyses

9.1 Lightning protection studies

9.1.1 General

Lightning strikes

- on buildings,
- in the vicinity of the NPR, and
- on transmission lines,

may induce disturbances and destruction of electrical and electronic systems.

The consequences of lightning strikes should be mitigated by design provisions such as Faraday cages, equipotential bonding networks, transformers, cable shielding, cable layout engineering and additional lightning protection if required. These provisions should be identified and substantiated prior to initiating any analysis of lightning effects.

The lightning protection system should conform to IEC 62305-1, IEC 62305-3 and IEC 62305-4.

9.1.2 Recommendation

The lightning protection system should reduce lightning effects sufficiently to ensure that they are lower than the electromagnetic immunity of the equipment to protect.

When a model and simulation tool is used, they should be suitable for studying high frequency phenomena.

9.1.3 Acceptance requirements

The analyses shall demonstrate with adequate assumptions that overvoltages caused by lightning do not challenge the safety equipment and are below the design basis values. Induced voltages/currents shall be demonstrated to be within design limits.

9.2 Electromagnetic compatibility

9.2.1 General

Requirements should be defined for equipment qualification in terms of electromagnetic emission and/or immunity (e.g. IEC 62003). At the same time, it is also fundamental to apply good practice in execution of

- segregation,
- cabling,
- cable shielding management,
- effective building/room/panel shielding,
- earthing philosophy,
- etc.

9.2.2 Recommendation

Compliance with these requirements should be verified in a design assessment.

9.3 Harmonic studies

9.3.1 General

With the use of variable frequency drives and other switching supplies connected to the electrical power system, the generation of harmonics and its propagation and impact on other loads should be considered.

9.3.2 Recommendation

The electrical distribution system should be studied with respect to harmonic disturbance and propagation of non-sinusoidal currents generated by non-linear loads connected to the buses. The study should include the assessment of the total harmonic distortion (THD) at the point of common coupling and the impact on all the connected loads at the point of common coupling. The directly connected loads on the bus should be assessed to ensure that their specifications encompass the THD.

9.4 Geomagnetic induced current (GIC)

A substantiated engineering assessment should demonstrate that the design measures adequately mitigate the risk of GIC in the NPP.

Note that protection measures against GIC influence should be taken mainly by the TSO.

9.5 Ferroresonance studies

An engineering assessment based on the analysis of sensitive factors should substantiate the adequacy of the mitigation of the risk of ferroresonance.

Annex A (informative)

Establishment of design bases for nuclear power plant electrical power systems

A.1 Overview

Nuclear power plants continue to produce a significant amount of heat for an extended period after a nuclear reactor is shut down. With current designs, the thermal power of the reactor immediately after shutdown is around 7 % of the power before shutdown, reduces to less than 2 % after one hour, 0,5 % after one day and continues to reduce gradually after that. Hence the reactor cooling systems must continue to operate for several days after a reactor shuts down, to prevent overheating and damage to the reactor core. Therefore, reliable cooling systems should be provided, and these systems require robust and diverse sources of reliable electrical supply. Depending on the plant design, electrical power is needed for most or all safety functions.

The defence in depth concept requires transfer to an alternative source of supply when the preferred power supply is not available.

Studies of the response of the electrical power system to transfer to alternative supply sources should consider criteria for voltage, time and current. Examples of studies to be performed are

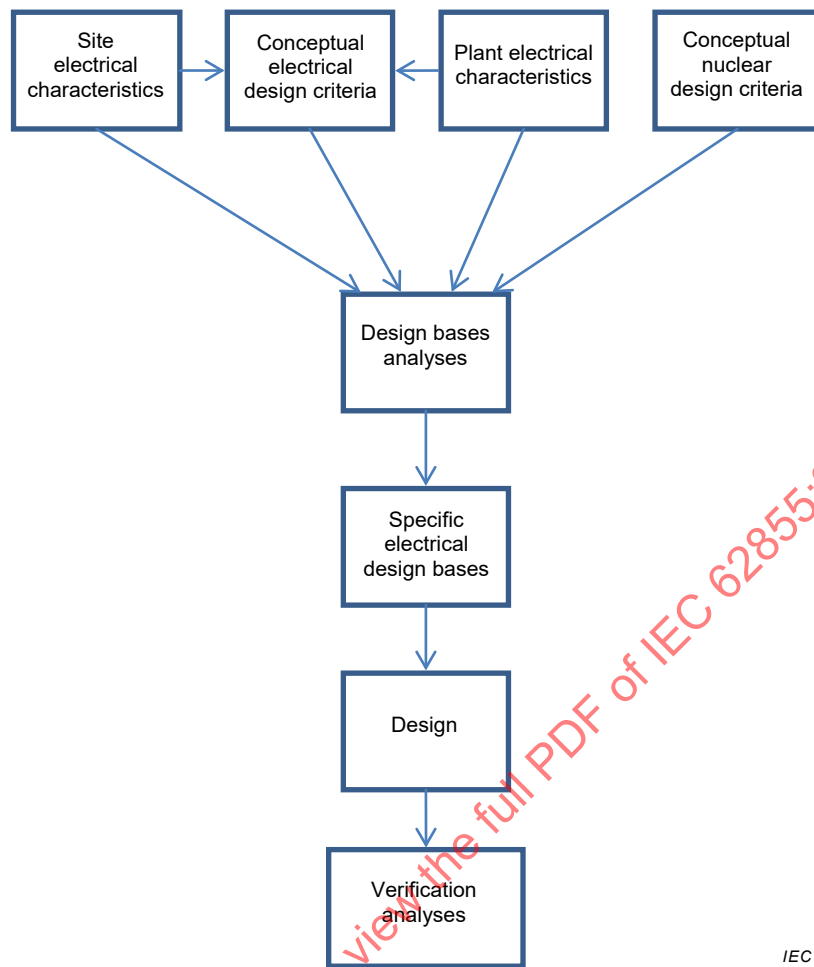
- transfer to house load operation after loss of grid supply,
- transfer to alternative AC off-site power source (e.g. transfer from auxiliary transformer to standby transformer) after the loss of a main generator or unavailability of main supply,
- transfer to standby supply on loss of off-site power source and main generator, and
- transfer to alternate AC power source on loss of standby supply (SBO events).

The electrical design bases are plant specific. Annex A provides guidelines for criteria to be considered for plant design and reviewed when plant modifications are implemented. In addition, the transmission network and generation sources around the plant may also evolve during the life of the plant requiring a review of the impact on plant electrical power system. Further guidance can be found in IAEA Safety Standard SSG-34 covering the design of electrical power systems of nuclear power plants.

Design bases specify the required functional tasks, the necessary characteristics, the performance objectives, the operating and environmental conditions, and the required reliability.

The electrical design bases should cover all modes of operation and take into account the characteristics of all possible electrical and mechanical system interactions. These should include motor driven pumps operating at run-out conditions, switching transients, motor starts, external and internal events, etc., that may impact power flow and voltage profile in the plant electrical power system. The bases should also take account of environmental conditions such as temperature, pressure and humidity during normal, abnormal and design basis events.

The guidelines provided in Annex A focus on electrical aspects of the design bases and do not include additional considerations due to factors such as environmental conditions (i.e. temperature, humidity, etc.) or external events (seismic, flooding, fire, high energy electromagnetic pulse, etc.) that may impact equipment sizing or protection requirements. The external events lightning and geomagnetic storms are included. The input and process is outlined in Figure A.1.



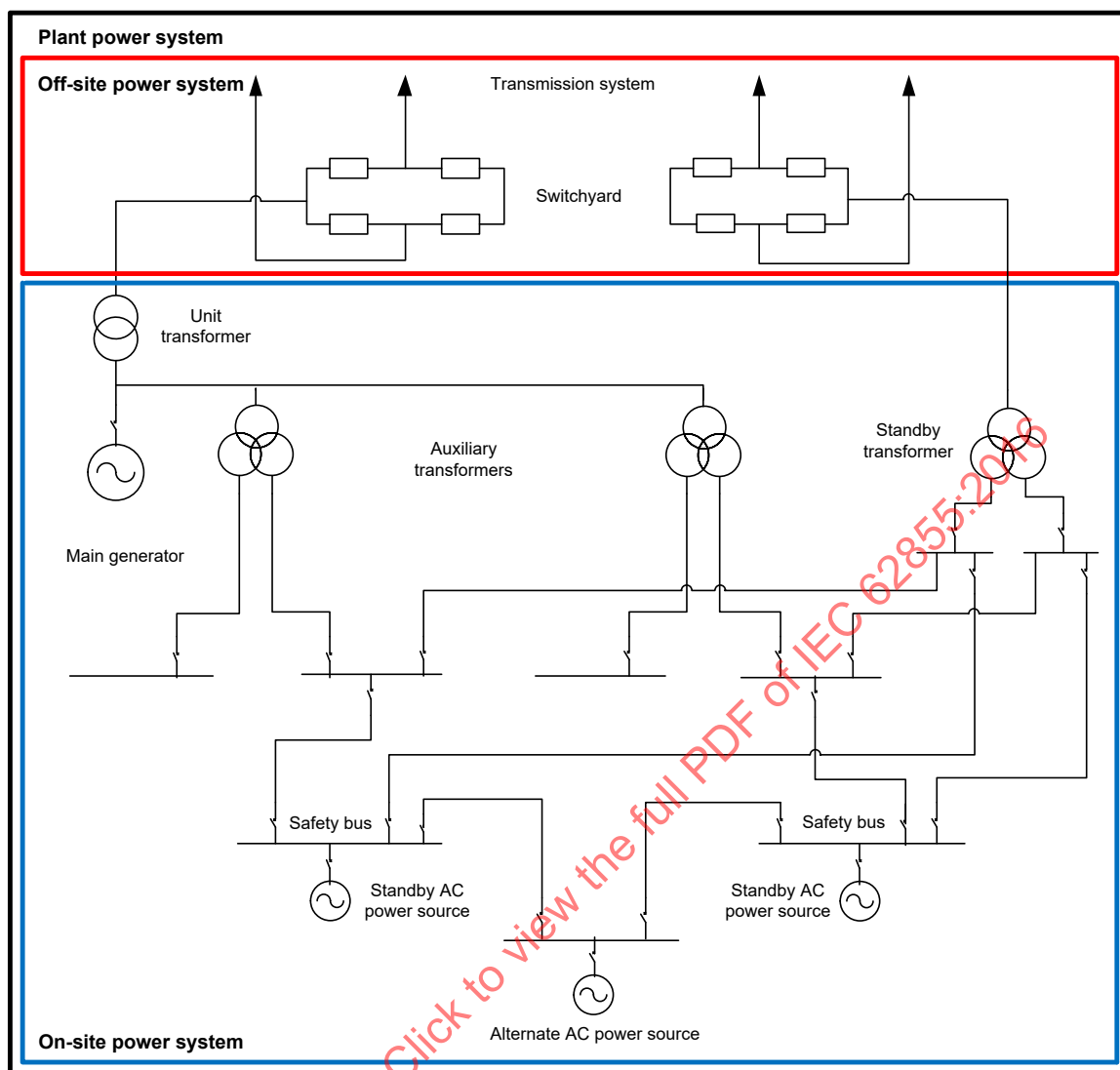
IEC

Figure A.1 – Input and process to determine the specific electrical design bases for a nuclear power plant and verification analyses

During normal operation of the electrical power systems the safety systems are generally powered from non-safety systems and connected with systems that are not important to safety. Figure A.2 shows the relationship of the plant electrical power system, the off-site electrical power system and the on-site electrical power system. Figure A.3 gives the relationship of power supplies important to safety, safety power supplies, and the preferred power supply for a nuclear power plant.

In order to have a reliable safety system power supply, the design bases should be established for all electrical power system configurations in the nuclear power plant and electrical power system analyses should cover all interacting parts of the electrical power systems. For multi-unit sites with shared systems, all configurations for normal and abnormal operations should be considered.

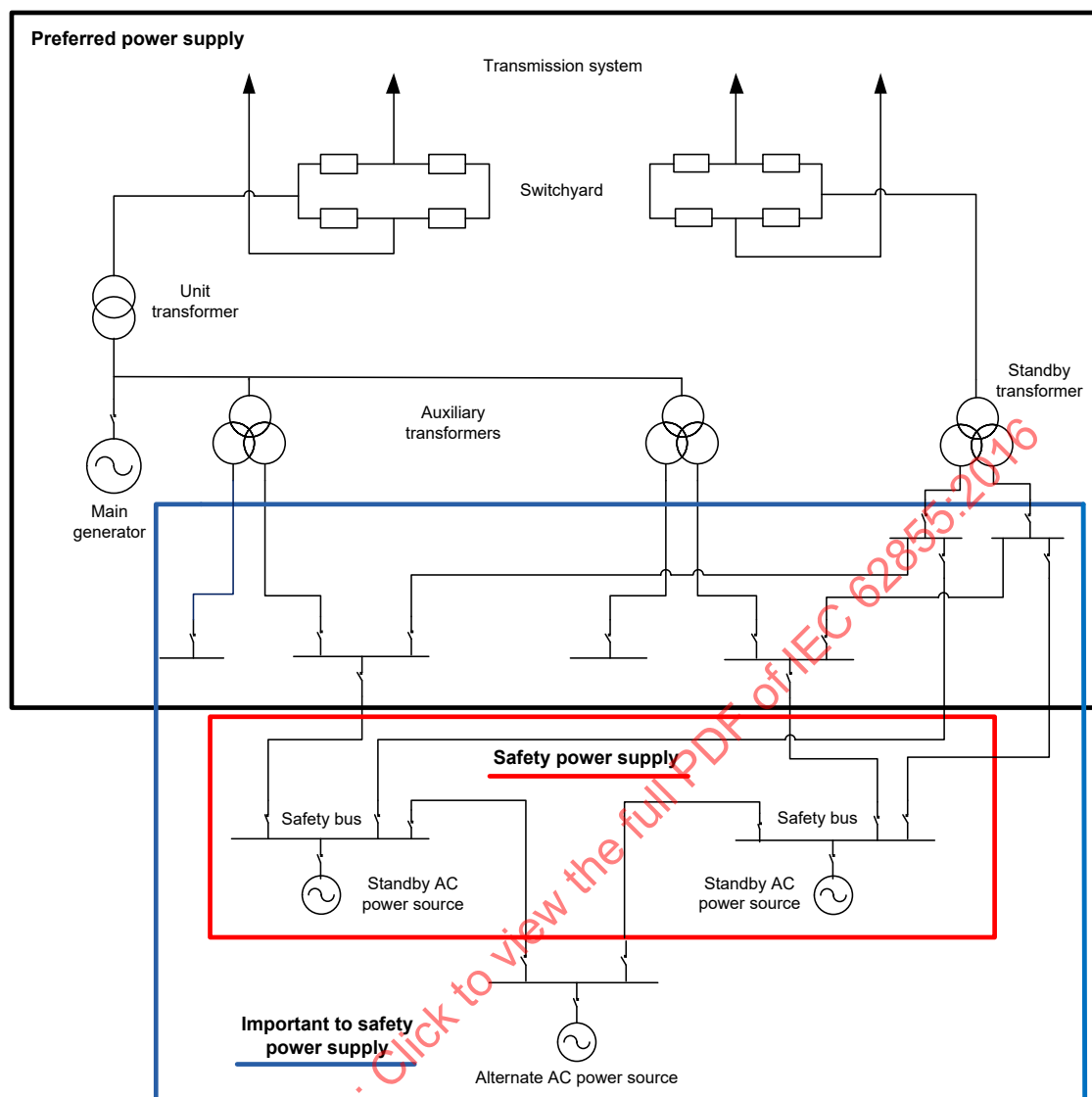
Nuclear plant shutdown for refuelling or planned maintenance is generally performed when the power demand on the bulk power system is at the lowest expected by transmission system operators (TSO). During these light load conditions on the transmission system, the capacitive component of the transmission lines coupled with minimum load of the plant auxiliaries may result in a high voltage profile on plant buses. The consequences of starting and operating plant auxiliaries under these conditions should be evaluated.



IEC

NOTE This figure is provided as an example only. Plant designs encompass various arrangements and nomenclature for buses, loads, generators and interconnections. This figure does not depict all the elements (example DC systems) of the electrical power system. From IAEA SSG-34.

Figure A.2 – Relationship of the plant electrical power system, the off-site electrical power system and the on-site electrical power system for a nuclear power plant



IEC

NOTE This figure is provided as an example only. Plant designs encompass various arrangements and nomenclature for buses, loads, generators and interconnections. Furthermore, many elements of the plant system, such as buses that are not important to safety and direct current power systems, are not shown. This figure is intended only to represent the relationship between the elements of the plant power systems that are within the safety classification and the preferred power supply. The elements of the preferred power supply that are not within the bounds of the important to safety power supply are outside of the scope of the plant safety classification. The system elements included in the important to safety power supplies will differ according to plant design and the classification methods applied. Some plant designs may not require safety standby power sources. All nuclear power plants are expected to have safety direct current power supplies. From IAEA SSG-34.

Figure A.3 – Relationship of power supplies important to safety, safety power supplies, and the preferred power supply for a nuclear power plant

A.2 Site electrical characteristics

A.2.1 General

The interconnected power system is a large and complex network and there is an inherent interdependency between different parts of the system. Thus physically distant parts of the system may interact in unexpected ways with the integrated system. The response of the on-site electrical power system is therefore influenced by the grid environment and plant loading and configuration.

Power system analysis is concerned with understanding the operation of the grid system and on-site power system. Generally, the system should be analysed under steady-state operating conditions and under dynamic conditions during disturbances.

In steady state analysis, it is assumed that any transients from disturbances have settled down and the system is in an equilibrium state. System loads including transmission system losses are matched with the power generation so that the system frequency is constant.

The plant specific system studies should include all expected transmission system configurations and plant operating modes in order to establish equipment ratings and achieve a reliable off-site power system design.

The rating of different electrical power system components such as generators, buses, cables and transformers should be determined through the power balance.

A.2.2 Grid disturbances

Transient disturbances on the grid that can affect the on-site power systems should be investigated as part of the design base analyses. Events to be considered include symmetrical and asymmetrical faults, momentary disturbances on the grid system such as switching surges or lightning strikes, capacitor and transformer bank switching, and events such as loss of transmission system elements, loss of largest load, loss of nuclear units (multiple units if connected to a common off-site source) and open phase or degraded voltage conditions.

For plants with multiple (two or more) independent power supplies, simultaneous or staggered events on all supplies (worst case) should be considered and evaluated for plant response in all defined modes of operation.

A.2.3 Short circuit power

Faults in electrical power systems occur due to insulation failures, external events such as lightning strikes, human error or equipment malfunction. Common types of faults are

- single phase to earth fault,
- phase to phase fault,
- two phases to earth fault, and
- three phases fault.

The fault currents may be several magnitudes higher than the normal rated current. Single phase to earth faults are more common while the three phase to earth faults are generally most severe.

The short circuit currents generate thermal and electromagnetic forces that can be very destructive. A protective scheme with appropriate settings should operate to protect equipment from short circuit currents.

Comprehensive fault studies should be carried out to determine fault currents in all operating configurations in order to establish equipment ratings.

The maximum and minimum short circuit currents should be determined in order to establish protection settings to adequately protect electrical equipment.

Transmission system short-circuit studies should be performed to verify that all switchyard equipment is capable of withstanding and interrupting the short-circuit current. The fault contribution from the transmission system should be considered when sizing the electrical components powering the auxiliaries.

Typically, the configuration that yields the highest short-circuit current provides the basis for plant design. For this case study, all transmission and generation elements, including on-site rotating equipment should be considered in service. However, all possible transmission system configurations that could affect the plant should be investigated to validate the maximum short circuit current required for equipment sizing and minimum short circuit current for protection coordination.

The duration and location of the fault conditions determine the adequacy of protection schemes to ensure that such an event does not lead to pole slipping or asynchronous operation of a synchronous generating unit. Prompt detection and rapid isolation of faults generally provide assurance that pole slipping or other conditions do not occur (e.g. oscillations of active power, reactive power or voltage at the connection point).

For plants with multiple interface connections, the effects of events on all supplies should be considered.

A.2.4 Lightning protection and insulation coordination

Insulation coordination is a series of steps used to determine the dielectric strength of equipment in relation to the operating voltages and transient overvoltages which can appear on the system. Overvoltage conditions can occur due to switching surges, unbalanced phase conditions and most commonly due to lightning strikes. In most cases the lightning strikes impose the highest stresses on the plant electrical power system. It is therefore important to assess the lightning impact and likely frequency of occurrence. The bounding magnitude will form the design bases for protecting electrical equipment and sizing of the earthing grid.

Fast transient overvoltages by lightning discharges can cause equipment damage, system malfunctions, or power interruptions at nuclear power generating plants if the plants are not adequately protected against such conditions. However, adequate equipment and system design can greatly reduce or alleviate the adverse consequences of abnormal voltage disturbances.

To protect against the effects of lightning strikes, the lightning protection system should incorporate strike termination devices, discharge down conductors, and an effective earthing system.

The secondary effects of lightning strikes, such as potentially disruptive surges and electromagnetic interference, can propagate to internal structures and degrade safety systems and systems important to safety. In order to protect against these effects, the protection system should incorporate appropriate individual equipment earthing systems and surge protection devices. Surge protection measures will include protection of the power plant, ancillary facilities that could impact safety, the switchyard, the electrical distribution system, low voltage instrument and control systems, and communication systems.

