

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Industrial non-destructive testing equipment – Electron linear accelerator

**Appareils destinés aux essais non destructifs pour le secteur industriel –
Accélérateur électronique linéaire**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62976:2017



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 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 16 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 16 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

Industrial non-destructive testing equipment – Electron linear accelerator

**Appareils destinés aux essais non destructifs pour le secteur industriel –
Accélérateur électronique linéaire**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.120.01

ISBN 978-2-8322-4128-8

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.....	4
1 Scope	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Equipment sets, names and work conditions.....	8
4.1 Equipment sets	8
4.2 Name convention	8
4.3 Operating conditions	9
4.3.1 Environmental requirement.....	9
4.3.2 Power supply.....	9
5 Technical requirements	9
5.1 Appearance	9
5.2 Control system.....	9
5.2.1 Design principle.....	9
5.2.2 Operation of start and stop	9
5.2.3 Functions of control system	9
5.3 Performance	10
5.3.1 X-ray beam energy	10
5.3.2 X-ray homogeneity.....	10
5.3.3 X-ray beam air kerma rate	10
5.3.4 X-ray beam focal spot.....	11
5.3.5 X-ray beam asymmetry	11
5.3.6 X-ray sensitivity	11
5.3.7 Dose leakage	12
5.4 Electrical safety	12
5.4.1 Protective grounding.....	12
5.4.2 Insulation resistance.....	12
5.4.3 Dielectric strength.....	12
5.4.4 Protection against electric shock	12
5.5 Reliability.....	12
5.5.1 Continuous operation.....	12
5.5.2 Recovery	12
5.5.3 Restart	12
6 Test methods.....	12
6.1 General requirements	12
6.1.1 Testing conditions	12
6.1.2 Instruments and devices	13
6.2 Visual inspection.....	14
6.3 Control system test.....	14
6.4 Performance test	14
6.4.1 X-ray beam energy	14
6.4.2 X-ray homogeneity.....	15
6.4.3 X-ray beam air kerma rate	16
6.4.4 X-ray beam focal spot.....	16
6.4.5 X-ray beam asymmetry	18
6.4.6 X-ray sensitivity	18

6.4.7	Leakage dose rate	18
6.5	Electrical safety testing	19
6.5.1	Protective grounding	19
6.5.2	Insulation resistance	19
6.5.3	Dielectric strength	19
6.5.4	Protection against electric shock	19
6.6	Reliability test	19
6.6.1	Continuous operation	19
6.6.2	Recovery	19
6.6.3	Restart	19
7	Inspection rules	20
7.1	Inspection classification	20
7.2	Inspection items	20
7.3	Criterion rule	20
8	Marking, packaging, transportation, storage and accompanying documents	20
8.1	Marking	20
8.1.1	Accelerator signs	20
8.1.2	Component nameplates	21
8.1.3	Labels	21
8.1.4	Warning signs	21
8.2	Packaging	21
8.3	Transportation	21
8.4	Storage	21
8.5	Accompanying documents	22
8.5.1	Instructions	22
8.5.2	Product certification	22
8.5.3	Other documents	22
Figure 1	– Naming convention	8
Figure 2	– Sketch map of the test module	13
Figure 3	– Sketch map of the copper block with a swivelling edge	14
Figure 4	– Schematic diagram of X ray beam radial uniformity measurement	15
Figure 5	– Schematic diagram of the testing module in front of the detector	16
Figure 6	– Schematic diagram of the “Sandwich” test module placement	17
Figure 7	– Schematic diagram of the copper block test module placement	17
Figure 8	– Diagram of leakage dose measurement points	19
Table 1	– Specifications of several commonly used accelerator models	9
Table 2	– Half value layer of materials corresponding to commonly used X-ray beam energies	10
Table 3	– X-ray homogeneity of commonly used X-ray beam energies	10
Table 4	– X-ray beam air kerma rate of different models	11
Table 5	– Detection range of equivalent steel thickness corresponding to commonly used X-ray beam energies	11
Table 6	– Testing conditions	13
Table 7	– Inspection items of the accelerator	20

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INDUSTRIAL NON-DESTRUCTIVE TESTING EQUIPMENT – ELECTRON LINEAR ACCELERATOR

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 62976 has been prepared by technical committee 45: Nuclear instrumentation.

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

FDIS	Report on voting
45/821/FDIS	45/824/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62976:2017

INDUSTRIAL NON-DESTRUCTIVE TESTING EQUIPMENT – ELECTRON LINEAR ACCELERATOR

1 Scope

This document gives the rules of naming, technical requirements, test methods, inspection, marking, packaging, transportation, storage and accompanying documents for electron linear accelerator equipment for Non-Destructive Testing (NDT).

This document applies to NDT electron linear accelerator equipment in the X-ray energy range of 1 MeV to 15 MeV, including the accelerator equipment for radiographic film, computed radiography with imaging plates, real-time imaging, digital detector array and industrial computerized tomography.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO/IEC Guide 37:2012, *Instructions for use of products by consumers*

ISO 780:2015, *Packaging – Distribution packaging – Graphical symbols for handling and storage of packages*

ISO 19232-1:2013, *Non-destructive testing – Image quality of radiographs – Part 1: Determination of the image quality value using wire-type image quality indicators*

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

target

area on the surface of accelerating tube outlet on which the electron beam impinges and from which the primary beam of X-rays is emitted

3.2

linear electron accelerator

LINAC

apparatus for producing high energy electrons by accelerating them along a waveguide. The electrons strike a target to produce X-rays

Note 1 to entry: NDT electron linear accelerator, hereinafter referred to as the accelerator.

[SOURCE: ISO 5576:1997, 2.84]

3.3

X-rays

penetrating electromagnetic radiation, within the approximate wavelength range of 1 nm to 0,0001 nm, produced when high velocity electrons impinge on a metal target

[SOURCE: ISO 5576:1997, 2.129]

3.4

X-ray beam energy

E

maximum X-ray energy in the continuous emission spectrum, equal to the product of the electron charge and the accelerating voltage

Note 1 to entry: *E* is expressed in megaelectronvolts (MeV).

3.5

wedge X-ray field

X-radiation field with a dose distribution that changes approximately linearly with distance from the beam edge along a line perpendicular to and passing through the radiation beam axis

[SOURCE: IEC 60976, 2007, 3.32]

3.6

half-value layer

thickness of a specified material, which attenuates under narrow beam conditions X- radiation with a particular spectrum to an extent such that the air kerma rate, exposure rate or absorbed dose rate is reduced to one half of the value that is measured without the material. The half-value layer (HVL) is expressed in suitable submultiples of the metre together with the material

[SOURCE: IEC 60601-1-3, 2008, 3.27]

3.7

X-ray beam focal spot

d

dimension across the focal spot of an accelerating tube, measured perpendicular to the central beam axis

Note 1 to entry: *d* is expressed in millimetres (mm).

3.8

X-ray beam homogeneity

ratio, expressed as a percent, of the dose rate in a plane 1 m from the target and normal to the beam central axis, and acquired at a specified angle from the central axis, to the dose rate in the plane and on the beam axis

3.9

X-ray beam air kerma rate

K

volume of ionization caused by the x-ray beam in air per unit time at 1 m away from target

Note 1 to entry: *K* is expressed in centigrays per minute (cGy/min).

3.10

X-ray beam asymmetry

ratio of the difference to the average values of the dose rates measured at equal distances from the central beam axis and in a vertical plane normal to the x-ray beam

Note 1 to entry: This ratio is expressed as a percentage.

3.11

X-ray sensitivity

ratio of the minimum defect size that can be observed in the detector to the thickness of the penetrated material

Note 1 to entry: This ratio is expressed as a percentage.

3.12

X-ray head

part of an X-ray installation that contains the accelerating tube and its shield

4 Equipment sets, names and work conditions

4.1 Equipment sets

Generally, the equipment consists of the following components:

- a) X-ray head,
- b) modulator,
- c) temperature control unit (TCU),
- d) control system,
- e) power distribution cabinet,
- f) safety interlock system,
- g) interconnecting cables (X-ray head to modulator, modulator to console) and hoses (TCU to X-ray head).