The selection of surge protection devices typically depends on the location of the devices and the rating required to prevent the energy from a lightning strike from impinging on a facility or electrical component.

A.2.5 Earthing characteristics

The main purpose of earthing is to prevent electric shock and to mitigate overvoltages that can damage equipment. In order to achieve lightning protection and electromagnetic compatibility (EMC) requirements, an effective earthing system is required.

It is essential to determine the soil resistivity and maximum grid currents to design a station earthing system. The touch and step voltages are directly proportional to these values. The location of the NPP (such as near large bodies of water or rockbed) requires plant specific analyses as every site presents different ground resistivity values.

The main objectives of the earthing system are:

- to guarantee the integrity of the equipment and continuity of the service under the fault conditions i.e. to provide a path and means to carry and dissipate electrical currents to earth;
- to ensure that personnel working or walking in the surroundings of the earthed installations are not exposed to dangerous electrical shocks.

A low resistance earthing grid benefits the safe running of the equipment and personnel against harmful shock. The aim of the design of safety earthing grids is to provide a sufficiently low secure access point on earth potential, contact potential, and step potential for power plants and transformer substations. To attain these targets, the equivalent electrical earthing resistance of the system shall be low enough to assure that fault currents dissipate mainly through the earthing grid to earth, while maximum potential difference between close points into the earth's surface should be kept under defined tolerances (step, touch, and mesh voltages).

Contact or touch potential is formed when earth-fault current flows through equipment and generates distribution potential on the earthed surface. A safe level of contact potential is normally determined at a given horizontal and vertical distance from electrical equipment.

Step potential difference is the ground surface voltage for a given distance between the feet of a person (typically 0,8 m). The type of soil and station earthing scheme typically determines the step potential. In the uniform soil, the step potential difference is generally small due to the lower soil resistivity.

Earth potential rise is caused by an earthing fault, the voltage rise in the earth grid when earth current flows through an electrode. The shift of potential caused by increasing earth potential can be a threat to the equipment and operators.

A.3 Plant electrical characteristics

A.3.1 General

The plant electrical characteristics are important to establish performance capabilities of important loads and the interaction within the integrated systems during postulated modes of operation and shutdown. The design analysis and design basis establish the operating bands for allowable voltage profile in the plant electrical power system.

A.3.2 Main generator characteristics

Design data will define voltage level, voltage range and frequency range as well as reactive power capacity.

Design data defines the maximum voltage rise at loss of load (house load operation) coincident with high excitation. Design data will also define maximum and minimum voltages coincident with excitation system malfunction.

A.3.3 Standby AC power sources and alternate AC source

The standby AC power source selected for use in an on-site electrical power system should have the capability to do the following:

- start and accelerate a number of large motor loads in rapid succession, while maintaining voltage and frequency within acceptable limits;
- provide power promptly to the safety loads if the off-site power system is lost coupled with a design-basis event. The total time to start and accelerate the safety loads should satisfy

the assumptions in the accident analyses for operation of safety systems such as pumps and valves;

- supply continuous power to the equipment required to support nuclear safety for an extended duration.

The characteristics of the loads required for safe plant shutdown should be established in order to establish the bases for selection of an emergency power source that is able to accept large loads in rapid succession.

The majority of these emergency loads are typically large induction motors which have a large inrush current when started. These sudden large increases in current drawn from the on-site generator as a result of the start of induction motors can result in substantial voltage reductions. This lower voltage could slow the capability of the motor to reach full speed in a timely manner, prevent successive loads from starting or cause a running motor to stop.

Other voltage sensitive loads may also stop operating due to control system voltage drop or operation of protective devices. Thus the specific parameters such as the size of the load in kW and kVA, the maximum allowable voltage and frequency dips that the load(s) can withstand, the type of load, (motors, lighting, uninterruptible power supplies, variable frequency drives, etc.) and the expected duration of the load starting transient should be simulated in detail when performing power system analyses.

During the design stage of on-site power system, spare capacity for future load growth and uncertainties in the final parameters of proposed safety loads should be considered in the sizing criteria. The standby AC power sources should accommodate starting of equipment to support the response time assumed in the nuclear safety analyses of the plant. The allowable frequency and voltage band will ensure that the speed and response time of rotating equipment (pumps, motor operated valves) does not adversely impact assumptions in the safety analyses. The design should also consider simultaneous sequencing of large loads in cases where process related signals (temperature, pressure, level, etc.) can actuate equipment when specific parameters are satisfied after the desired timed start.

Design data will define voltage level, voltage range and frequency range, as well as reactive power capacity.

Design data will define the maximum output power and overload capability.

Standby AC power sources should have an overload capacity to facilitate rapid restoration of frequency and voltage.

Design data will define the maximum voltage rise on loss of load coincident with high excitation. Design data will also define maximum and minimum voltages coincident with excitation system malfunction.

Design data will define the maximum allowable time for the standby source to start and attain required frequency and voltage to enable the safety systems to perform the required functions within the allowable time considered in accident analyses.

Design data will define the capability of the standby AC power source to operate in parallel with the transmission system when system voltages may be at the allowable maximum or minimum.

Frequency transients will occur during load sequencing. The impact on pump flow can generally be neglected as long as the variations are short. If the frequency recovery time is slow due to large or slow-starting loads, then the potential should be evaluated for stalling of other equipment during running or starting.

The alternate AC source may be automatically started but is manually aligned to the respective AC bus. The same process as outlined for standby AC power sources above apply, but the loads will not be started in rapid succession.

A.3.4 DC power sources

Design data will define the power consumption and duration of the loads to be supplied.

Design data will define the operating temperatures that can impact the sizing and discharge characteristics of the battery system.

Design data will define the maximum and minimum operating voltages of the operating loads and capability of the battery system to meet the requirements for the duration of the load.

The initial loading of the battery system when required to support plant loads during loss of all AC power sources is typically a significant factor in determining the voltage drop and battery sizing criteria.

The sizing criteria should consider the various types of load. Resistive loads have reduced current with reduced voltage whereas constant power loads will require higher current with reduced voltage.

The load flow and voltage drop analyses should consider the capability of the battery to satisfy design requirements at the end of useful life when the battery capacity is reduced.

A.4 Conceptual electrical design criteria

A.4.1 General

The conceptual electrical design criteria describe what the design should accomplish.

A.4.2 Capacity of power sources

The off-site power sources should have the capacity to power the safety power systems in a stable and continuous way.

The design should meet the time defined in the design basis for operation of safety DC power sources on loss of AC supply.

A.4.3 Protection coordination

The electrical protection scheme is required to reduce failures from disabling safety functions. The protective actions of each load group should be independent of the protective actions provided by a redundant load group. Protection coordination is an important factor in achieving availability and reliability.

When there are two or more series protective devices between the fault location and the power supply, then the devices should be coordinated to ensure that the device nearest the fault point will operate first to minimize system isolation. The other upstream devices should be designed to operate in sequence to provide back-up protection, if any device fails to respond.

Selective overcurrent coordination can generally be achieved by ensuring that overcurrent protective devices are rated or set to operate at optimum setpoint (current and time) during fault conditions, and remain selective with other devices on the system.

The need for the electrical power system to support the operation of loads in overload conditions should be taken into account.

A.4.4 Voltage transients and interruptions

Events on the grid or on the on-site power sources can cause voltage transients and interruptions on the on-site power systems.

These events can cause symmetrical and asymmetrical voltage disturbances in the plant and can be initiated

- in the transmission system(s) with the plant on line, off line and shutdown, or as a consequence of the plant separating from the grid due to anticipated faults or voltage and frequency variations beyond an acceptable level,
- by the main generator tripping and transfer of plant auxiliaries to the off-site or on-site power sources, and
- in the on-site power systems as a result of an electrical event such as motor starting, phase to earth fault or switching surges.

Electrical equipment is required to be designed to handle voltage transients or to have adequate protection to ensure that power system components remain operable. In some instances, the specific component protection may disconnect equipment (for example a rectifier) during unacceptable voltage transients in order to preserve itself or downstream components with a higher importance for plant safety (for example an inverter).

A.4.5 Capability for bus transfer

The design should have the means provided for switching between power supplies to the safety electrical power systems.

A.4.6 Capability for motor start and reacceleration

The electrical power system and the protection system should be designed for motor starting within the continuous frequency and voltage span as well as with degraded voltage.

The design and the protection coordination is required to allow motor reacceleration after voltage dips or interruptions and after frequency dips.

A.4.7 System earthing

Designs of earthing systems in nuclear power plants vary depending on their design era. Some nuclear power plants are fitted with four conceptually identifiable, but not necessarily physically distinct, earthing systems: personnel safety, lightning, electrical power system and I&C – including signal earthing. All earthing systems are finally tied to the one deep earthing grid. A well-designed station earthing system is essential for protection of power plant equipment from earth faults and lightning strikes.

The earthing and equipotential bonding network will contribute to

- personnel safety,
- lightning protection,
- fault protection of the electrical power system, and
- EMI protection of electrical and I&C systems.

The earthing network is required to be designed

- to withstand the energy of lightning strikes and the grid short circuit current, and
- to avoid dangerous step or touch voltages.

The equipotential bonding network is required to be designed to avoid overvoltages which could

- cause personal injury in the event of short circuits, and
- damage or significantly disturb I&C safety systems.

These analyses should be conducted in accordance with IEC 60364 (all parts) and IEC 60479 (all parts).

A.4.8 Capability of electrical equipment

Electrical equipment should be designed with a voltage rating greater than the nominal system voltage and an insulation level greater than any transient voltage to which the equipment might be subjected.

Electrical equipment should be designed to safely carry the currents of the main circuits and branch circuits during normal operation and following three phase and single phase fault conditions.

A.4.9 Electromagnetic interference

Equipment should be qualified from an EMC perspective. Detailed EMC requirements should be determined for all electrical power systems and components. International EMC standards on industrial environments, IEC 61000 (all parts), should serve as the basis for the requirements. These should be supplemented, where necessary, to cover the EMC environments of generating power plant components, which might be more demanding. Determining the EMC requirements includes considering the exposure of components to possible repetitive rapid (e.g. switching off of inductive loads and ringing of relays) and high energy (e.g. various switching transients and lightning) transients in their operating environment.

A.4.10 Geomagnetic induced currents

The geomagnetic induced current (GIC) from sunspots and solar flares could cause significant damage to the electrical grid, telecommunication and other devices due to elevation of earth surface potential (ESP) in different part of the earth. A consequence is the saturation of transformer cores leading to equipment heating or overheating, harmonics and subsequent reactive power load flows challenging the electrical protection.

NOTE 1 These ESPs (4 V to 7 V per km) generate circulating currents from 20 A to 200 A flowing via the transformers and grid.

Beside the strength of the solar flare, these phenomena are mainly related to

- latitude,
NOTE 2 The sensitivity is generally higher near earth's magnetic poles.
- soil resistivity,
- grid load and overload factor,
- length of transmission lines,
- transformers saturation and type, and
- neutral point connection to earth.

Protection measures against the GIC influence should be defined by the TSO.

A.4.11 Ferroresonance

Ferroresonance is a phenomenon usually characterized by overvoltages and irregular wave shapes and associated with the excitation of one or more saturable inductors in series and/or

in parallel with capacitances. The key elements are saturable inductors connected with capacitances. Ferroresonance occurs at a given frequency when one of the saturated core inductances matches with the capacitance of the network. Due to the non-linearity of the ferroresonance circuit, there can be several steady state ferroresonance responses randomly induced into a system. Basically, there are various types of steady-state responses for a ferroresonance circuit, such as: fundamental, subharmonic and harmonic modes. The lower the damping the more complex are the transient responses, up to quasi-periodic and sustained chaotic modes.

Design measures should adequately mitigate the risk of ferroresonance. There are generally two main ways of preventing the occurrence of ferroresonance:

- avoid any switching operations that will reconfigure a circuit into a saturation transient of one or more saturable inductors, connected with capacitances, with no or light load condition;
- provide damping of ferroresonance by introducing losses (i.e. load resistance) into the affected non-linear oscillating circuit. This reduces the source energy so the non-linear response is not sustained.

The sensitive factors for ferroresonance are

- insulated or high impedance neutral point connection to earth arrangement,
- capacitance and inductance oscillating frequencies,
- the type of loads, single phase or three phase connected to the network,
- the network operation configurations and related loading cases,
- the transformer core saturation,
- the voltage and current measurement transformers location,
- filters or damping resistances, and
- surge and/or lightning arrestor implementation.

The two main ways of preventing the occurrence of ferroresonance are

- to review and to identify the switching operations that cause risk without mitigations, and
- to design mitigation solutions to dampen the non-linear responses in order to control the short duration overvoltages according to the insulation coordination principle.

A.5 Conceptual nuclear design criteria

A.5.1 General

The conceptual nuclear design criteria describe what specific aspects should be considered in the design.

SSCs important to safety are categorized as either safety or safety-related. Safety SSCs are those provided to ensure control of reactivity, removal of heat from the core and confinement of radioactive material, shielding against radiation, and control of planned radioactive releases, limitation of accidental radioactive releases, or to limit the consequences of anticipated operational occurrences (AOO) or design basis accidents (DBA). Safety-related items are items important to safety that are not part of a safety system.

A.5.2 Reliability and availability, single failure criterion

Electrical power systems important to safety are required to have redundancy to the degree needed to meet reliability requirements.

In order to achieve system reliability targets in electrical power systems important to safety, it is important to design to protect against common cause failure. An important aspect of this is compliance with the single failure criteria. The design shall incorporate redundant or diverse components and systems to provide the independence required to achieve these targets. The potential for the increased possibility of spurious operation from redundant and diverse systems should be considered. Spurious or inadvertent operation of a single protective device for critical safety systems should be avoided by using redundant detection schemes.

Coincidence of redundant signals (voting logic) or a rejection scheme for spurious signals that is based on comparisons of the redundant signals is commonly used to obtain an appropriate balance of reliability and freedom from spurious operation.

The single failure criterion is applied to safety functions. Electrical power systems are support systems to safety functions hence the redundancy is inherited from the safety function. In order to design a reliable electrical power system redundancy can be applied also at electrical train (division) level when applicable.

Protection coordination and margins in settings contribute to the availability of the electrical power systems.

A.5.3 Common cause failures (CCF) and common mode failures (CMF)

The possibility of common cause failures, which could render the safety power systems unavailable to perform their safety functions when called upon, should be considered in the design, maintenance, testing and operation of the safety power systems and their support systems. As the NPP is normally connected to only one transmission system, one event on the grid could influence redundant parts of the safety power systems rendering them unavailable to perform their safety functions when called upon.

The principles of diversity and independence (physical separation and functional isolation) should be applied to protect against credible common cause failures originating in the equipment of the safety system itself, in switching surges or voltage and/or frequency excursions from connected systems or from human involvement (e.g. in operations and maintenance).

In order to handle common cause failure risks for software based devices for electrical systems, the design of these items should follow the design principles for I&C equipment given in standards such as IEC 61513, IEC 62671, IEC 60880 and IEC 62138.

In order to investigate the vulnerability to common mode failures, tests outlined in IEC 62340 may be used.

A.6 Design bases analysis

A.6.1 General

The design bases analysis determine the basic layout of the electrical power systems and the voltage levels and the voltage operating span. It should also determine the frequency operating span.

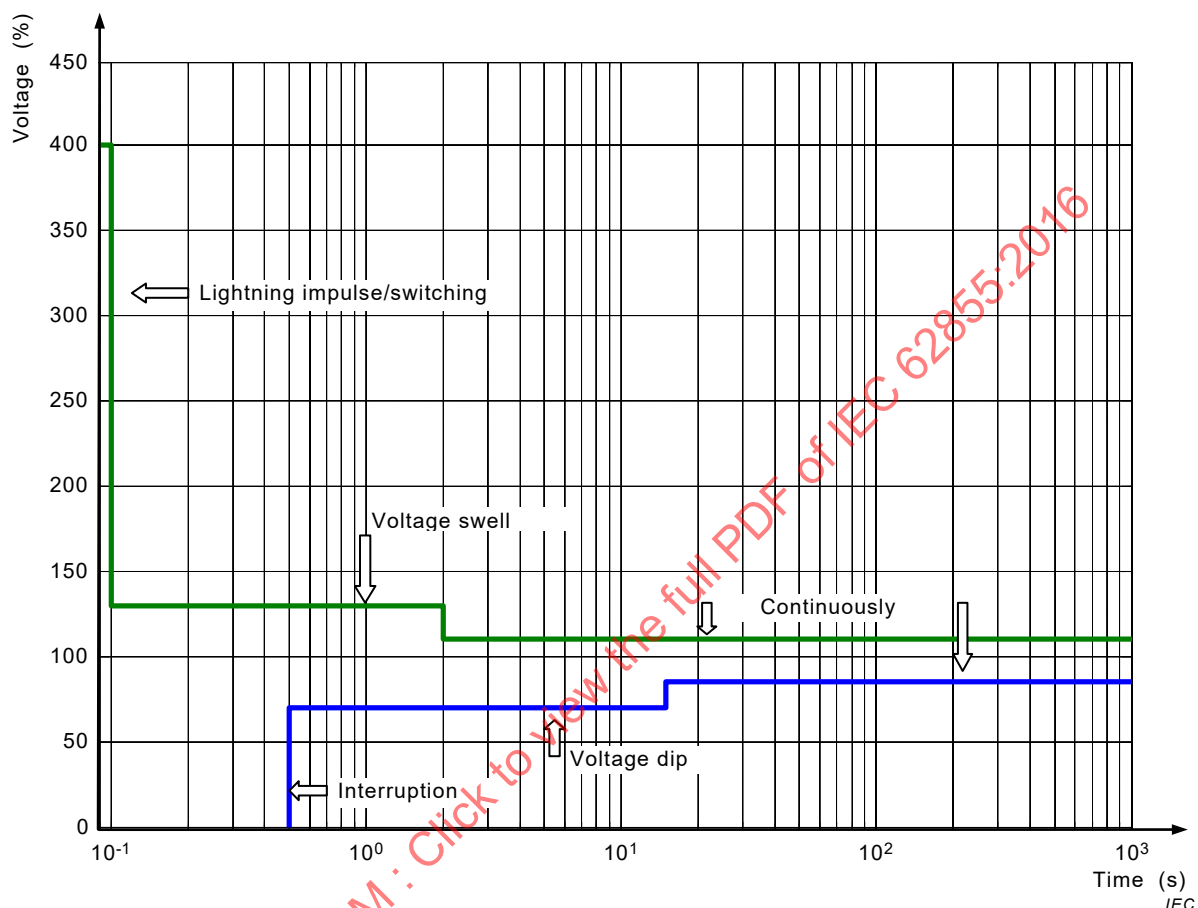
The conceptual design criteria is part of the specific design. Site and plant characteristics might require further analysis before they can constitute part of the design bases.

A.6.2 Voltage

A.6.2.1 Continuous voltage (operating area)

A.6.2.1.1 General

Typical voltage design bases are shown in Figure A.4.



NOTE This figure is provided as an example only. Voltage levels and time durations are plant specific.

Figure A.4 – Typical voltage design bases

A.6.2.1.2 AC systems

The nominal voltage for the electrical power systems should be chosen from IEC 60038. For terminal voltage on connected loads, further voltage drops in the installation may occur.

NOTE Refer to IEC 60364-5-52.

During preliminary load flow studies according to this document, the supply voltage range is determined for all different power sources and plant conditions. Also, voltage drops in the electrical power systems will be determined.

The voltage level for standby AC power sources is determined by preliminary transient studies of the loading sequence.

A.6.2.1.3 DC systems

DC systems nominal voltage is chosen from IEC 60038. The voltage is determined by the loads to be supplied and a suitable discharge current to achieve the necessary discharge time.

The maximum continuous feeding voltage is determined by the maximum charging voltage with connected loads. The minimum continuous feeding voltage is the battery voltage after designed discharge. The voltage drop to the consumer should be considered.

The range for continuous operation implies that connected loads will be sized for the higher voltage and be operable for the lower voltage.

For AC systems with battery backup (inverters), the continuous DC voltage range is normally given by the specification of the inverter.

A.6.2.2 Voltage dip

During preliminary load flow and transient studies, the voltage dip should be determined for all different power sources and plant conditions, taking voltage drop in the installation into account.

A.6.2.3 Voltage swell

During preliminary load flow and transient studies, the voltage swell should be determined for all different power sources and plant conditions taking overvoltage in the installation into account.

A.6.2.4 Voltage interruption

During preliminary transient studies, voltage interruptions are determined. These interruptions can originate from the on-site power systems (AC and DC) or from the grid.

A.6.2.5 Voltage transients

As a result of preliminary lightning protection studies and studies of switching surges (off-site and on-site), the required insulation level and overvoltage capability of the electrical equipment is determined.

A.6.3 Sizing of safety standby AC power sources

Standby AC power sources normally have a limited step-loading capability. During preliminary design, the amount of load that can be added at each sequential step is assessed. The total load and the total time for each step is chosen in order to allow voltage and frequency to reach steady state, with a suitable time margin, before the next loading step.

Note that it is common that the on-site power system is designed such that the frequency will not decrease at any time during the loading sequence, to less than 95 % of nominal and the voltage will not decrease to less than 75 % of nominal. Frequency should be restored to within 2 % of nominal in less than 60 % of each load-sequence interval for a step load increase, and less than 80 % of each load-sequence interval for disconnection of the single largest load. Voltage should be restored to within 10 percent of nominal within 60 % of each load-sequence interval. The acceptance value of the frequency and voltage is based on plant-specific analysis (where conservative values of voltage and frequency are measured) to prevent load interruption (a greater percentage of the load-sequence interval may be used if it can be justified by analysis. The load-sequence interval should include sufficient margin for the accuracy and repeatability of the load-sequence timer). During recovery from transients caused by disconnection of the largest single load, the speed of the on-site source should not exceed overspeed trip set point, or 115 % of nominal (whichever is lower). Furthermore, the transient following a complete loss of load should not cause the generator speed to reach the overspeed trip set point.

During an emergency, it is desirable to keep the safety standby AC power sources in operation even outside the continuous operating area for voltage and frequency in order to maintain a power supply, generally for a limited time.

A.6.4 Frequency

The frequency range for continuous operation should be based on the normal variations of the grid frequency and take into account anticipated variations from safety standby AC power sources.

To ensure a satisfactory design for a nuclear plant, the electrical power system should be designed to meet certain minimal performance criteria. The constraints include allowable steady state frequency variation of $\pm 2\%$ (typical) and transient (momentary) variations of $\pm(5 \text{ to } 10)\%$ (typical).

The grid code of the TSO normally defines a frequency range, rate of change and a frequency response that a power plant should withstand when connected to the grid. These requirements should be analysed for full compatibility with the NPP prerequisites and agreed with the TSO. Priority of nuclear safety should be assured.

The impact of the minimum and maximum steady-state frequency range should be considered in the thermo-hydraulic safety analyses.

A.6.5 Electrical consumers' databases and power balances

A.6.5.1 AC systems

The data of electrical loads (consumers) will be obtained in order to calculate power balances and correctly size electrical power system components (transformers, switchgear, cables, power sources etc.).

The electrical loads database will be preliminary at the basic design stage and with the development of more precise information at the detail design stage. The process will be quite complex as it usually requires interface with several equipment suppliers.

The rated power, starting power and current and steady state power of the load should be defined. The power will also depend on fluid system parameters such as tank levels and back pressure. Load data will contain all details required for sizing of the relevant power sources. The required data will vary according to the characteristics of the load (small and large motors, I&C cabinet, lighting, etc.).

For each load or group of loads, it is important to consider the type (rotating load, non-rotating load), the efficiency, the power factor, the expected load diversity factor, the presence of stand-by load and the expected required power in the different operating modes.

For large electrical motors, it is important to also obtain mechanical data (slip-torque curve, inertia, number of poles, etc.) in order to input this data into the required dynamic models. Rotating machinery should be designed with pull-out torques high enough to permit starting with degraded voltage in the defined range and designed to permit operation at the lower band of the operating range.

It is important to define uniform methods for considering margins in this design process (e.g.: from mechanical power required by the fluid to the size of the electrical supply for the motor that drives the relevant pump). Otherwise, it could result in an uncontrolled general oversizing of the electrical power system that could have an impact on the correct system functionality.

The compliance of the power supply quality (mainly expected variations of voltage and frequency) with electrical consumers' specifications should be verified.

Small consumers of similar types (e.g. small electrical valves connected to a single motor control centre) may be grouped together for the purpose of determining power balances.

A.6.5.2 DC systems

The same general approach applies to DC systems as for AC systems. A justified utilization factor might be applied if it can be shown that all DC loads are not energized at the same time.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

Annex B (informative)

Guidelines for analytical studies

B.1 Analytical studies methodology

B.1.1 General

The analytical studies should be performed using software commercially available or developed based on technical specifications. The software has a validated domain and its accuracy and compliance with industry standards has been validated.

The simulation tools enable the simulation of the physical phenomena using significant computing resources.

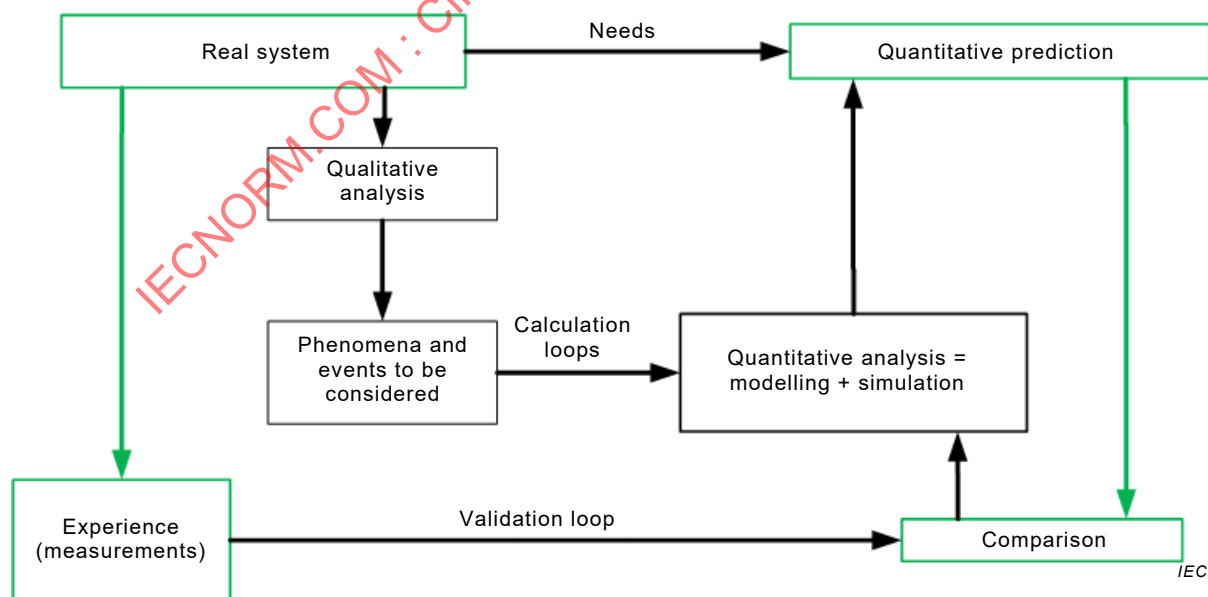
They consist of

- calculation codes for the solution of physical equations,
- pre-processors for data entry calculations, and
- post-processors for calculation of results.

B.1.2 Process

B.1.2.1 General

The overall objective of electrical power system analyses is to understand the integrated behaviour of the actual system. The analyses support plant safety by establishing and verifying equipment sizing criteria under all postulated operating conditions. Figure B.1 below provides an overview of a systematic approach to the fundamental steps that should be followed for a comprehensive analysis.



NOTE The boxes are explained in the text. The output is from the box "comparison".

Figure B.1 – Overview of analytical studies

B.1.2.2 Qualitative analysis

Preliminary analysis, based on experience and knowledge, provides a qualitative overview of the important parameters that need to be studied and developed further.

B.1.2.3 Phenomena and events

This step consists of selecting the phenomena for which calculations will be undertaken. The model and the program used should be suitable for the frequency range of the phenomena studied. See Figure B.2.

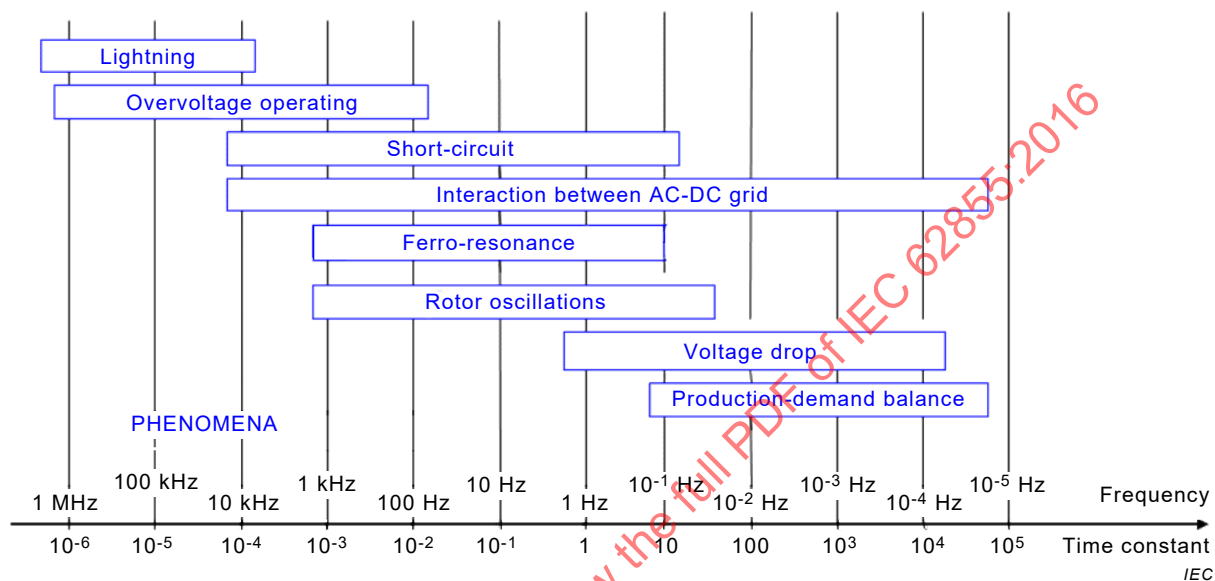


Figure B.2 – Phenomena

B.1.2.4 Quantitative analysis

Power system analyses involve modelling power generation and load equipment, planning the integration of power plants onto the electric grid, and performing generator and load control system parameter estimation. Modelling an electrical network requires representation of each element and all the interconnections between elements by equations expressing the electrical, magnetic and part of the mechanical (e.g. torque) behaviours. The equations should be adapted to the phenomena studied.

Simulation of an electrical network involves simultaneously solving all the equations in the model. The main variables can be time or frequency. Simulation on a computer requires the use of calculation software.

Commercially available software has component libraries and analysis tools for modelling and simulating electrical power systems. The libraries offer models of all electrical power components, including three-phase machines, electric drives, and components for applications required to analyse complex AC and DC systems.

B.1.2.5 Quantitative prediction

Repeated simulations with variations on the limiting constraints (allowable voltage, current and frequency range, clearing time, stability angle, etc.) will aid in verifying the range of parameters for the proposed electrical power system. Processing and formatting the results provides a basis for the required design features.

B.1.2.6 Experience, measurements, validation and comparison

These steps quantify the results and provides assurance based on past experience that the models and digital processing produce expected results when compared to test results and/or operating experience of similar electrical power systems. If possible, comparison of the simulated results with actual field measurements (or other alternative calculation methods) is a validation technique that justifies the selected method and results. Another technique to validate the output of digital simulations is to manually solve the electrical equations for portions of the system using the same input parameters. The validation steps should be clear and concise and maintained as a record for independent verification of the design process.

B.1.2.7 Simulation tools

The calculations comprise a number of elements.

Hardware: the complexity of simultaneously solving complex electrical calculations requires the use of computers with relatively fast processors.

Software: power systems analysis and simulation software are universal and used in electrical engineering practice. Initially, the software was used to quickly solve the non-linear load flow problem and calculate short circuit currents. Their use has been extended to many other areas such as power system stability, protection and coordination, contingency/reliability, and economic modelling. All system equations are processed by an application program. The user-machine interface can be used to add data to the models, start the calculation and present the results in the form of values, tables and curves.

Data bank: each electro technical element is described by the models and the characteristic physical values. All of this data is stored in a data bank. The main data required for calculations should be documented.

B.2 Example of detailed level

B.2.1 Purpose

Provide assurance that the correct operation of an electrical power system is within normal parameters of the generation, transmission and distribution system with adequate margin for short term transient conditions. The notion of steady-state conditions is defined in the installation and supply standards by

- the rated electrical frequency,
- the amplitude and phase of voltage and current, and their changes over time, and
- the active and reactive power levels (supplied, drawn, lost) and the corresponding energy.

Correct operation of networks depends on configuration of the power system as designed, and operation within the process and network limits.

B.2.2 Analysis and basics

In power networks, a balance exists between generated and consumed power. Any disturbance to this balance in the system caused by changes in load, generation as well as faults and their clearance often result in electromechanical oscillations. The issues requiring analysis are all the designed exchanges of active and reactive energy at power frequencies between the sources and loads, via electrical connectors, under the foreseeable operating conditions of the supplied process and the electrical power system:

- flow of currents;
- distribution of voltages;
- system losses;

- corresponding active and reactive power transfers.

Electrical system capabilities are generally dictated by the following main factors:

- supply voltages and allowable tolerances;
- voltage drop in conductors and transformers;
- instantaneous propagation throughout the network of the source voltage level and of voltage drops.

B.2.3 Minimum required data

To model the electrical power system and perform calculations, the following is needed.

- a) General data: network single-line diagram and operating configurations.
- b) For all components: rated voltage and power, impedances (positive, negative and zero sequence), short-circuit withstand.
- c) Sources: voltage and frequency (rated/min/max.); short-circuit power (rated/min/max).
- d) Generating sets: voltage, power and power factor, impedances and time constants.
- e) Lines, cables, busbars: resistance, inductance, capacitance of lines, length, parallel elements, installation methods.
- f) Transformers: voltages (primary, secondary, tertiary), rated power, type of connection, taps, short-circuit voltages and losses.
- g) Passive loads, capacitors, inductors: rated voltage and power, power factor, type of load (constant impedance, current or power), load and diversity factors.
- h) Active loads: rated voltage and power, power factor, motor characteristics (speed, inertia, slip, T_{start}/T_n , T_{max}/T_n , I_{start}/I_n , etc.), characteristics of devices incorporating power electronics (type of assembly, etc.), load and diversity factors.

B.2.4 Contribution of the study

The purpose of this study is to ensure correct design of the electrical installation, taking into account future changes and all process operating modes through

- expert evaluation of the basic decisions,
- calculation of the power sums of the steady state conditions, and
- taking into account the different operating configurations of the electrical network, including the emergency and backup configurations.

Calculation of the steady-state conditions is the means to determine the voltage distribution and to propose solutions to limit voltage transients.

Annex C (informative)

Verification of design bases and equipment specification

See Tables C.1 and C.2.

Table C.1 – AC on-site power system analyses

Analyses	Verify design base	Verify equipment specification	Comment
7.2 Load flow studies	Continuous voltage (bus and load) Capacity of standby AC power sources	Design current for buses, breakers, isolators, cables, cable penetrations, transformers (acceptance criteria from national standards). Transformer tapping	
7.3 Transient studies			
7.3.2 Faulted conditions	Continuous voltage, voltage dip and swell, voltage transients and interruptions		
7.3.3 Bus transfer studies	Capability for bus transfer. Inrush current	Making time, opening time for breakers	Also applicable to synchronization schemes
7.3.4 Motor starting and reacceleration studies	Capability for motor starting and reacceleration Voltage operating range, frequency operating range, pull-out torque for rotating machinery, rotating machinery input power		Also admissible voltage level for contactors to be verified
7.3.5 House load operation	Voltage span, frequency span		
7.3.6 Voltage disturbances	Voltage dip and interruption, rapid voltage transients and interruptions	All loads	Degraded and unbalanced (loss of phase(s)) voltage Also admissible voltage level for contactors to be verified
7.3.7 Voltage swell caused by switching and malfunctions	Voltage swell, rapid voltage transients and interruptions	All equipment and all loads. For standby AC power sources, also generator insulation level (on loss of all load)	For standby AC power sources, also voltage overshoot on loss of load
7.3.8 Load sequencer studies	Sizing of standby AC power sources Voltage dip and swell during sequencing Rapid voltage transients and interruptions For rotating machinery: voltage operating range, pull-out torque, frequency operating range, overvoltage capability For rectifiers and inverters: rapid voltage transients and interruptions	Making time, opening time for breakers	
7.3.9 Frequency studies		Speed of rotating machinery	Evaluation by others
7.4 Fault studies			

Analyses	Verify design base	Verify equipment specification	Comment
7.4.1 Short-circuit studies		Short-time withstand current, design breaking current, peak withstand current for AC switchgear buses, breakers, isolators, cables, cable penetrations, transformers	Breakers should also be able to break DC offset currents
7.4.2 Earth fault (degraded insulation) studies		Detection capability	
7.5 Electrical protection coordination studies	Availability and reliability	Overload capability for rotating machinery Overvoltage capability	

Table C.2 – DC system and uninterruptible AC system analyses

Analyses	Verify design base	Verify equipment specification	Comment
8.1 Load flow studies	Load voltage during normal and emergency conditions Capacity of power sources	Trickle charge voltage End-of-discharge voltage Discharge current	Also aging of battery cells
8.2 Transient studies			
8.2.1 Rectifier	Rapid voltage transients and interruptions	DC output variations: Continuous and short-time voltage based on anticipated voltage and frequency variations of power sources DC output voltage: operating range and voltage transients DC current limit: The rectifier should be capable of supplying loads and at the same time charging the battery to fully charged condition in a predetermined time period	Also operation without connected battery
8.2.2 Inverter/UPS and bypass switch	Rapid voltage transients and interruptions Capability for bus transfer	Voltage interruptions with return to voltage, high voltage transients Maximum voltage over bypass switch due to overvoltage on AC supply side Inverter output: Frequency operating range, frequency transients. Voltage operating range and voltage transients (when connecting/ disconnecting load)	
8.3 Fault studies			
8.3.1 Short circuit studies		For rectifiers: DC fuse limit For inverters: AC fuse limit Short-time withstand current	
8.3.2 Earth fault (degraded insulation) studies		Detection capability	

Analyses	Verify design base	Verify equipment specification	Comment
8.4 Electrical protection coordination studies	Availability and reliability	Overvoltage capability	

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

Annex D (informative)

Example of plant specific acceptance criteria

Acceptance criteria	Transient stability	Load flow	Transient studies						
			Faulted conditions	Bus transfer	Motor starting and reacceleration	House load operation	Voltage disturbances	Voltage swell	Load sequencer
Fault shall be detected and cleared by the protection system according to the electrical protection scheme coordination	X		X				X		
During system disturbances, the frequency, current and the voltage of the NPP electrical power system shall be compliant with equipment's requirements and capabilities (including insulation coordination).	X		X	X	X	X	X	X	X
The starting or reacceleration (restarting) time and terminal voltage profiles of the NPP auxiliaries (especially induction motors)	X		X	X	X	X	X		X
– shall conform (time aspect only) to • the nuclear safety requirements (such as injection pump to reactor), and • any operational needs,	X		X	X	X	X	X		X
– shall not lead to • stalling of other motors (terminal voltages aspect only), • actuating protection system (especially over current measuring elements), and	X		X	X	X	X	X		X
• switch to another AC power source to supply the NPP auxiliaries.	X			X	X	X			X
After system disturbances, the power supply of NPP auxiliaries shall be selected (based on thresholds and durations) as defined by the design			X				X	X	
After return to steady state conditions, the various electrical equipment shall operate in permissible voltage and frequency range.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
For the slow bus transfer, the residual voltage of HV switchboards shall be below the value defined in the design (typically 0,3 Un) just before connecting to the standby transformer.				X	X				
The standby AC power sources might start up pre-emptively, but they should not be coupled.				X					
The results of the load flows shall be consistent with the power flow capability of various electrical equipment (including margins).		X							

Bibliography

IEC 60034 (all parts), *Rotating electrical machines*

IEC 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60364 (all parts), *Low-voltage electrical installations*

IEC 60364-5-52, *Low-voltage electrical installations – Part 5-52: Selection and erection of electrical equipment – Wiring systems*

IEC 60479 (all parts), *Effects of current on human beings and livestock*

IEC 60880, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Software aspects for computer-based systems performing category A functions*

IEC 60909 (all parts), *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems*

IEC 60964, *Nuclear power plants – Control rooms – Design*

IEC 61000 (all parts), *Electromagnetic compatibility (EMC)*

IEC 61225, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Requirements for electrical supplies*

IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 61508-1, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements*

IEC 61508-2, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 2: Requirements for electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 61508-3, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 3: Software requirements*

IEC 61508-4, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 4: Definitions and abbreviations*

IEC 61513, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – General requirements for systems*

IEC 61660 (all parts), *Short-circuit currents in d.c. auxiliary installations in power plants and substations*

IEC 62003, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Requirements for electromagnetic compatibility testing*

IEC 62138, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important for safety – Software aspects for computer-based systems performing category B or C functions*

IEC 62271-200, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*

IEC 62305-1, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

IEC 62340, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Requirements for coping with common cause failure (CCF)*

IEC 62342, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Management of ageing*

IEC 62443 (all parts), *Industrial communication networks – Network and system security*

IEC 62566, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Development of HDL-programmed integrated circuits for systems performing category A functions*

IEC 62645, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems – Requirements for security programmes for computer-based systems*

IEC 62671, *Nuclear power plants – Instrumentation and control important to safety – Selection and use of industrial digital devices of limited functionality*

IEC 63046², *Nuclear power plants – Electrical systems – General requirements*

ISO/IEC 27001, *Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements*

ISO/IEC 27002, *Information technology – Security techniques – Code of practice for information security controls*

IAEA GS-G-3.1, *Application of the management System for facilities and activities*

IAEA GS-G-3.5, *Management system for nuclear installations*

IAEA GS-R-3, *The management system for facilities and activities*

IAEA SSG-30, *Safety classification of structures, systems and components in Nuclear Power Plants*

IAEA Safety Guide SSG-34, *Design of Electrical Power Systems for Nuclear Power Plants*

IAEA Safety Guide SSG-39, *Design of Instrumentation and Control Systems for Nuclear Power Plants*

IAEA SSR-2/1:2012, *Safety of nuclear power plants: design*

² Under preparation. Stage at the time of publication: IEC ANW 63046:2016.