4.2 Name convention

The naming rules of the equipment are shown in Figure 1.

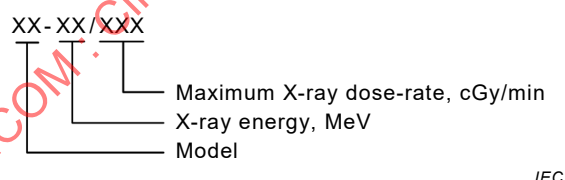


Figure 1 – Naming convention

The specifications of several commonly used accelerator models are shown in Table 1.

Table 1 – Specifications of several commonly used accelerator models

Model No.	Specification	
	X-ray beam energy MeV	Maximum X-ray dose rate cGy/min
XX-2/200	2	200
XX-4/500	4	500
XX-6/1000	6	1 000
XX-9/3000	9	3 000
XX-12/5000	12	5 000
XX-15/12000	15	12 000

4.3 Operating conditions

4.3.1 Environmental requirement

- environment temperature: (5 to 40) °C;
- relative humidity: ≤90 %.

4.3.2 Power supply

- voltage: 380 V ±10 % three-phase four-wire AC system;
- frequency: 50 Hz ±2 % / 60 Hz ±2 %;
- power supply: it is put forward in the product manual according to the accelerator model;
- grounding resistance: special grounding resistance of modulator is less than 4 Ω.

5 Technical requirements

5.1 Appearance

The surface shall be smooth, uniform color, no obvious scratches, bumps or holes.

5.2 Control system

5.2.1 Design principle

The design of the control system shall ensure the safety of the operator, the device and the delivered dose.

5.2.2 Operation of start and stop

Operation of X-ray source start and stop shall be executed in the control console.

5.2.3 Functions of control system

The basic functions of the control system shall include:

- normal start-up and shut-down,
- display of the status of normal, fault, alarm and auto-stop,
- display of the main operational parameters,
- safety interlock,
- emergency stop.

5.3 Performance

5.3.1 X-ray beam energy

Commonly used X-ray beam energies of accelerators are shown in Table 2 and the corresponding half value layer should not be less than the value in Table 2.

Table 2 – Half value layer of materials corresponding to commonly used X-ray beam energies

X-ray beam energy MeV	Steel (Material density: $7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) mm	Plexiglas (Material density: $1,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) mm
1	$16 \pm 0,5$	61 ± 2
2	$20 \pm 0,5$	84 ± 2
4	$25 \pm 0,5$	116 ± 2
6	$28 \pm 0,5$	138 ± 2
9	$30 \pm 0,5$	149 ± 2
12	$32 \pm 0,5$	178 ± 2
15	$33 \pm 0,5$	204 ± 2

5.3.2 X-ray homogeneity

X-ray homogeneity shall not be less than the value in Table 3 by using a beam flattening filter.

Table 3 – X-ray homogeneity of commonly used X-ray beam energies

X-ray beam energy MeV	Subtended angle Δ between beam central axis and axis connecting the centre of focal spot with the point of measurement located on the circumference (°)	X-ray homogeneity %
1	7,5	80
2	7,5	78
4	7,5	75
6	7,5	62
9	7,5	55
12	6,0	50
15	6,0	45

5.3.3 X-ray beam air kerma rate

X-ray beam air kerma rate shall achieve the value shown in Table 4 (can be reduced based on purpose).

Table 4 – X-ray beam air kerma rate of different models

X-ray beam energy MeV	X-ray beam dose rate cGy/min
1	20
2	200
4	500
6	1 000
9	3 000
12	5 000
15	12 000

5.3.4 X-ray beam focal spot

The diameter of the X-ray spot shall be less than or equal to 2,0 mm when the X-ray beam energy is less than 9 MeV; the diameter of X-ray spot shall be less than or equal to 3,5 mm when X-ray beam energy is equal to or higher than 9 MeV.

5.3.5 X-ray beam asymmetry

X-ray beam asymmetry shall be less than 3 % at 7,5° away from X-ray beam center axis when the X-ray beam energy is less than or equal to 9 MeV; X-ray beam asymmetry shall be less than 5 % at 6° away from X-ray beam center axis when X-ray beam energy is higher than 9 MeV.

5.3.6 X-ray sensitivity

In the range of the X-ray beam energy and the corresponding equivalent steel thickness stated in Table 5, X-ray sensitivity shall be less than 1 % as determined by linear densitometry for imaging detection.

Table 5 – Detection range of equivalent steel thickness corresponding to commonly used X-ray beam energies

X-ray beam energy MeV	Range of equivalent steel thickness mm
1	36 to 150
2	40 to 200
4	50 to 250
6	50 to 280
9	76 to 380
12	100 to 420
15	100 to 460

NOTE Equivalent steel thickness is the conversion of different plate thickness based on the density of $7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ steel.

5.3.7 Dose leakage

a) X-ray dose leakage

A measure of leakage is given by the ratio of X-ray dose rate 1 m away from the target in a variety of directions to the X-ray dose rate on the central beam axis. This shall be expressed as a percentage and shall be less than 0,1 %.

b) Neutron dose leakage (if the accelerator energy is higher than or equal to 10 MeV)

Neutron dose rate shall be no more than 0,01 mSv/h 1 m away from the target beyond the X-ray field formed by the forward collimator and no more than 0,001 mSv/h in other places.

5.4 Electrical safety

5.4.1 Protective grounding

Separated electric shock protection is essential. The resistance between metal surface and grounding terminal shall not be more than 0,1 Ω .

5.4.2 Insulation resistance

The insulation resistance between wires (including phase line and zero line) and ground of each independent electrical part of the equipment should not be less than 1 M Ω when the test voltage (AC RMS or DC average) reaches to 1 000 V.

5.4.3 Dielectric strength

Electrical equipment with electrical grounding should tolerate the dielectric strength testing of 2 000 V (AC RMS or DC average) with no breakdown and no repeated arcing during the test.

5.4.4 Protection against electric shock

Electrical equipment of the accelerator should have anti shock functionality under the condition of normal use, the touchable parts should not be hazardous or live. The voltage between accessible component and ground terminal should be less than AC 30 V or DC 60 V. The warning symbols for "high voltage" shall be posted near the high voltage device.

5.5 Reliability

5.5.1 Continuous operation

The device shall be able to operate for 8 h with less than 4 interruptions lasting no more than 30 min each.

5.5.2 Recovery

The time of reaching the normal work status shall be less than 15 min when the downtime without fault is longer than 1 h after shutdown.

5.5.3 Restart

The time of reaching the normal work status shall be less than 150 min when the downtime without fault is longer than 48 h after shutdown.

6 Test methods

6.1 General requirements

6.1.1 Testing conditions

The test shall be carried out under the conditions of Table 6.

Table 6 – Testing conditions

Environmental parameter	Reference value	Range
Temperature	25 °C	5 °C to 40 °C
Relative humidity	65 %	≤90 %
Atmospheric pressure	101,3 kPa	86 kPa to 106 kPa
Voltage (alternating current)	380 V	380 V ± 10 %
Frequency (alternating current)	50 Hz /60 Hz	50 Hz ± 2 % / 60 Hz ± 2 %

6.1.2 Instruments and devices

6.1.2.1 General

Within the validity verification, the test equipment and instruments should meet the test requirements.

6.1.2.2 X-ray dose meter

An X-ray dose meter is used to measure the in-beam air kerma rate.