IAEA Nuclear Energy Series NG-T-3.8, *Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants*

IAEA NSS 17, Reference Manual, *Computer security at nuclear facilities*

IAEA Safety Glossary:2016, *Terminology used in nuclear safety and radiation protection*

IAEA Safety Report, *Impact of Open Phase Conditions on Nuclear Power Plants Electrical Power Supply Systems*³

IAEA – TECDOC – 1770, *Design Provisions for Withstanding Station Blackout at Nuclear Power Plants*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

³ Under preparation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	64
INTRODUCTION.....	66
1 Domaine d'application.....	69
2 Références normatives	70
3 Termes et définitions	70
4 Symboles et abréviations	72
5 Analyses du système d'alimentation électrique	72
5.1 Etudes classiques	72
5.1.1 Analyses de stabilité transitoire	72
5.1.2 Etudes de transit de puissance.....	72
5.1.3 Etudes transitoires et dynamiques	73
5.1.4 Etudes de court-circuit	73
5.1.5 Coordination et sélectivité de la protection électrique.....	73
5.1.6 Etudes de protection contre la foudre	73
5.2 Applicabilité des analyses aux différents états de la centrale.....	73
5.2.1 Généralités	73
5.2.2 Recommandations	74
5.3 Choix, vérification et validation des outils d'analyse	75
5.3.1 Généralités	75
5.3.2 Recommandations	75
5.4 Modèle de système d'alimentation électrique	76
5.5 Connexion de la centrale au réseau.....	77
5.6 Mise à jour des analyses des systèmes électriques.....	77
5.7 Conditions préalables à la réalisation des études électriques	77
5.8 Critères d'acceptation.....	78
6 Analyses de stabilité transitoire des sources d'alimentation externes	78
6.1 Généralités	78
6.2 Recommandation	78
6.3 Critères d'acceptation	78
7 Analyses des systèmes électriques internes en courant alternatif	78
7.1 Généralités	78
7.2 Etudes de transit de puissance	78
7.2.1 Généralités	78
7.2.2 Recommandations	79
7.2.3 Exigence d'acceptation	79
7.3 Etudes transitoires	79
7.3.1 Généralités	79
7.3.2 Conditions de défaut	79
7.3.3 Etudes de basculement de source	80
7.3.4 Etudes de démarrage et de réaccélération du moteur	81
7.3.5 Fonctionnement en régime îloté.....	82
7.3.6 Perturbations de tension	82
7.3.7 Surtension temporaire à fréquence industrielle provoquée par une commutation et des dysfonctionnements.....	83
7.3.8 Etudes des séquences de reprise de charge	83
7.3.9 Etudes de fréquence	84

7.4	Etudes de défaut.....	84
7.4.1	Etudes de court-circuit	84
7.4.2	Etudes de défaut à la terre (isolement dégradé).....	85
7.5	Etudes de coordination de la protection électrique	85
7.5.1	Recommandations	85
7.5.2	Critères d'acceptation	86
8	Analyses des systèmes de distributions électriques en courant continu et en courant alternatif sans interruption	87
8.1	Etudes de transit de puissance	87
8.1.1	Généralités	87
8.1.2	Recommandations	87
8.1.3	Critères d'acceptation	88
8.2	Etudes transitoires	88
8.2.1	Redresseur	88
8.2.2	Onduleur/ASI et commutateurs statique	88
8.3	Etudes de défaut.....	89
8.3.1	Etudes de court-circuit	89
8.3.2	Etudes de défaut à la terre (isolement dégradé).....	89
8.4	Etudes de coordination de la protection électrique.....	90
8.4.1	Recommandations	90
8.4.2	Critères d'acceptation	90
9	Analyses diverses.....	90
9.1	Etudes de protection contre la foudre	90
9.1.1	Généralités	90
9.1.2	Recommandations	91
9.1.3	Critères d'acceptation	91
9.2	Compatibilité électromagnétique.....	91
9.2.1	Généralités	91
9.2.2	Recommandation	91
9.3	Etudes d'harmonique.....	91
9.3.1	Généralités	91
9.3.2	Recommandation	91
9.4	Courant géomagnétique induit (CGI).....	92
9.5	Etudes de ferrorésonance	92
Annexe A (informative) Etablissement des dimensionnements des systèmes d'alimentation électrique de centrale nucléaire de puissance		93
A.1	Introduction générale	93
A.2	Caractéristiques électriques du site	96
A.2.1	Généralités	96
A.2.2	Perturbations du réseau	97
A.2.3	Puissance de court-circuit	97
A.2.4	Protection contre la foudre et coordination de l'isolement.....	98
A.2.5	Caractéristiques de mise à la terre	99
A.3	Caractéristiques électriques de la centrale.....	100
A.3.1	Généralités	100
A.3.2	Caractéristiques de l'alternateur principal	100
A.3.3	Sources internes de secours en CA et sources d'ultime secours en CA	100
A.3.4	Sources de puissance en courant continu.....	101
A.4	Critères de conception électrique en phase avant projet.....	102

A.4.1	Généralités	102
A.4.2	Capacité des sources de puissance	102
A.4.3	Coordination des dispositifs de protection	102
A.4.4	Tensions transitoires et interruptions	103
A.4.5	Capacité de transfert des alimentations	103
A.4.6	Capacité de démarrage et de réaccélération du moteur	103
A.4.7	Mise à la terre du réseau	103
A.4.8	Capacité des équipements électriques	104
A.4.9	Perturbations électromagnétiques	104
A.4.10	Courant géomagnétique induit	104
A.4.11	Ferrorésonance	105
A.5	Critères de conception nucléaire en phase avant projet	105
A.5.1	Généralités	105
A.5.2	Fiabilité et disponibilité, critère de défaillance unique	106
A.5.3	Défaillances de cause commune (DCC) et modes communs de défaillance (MCD)	106
A.6	Analyse des dimensionnements	107
A.6.1	Généralités	107
A.6.2	Tension	107
A.6.3	Dimensionnement des sources internes de secours en CA de sûreté	109
A.6.4	Fréquence	109
A.6.5	Bases de données des consommateurs d'électricité et bilans de puissance	110
Annexe B (informative)	Directives pour les études analytiques	111
B.1	Méthodologie des études analytiques	111
B.1.1	Généralités	111
B.1.2	Processus	111
B.2	Exemple de niveau détaillé	113
B.2.1	Objet	113
B.2.2	Analyse et éléments de base	114
B.2.3	Données minimales exigées	114
B.2.4	Contribution de l'étude	114
Annexe C (informative)	Vérification des dimensionnements et spécification de l'équipement	116
Annexe D (informative)	Exemple de critères d'acceptation spécifiques à la centrale	119
Bibliographie		121

Figure A.1 – Entrées et processus de détermination des dimensionnements électriques spécifiques d'une centrale nucléaire de puissance et analyses de vérification 94

Figure A.2 – Relation entre le réseau électrique de la centrale, le réseau électrique externe et le réseau électrique interne d'une centrale nucléaire de puissance 95

Figure A.3 – Relation entre les alimentations importantes pour la sûreté, les alimentations de sûreté et l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes d'une centrale nucléaire de puissance 96

Figure A.4 – Bases de conception de la tension classique 107

Figure B.1 – Présentation des études analytiques 111

Figure B.2 – Phénomènes 112

Tableau C.1 – Analyses du système de puissance interne en courant alternatif.....	116
Tableau C.2 – Analyses du système en courant continu et du système en courant alternatif sans interruption.....	118

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE – ANALYSE DES SYSTÈMES D'ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62855 a été établie par le sous-comité 45A: Systèmes d'instrumentation, de contrôle-commande et électriques des installations nucléaires, du comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/1094/FDIS	45A/1100/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

INTRODUCTION

a) Contexte technique, questions importantes et structure de la présente norme

Le rôle principal du système d'alimentation électrique des auxiliaires est d'assurer le support qui permet de garantir le fonctionnement sûr d'une centrale nucléaire dans tous ses modes de fonctionnement ou états de tranches. Une partie du système d'alimentation électrique est essentielle pour la prise en charge à différents niveaux de tension (HTA et BT) des fonctions de sûreté nucléaire. Ce sous-ensemble est essentiel pour tous les états et les événements de la centrale nécessitant le refroidissement contrôlé de son réacteur. Un système d'alimentation électrique fiable est essentiel au maintien des alimentations de puissance, du contrôle commande et de l'instrumentation (surveillance) des fonctions de sûreté de la centrale. Il est requis en tant que fonction support pour le maintien des barrières qui empêchent les rejets radioactifs en cas d'accidents de dimensionnement ainsi que dans les conditions hors dimensionnement.

Les normes internationales et les codes nationaux de sûreté donnent les lignes directrices relatives aux exigences acceptables pour un fonctionnement sûr et fiable des systèmes de distribution électrique. La conformité à ces codes et normes de sûreté donne en général une garantie raisonnable que le fonctionnement et la capacité des systèmes électriques de la centrale nucléaire sont corrects.

Il convient d'établir des bases de conception et de dimensionnement des systèmes électriques de puissance d'une centrale nucléaire de production d'électricité (CNPE) prenant en compte des éléments suivants:

- les critères de conception nucléaire, l'approche de défense en profondeur, la classification de sûreté des systèmes, le dimensionnement aux conditions normales (DCN) et aux conditions hors dimensionnement (CHD),
- les exigences relatives aux limites de fonctionnement et de sûreté du réseau de transport, au code de réseau, ainsi qu'aux performances et limites de fonctionnement de la centrale,
- l'architecture et la spécification des systèmes électriques de puissance,
- le dimensionnement des principaux composants et systèmes électriques (par exemple: transformateurs principal (TP), de soutirage (TS) et auxiliaire (TA), appareillage de coupure, câbles, moteurs ainsi que les sources de puissance de secours en courant alternatif (CA) et en courant continu (CC)),
- les affections des charges au niveau des départs électriques et les bilans de puissance,
- les calculs de transit de puissance (Load Flow),
- la coordination des grandeurs électriques (tension, courant et courant de court-circuit),
- les exigences des systèmes supports utilisés en conditions normales,
- la vérification de la conception, y compris les analyses de vérification.

Un exemple d'éléments à prendre en compte dans les bases de conception et de dimensionnement des systèmes électriques de puissance est donné en Annexe A.

Des directives et des exemples de méthodes d'analyse sont détaillés en Annexe B. La relation entre les analyses et la vérification du dimensionnement ainsi que les spécifications des équipements est donnée en Annexe C. Un exemple de critère d'acceptation spécifique à un type de centrale (voir 5.8) est donné en Annexe D.

La norme est destinée à être utilisée par les exploitations des CNPE, les entités responsables de l'évaluation des systèmes et les concédants de licence (autorité de sûreté).

b) Positionnement de la norme dans la série de normes du SC 45A de l'IEC

L'IEC 62855 est un document IEC SC 45A de troisième niveau relatif à l'analyse des systèmes d'alimentation électrique.

La présente norme développe les recommandations établies dans le Guide de Sûreté de l'AIEA SSG-34 sur la conception des systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires de puissance.

La présente norme est en relation avec

- le document NG-T-3.8 de la série Energie Nucléaire de l'AIEA portant sur la fiabilité et les interfaces de la centrale avec le réseau de transport, et
- l'IEC 61513 établissant les exigences générales pour les systèmes d'I&C importants pour la sûreté utilisés dans les centrales nucléaires de puissance.

Pour plus de détails sur la structure de la série de normes du sous-comité 45A de l'IEC, voir le point d) de cette introduction.

c) Recommandations et limites relatives à l'application de la présente norme

Pour assurer la pertinence de la norme dans les années à venir, l'accent a été mis sur les questions de principe, plutôt que sur des technologies particulières.

d) Description de la structure de la série de normes du sous-comité 45A de l'IEC et relations avec d'autres documents de l'IEC et d'autres organisations (IAEA, ISO)

Les documents de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de l'IEC sont les normes IEC 61513 et IEC 63046¹. La norme IEC 61513 traite des exigences générales relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires. La norme IEC 63046 traite des exigences générales relatives aux systèmes d'alimentation électrique; elle couvre les systèmes d'alimentation électrique jusqu'à et y compris les alimentations des systèmes d'I&C. Les normes IEC 61513 et IEC 63046 doivent être considérées ensemble et au même niveau. Les normes IEC 61513 et IEC 63046 structurent la collection de normes du SC 45A de l'IEC et forment un cadre complet, cohérent et consistant établissant les exigences générales relatives aux systèmes d'I&C et électriques des centrales nucléaires de puissance.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font directement référence aux autres normes du SC 45A de l'IEC traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, la défense contre les défaillances de cause commune, la conception des salles de commande, compatibilité électromagnétique, la cybersécurité, les aspects logiciels et matériels relatifs aux systèmes programmés numériques, la coordination des exigences de sûreté et de sécurité et la gestion du vieillissement. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec les normes IEC 61513 et IEC 63046, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de l'IEC, qui ne sont généralement pas référencées directement par les normes IEC 61513 ou IEC 63046, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement, ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

¹ A l'étude. Stade au moment de la publication: IEC ANW 63046:2016.

Un quatrième niveau, qui est une extension de la collection de normes du SC 45A de l'IEC, correspond aux rapports techniques, qui ne sont pas des documents normatifs.

Les normes de la collection produite par le SC 45A de l'IEC sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté et de sécurité de haut niveau établis par les normes de sûreté de l'AIEA pertinentes pour les centrales nucléaires, ainsi qu'avec les documents pertinents de la collection de l'AIEA pour la sécurité nucléaire (NSS), en particulier avec le document d'exigences SSR-2/1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires, avec le guide de sûreté SSG-30 qui traite du classement de sûreté des structures, systèmes et composants des centrales nucléaires, avec le guide de sûreté SSG-39 qui traite de la conception de l'instrumentation et du contrôle-commande des centrales nucléaires, avec le guide de sûreté SSG-34 qui traite de la conception des systèmes d'alimentation électrique des centrales nucléaires, et avec le guide de mise en œuvre NSS 17 traitant de la sécurité informatique pour les installations nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées pour la sûreté et la sécurité dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

Les normes IEC 61513 et IEC 63046 ont adopté une présentation similaire à celle de l'IEC 61508, avec un cycle de vie d'ensemble et un cycle de vie des systèmes. Au niveau sûreté nucléaire, les normes IEC 61513 et IEC 63046 sont l'interprétation des exigences générales des parties 1, 2 et 4 de l'IEC 61508 pour le secteur nucléaire. Dans ce domaine, l'IEC 60880, l'IEC 62138 et l'IEC 62566 correspondent à la partie 3 de l'IEC 61508 pour le secteur nucléaire. Les normes IEC 61513 et IEC 63046 font référence aux normes ISO ainsi qu'aux documents AIEA GS-R-3 et AIEA GS-G-3.1 et AIEA GS-G-3.5 pour ce qui concerne l'assurance qualité. Au second niveau, la norme IEC 62645 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC portant sur la cybersécurité. Elle est élaborée sur principes pertinents de haut niveau des normes ISO/IEC 27001 et ISO/IEC 27002; elle les adapte et les complète pour qu'ils deviennent pertinents pour le secteur nucléaire; elle est coordonnée étroitement avec la norme IEC 62443. Au second niveau, la norme IEC 60964 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC portant sur les salles de commande, et la norme IEC 62342 est le document chapeau des normes du SC 45A de l'IEC portant sur la gestion du vieillissement.

NOTE 1 Il est fait l'hypothèse que pour la conception des systèmes d'I&C qui sont supports de fonctions de sûreté conventionnelle (par exemple pour garantir la sécurité des travailleurs, la protection des biens, la prévention contre les risques chimiques, la prévention contre les risques liés au procédé énergétique), on applique des normes nationales ou internationales.

NOTE 2 Le domaine de l'IEC SC 45A a été étendu en 2013 pour couvrir les systèmes électriques. En 2014 et en 2015 des discussions ont eu lieu au sein de l'IEC SC 45A pour décider de la façon et de l'endroit pour établir les exigences générales portant sur la conception des systèmes électriques. Les experts de l'IEC SC 45A ont recommandé que pour établir des exigences générales pour les systèmes électriques une norme indépendante soit développée au même niveau que l'IEC 61513. Le projet IEC 63046 lancé pour atteindre cet objectif. Lorsque la norme IEC 63046 sera publiée la présente NOTE 2 de l'introduction ne sera plus valable.

CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – SYSTÈMES D’ALIMENTATION ÉLECTRIQUE – ANALYSE DES SYSTÈMES D’ALIMENTATION ÉLECTRIQUE

1 Domaine d'application

L'IEC 62855 donne les directives en matière d'ingénierie électrotechnique pour l'analyse des systèmes électriques de puissance en courant alternatif (CA) et en courant continu (CC) des centrales nucléaires (CNPE). Il s'agit de démontrer que les sources de puissance et le système de distribution électrique peuvent garantir le fonctionnement et l'arrêt sûr de la centrale, de manière à atteindre un état contrôlé après un incident de fonctionnement prévu, puis un état sûr.

Les études analytiques présentées dans cette norme assurent que le dimensionnement et la conception des systèmes électriques satisfont aux exigences fonctionnelles conformément aux conditions issues des événements de dimensionnement applicables. Les études garantissent que les systèmes électriques sont en capacités de remplir (en tant que fonctions supports) les fonctions de sûreté dans toutes les conditions de fonctionnement exigées.

NOTE Les fonctions de sûreté sont décrites dans la norme de sûreté de l'AIEA SSR-2/1 établissant les prescriptions de sûreté particulières pour la sûreté des centrales nucléaires lors de la conception.

Les études analytiques valident la robustesse ainsi que la suffisance des marges de conception et démontrent l'aptitude des systèmes électriques à assurer leurs missions dans les conditions de fonctionnement normales, anormales, dégradées et accidentelles de la centrale.

Les analyses sont aussi utilisées pour vérifier que les systèmes d'alimentation électrique peuvent supporter des perturbations mineures et que les conséquences de ces perturbations ou défaillances majeures n'ont aucun impact sur l'aptitude des systèmes électriques à garantir l'arrêt sûr de la centrale et à la maintenir dans les conditions d'arrêt.

Les analyses sont réalisées avec un ou plusieurs des moyens suivants:

- outils de simulation (logiciels et matériels) qui ont été vérifiés et validés;
- calculs manuels;
- essais réels.

Le présent document donne les lignes directrices sur les types d'analyses nécessaires pour démontrer que le réseau électrique de la centrale peut exécuter les fonctions de sûreté exigées. Le présent document ne donne pas de détails particuliers quant à la manière dont il convient de mener l'analyse.

Le présent document ne couvre pas les régulations et protections numériques (le contrôle-commande destinés aux redresseurs, aux onduleurs, aux séquenceurs et aux dispositifs de protection électriques) utilisés dans les systèmes électriques de puissance. L'IEC 61513 donne des recommandations qui s'appliquent aux dispositifs de commande électronique et aux éléments de protection des systèmes d'alimentation électrique.

Le présent document ne contient pas d'exigences liées à l'environnement (c'est-à-dire la température, l'humidité, etc.) ou aux événements extérieurs (séisme, inondation, incendie, impulsion électromagnétique à haute énergie, etc.) qui peuvent avoir un impact sur les exigences de dimensionnement ou de protection de l'équipement. La foudre et les orages géomagnétiques sont inclus.

Le présent document ne couvre pas les exigences supplémentaires ou spécifiques d'un système de puissance autonome (par exemple: les alimentations électriques pour les contrôles d'accès des CNPE). Les articles correspondants du présent document peuvent faire office de directives pour ce type de système.

La prise en considération de la redondance à la conception peut permettre d'augmenter la disponibilité des systèmes d'alimentation électrique destinés aux équipements critiques de la centrale. Les études probabilistes de sûreté (EPS) sont une méthode d'évaluation de la disponibilité d'un système et d'optimisation de la conception qui permet d'avoir une disponibilité élevée. Cette norme n'aborde pas l'amélioration de la fiabilité des systèmes d'alimentation électrique d'une centrale à l'aide de schémas statistiques ou de schémas divers et redondants.

Les exigences relatives à la protection du personnel concerné par l'installation, la maintenance et le fonctionnement des systèmes électriques, ainsi que les exigences de sécurité générale du personnel sont hors du domaine d'application de la norme. Des lignes directrices générales sur la protection des équipements contre la foudre sont données dans les articles correspondants du présent document.

Le présent document a pour objectif d'être utilisé:

- pour vérifier la conception des nouvelles centrales nucléaires de puissance,
- pour démontrer la pertinence et l'impact de modifications majeures apportées aux systèmes électriques des CNPE en exploitation,
- lorsque les centrales existantes font l'objet d'une exigence d'évaluation et d'établissement des limites ainsi que des contraintes de fonctionnement.

Les parties correspondantes du présent document peuvent faire office de directives pour le démantèlement des centrales.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

Ce document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

source d'ultime secours en CA

source d'alimentation électrique réservée à l'alimentation des systèmes électriques classés de sûreté de la centrale en cas de perte totale des sources non secourues par batteries (perte totale des alimentations électriques en courant alternatif) et toutes autres conditions hors dimensionnement

Note 1 à l'article: La Figure A.2 donne une représentation graphique.