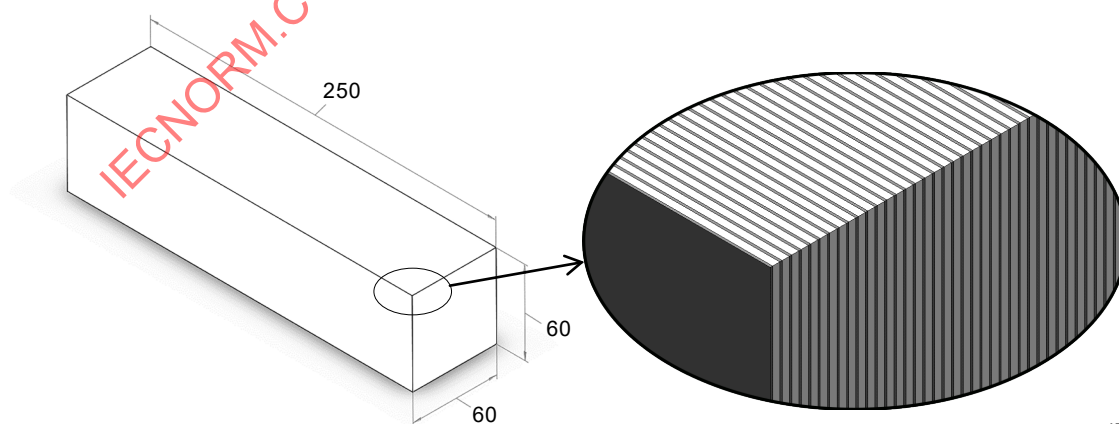
6.1.2.3 Wire-type image quality indicators

Wire-type image quality indicators complying with ISO 19232-1:2013 shall be used to measure X-ray sensitivity.

6.1.2.4 “Sandwich” test module

The “Sandwich” test module is used to measure the X-ray beam focal spot size. It is closely superposed by the rectangular (250 mm x 60 mm) copper or lead foil (with white color) and plastic pieces (with black color) alternately as shown in Figure 2, the foil thickness h_1 is not more than 0,1 mm, plastic film thickness h_2 is not more than 0,3 mm, and the superimposing thickness is not less than 60 mm.

Dimensions in millimetres



IEC

Figure 2 – Sketch map of the test module

6.1.2.5 Copper block with a swivelling edge

The copper block (60 mm x 60 mm x 16 mm) with a swiveling edge $\pm 15^\circ$ is a test block using as alternative method for the focal spot measurement, see Figure 3.

Dimensions in millimetres

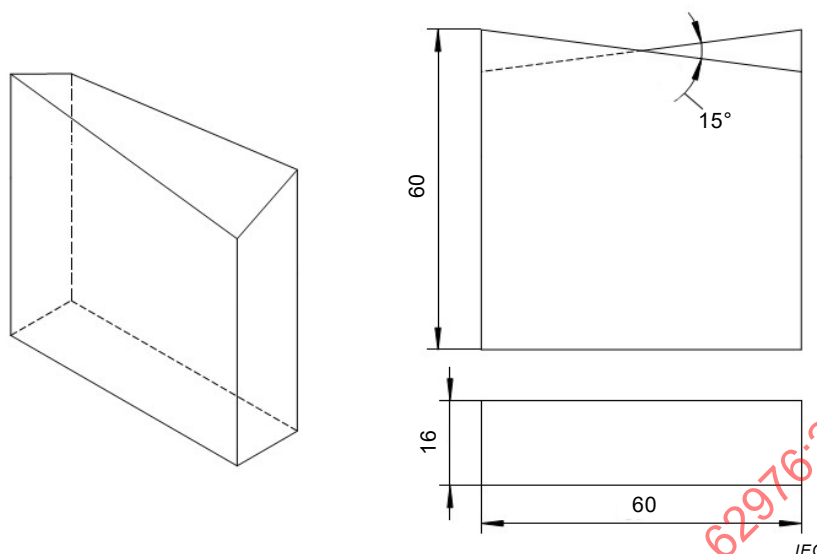


Figure 3 – Sketch map of the copper block with a swivelling edge

6.1.2.6 Plate specimen

The plate specimens are 36 mm to 460 mm steel or equivalent thickness of solid propellant to aid in measuring the X-ray beam energy and X-ray sensitivity. Select the appropriate range of the plate thickness depending on the energy of the accelerator, as specified in Table 5.

6.2 Visual inspection

Visually check the appearance of the facility with normal illumination to demonstrate that the requirements of 5.1 are satisfied.

6.3 Control system test

By visual inspection and demonstration to ensure that the control system satisfies the requirements of 5.2.

6.4 Performance test

6.4.1 X-ray beam energy

Measure the half-value layer of X-ray beam produced by the accelerator in steel or solid propellant in order to estimate the X-ray beam energy of the accelerator.

When measuring, the dosimeter probe is placed 1 m from the target in the center of the X-ray beam (the 0° direction), and steel plates with different thicknesses are placed between the probe and the target. Measure the X-ray attenuation through steel plates with different thicknesses d and with the same dose rate, $\dot{D}$, as measured by a dose meter. In general, in order to prevent errors caused by low-energy X-rays, the initial plate thickness should be greater than two times the half-value layer corresponding to the measured energy profile.

Graph the X-ray beam air kerma rates obtained with different thickness steel plates or solid propellants. Use the least-squares method to calculate μ values according to the formula (1), further calculate the half value layer $d_{1/2}$ value using the formula $d_{1/2} = \ln 2 / \mu$, and use Table 2 to estimate the X-ray beam energy.

$$\dot{D} = \dot{D}_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

where

d is the plates thickness, in mm;

$\dot{D}_0$ is the dose rate when $d = 0$, in cGy/min;

$\dot{D}$ is the dose rate, in cGy/min;

μ is the linear attenuation coefficient, in mm⁻¹.

The test results shall comply with the requirement of 5.3.1.

6.4.2 X-ray homogeneity

Measure the X-ray air kerma rate 1 m from the target on the central axis of the X-ray beam, $\dot{K}_0$. Measure the X-ray air kerma rates, $\dot{K}_i$, in a plane normal to the beam axis and at equal and symmetrically opposing distances as shown in Figure 4. Measure at least four rates at horizontal and vertical transverse points that each make an angle A with the central beam axis (the values of A are given in Table 3). All measurements are to be made under the same conditions. Use the minimum of the $\dot{K}_i$ acquired to calculate the homogeneity η_h according to formula (2).

$$\eta_h = \frac{\dot{K}_{\min}}{\dot{K}_0} \times 100 \% \quad (2)$$

where

η_h is the X-ray homogeneity;

$\dot{K}_{\min}$ is the minimum X-ray air kerma rate measured from the set of points A degrees from the beam axis and 1 m from the target, in cGy/min;

$\dot{K}_0$ is the X-ray air kerma rate value on the central axis 1 m far from the target, in cGy/min.

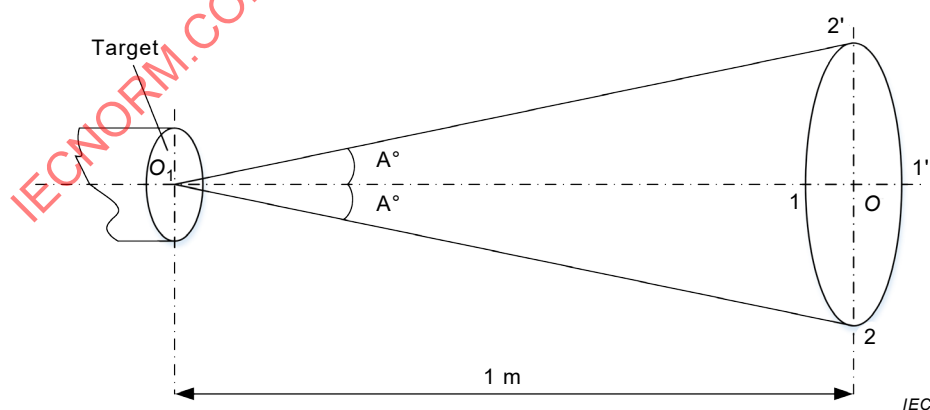


Figure 4 – Schematic diagram of X ray beam radial uniformity measurement

The computed homogeneity shall comply with the requirements of 5.3.2.

6.4.3 X-ray beam air kerma rate

Place the dosimeter probes in front and 1 m far from the target at the center of X ray beam axis, set the standard dosimeter mode to “dose” and measure 3 sets of time and dose during the beam test, calculate the average value of X-ray beam air kerma rate, then multiply the calibration factor of the certificate and the air density correction factor. The result is the X-ray beam air kerma rate of the accelerator.

The test result shall comply with the requirements of 5.3.3.

6.4.4 X-ray beam focal spot

6.4.4.1 “Sandwich” test method

The X-ray beam focal spot is measured using a test module made according to 6.1.2.4, as shown in Figure 5. Place the test module 300 mm, 500 mm, and 800 mm from the target at the center of X ray beam axis as shown in Figure 6. X-ray beam slits through the corresponding plastic sheet, and makes the film exposure put at the other end of the test module; after being film processed, several black lines will appear, the black intensity is larger at the center and smaller on both sides.

Using the number of black lines whose black intensity is 50 % or greater than the central, calculate the X-ray beam focal spot according to formula (3).

$$d_i = (h_1 + h_2) \times n_i \quad (3)$$

where

d_i is the X-ray beam focal spot, in mm;

h_1 is the copper or lead foil thickness, in mm;

h_2 is the plastic piece thickness, in mm;

n_i is the number of black lines whose black intensity is 50 % or greater than the central.

For each of 3 distances, use the least-squares method for linear fitting, ($d_i = (a + d_c)$) where a is the linear factor, l is the distance of the testing module to target, and d_c is the X-ray beam focus spot value when l equal to 0.

The results shall comply with the requirements of 5.3.4.

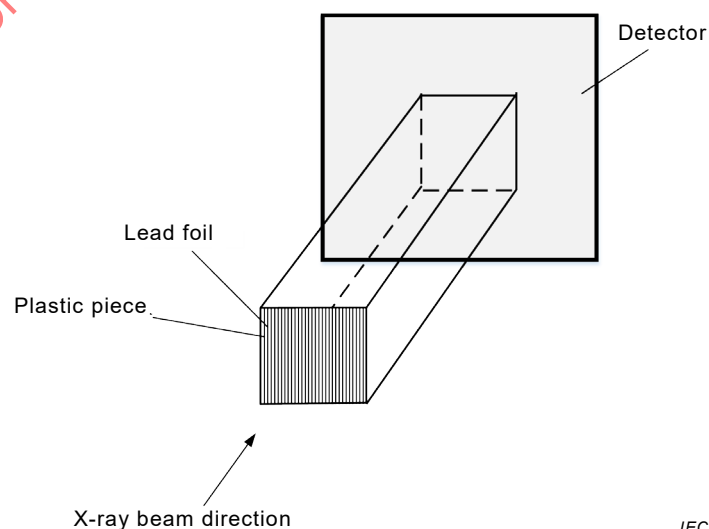


Figure 5 – Schematic diagram of the testing module in front of the detector

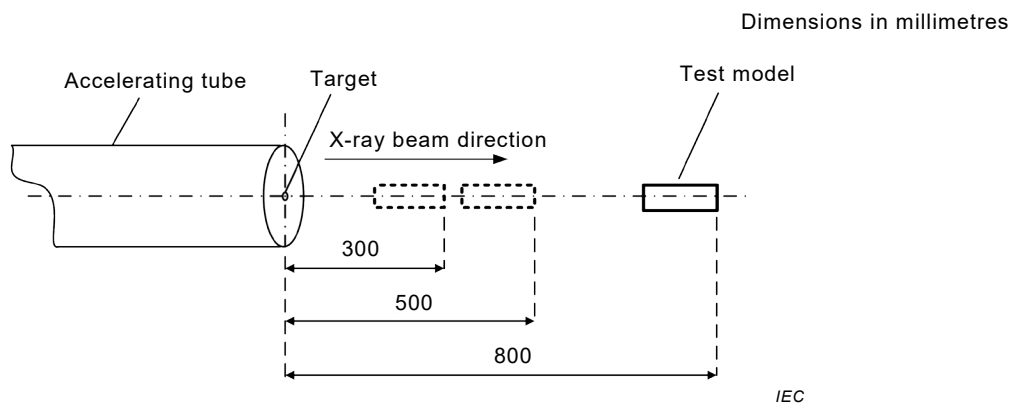


Figure 6 – Schematic diagram of the “Sandwich” test module placement

6.4.4.2 “Copper block” method

An alternative method for the focal spot measurement is a copper block made according to 6.1.2.5. When the copper block is exactly in the middle between target and image detector as shown in Figure 7, then the detector image shows directly the focal spot size measured. Otherwise a magnification factor has to be considered. A typical distance between focal spot and detector is 4 m. The focal spot size is measured as edge unsharpness according to the Klasens method (unsharpness is the distance of the 16 % and the 84 % points in a profile across the sharpest edge response in the image multiplied by 1,47).

A horizontal edge position measures the vertical focal spot size and a vertical edge orientation measures the horizontal focal spot size.

The result shall comply with the requirements in 5.3.4.

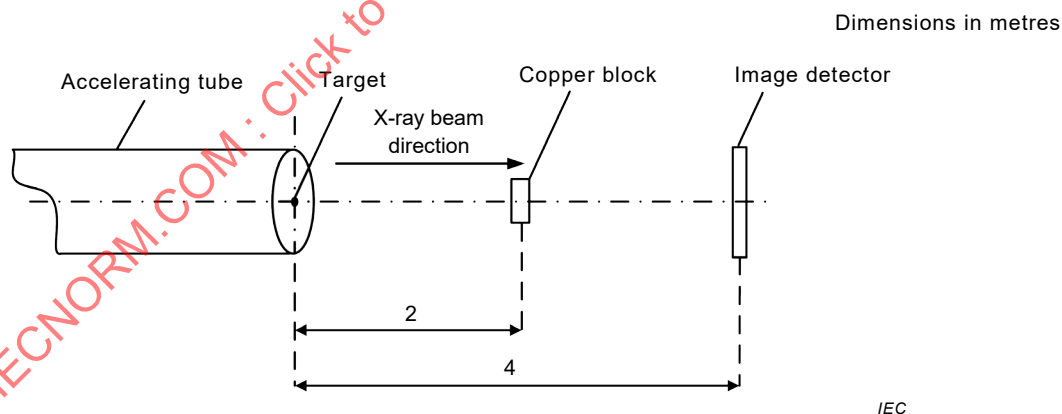


Figure 7 – Schematic diagram of the copper block test module placement

6.4.5 X-ray beam asymmetry

Get the difference and the average of the four measurements in 6.4.2 shown in Figure 4 as 1, 1', 2, and 2'. Calculate the X-ray beam asymmetry η according to formula (4).

$$\eta = \frac{\Delta \dot{D}}{\bar{\dot{D}}} = \left| \frac{\dot{D}_i - \dot{D}'_i}{(\dot{D}_i + \dot{D}'_i)/2} \right|_{\max} \times 100 \% \quad (4)$$

where

$\Delta \dot{D}$ is the difference of $\dot{D}_i$ and $\dot{D}'_i$;

$\bar{\dot{D}}$ is the average of $\dot{D}_i$ and $\dot{D}'_i$;

$\dot{D}_i$ and $\dot{D}'_i$ are the dose rates of two symmetry points.

The results shall comply with the requirements of 5.3.5.

6.4.6 X-ray sensitivity

Place the steel plate specimen with the thickness of Table 5 vertically and 1 m from the target at the center of X ray beam axis. Attach wire-type image quality indicators to the side of the plate that is closest to the X-ray beam; attach film to the other plate side. Process the film after exposure, observe the minimum line diameter of image quality indicators in the film, and calculate the X-ray sensitivity according to formula (5).

$$C = \frac{d_{\min}}{T} \times 100 \% \quad (5)$$

where

C is the X-ray sensitivity;

$d_{\min}$ is the minimum line diameter of image quality indicators in the film, in mm;

T is the thickness of steel plate, in mm.

The results shall comply with the requirements of 5.3.6.

6.4.7 Leakage dose rate

Block front-end and the surrounding space of accelerator collimator with more than 10 half value layers of lead or tungsten. Consider a sphere with a radius of 1 m with the target as its center. Place dosimeter probes at twenty or more locations on the sphere (see Figure 8 for normative locations; the target is at O) and measure the dose rates normalized to 1 min to obtain $\dot{D}_i$. The dose rate percentage is calculated for each measurement by formula (6) relative to dose rate $\dot{D}_0$ at a distance of 1 m from the center beam of the X-ray to the target without blocking.

$$\eta_{LDR} = \frac{\dot{D}_i}{\dot{D}_0} \times 100 \% \quad (6)$$

The test results of each point shall comply with the requirements of 5.3.7.