3.2

fonctionnement en régime îloté

régime d'exploitation d'une centrale nucléaire non raccordée au réseau, et dont la puissance produite ne sert qu'à alimenter ses propres auxiliaires électriques

3.3

conditions hors dimensionnement

conditions accidentelles hypothétiques qui ne sont pas prises en compte dans les accidents de dimensionnement mais qui le sont dans le processus de conception de l'installation conformément aux méthodes de type "meilleure estimation", et dans lesquelles les rejets de matières radioactives sont maintenus dans des limites acceptables. Les conditions hors dimensionnement comprennent les conditions correspondant aux événements sans dégradation significative du combustible et les conditions avec fusion du cœur

[SOURCE: Prescriptions de sûreté particulières de l'AIEA, SSR-2/1:2012, révisé par DS462]

3.4

perte totale des sources d'alimentation externes

perte simultanée de toutes les sources électriques externes sur tous les tableaux de sûreté de la centrale, exigeant le démarrage des sources internes de secours en CA puis la réalimentation des tableaux de sûreté (séquence de reprise diesel)

Note 1 à l'article: Les systèmes CC et les tableaux de sûreté des systèmes CA sans interruption ne sont pas inclus.

3.5

bilan de puissance

puissances active et réactive en régime établi utilisées par les systèmes électriques

Note 1 à l'article: Le présent document fournit les bases pour le dimensionnement des équipements électriques (les tableaux électriques, les câbles, les sources de puissance, les transformateurs, les batteries, les redresseurs/onduleurs, etc.).

3.6

alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes

alimentation privilégiée des systèmes électriques classés de sûreté à partir du réseau de transport, composée du poste d'interconnexion, des liaisons entre la centrale et le réseau, du GTA, du système de distribution jusqu'aux équipements électriques classés de sûreté

Note 1 à l'article: Certaines parties de l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes ne font pas partie de la classification de sûreté.

3.7

source interne de secours en CA

source de puissance pouvant fournir, en cas de perte des sources externes et du GTA, la puissance nécessaire à l'alimentation des auxiliaires classés de sûreté lors d'incidents de fonctionnement prévus ainsi que lors de conditions accidentelles

3.8

perte totale des alimentations électriques en courant alternatif

situation de perte totale des alimentations électrique de la centrale en CA comprenant la perte des sources externes, du GTA et des sources internes de secours en CA, ces sources importantes pour la sûreté jusqu'au jeux de barres principaux et secondaires

Note 1 à l'article: Les alimentations CC et les alimentations CA sans interruption peuvent être disponibles tant que les batteries peuvent fournir la charge.

Note 2 à l'article: Des alimentations d'ultime secours en CA sont disponibles.

3.9

taux de distorsion harmonique totale

rapport de la valeur efficace du résidu harmonique d'une grandeur alternative à la valeur efficace de la composante fondamentale de cette grandeur

[SOURCE: 60050-551:1998, 17-06]

3.10

gestionnaire de réseau de transport

entité chargée de fournir et de gérer les réseaux de transport et de répartition d'électricité et d'assurer la sûreté du système avec un niveau élevé de qualité et de fiabilité

4 Symboles et abréviations

CA	courant alternatif
IFP	incident de fonctionnement prévu
DCC	défaillance de cause commune
MCD	mode commun de défaillance
ADD	accident de dimensionnement
DCN	dimensionnement aux conditions normales
CC	courant continu
CHD	conditions hors dimensionnement
CEM	compatibilité électromagnétique
PTAE	perte totale des sources d'alimentation externes
CNPE	centrale nucléaire de production d'électricité
APA	alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes
EPS	étude probabiliste de sûreté
AQ	assurance qualité
SSC	structures, systèmes et composants
TDH	taux de distorsion harmonique totale
GRT	gestionnaire de réseau de transport
ASI	alimentation sans interruption
V&V	vérification et validation

5 Analyses du système d'alimentation électrique

5.1 Etudes classiques

5.1.1 Analyses de stabilité transitoire

Les perturbations du réseau (par exemple: un court-circuit sur une ligne de transport, la perte soudaine de production ou la perte d'une charge importante) peuvent être à l'origine d'une instabilité. Si ces perturbations ne sont pas résolues rapidement, l'instabilité peut à terme donner lieu à une perte partielle ou totale de l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes.

Les études de stabilité transitoires analysent le comportement transitoire du GTA de la centrale après une perturbation sur le réseau électrique au voisinage de la centrale. L'étude détermine l'aptitude du GTA à rester connecté au réseau et analyse les effets du transitoire sur la source d'alimentation des auxiliaires.

5.1.2 Etudes de transit de puissance

Les différents bilans de puissance sont des données d'entrée permettant de procéder aux études de transit de puissance. Des études de transit de puissance sont réalisées pour déterminer le fonctionnement en régime établi des systèmes électriques. L'étude permet d'établir

- la chute de tension sur chaque liaison d'alimentation,

- la tension des différents tableaux,
- la tension aux bornes de la charge, et
- le transit de puissance dans toutes les liaisons (lignes, câbles, transformateurs).

L'étude permet de déterminer si, dans toutes les conditions définies, les tensions des systèmes électriques restent dans les limites spécifiées.

5.1.3 Etudes transitoires et dynamiques

Les études transitoires déterminent la tension, le courant, la puissance et la fréquence d'un système d'alimentation électrique en cas de défaut ou de perturbation dans un réseau électrique. Cela peut être dû à des événements tels que le démarrage et la reprise de la charge à partir de sources de secours, le démarrage de gros moteurs ainsi que des défaillances de la régulation de tension du groupe turbo-alternateur (GTA).

Pendant et après ce type de perturbation, ces études dynamiques

- étudient le comportement des machines tournantes et des équipements électriques, et
- vérifient l'opérabilité des machines tournantes et des équipements électriques.

5.1.4 Etudes de court-circuit

Des études de court-circuit doivent établir la puissance de court-circuit maximale disponible en chaque point (notamment les tableaux HTA et BT) du système de la distribution électrique et garantir la pertinence des caractéristiques assignées existantes et nouvelles des équipements. Des études de court-circuit doivent également déterminer les courants de court-circuit minimaux afin de vérifier la sensibilité du système de protection.

5.1.5 Coordination et sélectivité de la protection électrique

Le système de protection électrique détecte les défauts électriques afin de limiter les dommages subis par les équipements. Les dispositifs de protection électrique limitent les dangers sur le personnel, les équipements et la centrale en isolant la partie en défaut du réseau électrique. Cela permet d'assurer la continuité et la disponibilité de l'alimentation ainsi que l'équilibre des puissances au sein des systèmes électriques.

Une étude de coordination détermine le choix et le réglage de tous les relais de protection entre la charge et son alimentation en amont. Lors du choix ou du réglage de ces relais de protection, les durées de fonctionnement de tous les relais sont comparées en présence de variations des niveaux de courant, de tension et de fréquence. L'objectif est de concevoir pour les systèmes électriques un plan de protection coordonné et sélectif.

5.1.6 Etudes de protection contre la foudre

Les systèmes de protection contre la foudre permettent de limiter les conséquences inhérentes à un coup de foudre direct. Les études de protection contre la foudre déterminent l'amplitude des tensions et des courants après un coup de foudre dans le but de vérifier les capacités des dispositifs et des équipements de protection.

5.2 Applicabilité des analyses aux différents états de la centrale

5.2.1 Généralités

Pendant le fonctionnement normal de la centrale, les tableaux de sûreté sont en général alimentés à partir de l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes par des sources électriques non classées de sûreté et branchés sur des bus non classés de sûreté. Pour tous les modes de fonctionnement et d'arrêt de la centrale, il convient que les analyses de vérification des systèmes d'alimentation électrique couvrent donc toutes les parties

interdépendantes de ces systèmes électriques, y compris le réseau, le GTA et les systèmes non classés de sûreté.

5.2.2 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Dans le cadre du processus de vérification de la conception, il convient de réaliser ou de mettre à jour les analyses suivantes en cas de modifications futures d'une centrale.
 - 1) Les analyses en régime établi et transitoire visant à démontrer que les systèmes électriques
 - peuvent alimenter les systèmes de sûreté de la centrale afin qu'ils assurent les fonctions prévues dans les conditions de charge les plus défavorables pour la centrale et avec la tension et la fréquence minimales admises,
 - satisfont aux exigences de dimensionnement des incidents prévus et des conditions accidentelles,
 - incluent des mesures adaptées pour les conditions hors dimensionnement (par exemple: la perte totale des alimentations électriques en courant alternatif), et
 - incluent les mesures adaptées pour les événements électriques extérieurs qui peuvent dégrader les sources d'alimentation internes et externes.
 - 2) La démonstration que les systèmes dont le classement de sûreté est plus élevé sont correctement protégés contre l'influence des systèmes dont le classement de sûreté est inférieur, par exemple
 - la propagation des défauts,
 - l'initiation de défaillances électriques de cause commune, et
 - la surcharge.
 - 3) La démonstration que les sources externes destinées à alimenter les auxiliaires de sûreté satisfont aux exigences de fiabilité et de disponibilité. Il convient également de procéder à cette démonstration après toutes modifications apportées aux installations de transport et de production qui peuvent avoir un impact sur la connexion entre la centrale et le réseau.
 - 4) La démonstration que les sources externes ont la capacité d'alimenter dans de bonnes conditions (respect des exigences) les auxiliaires de sûreté en cas de
 - perte de la centrale nucléaire,
 - perte de la tranche la plus puissante connectée au réseau,
 - perte de la liaison de transport ou de l'interconnexion la plus importante, et
 - perte de la charge la plus importante.
- b) Il convient que les analyses couvrent tous les modes de fonctionnement (ou états de tranche) et événements définis de la centrale, par exemple:
 - 5) le fonctionnement normal:
 - le démarrage;
 - le fonctionnement en puissance;
 - la mise à l'arrêt;
 - le fonctionnement à l'arrêt;
 - l'indisponibilité;
 - le rechargement du combustible;
 - la maintenance;
 - les essais.
 - 6) les incidents de fonctionnement prévus:

- le déclenchement de tranche/l'ilotage à pleine puissance;
 - la perte des sources externes;
 - la perte d'alimentation des auxiliaires via les sources externes.
- 7) les accidents de dimensionnement
- 8) les conditions hors dimensionnement:
- la perte totale des alimentations électriques en courant alternatif;
 - la perte prolongée des alimentations électriques CA.
- c) Il convient de procéder aux analyses de capacité et d'aptitude des sources externes conjointement avec le GRT.

5.3 Choix, vérification et validation des outils d'analyse

5.3.1 Généralités

Il convient d'adopter une approche méthodique pour s'assurer que les simulations reproduisent avec précision les exigences déterminées à partir des conditions préalables, et que les résultats peuvent être validés indépendamment à partir des mesures réelles sur le terrain ou par d'autres méthodes diverses et variées.

Le domaine d'application de l'étude à réaliser, les phénomènes à modéliser et la complexité du réseau à analyser déterminent le type de logiciel qu'il convient d'utiliser pour procéder aux analyses. Il convient que le logiciel offre la possibilité de modéliser les conditions et défauts dissymétriques. La majorité des logiciels disponibles dans le commerce étant développés pour les analyses des systèmes électriques de grands complexes industriels, ils auront la capacité de simuler tous les principaux tableaux et charges d'une centrale et de procéder à l'ensemble des analyses minimales présentées par le concepteur.

Le présent document ne recommande pas de logiciel particulier.

5.3.2 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Pour tout logiciel utilisé afin d'établir le dimensionnement des systèmes électriques, il convient de prendre en considération les exigences suivantes.
- Il convient d'établir et de maintenir un processus d'assurance qualité auditable conforme aux normes internationales.
 - Il convient que le système logiciel ait fait l'objet d'un processus de vérification et de validation (V&V) afin de s'assurer qu'il satisfait aux spécifications et qu'il correspond à l'utilisation prévue. Il convient également de mettre en œuvre ce processus V&V pour les études de simulation. Cette approche exige:
 - la rédaction d'un rapport des activités V&V,
 - la définition d'un domaine validé (domaine dans lequel la différence entre les résultats des outils et ceux d'autres références ou essais validés est considérée comme étant satisfaisante pour son utilisation prévue),
 - un archivage approprié de la documentation.
 - Il convient de fournir une description détaillée et formelle de l'outil de simulation (numéro de version du logiciel, configuration utilisateur, autres réglages et paramètres).
- b) Pour réaliser la vérification et la validation, comprenant la vérification fonctionnelle, des logiciels spécifiques qui seront utilisés, il convient que les éléments suivants soient respectés:
- il convient que la vérification fonctionnelle démontre que l'architecture du logiciel ne contient pas d'erreurs;

- il convient de démontrer la vérification fonctionnelle du logiciel au travers de la certification ou par la production d'un audit d'assurance qualité. Il convient de référencer intégralement les documents utilisés pour la validation fonctionnelle;
- il convient que la validation fonctionnelle permette à l'utilisateur de s'assurer que les équations représentent correctement les phénomènes physiques étudiés dans la plage de fonctionnement définie du logiciel;
- le processus de vérification et de validation peut être réalisé en comparant les résultats de la simulation avec
 - les résultats d'essais, ou
 - les résultats obtenus avec d'autres outils de simulation validés d'un point de vue fonctionnel, par un calcul à la main, par l'expérience passée et par des travaux analogues, complétés le cas échéant par un retour d'expérience et une évaluation.

NOTE 1 Cela peut faire partie du programme d'AQ.

- c) Pour chaque changement significatif du logiciel de simulation ou de son environnement qu'il est prévu d'utiliser, il convient que l'utilisateur procède à une analyse de l'impact de cette modification. Si les résultats d'essai ou les processus de vérification et de validation fonctionnelle aboutissent, il convient d'utiliser la nouvelle version pour remplacer l'ancienne version, qu'il convient d'archiver.

NOTE 2 Cela fait généralement partie de la gestion de configuration.

- d) Pour assurer la bonne utilisation d'un logiciel qualifié, il convient de rédiger un guide utilisateur. Il convient que ce guide permette aux différents utilisateurs
- d'identifier
 - les différents types d'études qu'on peut réaliser avec le logiciel,
 - les modèles dont le domaine de validité est cohérent avec les phénomènes physiques, et
 - les données d'entrée nécessaires,
 - de transformer les données d'entrée en un format reconnu par le logiciel (à l'aide de feuilles de calcul sous AQ),
 - de créer les fichiers nécessaires à la réalisation de la simulation, et
 - d'obtenir des résultats cohérents.
- e) Il convient que le personnel qui réalise les études avec le logiciel puisse être en mesure de démontrer qu'il a suivi une formation adaptée et pertinente et qu'il détient les qualifications correspondantes.

5.4 Modèle de système d'alimentation électrique

Il convient d'adapter le modèle aux études particulières et d'effectuer, par exemple, les actions suivantes.

- Il convient que les analyses simulent les principaux tableaux et auxiliaires CA, les câbles, les transformateurs et tous les dispositifs de limitation de courant. Pour les réseaux importants, une technique classique consiste à regrouper les charges présentant des caractéristiques similaires (charge tournante, charge résistive, par exemple) et à simuler une charge "équivalente" censée avoir un impact "équivalent" à celui des charges individuelles.
- Pour la stabilité transitoire, il convient de modéliser en détail le GTA avec ses régulations (tension et vitesse), le transformateur élévateur (TP), les gros moteurs et le réseau de transport à proximité de la centrale. En général, le réseau de transport peut être modélisé sous la forme d'un système équivalent dont la simplification repose sur une justification technique.

Il convient d'identifier clairement et de valider les hypothèses retenues pour élaborer le modèle physique utilisé dans l'analyse, et d'identifier les contraintes relatives au modèle (domaine de validité).

5.5 Connexion de la centrale au réseau

Il convient de réaliser des études analytiques relatives aux sources externes. La conception de la centrale doit tenir compte de ces analyses et évaluer leurs impacts sur les systèmes électriques internes.

Ces études ont pour objet de prendre en considération toutes les configurations (sources externes ou internes) utilisées pour alimenter les auxiliaires ainsi que tous les états de la tranche afin d'évaluer la conception et le fonctionnement des alimentations (sources) externes de la centrale dans toutes les conditions.

Il convient que les études évaluent de manière exhaustive la capacité de la source de puissance externe à satisfaire aux exigences de conception de la centrale. Il convient en outre de réviser périodiquement les études afin de s'assurer que toute modification, tant des sources internes qu'externes, est correctement évaluée pour connaître son impact sur le système de distribution électrique de la centrale.

Il convient de procéder à une analyse afin de vérifier que les écarts maximal et minimal de tension et de fréquence restent dans les limites des exigences de conception définies pour la centrale.

5.6 Mise à jour des analyses des systèmes électriques

Il convient de confirmer la conformité aux analyses existantes ou de refaire les analyses

- en cas de remplacements et/ou de modifications majeur(e)s du système d'alimentation électrique (interne ou externe), et
- en cas de renouvellement de licence ou d'examen périodique de réévaluation de sûreté.

Il convient de réaliser des études de démarrage de moteur lors de modifications ultérieures de la centrale, y compris lors

- de la réaffectation des charges de la centrale, et
- du remplacement des moteurs (qui peuvent présenter des caractéristiques de fonctionnement différentes) ou des générateurs.

5.7 Conditions préalables à la réalisation des études électriques

Il convient de disposer des paramètres suivants avant de commencer les études:

- les caractéristiques assignées des équipements électriques,
- les différents bilans de puissance,
- tous les modes de fonctionnement de la centrale et le cas le plus pénalisant qui doit être identifié.

Afin d'établir les conditions de fonctionnement les plus défavorables, il convient de considérer différents scénarios en prenant en considération la combinaison des paramètres suivants:

- le fonctionnement à partir de sources électriques internes ou externes;
- les puissances de court-circuit maximale et minimale;
- les plages de tension maximale et minimale;
- les plages de fréquence maximale et minimale;
- tous les modes de fonctionnement (ou états de tranche) de la centrale;
- la production maximale et minimale de puissance de la centrale;
- les consommations maximale et minimale des auxiliaires en prenant en considération tous les états de la tranche et les conditions d'environnement;

- les impédances maximale et minimale des systèmes électriques;
- les modes de fonctionnement du fait de défaillances uniques d'équipements électriques;
- le transfert des charges entre les sources de puissance.

5.8 Critères d'acceptation

Le présent document identifie les critères d'acceptation.

Les critères d'acceptation sont issus des bases de conception de la centrale. Le non-respect des critères d'acceptation doit être justifié, cette justification doit montrer qu'il n'y a aucun impact négatif sur la sûreté nucléaire. Sinon, une modification de la conception doit être apportée.

6 Analyses de stabilité transitoire des sources d'alimentation externes

6.1 Généralités

L'Article 6 concerne le réseau et le GTA (interface centrale/réseau).

Lorsque le réseau de transport est soumis à de fortes perturbations, le retour à un point de fonctionnement stable est essentiel au fonctionnement fiable et sûr d'une tranche. En cas de perturbations ne donnant pas lieu à une perte de synchronisme du GTA, il convient que les analyses de la stabilité transitoire du réseau établissent les cas limites permettant à la centrale de les supporter en continuant à produire et en restant connectée au réseau. Il convient de procéder à ces analyses conjointement avec le GRT pour établir les paramètres tels que la durée d'élimination d'un défaut.

6.2 Recommandation

Il convient de réaliser des analyses de stabilité transitoire afin de simuler les conditions de fonctionnement du réseau de transport et de définir l'impact sur la stabilité de la centrale.

6.3 Critères d'acceptation

Le GTA doit rester connecté au réseau et ne pas perdre le synchronisme sur les défauts éliminés par les dispositifs de protection du réseau de transport. Le GTA doit satisfaire intégralement aux exigences relatives au code de réseau du GRT, sauf si des écarts sont convenus avec le GRT. Les résultats de l'analyse doivent permettre de vérifier que le réseau de distribution électrique interne et les auxiliaires de la centrale peuvent supporter les transitoires issus du réseau de transport conformément aux exigences du code de réseau du GRT.

7 Analyses des systèmes électriques internes en courant alternatif

7.1 Généralités

Cet article s'applique aux systèmes électriques en courant alternatif HTA et BT (non fournis par des onduleurs ou des ASI) comprenant les sources internes de secours en CA et les sources d'ultime secours en CA.

7.2 Etudes de transit de puissance

7.2.1 Généralités

La réalisation d'une étude de transit de puissance mettant en œuvre plusieurs scénarios avec différentes configurations de la centrale et différentes sources de production (voir le Paragraphe 5.7) donne l'assurance que la conception du système d'alimentation est adaptée afin de satisfaire aux critères de performances définis.

7.2.2 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent pour les études de transit de puissance.

- a) Il convient de réaliser des études de transit de puissance des systèmes électriques CA en simulant les sources électriques actuelles en régime établi dans les conditions normales, anormales et d'urgence. Il s'agit d'évaluer la tension des tableaux, la tension au niveau des bornes des machines tournantes, le courant et les transits de puissance.
- b) Il convient que la centrale nucléaire soit en capacité de supporter les plages de tensions définies par le GRT dans le code réseau, tout en continuant de produire, en permanence ou sur une période limitée. Lorsque la tension du réseau de transport est en limite haute et basse, il convient d'évaluer les conséquences afin de connaître leur impact sur les équipements électriques de la centrale au cours des différents modes de fonctionnement, et en cas de changeurs de prise en charge, il convient de les prendre en compte dans l'étude.
- c) Lorsque la tranche est déconnectée du réseau (c'est-à-dire dans les modes d'arrêt et de démarrage), il convient d'évaluer la plage de tension en chaque point du réseau de distribution électrique interne.
- d) Il convient, a minima, de prendre en considération les cas suivants dans les études de transit de puissance:
 - Les conditions de fonctionnement extrêmes de chargement maximal et minimal du réseau électrique interne pour vérifier l'adéquation des performances des sources d'alimentation interne et externe. Il convient d'inclure les conditions correspondant au fonctionnement tranche en puissance et aux états d'arrêt de la centrale.
 - Les conditions non prévues, telles que les indisponibilités des lignes, des transformateurs et des sources externes, combinées à une consommation minimale et maximale des systèmes d'alimentation électrique de la centrale. Il convient d'y inclure également les équipements de la centrale nécessaires à la mitigation des conséquences d'un accident.