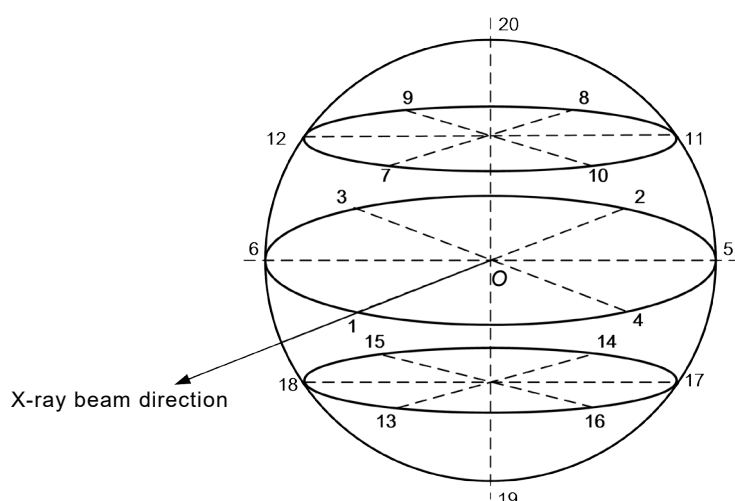


Figure 8 – Diagram of leakage dose measurement points

6.5 Electrical safety testing

6.5.1 Protective grounding

Ground resistance tester shall be used to measure the resistance of ground-end and the shell, the test current is 25 A, the result should comply with the requirements of 5.4.1.

6.5.2 Insulation resistance

Using 1 000 V insulation resistance meter, test insulation resistances of phase line, zero line to ground and metal shell, the result shall comply with the requirements of 5.4.2.

6.5.3 Dielectric strength

Test voltage shall be gradually increased to 2 000 V in 10 s, and maintained for at least 1 min, the test results shall comply with the requirements of 5.4.3.

6.5.4 Protection against electric shock

Use 2 k Ω resistor in parallel on the AC and DC voltmeter to measure the voltage between the touchable components and protective grounding under normal working conditions of the accelerator, the result shall comply with the requirement of 5.4.4.

6.6 Reliability test

6.6.1 Continuous operation

Continuous operation under the rated X-ray beam air kerma rate, the test result shall comply with the requirements of 5.5.1.

6.6.2 Recovery

The reboot time after 1 h outage shall comply with the requirement of 5.5.2.

6.6.3 Restart

The reboot time after 48 h outage shall comply with the requirement of 5.5.3.

7 Inspection rules

7.1 Inspection classification

Inspection is divided into the type inspection and delivery inspection.

7.2 Inspection items

Inspection items are shown in Table 7.

Table 7 – Inspection items of the accelerator

No.	Item	Type inspection	Delivery inspection	Technical requirements	Inspection method
1	Appearance	▲	▲	5.1	6.2
2	Control system	▲	▲	5.2	6.3
3	X-ray beam energy	▲	▲	5.3.1	6.4.1
4	X-ray homogeneity	▲	▲	5.3.2	6.4.2
5	X-ray beam air kerma rate	▲	▲	5.3.3	6.4.3
6	X-ray focal spot	▲	▲	5.3.4	6.4.4
7	X-ray beam asymmetry	▲	▲	5.3.5	6.4.5
8	X-ray sensitivity	▲	▲	5.3.6	6.4.6
9	Leakage dose rate	▲	▲	5.3.7	6.4.7
10	Protective grounding	▲	▲	5.4.1	6.5.1
11	Insulation resistance	▲	▲	5.4.2	6.5.2
12	Dielectric strength	▲	▲	5.4.3	6.5.3
13	Protection against electric shock	▲	▲	5.4.4	6.5.4
14	Continuous operation	▲	△	5.5.1	6.6.1
15	Recovery	▲	▲	5.5.2	6.6.2
16	Restart	▲	▲	5.5.3	6.6.3
NOTE ▲ required items △ optional items.					

7.3 Criterion rule

7.3.1 If defective items were found during the type inspection, it is allowed to adjust or replace related components or subsystems, and carry out a new inspection.

7.3.2 The products passing the inspection items in Table 7 during delivery inspection shall be the qualified products.

8 Marking, packaging, transportation, storage and accompanying documents

8.1 Marking

8.1.1 Accelerator signs

The accelerator shall be marked with legible permanent sign or signs in a suitable position. The sign shall include:

- Manufacturer's name.
- Device name.

- c) Device type.
- d) Serial number and date of manufacture.
- e) Product standard No.

8.1.2 Component nameplates

Nameplates of main components should be fixed in a suitable place. Content of the nameplate shall at least contain the following items:

- a) Component name.
- b) Manufacturer's name.
- c) Serial number and date of manufacture.

8.1.3 Labels

All measuring meters, operating switches, buttons, indicator lights in the accelerator system shall be labelled.

8.1.4 Warning signs

Warning signs and warning instructions shall comply with the radioactive symbols and signs specified in ISO 780:2015.

8.2 Packaging

8.2.1 The accelerator should be dispensed in crates, and the box should contain the detailed packing list. Crates should provide measures against rain, moisture, and shock. Components are fixed in the box and soft plastic is used to avoid loose and rubbing.

8.2.2 Thyristors and other fragile parts should be in separate boxes specially designed to ensure that they will not be damaged during transport.

8.2.3 Packaging mark should comply with the relevant requirements in ISO 780:2015.

8.3 Transportation

8.3.1 Packaged equipment or components shall allow their transportation by automobiles, trains and ships.

8.3.2 Shipment should be carried out strictly in accordance with the conditions indicated on the package. Shipment should be gentle, not upside down, and collisions should be avoided.

8.4 Storage

8.4.1 Storehouse for storage should provide ambient temperature 0 °C to 40 °C, relative humidity less than 90 %, and good ventilation. The storehouse should not contain corrosive gas, strong vibrations, shocks and strong magnetic fields.

8.4.2 The parts which need to be kept in vacuum for a long time, such as accelerating tubes, klystrons, should be vacuumized regularly in accordance with the requirements of specification.

8.5 Accompanying documents

8.5.1 Instructions

Instructions shall comply with the specification of ISO/IEC Guide 37:2012, and include the following items:

- a) Technical specification: characteristics, the main purpose and scope of application, brief structure and working principle, and the main performance parameters, radiation safety and security measures, the product working conditions, the environment and installation requirements.
- b) Operation manual: operation safety, instructions and precautions of radiation safety, operating procedures, methods, and preventive measures against misuse, and other requirements for operation.
- c) Maintenance manual: symptoms, causes and remedy, routine operation and maintenance procedures, periodic maintenance procedures and methods while maintaining long-term storage.

8.5.2 Product certification

Product certification shall include the implementation of product standards, inspection results and conclusions, product number, production date and inspection department inspector signature, etc.

8.5.3 Other documents

Accompanying documents should contain a list of spare parts, packing list and packing catalog.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62976:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	27
1 Domaine d'application	29
2 Références normatives	29
3 Termes et définitions	29
4 Composition de l'équipement, noms et conditions de fonctionnement	31
4.1 Composition de l'équipement	31
4.2 Convention de nommage	31
4.3 Conditions de fonctionnement	32
4.3.1 Exigences environnementales	32
4.3.2 Alimentation	32
5 Exigences techniques	32
5.1 Aspect	32
5.2 Système de commande	32
5.2.1 Principe de conception	32
5.2.2 Démarrage et arrêt	32
5.2.3 Fonctions du système de commande	32
5.3 Performances	33
5.3.1 Energie du faisceau de rayonnement X	33
5.3.2 Homogénéité du faisceau de rayonnement X	33
5.3.3 Débit de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X	33
5.3.4 Foyer optique du faisceau de rayonnement X	34
5.3.5 Asymétrie du faisceau de rayonnement X	34
5.3.6 Sensibilité du rayonnement X	34
5.3.7 Fuite de dose	35
5.4 Sécurité électrique	35
5.4.1 Mise à la terre pour des raisons de protection	35
5.4.2 Résistance d'isolement	35
5.4.3 Rigidité diélectrique	35
5.4.4 Protection contre les chocs électriques	35
5.5 Fiabilité	35
5.5.1 Fonctionnement continu	35
5.5.2 Récupération	35
5.5.3 Redémarrage	35
6 Méthodes d'essai	36
6.1 Exigences générales	36
6.1.1 Conditions d'essai	36
6.1.2 Instruments et appareils	36
6.2 Inspection visuelle	37
6.3 Essai du système de commande	38
6.4 Essai des performances	38
6.4.1 Energie du faisceau de rayonnement X	38
6.4.2 Homogénéité du faisceau de rayonnement X	38
6.4.3 Débit de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X	39
6.4.4 Foyer optique du faisceau de rayonnement X	39
6.4.5 Asymétrie du faisceau de rayonnement X	41
6.4.6 Sensibilité du rayonnement X	41