NOTE Lors de l'optimisation de la conception, des études peuvent être menées, en prenant en considération les marges de sûreté, sur des paramètres de la centrale tels que:

- les prises et impédances de transformateur,
- les limites d'excitation de l'alternateur,
- la compensation de la puissance réactive,
- le dimensionnement des câbles.

7.2.3 Exigence d'acceptation

Les résultats des transits de puissance doivent être cohérents avec

- a) la capacité de transit de puissance des différents équipements électriques (y compris les marges), et
- b) la plage de tension admise pour le fonctionnement de tous les équipements électriques.

7.3 Etudes transitoires

7.3.1 Généralités

Les études transitoires des équipement CA permettent d'évaluer les différents tableaux d'amplitude et la phase de la tension, le courant et la fréquence après des perturbations dans le système (par exemple: un défaut électrique ou la perte accidentelle d'un élément critique).

7.3.2 Conditions de défaut

7.3.2.1 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent pour les études de transitoires:

- a) Après un événement externe ou interne et pour tous les modes de fonctionnement de la centrale, il convient d'examiner les transitoires de tension et de fréquence en régime établi au niveau des tableaux internes. De plus, il convient de prendre en considération les déphasages qui peuvent avoir un impact sur les charges connectées ainsi que sur leurs circuits de commande.

NOTE Un déphasage est une variation de la différence de phase entre (au moins) deux grandeurs.

Il convient de considérer les événements courants suivants:

- les événements du réseau de transport, tels que les courts-circuits et les défauts à la terre éliminés par la protection principale ou la protection de secours,
- les courts-circuits et les défauts à la terre sur le GTA, le transformateur principal (TP) ou le transformateur de soutirage (TS),
- les courts-circuits et les défauts à la terre sur la distribution électrique interne (il convient de réaliser des études de sensibilité pour identifier le ou les cas limites), et
- les variations de fréquence.

Notons que cette liste n'est pas exhaustive, des études de défaut supplémentaires peuvent être nécessaires selon les critères de conception spécifiques de la centrale.

- b) Il convient d'analyser l'impact des défauts symétriques et dissymétriques sur l'alimentation CA des équipements électriques (par exemple: moteurs, redresseurs et onduleurs). Il convient d'inclure les défauts internes et externes et de prendre en considération les effets de la tension de rétablissement. Il convient de valider la pertinence du plan de protection pour détecter et éliminer les plages de fonctionnement inacceptables pour l'alimentation électrique.
- c) Pour les perturbations de la distribution électrique qui provoquent le déclenchement ou l'isolement d'un équipement de sûreté, il convient d'analyser la durée de redémarrage ou de réaccélération des gros moteurs afin de s'assurer que le système de protection ne se met pas en fonction pour empêcher le déclenchement automatique des équipements classés de sûreté.

7.3.2.2 Exigences d'acceptation

Les études de transitoires doivent vérifier les points suivants.

- a) Les conditions de fonctionnement inacceptables pour la distribution électrique dues à des perturbations électriques doivent être détectées et éliminées par le système de protection de manière sélective et dans un délai opportun.

Si une perturbation du système donne lieu à une perte de source de puissance, la séquence des événements relative au transfert vers une/des source(s) de puissance alternative(s) doit être évaluée. Cela permettra de garantir le non-dépassement des limites de temps pour le fonctionnement des systèmes de mitigation dans les analyses d'accident.

EXEMPLE En cas de perte d'un système de puissance externe, le passage en mode de régime îloté ou vers d'autres sources externes ou vers la source de puissance interne de secours est validé. Cela permettra de s'assurer que la durée totale de mise en service et de fonctionnement des systèmes de sûreté pour l'atténuation des événements de dimensionnement se trouve dans les limites acceptables.

- b) La fréquence, le courant et la tension des systèmes d'alimentation électrique de la centrale doivent être conformes aux spécifications et aux dimensionnements des équipements (y compris la coordination de l'isolement). L'appareillage de coupure qui doit fonctionner pour assurer la protection ne doit pas dépasser son pouvoir de coupure assigné.

7.3.3 Etudes de basculement de source

7.3.3.1 Généralités

Un basculement de source peut être initié par des perturbations du réseau de transport ou de la centrale, la protection contre la défaillance d'un disjoncteur ou une action de l'opérateur.

7.3.3.2 Recommandation

Il convient d'analyser les basculements de sources dans le cadre des études transitoires.

7.3.3.3 Critères d'acceptation

Les études de basculement de source doivent vérifier que

- a) la tension résiduelle observée lors d'un basculement de source lent doit être suffisamment faible pour exclure les problèmes de tension aux bornes des auxiliaires tournants,
- b) la tension aux bornes des auxiliaires qui doivent démarrer ou redémarrer en même temps (en particulier les moteurs asynchrones) doit être suffisante pour permettre l'accélération de tous les auxiliaires durant toute la phase de basculement,
- c) la durée de démarrage et/ou d'accélération des auxiliaires (par exemple: les grosses pompes à injection) doit satisfaire aux exigences de la sûreté nucléaire issues de l'analyse d'accidents et répondre aux besoins opérationnels,
- d) les caractéristiques de fonctionnement des dispositifs de protection (par exemple: relais à maximum de courant ou relais à minimum de tension) ne doivent pas être à l'origine de déclenchements intempestifs pendant le fonctionnement le moins favorable du réseau électrique, et
- e) après le démarrage et le redémarrage, tous les équipements électriques doivent fonctionner dans les plages de tensions et de fréquences admises.

7.3.4 Etudes de démarrage et de réaccélération du moteur

7.3.4.1 Généralités

Le courant de démarrage des moteurs (en particulier des gros moteurs) donne lieu à une chute de tension importante aux bornes des équipements (ainsi que dans les tableaux et les transformateurs). Cela peut conduire à l'échec du démarrage d'un moteur à cause d'un couple de démarrage trop faible ou au décrochage des autres moteurs déjà en service. Il convient que les études de démarrage des moteurs prennent en considération les conditions les plus défavorables de puissances de la source et de consommation des auxiliaires.

7.3.4.2 Recommandations

Les recommandations s'appliquent pour les études de démarrage et de réaccélération de moteur.

- a) Il convient de réaliser des études de démarrage du moteur dans le cadre des études transitoires. Il convient que ces études couvrent l'ensemble du périmètre des scénarios possibles.
- b) Après un basculement de source ou un creux de tension, il convient d'analyser les profils de courant et de tension des systèmes électriques ainsi que la chute de tension correspondante dans les transformateurs et les câbles.

7.3.4.3 Critères d'acceptation

Les études de démarrage et de réaccélération du moteur doivent vérifier les points suivants.

- a) Le démarrage ou la réaccélération de tous les moteurs asynchrones ne doit pas provoquer
 - le calage du moteur asynchrone durant sa phase de démarrage,
 - le décrochage des autres moteurs asynchrones déjà en service,
 - le basculement vers la source d'alimentation externe, et
 - le démarrage des sources internes de secours en CA.
- b) Les tensions aux bornes des moteurs asynchrones démarrés ou redémarrés doivent satisfaire aux exigences des spécifications techniques de l'équipement (en particulier la tension et le temps de démarrage).

- c) La durée de démarrage des moteurs asynchrones dans le cas le plus défavorable prévu (voir 5.7) doit satisfaire :
 - aux critères établis dans les analyses de sûreté nucléaire,
 - aux contraintes opérationnelles, et
 - aux seuils de réglage du système de protection.
- d) Après le démarrage des moteurs, la distribution électrique doit fonctionner dans les plages de tension et de fréquence admissibles.

7.3.5 Fonctionnement en régime îloté

7.3.5.1 Généralités

Certaines centrales peuvent fonctionner en régime îloté, c'est-à-dire produire de l'énergie électrique uniquement pour ses propres besoins. L'initiateur peut être un défaut sur le réseau de transport ou dans le poste d'interconnexion. Le transitoire d'îlotage provoquera des variations de tension et de fréquence aux bornes du GTA ainsi qu'au sein de la distribution électrique interne.

7.3.5.2 Recommandations

Il convient d'étudier l'impact sur les équipements électriques internes des variations de tension et de fréquence. Les équipements électroniques (par exemple: les redresseurs et les onduleurs) qui ne sont pas conçus pour cette application se sont révélés sensibles aux variations, qui sont normales dans une centrale. Il convient également d'étudier l'impact de ces variations sur les dispositifs de protection.

7.3.5.3 Critères d'acceptation

L'étude doit vérifier les points suivants.

- a) Durant et après l'îlotage, la fréquence et la tension aux bornes des équipements électriques doivent satisfaire aux exigences des spécifications et aux dimensionnements des équipements.
- b) Le passage en mode de fonctionnement en régime îloté ne doit pas donner lieu
 - au décrochage des moteurs,
 - à un basculement de source, et
 - au démarrage des sources internes de secours en CA.

7.3.6 Perturbations de tension

7.3.6.1 Généralités

Une tension dégradée, une tension déséquilibrée (perte de phase, par exemple), des creux de tension et des coupures de tension sont autant d'exemples de perturbations de tension.

Les perturbations de tension peuvent provoquer une défaillance de cause commune de charges connectées redondantes.

7.3.6.2 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent pour les études de perturbations de tension.

- a) Il convient d'étudier les perturbations de tension dans le cadre des analyses transitoires et d'utiliser les résultats pour les études de coordination du plan de protection de tension.
- b) Il convient que les études de perturbation de tension considèrent les cas symétriques et dissymétriques (perte de phase(s), par exemple) sur les sources externes normale et de secours. Il convient que les dispositifs de protection détectent les conditions

d'alimentation dégradée dans les états de tranche suivants: à vide ou à faible charge, et à pleine puissance.

7.3.6.3 Critères d'acceptation

Les études de perturbations de tension doivent vérifier les points suivants.

- a) Les seuils de réglage des relais de protection (tension et temps) doivent garantir que l'équipement n'est pas dégradé lors de son fonctionnement dans les conditions de tension basse.
- b) Le schéma de protection doit assurer que les tableaux de sûreté présentant des niveaux de tension inacceptables soient isolés de la source dégradée et transférés vers une autre source d'alimentation saine.

7.3.7 Surtension temporaire à fréquence industrielle provoquée par une commutation et des dysfonctionnements

7.3.7.1 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Il convient de réaliser des études de surtension dans le cadre des études transitoires. Il convient également de prendre en considération les tensions transitoires rapides.
- b) Il convient de réaliser des études pour montrer que les perturbations transitoires rapides au sein la distribution électrique n'engendreront aucun dommage ni interruption de l'alimentation. Les phénomènes particuliers à prendre en considération sont
 - la commutation inductive,
 - la commutation capacitive,
 - l'arrachement du courant, et
 - les systèmes triphasés non reliés à la terre.

Les surtensions provoquées par la foudre sont couvertes en 9.1.

7.3.7.2 Critères d'acceptation

Les études de la coordination d'isolement doivent garantir que les surtensions ne dépassent pas les capacités de tenue diélectrique des équipements.

La coordination des protections relatives à la tension est couverte en 7.5.

7.3.8 Etudes des séquences de reprise de charge

7.3.8.1 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Il convient de réaliser des études des séquences de reprise de charge (relestage) à partir des sources internes de secours en CA, en utilisant des modèles permettant d'évaluer l'amplitude et la phase de la tension des tableaux, le courant et la fréquence, ainsi que le temps de réponse et d'accélération du moteur thermique.
- b) Il convient que l'analyse dynamique démontre que
 - toutes les charges peuvent être connectées conformément à la séquence prédéterminée,
 - l'intervalle de temps entre deux crans de relestage est adapté au temps de rétablissement de la tension et de la fréquence avant d'appliquer le cran de charge suivant, et
 - les courants de démarrage des moteurs sont dans des limites acceptables.

- c) Dans le cadre de l'étude des séquences de reprise de charge (relestage), via la source interne de secours en CA de sûreté, il convient d'étudier les variations de fréquence.

NOTE Des fréquences transitoires se produiront lors de la séquence de reprise des charges. L'impact sur le débit de la pompe peut généralement être négligé tant que les variations sont courtes.

7.3.8.2 Critères d'acceptation

Les études des séquences de reprise de charge doivent vérifier les points suivants.

- a) Lors de la séquence de relestage, les écarts de fréquence et les écarts de tension aux bornes des moteurs asynchrones ne doivent pas provoquer le décrochage des autres charges tournantes auxiliaires.
- b) Les tensions aux bornes des moteurs asynchrones démarrés ou redémarrés doivent satisfaire aux exigences des spécifications techniques de l'équipement (en particulier la tension et la durée de démarrage).
- c) Pour les conditions de tension, de fréquence et de consommation de puissance des auxiliaires les moins favorables prévues, la durée de démarrage des moteurs asynchrones doit être conforme aux hypothèses et critères établis dans les analyses de sûreté.
- d) Les seuils de réglage du système de protection doivent tenir compte des conditions de tension, de fréquence et de consommation des auxiliaires les moins favorables.
- e) Après la séquence de reprise de charge, les équipements électriques doivent fonctionner dans leurs plages de tension et de fréquence assignées.
- f) A l'issue de chaque cran de relestage, la fréquence et la tension aux bornes de la source interne de secours en CA doivent se trouver dans les limites des valeurs adéquates avant de passer au cran suivant.
- g) Lors de la détermination des seuils de réglage du système de protection, la fonction de sûreté d'un équipement, requis pour assurer un arrêt sûr, doit être prise en considération en priorité.

7.3.9 Etudes de fréquence

Il convient d'évaluer l'impact sur les équipements (par exemple: les alimentations sans interruption (ASI)) des variations de fréquence interne (autour de la fréquence normale) provenant du réseau et de démontrer qu'elles sont acceptables.

Il convient d'évaluer l'impact des fréquences minimale et maximale admissibles en régime établi sur le fonctionnement des gros moteurs asynchrones et sur leur aptitude à satisfaire aux exigences de débit des pompes, des ventilateurs, des compresseurs, etc.

Les exigences de débit de fluide maximal/minimal doivent satisfaire aux exigences des analyses d'accidents nucléaires. La durée de fonctionnement des vannes motorisées ne doit pas dépasser le temps de manœuvre admissible.

Ces évaluations des exigences de débit et de temps de manœuvre n'entrent pas dans le cadre de l'analyse des systèmes d'alimentation électrique, et il convient qu'elles soient réalisées par des spécialistes des circuits de fluide ou des analyses de sûreté nucléaire.

7.4 Etudes de défaut

7.4.1 Etudes de court-circuit

7.4.1.1 Généralités

Il convient de procéder à des calculs de court-circuit conformément à l'IEC 60909 (toutes les parties) pour déterminer les courants alternatifs maximaux et minimaux lors de conditions de défaut. Les études de court-circuit doivent vérifier la tenue des équipements et permettre de concevoir un schéma de protection adapté et sélectif.

Les conditions de défaut peuvent être des défauts shunt symétriques ou dissymétriques. Les défauts peuvent être provoqués soit par des courts-circuits à la terre, soit entre des conducteurs sous tension.

7.4.1.2 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Il convient de prendre en considération les contributions au courant de défaut issues de toutes les sources de fonctionnement à un instant donné:
 - les contributions des sources internes de secours en CA connectées en parallèle au réseau lors d'essais;
 - les contributions importantes des gros moteurs asynchrones pour les défauts de courant présents au niveau du système d'alimentation électrique de la centrale.
- b) Il convient d'utiliser les études de court-circuit pour définir les caractéristiques assignées de l'appareillage de coupure, des câbles et des autres équipements.

7.4.1.3 Critères d'acceptation

Les résultats des calculs de court-circuit symétrique et dissymétrique doivent être cohérents avec

- a) la capacité de tenue au courant de défaut maximal de tous les équipements électriques, et
- b) la capacité de l'appareillage de coupure.

7.4.2 Etudes de défaut à la terre (isolement dégradé)

7.4.2.1 Généralités

Les défauts à la terre peuvent provoquer des conditions de tension déséquilibrées, conduisant à un risque de dégradation de l'isolement, et des courants déséquilibrés, conduisant à un risque d'échauffement excessif des équipements.

7.4.2.2 Recommandation

Il convient de réaliser des études de défaut à la terre pour vérifier que la dégradation de l'isolement à la terre sera détectée. Il convient de prendre en compte des contributions au défaut de toutes les sources en fonctionnement à un instant donné.

7.4.2.3 Critères d'acceptation

Si les dispositifs de protection n'offrent aucune fonction de déclenchement pour les conditions de défaut à la terre (la mise à la terre via les systèmes d'impédance, par exemple), il doit être démontré que l'équipement en fonctionnement peut réaliser les fonctions pour lesquelles il est prévu.

7.5 Etudes de coordination de la protection électrique

7.5.1 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Il convient de déterminer une sélectivité adaptée prenant en considération toutes les sources de puissance et toutes les charges disponibles.

Dans certain cas, pour des sources particulières (par exemple: des sources internes de secours) et pour des consommateurs particuliers, la protection de l'équipement peut être réduite à l'essentiel afin de préserver la fonction de sûreté nucléaire.

Il convient de ne pas actionner les dispositifs de protection pour les transitoires de fonctionnement normal (courant d'appel du moteur lors de démarrage en bloc, surtensions de manœuvre, courant d'appel du transformateur, etc.).

- b) Il convient que les calculs de coordination du plan de protection déterminent les seuils de réglages optimaux permettant d'obtenir une disponibilité élevée des systèmes électriques. Il convient que ces calculs prennent en compte toutes les conditions de fonctionnement, y compris l'utilisation des sources de secours.

Il convient que les dispositifs de protection déclenchent l'équipement le plus proche de la partie en défaut du système afin d'éviter d'endommager encore plus l'équipement. Cela devra permettre de perturber le moins possible le système, tout en assurant la continuité de l'alimentation fournie aux parties non affectées de la distribution électrique.

- c) Il convient que les dispositifs de protection à maximum de courant tiennent compte
 - du transitoire de fonctionnement le plus élevé (voir 7.3), et
 - du courant de court-circuit le plus faible (voir 7.4).
- d) Il convient que les dispositifs de protection contre la tension dégradée et contre la tension déséquilibrée fonctionnent de manière à éviter de déclencher par surcharge un équipement de sûreté (la plupart du temps, des machines tournantes), les rendant inopérants. Il convient que les dispositifs de protection assurent la protection contre les limites de la tenue thermique, les composantes inverses (c'est-à-dire des défauts dissymétriques) et les composantes de courants continus asymétriques. Pour différentes situations de fonctionnement de la centrale, les dispositifs de protections doivent également assurer la protection contre le fonctionnement en régime déséquilibré des différents équipements.
- e) En cas de tension dégradée ou de tension déséquilibrée, il convient que la distribution électrique classée de sûreté, soit séparée de l'alimentation dégradée dans un délai adapté puis qu'elle soit alimentée à partir d'une source en propre.
Si des logiques de vote sont utilisés (logique 2/3, le plus souvent) pour la supervision de la tension, il convient que la configuration de l'équipement et que le principe de mesure puissent détecter la même dégradation de l'alimentation.
- f) Il convient de procéder à une étude coordonnée de l'ensemble du plan de protection de tension afin de démontrer la résilience de l'ensemble de la distribution électrique face aux surtensions.
- g) Il convient de surveiller la distribution électrique afin qu'en cas de dégradation de l'isolement par rapport à la terre, une alarme apparaisse ou provoque un déclenchement. Il convient qu'une étude coordonnée démontre la résilience de l'ensemble de la distribution électrique.

7.5.2 Critères d'acceptation

Les études de coordination de la protection électrique doivent vérifier les éléments suivants.

- a) Les circuits en défaut doivent être isolés de manière sélective.
- b) Les tensions dégradées ou déséquilibrées doivent être détectées et des actions de mitigation engagées.
- c) Les systèmes électriques doivent être protégés contre les surtensions dangereuses.
- d) Le déclenchement des équipements de sûreté critiques pendant les actions de mitigation ou d'urgence doit être évalué de manière à tenir compte de leurs effets sur les exigences fonctionnelles de sûreté.

8 Analyses des systèmes de distributions électriques en courant continu et en courant alternatif sans interruption

8.1 Etudes de transit de puissance

8.1.1 Généralités

L'analyse de transit de puissance est une partie importante des calculs liés à la distribution électrique, étant donné qu'elle permet d'évaluer les performances du réseau interne dans les conditions de fonctionnement normal, anormal et d'urgence, et d'établir les conditions limites.

NOTE En règle générale, la pointe de charge apparaît lors de l'apparition d'un signal d'accident coïncidant avec la perte des sources d'alimentation externes

Les systèmes électriques CC et CA sans interruption (alimentation du système électrique CC) doivent maintenir la tension des tableaux en cas de perte prolongée des sources d'alimentation CA internes et externes.