6.4.7	Débit de dose de fuite.....	42
6.5	Essais de sécurité électrique	42
6.5.1	Mise à la terre pour des raisons de protection	42
6.5.2	Résistance d'isolement	42
6.5.3	Rigidité diélectrique	42
6.5.4	Protection contre les chocs électriques.....	43
6.6	Essai de fiabilité	43
6.6.1	Fonctionnement continu.....	43
6.6.2	Récupération	43
6.6.3	Redémarrage.....	43
7	Règles d'inspection	43
7.1	Classification des types d'inspection	43
7.2	Eléments à inspecter	43
7.3	Règles et critères.....	44
8	Marquage, emballage, transport, stockage et documents d'accompagnement.....	44
8.1	Marquage	44
8.1.1	Marquage de l'accélérateur.....	44
8.1.2	Plaques signalétiques des composants.....	44
8.1.3	Etiquettes	45
8.1.4	Symboles d'avertissement	45
8.2	Emballage.....	45
8.3	Transport	45
8.4	Stockage.....	45
8.5	Documents d'accompagnement.....	45
8.5.1	Instructions.....	45
8.5.2	Certification du produit	46
8.5.3	Autres documents.....	46
	Figure 1 – Convention de nommage.....	31
	Figure 2 – Schéma sommaire du module d'essai.....	37
	Figure 3 – Schéma sommaire du bloc de cuivre à angle orientable	37
	Figure 4 – Schéma de mesure de l'uniformité radiale du faisceau de rayonnement X.....	39
	Figure 5 – Schéma du module d'essai en face du détecteur	40
	Figure 6 – Schéma du placement du module d'essai "sandwich"	40
	Figure 7 – Schéma du placement du module d'essai "bloc de cuivre"	41
	Figure 8 – Diagramme des points de mesure de dose de fuite	42
	Tableau 1 – Spécifications relatives aux différents modèles d'accélérateurs communément utilisés	32
	Tableau 2 – Couches de demi-transmission du matériau correspondant aux énergies de faisceaux de rayonnement X communément utilisées.....	33
	Tableau 3 – Homogénéité du faisceau de rayonnement X pour les énergies de faisceau de rayonnement X communément utilisées	33
	Tableau 4 – Débit de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X de différents modèles.....	34
	Tableau 5 – Plages de détection d'épaisseurs d'acier équivalentes correspondant aux énergies de faisceaux de rayonnement X communément utilisées	34
	Tableau 6 – Conditions d'essai	36

Tableau 7 – Eléments de l'accélérateur à inspecter	44
--	----

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62976:2017

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**APPAREILS DESTINÉS AUX ESSAIS NON
DESTRUCTIFS POUR LE SECTEUR INDUSTRIEL –
ACCÉLÉRATEUR ÉLECTRONIQUE LINÉAIRE****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 62976 a été établie par le comité d'études 45 de l'IEC: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45/821/FDIS	45/824/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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62976:2017

APPAREILS DESTINÉS AUX ESSAIS NON DESTRUCTIFS POUR LE SECTEUR INDUSTRIEL – ACCÉLÉRATEUR ÉLECTRONIQUE LINÉAIRE

1 Domaine d'application

Le présent document donne les règles qui s'appliquent au nommage, aux exigences techniques, aux méthodes d'essais, à l'inspection, au marquage, à l'emballage, au transport, au stockage et aux documents d'accompagnement des accélérateurs électroniques linéaires destinés aux essais non destructifs (END).

Le présent document s'applique aux accélérateurs électroniques linéaires destinés aux essais non destructifs dont le rayonnement X est compris dans la plage d'énergie allant de 1 MeV à 15 MeV, notamment aux accélérateurs utilisés pour les films radiographiques, la radiographie informatisée à plaque d'imagerie, l'imagerie en temps réel, les barrettes de détecteurs numériques et la tomographie informatisée à usage industriel.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. 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).

ISO/IEC Guide 37:2012, *Instructions d'emploi des produits par les consommateurs*

ISO 780:2015, *Emballages – Emballages de distribution – Symboles graphiques pour la manutention et le stockage des emballages*

ISO 19232-1:2013, *Essais non destructifs – Qualité d'image des radiogrammes – Partie 1: Détermination de l'indice de qualité d'image à l'aide d'indicateurs à fils*

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1 cible

partie de la surface de la sortie d'un tube d'accélération frappée par le faisceau d'électrons et qui émet le faisceau primaire de rayons X

3.2 accélérateur électronique linéaire LINAC

générateur d'électrons à haute énergie qui accélère ceux-ci le long d'un guide d'ondes. Les électrons viennent frapper une cible qui produit des rayons X

Note 1 à l'article: L'accélérateur électronique linéaire destiné aux essais non destructifs est appelé ci-après "accélérateur".

[SOURCE: ISO 5576:1997, 2.84]

3.3

rayonnement X

rayons X

rayonnement électromagnétique pénétrant, dont la longueur d'onde est comprise approximativement entre 1 nm et 0,0001 nm, produit par l'impact d'électrons à haute vitesse sur une cible métallique

[SOURCE: ISO 5576:1997, 2.129]

3.4

énergie du faisceau de rayonnement X

E

énergie maximale du rayonnement X dans le spectre d'émission continu, correspondant au produit de la charge de l'électron par la tension d'accélération

Note 1 à l'article: *E* est exprimé en Megaelectronvolts (MeV).

3.5

champ de rayonnement X avec coin

champ de rayonnement X avec une distribution de dose qui varie approximativement linéairement en fonction de la distance au bord du faisceau le long d'une ligne perpendiculaire à l'axe du faisceau de rayonnement et le traversant

[SOURCE: IEC 60976, 2007, 3.32]

3.6

couche de demi-transmission

épaisseur d'un matériau spécifié, qui transmet dans les conditions du faisceau étroit un rayonnement X avec un spectre particulier en réduisant le débit de kerma dans l'air, le débit d'exposition ou le débit de dose absorbée à la moitié de la valeur que l'on mesurerait en l'absence du matériau considéré. La couche de demi-transmission (CDT) est exprimée en sous-multiples appropriés du mètre suivis de l'indication du matériau

[SOURCE: IEC 60601-1-3, 2008, 3.27]

3.7

foyer optique du faisceau de rayonnement X

d

diamètre du foyer optique d'un tube d'accélération, mesuré perpendiculairement à l'axe central du faisceau

Note 1 à l'article: *d* est exprimé en millimètres (mm).

3.8

homogénéité du faisceau de rayonnement X

quotient, exprimé en pourcentage, du débit de dose à 1 m à partir de la cible et dans un plan normal par rapport à l'axe central du faisceau, acquis à un angle donné de l'axe central, sur le débit de dose dans le plan et sur l'axe du faisceau

3.9

débit de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X

K

volume d'ionisation provoquée par le faisceau de rayonnement X dans l'air par unité de temps à 1 m de la cible

Note 1 à l'article: K est exprimé en centigrays par minute (cGy/min).

3.10

asymétrie du faisceau de rayonnement X

quotient des différences par rapport aux valeurs moyennes des débits de dose mesurés à égales distances de l'axe central du faisceau, dans un plan vertical normal par rapport au faisceau de rayonnement X

Note 1 à l'article: Ce quotient est exprimé en pourcentage.

3.11

sensibilité du rayonnement X

quotient de la dimension minimale des défauts pouvant être observés par le détecteur sur l'épaisseur du matériau

Note 1 à l'article: Ce quotient est exprimé en pourcentage.

3.12

tête à rayonnement X

partie d'une installation à rayonnement X qui contient le tube d'accélération et sa gaine

4 Composition de l'équipement, noms et conditions de fonctionnement

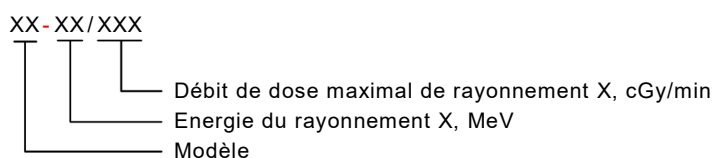
4.1 Composition de l'équipement

Généralement, l'équipement se compose des appareils suivants:

- une tête à rayonnement X;
- un modulateur;
- un module de régulation de la température;
- un système de commande;
- une armoire d'alimentation électrique;
- un système de verrouillage de sécurité;
- des câbles d'interconnexion (entre la tête à rayonnement X et le modulateur, entre le modulateur et le tableau de commande) et des conduits flexibles (entre le module de régulation de la température et la tête à rayonnement X).

4.2 Convention de nommage

Les règles de nommage des appareils sont indiquées à la Figure 1.



IEC

Figure 1 – Convention de nommage

Les spécifications relatives aux différents modèles d'accélérateurs communément utilisés sont indiquées au Tableau 1.

Tableau 1 – Spécifications relatives aux différents modèles d'accélérateurs communément utilisés

N° de modèle	Spécification	
	Energie du faisceau de rayonnement X MeV	Débit de dose maximal de rayonnement X cGy/min
XX-2/200	2	200
XX-4/500	4	500
XX-6/1000	6	1 000
XX-9/3000	9	3 000
XX-12/5000	12	5 000
XX-15/12000	15	12 000

4.3 Conditions de fonctionnement

4.3.1 Exigences environnementales

- Température de l'environnement: (5 à 40) °C
- Humidité relative: ≤ 90 %

4.3.2 Alimentation

- tension: système AC triphasé 4 fils à 380 V ± 10 %;
- fréquence: 50 Hz ± 2 % / 60 Hz ± 2 %;
- alimentation: indiquée dans le manuel du produit, en fonction du modèle d'accélérateur;
- résistance de mise à la terre: la résistance de mise à la terre spécifique du modulateur est inférieure à 4 Ω.

5 Exigences techniques

5.1 Aspect

La surface doit être lisse, de couleur uniforme, et ne doit présenter aucune rayure, aucune bosse et aucun trou.

5.2 Système de commande

5.2.1 Principe de conception

La conception du système de commande doit assurer la sécurité de l'opérateur, de l'appareil et de la dose fournie.

5.2.2 Démarrage et arrêt

Le démarrage et l'arrêt de la source de rayonnement X doivent être réalisés sur le tableau de commande.

5.2.3 Fonctions du système de commande

Les fonctions de base du système de commande doivent inclure:

- le démarrage et l'arrêt normaux;
- l'affichage de l'état "normal", "défaut", "alarme" ou "arrêt automatique";
- l'affichage des principaux paramètres de fonctionnement;

- le verrouillage de sécurité;
- l'arrêt d'urgence.

5.3 Performances

5.3.1 Energie du faisceau de rayonnement X

Les énergies de faisceau de rayonnement X communément utilisées pour les accélérateurs sont indiquées au Tableau 2. Il convient que les valeurs de couche de demi-transmission correspondantes ne soient pas inférieures aux valeurs du même Tableau 2.

Tableau 2 – Couches de demi-transmission du matériau correspondant aux énergies de faisceaux de rayonnement X communément utilisées

Energie du faisceau de rayonnement X MeV	Acier (Densité du matériau: $7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) mm	Plexiglas (Densité du matériau: $1,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) mm
1	$16 \pm 0,5$	61 ± 2
2	$20 \pm 0,5$	84 ± 2
4	$25 \pm 0,5$	116 ± 2
6	$28 \pm 0,5$	138 ± 2
9	$30 \pm 0,5$	149 ± 2
12	$32 \pm 0,5$	178 ± 2
15	$33 \pm 0,5$	204 ± 2

5.3.2 Homogénéité du faisceau de rayonnement X

L'homogénéité du faisceau de rayonnement X ne doit pas être inférieure à la valeur donnée au Tableau 3 et obtenue en utilisant un filtre d'aplatissement du faisceau.

Tableau 3 – Homogénéité du faisceau de rayonnement X pour les énergies de faisceau de rayonnement X communément utilisées

Energie du faisceau de rayonnement X MeV	Angle sous-tendu A entre l'axe central du faisceau et l'axe reliant le centre du foyer optique au point de mesure situé sur la circonférence (°)	Homogénéité du faisceau de rayonnement X %
1	7,5	80
2	7,5	78
4	7,5	75
6	7,5	62
9	7,5	55
12	6,0	50
15	6,0	45

5.3.3 Débit de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X

Le débit de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X doit atteindre les valeurs indiquées dans le Tableau 4 (et peut être réduit en fonction de l'objectif).

Tableau 4 – Débit de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X de différents modèles

Energie du faisceau de rayonnement X MeV	Débit de dose du faisceau de rayonnement X cGy/min
1	20
2	200
4	500
6	1 000
9	3 000
12	5 000
15	12 000

5.3.4 Foyer optique du faisceau de rayonnement X

Le diamètre du foyer du rayonnement X doit être inférieur ou égal à 2,0 mm lorsque l'énergie du faisceau est inférieure à 9 MeV. Le diamètre du foyer du rayonnement X doit être inférieur ou égal à 3,5 mm lorsque l'énergie du faisceau est supérieure ou égale à 9 MeV.

5.3.5 Asymétrie du faisceau de rayonnement X

L'asymétrie du faisceau de rayonnement X doit être inférieure à 3 % à 7,5° de l'axe central du faisceau lorsque l'énergie du faisceau est inférieure ou égale à 9 MeV. L'asymétrie du faisceau de rayonnement X doit être inférieure à 5 % à 6° de l'axe central du faisceau lorsque l'énergie du faisceau est supérieure à 9 MeV.

5.3.6 Sensibilité du rayonnement X

Pour les énergies du faisceau de rayonnement X et les plages d'épaisseurs d'acier équivalentes correspondantes indiquées au Tableau 5, la sensibilité du rayonnement X doit être inférieure à 1 %, comme le détermine le densitomètre linéaire de détection par imagerie.

Tableau 5 – Plages de détection d'épaisseurs d'acier équivalentes correspondant aux énergies de faisceaux de rayonnement X communément utilisées

Energie du faisceau de rayonnement X MeV	Plage d'épaisseur d'acier équivalente mm
1	36 à 150
2	40 à 200
4	50 à 250
6	50 à 280
9	76 à 380
12	100 à 420
15	100 à 460

NOTE L'épaisseur d'acier équivalente correspond à la conversion de différentes épaisseurs de plaques en fonction de la densité de l'acier ($7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$).

5.3.7 Fuite de dose

a) Fuite de dose de rayonnement X

Le rapport entre le débit de dose de rayonnement X à 1 m de la cible dans plusieurs directions et le débit de dose de rayonnement X sur l'axe central du faisceau donne une mesure de la fuite. Cette mesure doit être exprimée sous la forme d'un pourcentage et doit être inférieure à 0,1 %.

b) Fuite de dose neutrons (si l'énergie de l'accélérateur est supérieure ou égale à 10 MeV)

Le débit de dose neutrons ne doit pas être supérieur à 0,01 mSv/h à 1 m de la cible au-delà du champ du rayonnement X formé par le collimateur situé à l'avant, et ne doit pas être supérieur à 0,001 mSv/h à toute autre position.

5.4 Sécurité électrique

5.4.1 Mise à la terre pour des raisons de protection

Il est essentiel de mettre en place une protection distincte contre les chocs électriques. La résistance entre la surface métallique et la borne de mise à la terre ne doit pas être supérieure à 0,1 Ω .