8.1.2 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Il convient d'utiliser les études de transit de puissance, comprenant les durées de fonctionnement pour l'alimentation des charges à partir de système CC, pour vérifier les éléments suivants.
 - Capacité de la batterie.
 - Charge du composant ou du circuit.
 - Tension des tableaux et des auxiliaires pendant la charge de la batterie ainsi que lors de la charge et la décharge d'entretien de la batterie. Notons qu'il convient que la tension des tableaux et des auxiliaires pendant les conditions de charge, d'entretien ou d'égalisation ne soit pas supérieure aux caractéristiques assignées des auxiliaires CC connectées.
 - Tension de charge dans les conditions de fonctionnement normal et d'urgence, y compris les courants d'appel.
- b) Il convient d'analyser la capacité des batteries à alimenter les auxiliaires en fonction des profils de charge pendant le temps de décharge prévu. Il convient d'évaluer le profil de tension aux bornes des éléments de la batterie à la fin de sa durée de vie prévue à la conception et à la température ambiante minimale admise considérant que
 - les charges peuvent débiter un courant transitoire qu'il convient de prendre en considération dans le dimensionnement de la batterie et le fonctionnement du système de protection, et
 - le courant d'appel et le courant total de certaines charges (tels que l'ouverture de disjoncteurs ou la mise sous tension de bobines) peuvent durer quelques secondes. Dans le cadre de calculs conservatifs, il convient de prendre en compte ces charges simultanément pendant une minute et de les ajouter à d'autres charges de ce type dans la même minute.
- c) Il convient d'utiliser les études de transit de puissance des alimentations CA sans interruption (source sans interruption ASI ou onduleur) pour vérifier
 - la charge des équipements ou des circuits,
 - la tension aux bornes de la charge (en prenant en considération la chute de tension entre les tableaux et la charge) dans les conditions de fonctionnement normal, anormal et d'urgence,
 - la capacité certifiée de la batterie en fin de vie (les fabricants de la batterie donnent des détails sur sa durée de vie, les courbes de décharge correspondant à la tension finale de la cellule et le délai avant la fin de sa durée de vie.), et

- que le profil de tension aux bornes de la charge soit évalué à la température ambiante minimale admise.

8.1.3 Critères d'acceptation

Les études de transit de puissance doivent vérifier les éléments suivants.

- a) La capacité de la batterie doit satisfaire aux exigences de dimensionnement.
- b) Suite à la perte de d'alimentation en CA et en présence de toutes sollicitations (dont les conditions de pointe de charge), la tension instantanée de la batterie doit permettre durant les premières minutes le démarrage (aspect transitoire) et le fonctionnement de toutes les charges requises
- c) Après une perte d'alimentation en CA, les analyses de transit de puissance doivent démontrer la capacité de la batterie à assurer le démarrage et le fonctionnement en régime établi de toutes les charges requises.

8.2 Etudes transitoires

8.2.1 Redresseur

8.2.1.1 Recommandation

Il convient que les études de transitoires (sur la base d'essais ou de simulations) réalisées conformément à 7.3 permettent de vérifier que la tension du système CC sera maintenue dans une plage acceptable pendant les régimes transitoires de la tension CA du réseau en amont suivants:

- creux et interruptions de tension avec retour à la tension nominale;
- creux et interruptions de tension avec retour à une tension haute;
- surtensions transitoires;
- harmoniques à l'entrée du redresseur;
- fonctionnement sans batterie connectée.

En règle générale, le fonctionnement sans batterie connectée n'est pas admis. Il s'agit de donner du temps pour réaliser les actions palliatives ou procéder à l'arrêt planifié.

8.2.1.2 Critères d'acceptation

Les études doivent vérifier les éléments suivants.

- a) Les perturbations dans la distribution électrique CA en entrée doivent être amorties ou limitées à un niveau acceptable afin d'assurer que la fonctionnalité du/des système(s) continu(s) ou de la/des ASI n'est pas affectée.
- b) La capacité fonctionnelle du/des système(s) continu(s) ou de la/des ASI ne doit pas être dégradée par des perturbations de tension comme les surtensions de manœuvre ou par des courants d'appels dans la distribution électrique CA qui alimente les circuits du redresseur.

8.2.2 Onduleur/ASI et commutateurs statique

8.2.2.1 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Il convient que les études transitoires réalisées conformément à 7.3 permettent de vérifier que les tensions en sortie des convertisseurs restent dans une plage acceptable pendant les régimes transitoires de la tension CA du réseau en amont suivants:
 - interruptions de tension avec retour à la tension nominale;
 - interruptions de tension avec retour à une tension haute;

- surtensions transitoires.

Il convient que les perturbations dans le système d'entrée CA (y compris lorsque le réseau est à tension haute) soient amorties ou limitées à un niveau acceptable, afin d'assurer que le fonctionnement des auxiliaires de sûreté alimentées par les ASI ne soit pas affecté.

- b) Il convient que les études de surtension réalisées conformément à 7.3 et à 9.1 permettent de vérifier qu'une surtension ne rendra pas le commutateur statique inopérable.

NOTE Une tension excessive en est un exemple.

8.2.2.2 Exigence d'acceptation

La capacité fonctionnelle des ASI ne doit pas être dégradée par les perturbations de tension (par exemple: les microcoupures, les surtensions de manœuvre ou un courant d'appel) dans le système CA qui les alimente.

8.3 Etudes de défaut

8.3.1 Etudes de court-circuit

8.3.1.1 Recommandations

Pour les conditions de défaut minimale et maximale, il convient que les études de court-circuit permettent de vérifier, conformément à l'IEC 61660, qu'un court-circuit sera détecté et éliminé/signalé dans un délai acceptable. Les défauts peuvent être provoqués soit par des courts-circuits à la terre, soit entre des conducteurs sous tension.

8.3.1.2 Critères d'acceptation

Les études de court-circuit doivent vérifier les éléments suivants.

- a) Les dispositifs de protection des alimentations CC et des alimentations CA sans interruption doivent détecter toutes les conditions de défaut.
- b) Les caractéristiques assignées des équipements ne doivent pas être dépassées.
- c) En tant que fonction support pour la sûreté de la centrale, la fonction essentielle des alimentations CC et CA doit être prise en considération pour déterminer les exigences de déclenchement des circuits en défaut.
- d) Les sources d'alimentation CA sans interruption doivent pouvoir fournir un courant suffisant pour assurer la protection contre les courts-circuits.

8.3.2 Etudes de défaut à la terre (isolement dégradé)

8.3.2.1 Recommandations

Les alimentations CC et CA sans interruption qui ne sont pas reliées à la terre exigent une prise en considération particulière du fonctionnement avec une phase/un pôle en défaut. Pour ces systèmes électriques, il convient que les études de défaut à la terre permettent de vérifier qu'un isolement dégradé est détecté avant une action intempestive ou la perte d'un équipement de sûreté.

8.3.2.2 Critères d'acceptation

Si les dispositifs de protection n'offrent aucune fonction de déclenchement pour les conditions de défaut à la terre (la mise à la terre via les systèmes d'impédance, par exemple), il doit être démontré que l'équipement en fonctionnement peut réaliser les fonctions pour lesquelles il est prévu.

8.4 Etudes de coordination de la protection électrique

8.4.1 Recommandations

Les recommandations suivantes s'appliquent.

- a) Il convient que la sélectivité soit adaptée pour toutes les sources d'alimentation disponibles.
Après l'occurrence d'un défaut, il convient que l'étude de court-circuit permette d'établir l'amplitude des courants qui circulent dans la distribution électrique à différents intervalles de temps, et d'évaluer le calibre et les réglages des dispositifs de protection d'un système (par exemple: les éléments de mesure, les fusibles et les disjoncteurs). L'amplitude du courant de défaut dépend du système de liaison à la terre retenu.
- b) Afin d'éviter d'endommager encore plus l'équipement, il convient que les dispositifs de protection actionnent rapidement et de manière sélective l'équipement le plus proche de la partie en défaut du système. Il convient que ce dispositif assure la continuité de l'alimentation fournie aux parties non affectées de la distribution électrique, en perturbant le moins possible le système. Les calculs de coordination des protections électriques déterminent les paramètres optimaux permettant d'obtenir une disponibilité élevée de la distribution électrique en prenant en compte toutes les conditions de fonctionnement, y compris les alimentations provenant de sources de secours.
- c) Suite à un courant de surcharge, il convient que les dispositifs de protection de tension fonctionnent de manière à éviter de déclencher des équipements de sûreté les rendant ainsi inopérants.
- d) Il convient que le relais de protection contre la tension dégradée signale et, le cas échéant, bascule sur une autre alimentation saine.
- e) Il convient que la distribution électrique soit protégée contre les surtensions dangereuses. Il convient de procéder à une étude coordonnée de l'ensemble des dispositifs de protection en tension afin de démontrer la résilience aux surtensions de l'ensemble de la distribution électrique.
- f) Lors de leurs fonctionnement pour la mitigation ou le secours et en fonction des exigences de sûreté, il convient d'évaluer le besoin de déclencher des équipements de sûreté (fonctionnement ou non en marche ou "crève").

8.4.2 Critères d'acceptation

Les circuits en défaut doivent être isolés de manière sélective, sauf si l'équipement est requis au titre de la sûreté.

9 Analyses diverses

9.1 Etudes de protection contre la foudre

9.1.1 Généralités

Les coups de foudre:

- sur les bâtiments,
- au voisinage de la centrale, et
- sur les lignes de transmission,

peuvent induire des perturbations et une destruction des systèmes électriques et électroniques.

Il convient d'atténuer les conséquences des coups de foudre en prenant des dispositions en matière de conception (cages de Faraday, réseaux des liaisons équipotentielles, transformateurs, blindage des câbles, pose des câbles et protections supplémentaires contre

la foudre, si cela est exigé). Avant de procéder à une analyse des effets de la foudre, il convient d'identifier et de justifier ces dispositions.

Il convient que le système de protection contre la foudre soit conforme aux normes IEC 62305-1, IEC 62305-3 et IEC 62305-4.

9.1.2 Recommandations

Il convient que le système de protection contre la foudre réduise suffisamment les effets de la foudre pour qu'il garantisse qu'ils soient inférieurs à l'immunité électromagnétique de l'équipement à protéger.

Si un outil de modélisation et de simulation est utilisé, il convient qu'il soit adapté à l'étude des phénomènes haute fréquence.

9.1.3 Critères d'acceptation

Sur la base d'hypothèses pertinentes, les analyses doivent démontrer que les surtensions provoquées par la foudre ne mettent pas en péril les équipements de sûreté et qu'elles sont inférieures au dimensionnement. Il doit être démontré que les courants/tensions induit(e)s sont dans les limites de conception.

9.2 Compatibilité électromagnétique

9.2.1 Généralités

Il convient de définir les exigences de qualification de l'équipement en termes d'émission et/ou d'immunité électromagnétique (IEC 62003, par exemple). Dans le même temps, il est également essentiel d'appliquer les bonnes pratiques en matière de:

- séparation,
- câblage,
- gestion de blindage de câble,
- blindage efficace des bâtiments/pièces/panneaux,
- méthode de mise à la terre,
- etc.

9.2.2 Recommandation

Dans le cadre de l'évaluation d'une conception, il convient de vérifier la conformité à ces exigences.

9.3 Etudes d'harmonique

9.3.1 Généralités

En présence de dispositifs d'entraînement à fréquence variable et/ou d'alimentations à découpage, il convient de prendre en compte l'impact sur les systèmes d'alimentation électrique (dont les charges) la génération d'harmoniques et leur propagation.

9.3.2 Recommandation

Il convient d'étudier l'impact sur la distribution électrique des perturbations harmoniques et de la propagation de courants non sinusoïdaux générés par des charges non linéaires connectées aux tableaux. Il convient que l'étude intègre l'évaluation du taux de distorsion harmonique totale (TDH) au point de couplage commun et l'impact du TDH sur toutes les charges connectées à ce point. Il convient d'évaluer pour les charges directement connectées aux tableaux que leurs spécifications est compatible avec ce TDH.

9.4 Courant géomagnétique induit (CGI)

Il convient qu'une évaluation technique adaptée démontre que les mesures de conception atténuent de manière appropriée le risque de CGI dans les CNPE.

Notons qu'il convient que le GRT prenne des mesures de protection contre l'influence du courant géomagnétique induit.

9.5 Etudes de ferrorésonance

Il convient qu'une évaluation technique s'appuyant sur l'analyse des facteurs sensibles justifie la pertinence de l'atténuation du risque de ferrorésonance.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62855:2016

Annexe A (informative)

Etablissement des dimensionnements des systèmes d'alimentation électrique de centrale nucléaire de puissance

A.1 Introduction générale

Les centrales nucléaires continuent de produire une quantité importante de chaleur longtemps après l'arrêt d'un réacteur nucléaire. Avec les conceptions actuelles, la puissance thermique du réacteur immédiatement après l'arrêt est égale à environ 7 % de la puissance avant l'arrêt. Elle tombe à moins de 2 % au bout d'une heure, à 0,5 % au bout d'un jour et continue de diminuer progressivement. Les systèmes de refroidissement du réacteur doivent donc continuer de fonctionner pendant plusieurs jours après l'arrêt du réacteur, afin d'éviter sa surchauffe et d'endommager le cœur du réacteur. Par conséquent, il convient de prévoir des systèmes de refroidissement fiables, lesquels exigent des sources robustes et diversifiées d'alimentation électrique. Selon la conception de la centrale, la puissance électrique est nécessaire pour la plupart ou la totalité des fonctions de sûreté.

Le concept de défense en profondeur exige de réaliser un transfert sur une autre source d'alimentation lorsque l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes ne sont pas disponibles.

Les études du comportement des systèmes d'alimentation électrique lors du basculement vers d'autres sources d'alimentation prennent en compte les critères de tension, de durée et de courant. Des exemples d'études à réaliser sont

- le passage du fonctionnement en régime îloté après la perte de la liaison d'évacuation vers le réseau,
- le basculement sur une autre source d'alimentation CA externe (par exemple: le basculement de l'alimentation des auxiliaires du TS sur le TA) à la suite de la perte du GTA ou à l'indisponibilité du réseau d'évacuation,
- le basculement sur l'alimentation interne de secours à la suite de la perte des sources externes et du GTA, et
- le basculement sur la source d'ultime secours en CA en cas de perte de l'alimentation interne de secours.

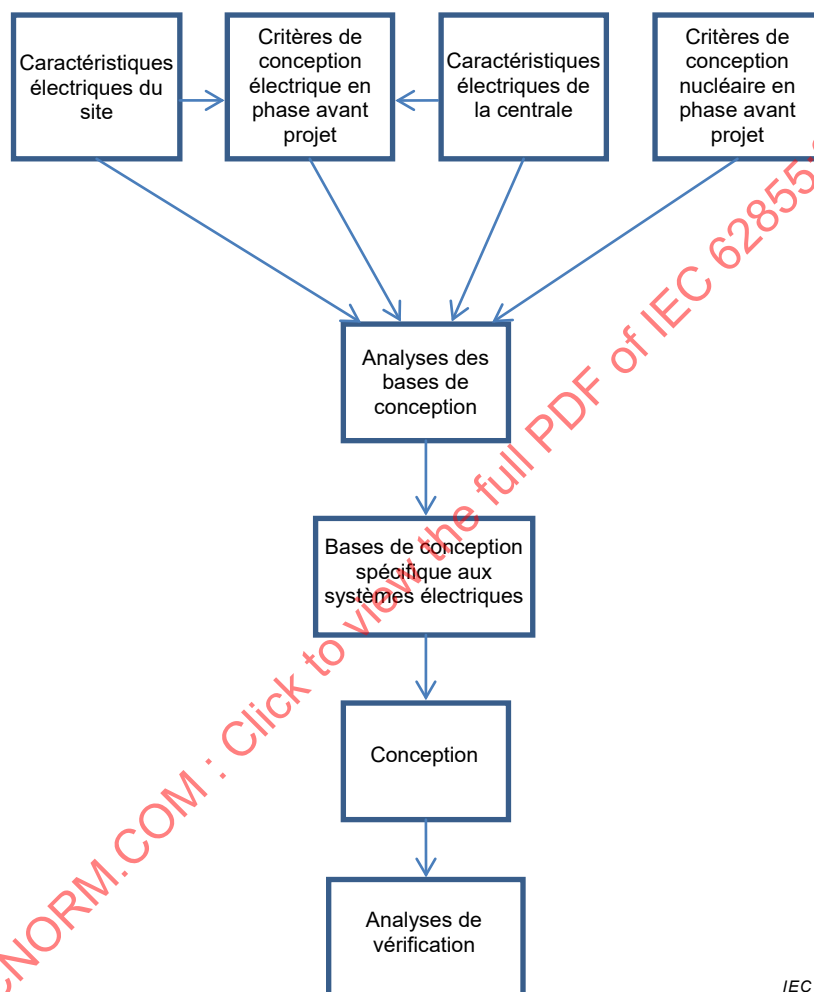
Les bases de conception et de dimensionnement des systèmes d'alimentation électriques sont spécifiques à la centrale. La présente Annexe donne les directives relatives aux critères à prendre en considération pour la conception de la centrale et à examiner lors de la mise en œuvre des modifications de la centrale. De plus, le réseau de transport et les moyens de production autour de la centrale peuvent également évoluer tout au long de la durée de vie de la centrale, exigeant d'examiner leur impact sur l'alimentation électrique. D'autres lignes directrices peuvent être consultées dans le Guide de Sûreté de l'AIEA SS-G34 portant sur la conception des systèmes d'alimentation électrique pour les centrales nucléaires de puissance.

Les bases de conception spécifient les tâches fonctionnelles exigées, les caractéristiques nécessaires, les objectifs de performance, les conditions de fonctionnement et d'environnement, ainsi que le niveau de fiabilité exigée.

Il convient que le dimensionnement électrique couvre tous les modes de fonctionnement et tienne compte de toutes les interactions possibles des systèmes électriques et mécaniques. Il convient que cela inclut les motopompes fonctionnant à débit maximal, les transitoires de basculement, les démarrages des moteurs, les événements externes et internes, etc. qui peuvent avoir un impact sur le transit de puissance et le profil de la tension de la distribution électrique de la centrale. Il convient également que la conception prenne en considération les

conditions d'environnement telles que la température, la pression et l'humidité lors d'événements normaux, anormaux et de dimensionnement.

Les directives fournies dans l'Annexe A mettent l'accent sur des aspects du dimensionnement mais n'incluent pas les considérations supplémentaires liées à des facteurs tels que les conditions liées à l'environnement (c'est-à-dire la température, l'humidité, etc.) ou à des facteurs extérieurs (séisme, inondation, incendie, impulsion électromagnétique à haute énergie, etc.) qui peuvent avoir un impact sur les exigences de dimensionnement ou de protection de l'équipement. La foudre et les orages géomagnétiques sont inclus. Le processus et les données sont décrits dans la Figure A.1



IEC

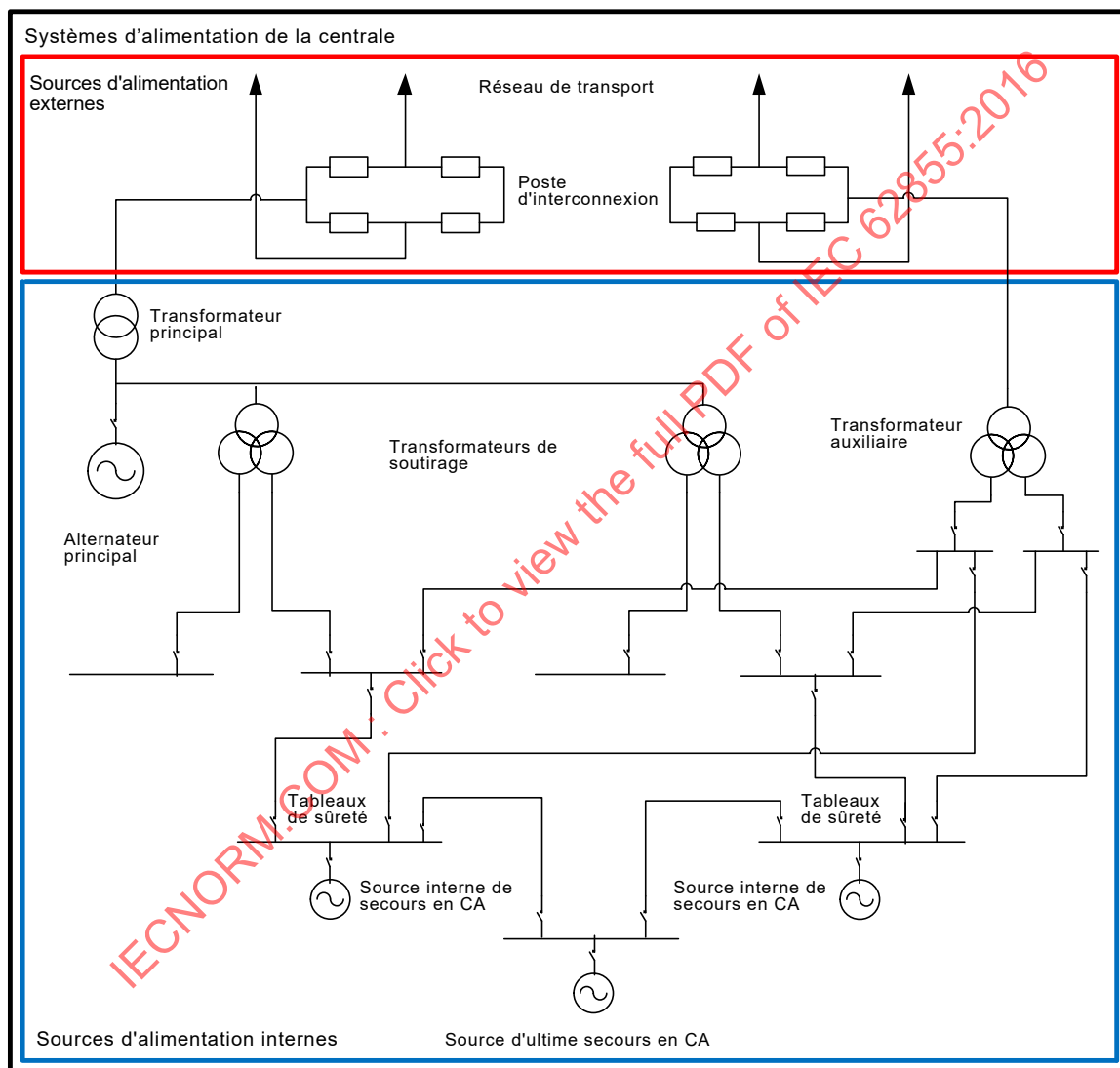
Figure A.1 – Entrées et processus de détermination des dimensionnements électriques spécifiques d'une centrale nucléaire de puissance et analyses de vérification

Pendant le fonctionnement normal des alimentations électriques, les systèmes de sûreté sont généralement alimentés par des systèmes non classés de sûreté connectés à des systèmes qui ne sont pas importants pour la sûreté (sources externes). La Figure A.2 montre les relations existant entre le système d'alimentation électrique de la centrale, les sources d'alimentation internes et les sources d'alimentation externes. La Figure A.3 décrit les relations entre alimentation importantes pour la sûreté, les alimentations de sûreté et l'alimentation privilégiée des auxiliaires pour une centrale nucléaire de puissance.

Pour assurer la fiabilité de l'alimentation classée de sûreté, il convient d'établir le dimensionnement pour toutes les configurations de la distribution électrique de la centrale, et il convient que les analyses de la distribution électrique couvrent toutes les parties interdépendantes des systèmes électriques. Pour les sites composés de plusieurs tranches et

dotés de systèmes partagés, il convient de prendre en compte toutes les configurations correspondant aux opérations normales et anormales.

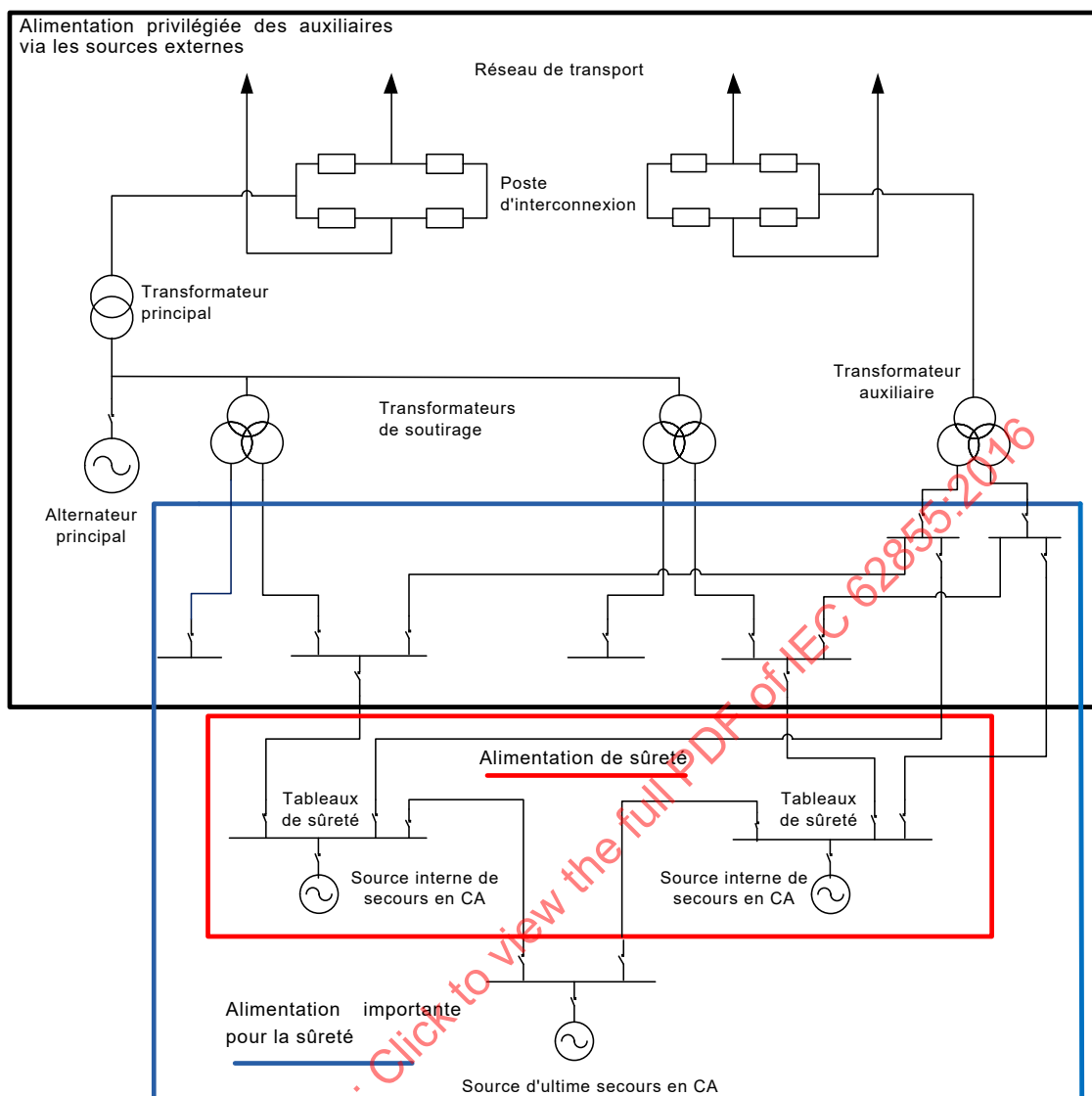
L'arrêt de la centrale nucléaire, pour le rechargement du combustible ou les opérations maintenances planifiées, est assuré lorsque la consommation de puissance sur le réseau de transport est au niveau le plus bas prévu par le gestionnaire de réseau de transport (GRT). Au cours de ces conditions de charge réduite (faible consommation) sur le réseau de transport, la composante capacitive des lignes de transport couplée à consommation minimale des auxiliaires de la centrale peut donner lieu à un niveau de tension élevée sur les tableaux de la centrale. Il convient d'évaluer les conséquences du démarrage et du fonctionnement des auxiliaires de la centrale dans ces conditions.



IEC

NOTE Cette figure est donnée à titre d'exemple uniquement. La conception de la centrale englobe différentes dispositions et nomenclatures de tableaux, de charges, de générateurs et d'interconnexions. Cette figure ne présente pas tous les éléments (les systèmes en courant continu, par exemple) de la distribution électrique. Issu de l'AIEA SSG-34.

Figure A.2 – Relation entre le réseau électrique de la centrale, le réseau électrique externe et le réseau électrique interne d'une centrale nucléaire de puissance



IFC

NOTE Cette figure est donnée à titre d'exemple uniquement. Les conceptions de la centrale englobent différentes dispositions et nomenclatures de tableaux, de charges, d'alternateurs et d'interconnexions. De plus, de nombreux éléments du réseau de la centrale (les tableaux, par exemple) sans importance pour la sûreté et les parties du réseau CC ne sont pas présentés. Cette figure a uniquement pour objet de représenter la relation entre les éléments de la distribution électrique de la centrale qui entrent dans le classement de sûreté et l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes. Les éléments de l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes qui n'entrent pas dans les limites d'importance pour l'alimentation de sûreté sont hors du domaine d'application du classement de sûreté de la centrale. Les éléments de la distribution électrique présentant une importance pour les alimentations de sûreté différeront selon la conception de la centrale et les méthodes de classement appliquées. Certaines conceptions de centrale peuvent ne pas exiger de sources de puissance de secours de sûreté. Toutes les centrales nucléaires sont censées être dotées d'alimentations CC de sûreté. Issu de l'IAEA SSG-34.

Figure A.3 – Relation entre les alimentations importantes pour la sûreté, les alimentations de sûreté et l'alimentation privilégiée des auxiliaires via les sources externes d'une centrale nucléaire de puissance

A.2 Caractéristiques électriques du site

A.2.1 Généralités

Le réseau électrique interconnecté est un réseau large et complexe, dont les différentes parties sont par nature interdépendantes. Par conséquent, les parties distantes d'un point de vue physique du système peuvent interagir de manière imprévue avec le système intégré. La

réponse de la distribution électrique interne est donc influencée par l'environnement du réseau de transport ainsi que par la charge et la configuration de la centrale.

L'analyse des systèmes électriques porte sur la compréhension du fonctionnement du réseau de transport et des systèmes électriques internes. En règle générale, il convient d'analyser la distribution électrique dans les conditions de fonctionnement en régime permanent et en régime transitoire (suites à des perturbations).

L'analyse du régime permanent part du principe que les transitoires issus de perturbations sont stabilisés et que le système est en état d'équilibre. La consommation des charges du système, y compris les pertes du réseau de transport, sont mises égales à la puissance produite, de sorte que la fréquence du système soit constante.

Il convient que les études portant sur les systèmes spécifiques à la centrale incluent toutes les configurations prévues du réseau de transport et tous les modes de fonctionnement de la centrale. Il s'agit d'établir les caractéristiques nominales ou assignées des équipements et d'obtenir une conception fiable des sources d'alimentation externes.

Il convient de déterminer les caractéristiques nominales des différents composants de la distribution électrique (par exemple: les tableaux, les câbles et les transformateurs) grâce au bilan de puissance.

A.2.2 Perturbations du réseau

Dans le cadre des analyses de dimensionnement, il convient d'examiner les perturbations transitoires sur le réseau de transport qui peuvent avoir un impact sur les systèmes électriques internes. Les événements à prendre en considération comprennent: les défauts symétriques et dissymétriques, les perturbations transitoires temporaires sur le réseau de transport (par exemple: les surtensions de manœuvre ou les coups de foudre), la mise en service d'une batterie de condensateur ou d'un transformateur, la perte d'éléments du réseau de transport, la perte de la charge la plus importante, la perte d'une tranche nucléaire (ou de plusieurs tranches s'il s'agit d'une connexion à une source externe commune), et les cas de phase ouverte ou de tension dégradée.

Pour les centrales dotées de plusieurs (deux ou plus) alimentations indépendantes, il convient de prendre en considération des événements simultanés ou échelonnés sur toutes les alimentations (cas le moins favorable) pour évaluer la réponse de la centrale dans tous les modes de fonctionnement définis.

A.2.3 Puissance de court-circuit

Les défauts dans les systèmes électriques se produisent à cause de défauts d'isolement, d'événements extérieurs (coups de foudre, par exemple), d'erreurs humaines ou de dysfonctionnements d'équipements. Les types de défauts usuels sont

- le défaut monophasé à la terre,
- le défaut entre phases,
- le défaut biphasé à la terre, et
- le défaut triphasé.

Les courants de défaut peuvent être bien plus élevés que le courant assigné (courant transitant normalement dans les équipements électrique en régime permanent). Les défauts monophasés à la terre sont les plus fréquents, les défauts biphasés à la terre étant généralement plus graves.

Les courants de court-circuit génèrent des forces thermiques et électromagnétiques qui peuvent être très destructrices. Il convient d'utiliser des dispositifs de protection dont les réglages sont appropriés à la protection de l'équipement contre les courants de court-circuit.

Il convient de réaliser des études de défaut exhaustives de manière à déterminer les courants de défaut dans toutes les configurations de fonctionnement, afin d'établir les caractéristiques assignées (ou nominales) des équipements.

Il convient de déterminer les courants de court-circuit maximal et minimal afin de déterminer les réglages des dispositifs de protection permettant de protéger correctement les équipements électriques.

Il convient de réaliser des études de court-circuit du réseau de transport afin de vérifier que tous les équipements du poste d'interconnexion peuvent résister et couper le courant de défaut. Il convient de prendre en considération la contribution au défaut du réseau de transport lors du dimensionnement des composants électriques qui alimentent les auxiliaires.

En règle générale, la configuration qui donne le courant de court-circuit le plus élevé est la configuration de base pour la conception de la centrale. Dans ce cas d'étude, il convient de prendre en considération tous les équipements du réseau de transport et de production, y compris les machines tournantes internes, qui sont en service. Toutefois, il convient d'examiner toutes les configurations possibles du réseau de transport qui peuvent avoir un impact sur la centrale, afin de valider le courant de court-circuit maximal exigé pour le dimensionnement des équipements, ainsi que le courant de court-circuit minimal pour la coordination des protections.

La durée et l'emplacement des défauts déterminent la pertinence des dispositifs de protection pour s'assurer qu'un événement ne donne pas lieu à un glissement de pôle (perte de synchronisme) ou au fonctionnement asynchrone du GTA. En règle générale, la détection et l'isolement rapides des défauts donnent l'assurance que la perte de synchronisme ou d'autres conditions ne se produisent pas (par exemple, oscillations des puissances active et réactive ou de la tension au point de connexion de la tranche avec le réseau).

Pour les centrales dotées de plusieurs connexions externes, il convient de prendre en compte les effets des événements sur toutes les alimentations.

A.2.4 Protection contre la foudre et coordination de l'isolement

La coordination de l'isolement est une série d'étapes visant à déterminer la rigidité diélectrique d'un équipement en fonction de la tension de fonctionnement et des surtensions transitoires qui peuvent apparaître sur le système. Les situations de surtension peuvent se produire après des surtensions de manœuvre, des déséquilibres de phases, ou le plus souvent des coups de foudre. Dans la plupart des cas, les coups de foudre imposent les contraintes les plus élevées sur la distribution électrique de la centrale. Il est donc important d'évaluer l'impact de la foudre et la fréquence d'occurrence probable. L'amplitude limite donnera les bases pour la conception des protections des équipements électriques et pour le dimensionnement du réseau de mise à la terre.

Les surtensions transitoires rapides générées par les décharges (chocs) de foudre peuvent endommager les équipements ou provoquer des dysfonctionnements ou des coupures d'alimentation dans la centrale nucléaire si elle n'est pas correctement protégée contre ces dommages. Toutefois, une conception adaptée des équipements et du système de distribution électrique peut énormément réduire ou limiter les conséquences néfastes des perturbations de tension anormales.

Pour assurer la protection contre les effets des coups de foudre, il convient que le système de protection contre la foudre intègre des parafoudres, des conducteurs de décharge et un système efficace de mise à la terre.

Les effets secondaires des coups de foudre (par exemple: les chocs potentiellement disruptifs et les interférences électromagnétiques) peuvent se propager vers les structures internes et dégrader les systèmes de sûreté et les systèmes importants pour la sûreté. Pour assurer la protection contre ces effets, il convient que les dispositifs de protection intègrent des

systèmes individuels de mise à la terre des équipements et des dispositifs de protection contre les surtensions. Les mesures de protection contre les surtensions incluront la protection de la centrale, celles des installations complémentaires qui peuvent avoir un impact sur la sûreté, le poste d'interconnexion, le système de distribution électrique, les équipements d'instrumentation BT, les systèmes de contrôle-commande et les systèmes de communication.

Le choix des dispositifs de protection contre les surtensions dépend en général de leur emplacement et des caractéristiques assignées afin d'empêcher que l'énergie générée par le coup de foudre parviennent en interne de l'installation ou jusqu'aux bornes des composants électriques.

A.2.5 Caractéristiques de mise à la terre

La mise à la terre a pour but principal d'éviter les chocs électriques et d'atténuer les surtensions qui peuvent endommager les équipements. Pour satisfaire aux exigences de protection contre la foudre et de compatibilité électromagnétique (CEM), un système efficace de mise à la terre est exigé.

Il est primordial de déterminer la résistivité du sol ainsi que les courants maximaux issus du réseau de transport pour concevoir le système de mise à la terre d'un poste. Les tensions de contact et de pas sont directement proportionnelles à ces valeurs. L'emplacement de la centrale (à proximité de grands cours d'eau ou d'un lit de pierres, par exemple) exige de procéder à des analyses spécifiques à la centrale, chaque site présentant différentes valeurs de résistivité du sol.

Le système de mise à la terre vise principalement à

- garantir l'intégrité des équipements et la continuité du service dans les conditions de défaut, c'est-à-dire à assurer un moyen de faire transiter et de dissiper les courants électriques à la terre, et
- assurer que les personnes travaillant ou marchant aux alentours des installations mises à la terre ne sont pas exposées à des chocs électriques dangereux.

Un réseau de mise à la terre basse résistance assure le fonctionnement sûr des équipements et la sécurité du personnel contre les chocs dangereux.

La conception des réseaux de mise à la terre de sûreté a pour objet de fournir un point d'accès suffisamment sûr vis-à-vis du potentiel de la terre, de la tension de contact et de la tension de pas des centrales électriques et des postes de transformation.

Pour atteindre ces objectifs, la résistance équivalente de mise à la terre électrique du réseau doit être suffisamment basse pour assurer la dissipation des courants de défaut principalement par le réseau de mise à la terre, alors qu'il convient que la différence de potentiel maximale entre des points proches sur la surface de la terre reste dans les tolérances définies (tension de pas, tension de contact et tension de maillage).

La tension de contact se forme lorsque le courant de défaut à la terre traverse l'équipement et génère un potentiel sur l'enveloppe de l'équipement qui est mise à la terre. Un niveau sûr de tension de contact est en général déterminé à une certaine distance horizontale et verticale de l'équipement électrique.

La tension de pas est la différence de potentiel entre deux points du sol pour une distance donnée entre les pieds d'une personne (en général de 0,8 m). Le type de sol et le dispositif de mise à la terre du poste déterminent en général la tension de pas. Dans un sol uniforme, la différence de tension de pas est en général due à une résistivité plus faible du sol.

L'élévation du potentiel de terre est provoquée par un défaut de terre, alors que l'élévation de tension dans le réseau de terre est provoquée lorsque le courant de terre traverse une

électrode. Le décalage de potentiel provoqué par l'augmentation du potentiel de terre peut menacer l'équipement et les opérateurs.

A.3 Caractéristiques électriques de la centrale

A.3.1 Généralités

Pour les différents modes de fonctionnement et d'arrêt prévus, les caractéristiques électriques de la centrale sont importantes pour établir les capacités fonctionnelles des charges importantes ainsi que leur interaction avec les systèmes d'alimentation électrique internes. Les bases de conception et de dimensionnement établissent les plages de fonctionnement correspondant au profil de tension admissible pour les auxiliaires de la centrale.

A.3.2 Caractéristiques de l'alternateur principal

Les données de conception définiront le niveau de tension, la plage de tension et la plage de fréquence, ainsi que la capacité de puissance réactive.

Les données de conception définissent la surtension maximale lors d'une perte de charge (passage en mode de fonctionnement en régime îloté) coïncidant avec une excitation élevée. Les données de conception définiront également les tensions maximale et minimale coïncidant avec un dysfonctionnement du système d'excitation.

A.3.3 Sources internes de secours en CA et sources d'ultime secours en CA

Pour être utilisée sur un réseau électrique de puissance interne, il convient que la source interne de secours en CA choisie ait la capacité d'effectuer les actions suivantes:

- de démarrer et d'accélérer un certain nombre de gros moteurs entraînant leur charge à un rythme rapide, tout en maintenant la tension et la fréquence dans des limites acceptables;
- de fournir rapidement la puissance aux auxiliaires de sûreté en cas de perte des sources d'alimentation externes accompagnée d'un événement de dimensionnement. Il convient que la durée totale de démarrage et d'accélération des auxiliaires de sûreté satisfasse aux hypothèses formulées dans les analyses d'accident relatives au fonctionnement des systèmes de sûreté (les pompes et les vannes, par exemple);
- de fournir en continu la puissance à l'équipement, exigée pour assurer la sûreté nucléaire pendant une longue période.

Il convient d'établir les caractéristiques des charges exigées pour garantir l'arrêt sûr de la centrale, afin de définir les bases pour la sélection d'une source de puissance de secours pouvant accepter des charges importantes à un rythme rapide.

La majorité des charges de secours sont en général de gros moteurs asynchrones présentant un important courant d'appel au démarrage. Ces soudaines augmentations importantes du courant provenant du générateur interne après le démarrage des moteurs asynchrones peuvent donner lieu à des baisses de tension non négligeables. Cette tension plus basse peut diminuer la capacité du moteur à atteindre la pleine vitesse dans un délai convenable, empêcher les charges successives de démarrer ou provoquer l'arrêt d'un moteur en fonctionnement.

D'autres charges sensibles à la tension peuvent également arrêter de fonctionner après une chute de tension du système de contrôle-commande ou suite au déclenchement de dispositifs de protection. Par conséquent, lors des analyses de la distribution électrique de puissance, il convient de simuler en détail les paramètres spécifiques tels que les puissances des charges en kW et en kVA, les variations de tension et de fréquence maximales admises, le type de charge (moteurs, éclairage, alimentations sans interruption, entraînements à fréquence variable, etc.) et la durée prévue du transitoire de démarrage de charge.