5.4.2 Résistance d'isolement

Il convient que la résistance d'isolement entre les fils (ligne à phase et ligne nulle comprises) et la terre de chaque pièce électrique indépendante de l'appareil soit supérieure ou égale à 1 M Ω lorsque la tension d'essai (valeur efficace en courant alternatif ou valeur moyenne en courant continu) atteint 1 000 V.

5.4.3 Rigidité diélectrique

Il convient que les appareils électriques disposant d'une mise à la terre tolèrent des essais de rigidité diélectrique de 2 000 V (valeur efficace en courant alternatif ou valeur moyenne en courant continu) sans claquage et sans formation répétée d'arcs au cours de l'essai.

5.4.4 Protection contre les chocs électriques

Il convient que les appareils électriques de l'accélérateur disposent d'une fonctionnalité anti chocs en conditions d'utilisation normale. Il convient également que les pièces accessibles ne soient pas dangereuses ou actives. Il convient que la tension entre les composants accessibles et la borne de mise à la terre soit inférieure à 30 V en courant alternatif ou à 60 V en courant continu. Les symboles d'avertissement pour la "haute tension" doivent être placés à proximité de l'appareil à haute tension.

5.5 Fiabilité

5.5.1 Fonctionnement continu

L'appareil doit être capable de fonctionner pendant 8 h avec moins de 4 interruptions d'une durée inférieure ou égale à 30 min chacune.

5.5.2 Récupération

Le temps nécessaire pour atteindre l'état de fonctionnement normal doit être inférieur à 15 min lorsque l'interruption sans défaut dure plus de 1 h à compter de l'arrêt.

5.5.3 Redémarrage

Le temps nécessaire pour atteindre l'état de fonctionnement normal doit être inférieur à 150 min lorsque l'interruption sans défaut dure plus de 48 h à compter de l'arrêt.

6 Méthodes d'essai

6.1 Exigences générales

6.1.1 Conditions d'essai

L'essai doit être réalisé dans les conditions indiquées dans le Tableau 6.

Tableau 6 – Conditions d'essai

Paramètres environnementaux	Valeur de référence	Plage
Température	25 °C	5 °C à 40 °C
Humidité relative	65 %	≤ 90 %
Pression atmosphérique	101,3 kPa	86 kPa à 106 kPa
Tension (courant alternatif)	380 V	380 V ± 10 %
Fréquence (courant alternatif)	50 Hz/60 Hz	50 Hz ± 2 %/60 Hz ± 2 %

6.1.2 Instruments et appareils

6.1.2.1 Généralités

Dans le cadre de la vérification de la validité, il convient que l'appareil et les instruments d'essai satisfassent aux exigences d'essai.

6.1.2.2 Dosimètre pour rayons X

Un dosimètre pour rayons X est utilisé pour mesurer le débit de kerma dans l'air à l'intérieur du faisceau.

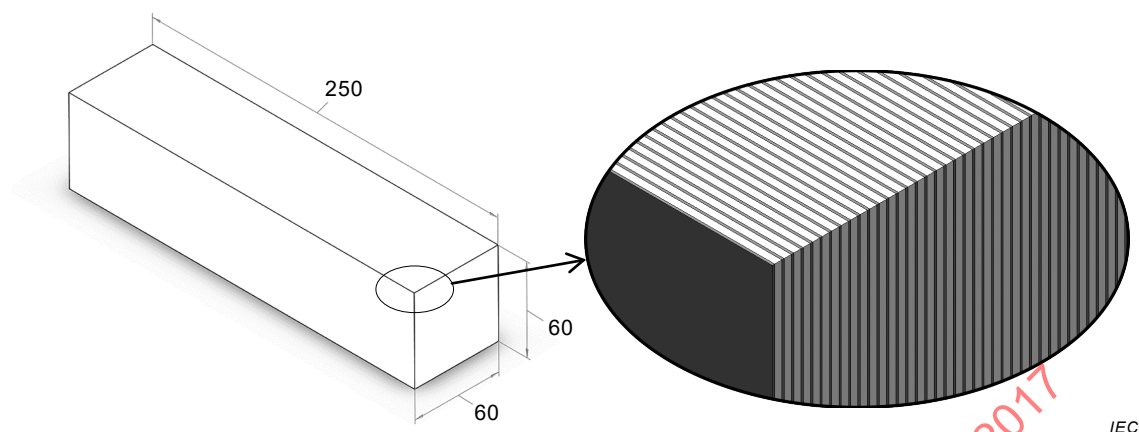
6.1.2.3 Indicateurs de qualité d'image à fils

Des indicateurs de qualité d'image à fils conformes à l'ISO 19232-1:2013 doivent être utilisés pour mesurer la sensibilité au rayonnement X.

6.1.2.4 Module d'essai "sandwich"

Le module d'essai "sandwich" est utilisé pour mesurer la dimension du foyer optique du faisceau de rayonnement X. Il est étroitement recouvert par une feuille de cuivre ou de plomb rectangulaire (250 mm x 60 mm) (en blanc) et des pièces de plastique (en noir), alternativement, comme indiqué à la Figure 2, l'épaisseur h_1 de la feuille étant inférieure ou égale à 0,1 mm, l'épaisseur h_2 du film plastique étant inférieure ou égale à 0,3 mm, et l'épaisseur supplémentaire étant supérieure ou égale à 60 mm.

Dimensions en millimètres



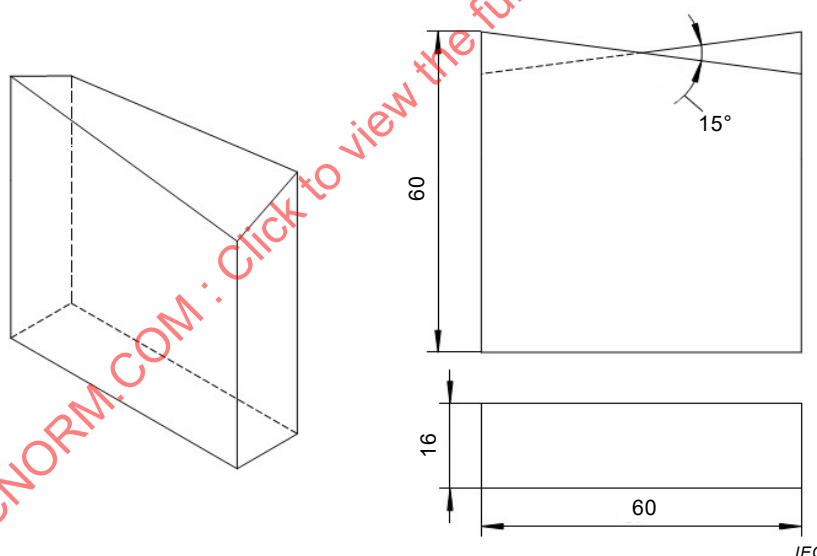
IEC

Figure 2 – Schéma sommaire du module d'essai

6.1.2.5 Bloc de cuivre à angle orientable

Le bloc de cuivre (60 mm x 60 mm x 16 mm) à angle orientable de $\pm 15^\circ$ est un bloc d'essai utilisé comme autre méthode de mesure du foyer optique, voir Figure 3.

Dimensions en millimètres



IEC

Figure 3 – Schéma sommaire du bloc de cuivre à angle orientable

6.1.2.6 Echantillons de plaque

Les échantillons de plaques présentent une épaisseur de 36 mm à 460 mm, en acier ou en propergol solide, pour aider à mesurer l'énergie du faisceau de rayonnement X ou la sensibilité du rayonnement X. Choisir la plage d'épaisseur appropriée spécifiée au Tableau 5 en fonction de l'énergie de l'accélérateur.

6.2 Inspection visuelle

Réaliser une inspection visuelle de l'aspect de l'installation avec un éclairage normal afin de garantir que les exigences du 5.1 sont respectées.

6.3 Essai du système de commande

Garantir, par inspection visuelle ou démonstration, que le système de commande satisfait aux exigences du 5.2.

6.4 Essai des performances

6.4.1 Energie du faisceau de rayonnement X

Mesurer la couche de demi-transmission du faisceau de rayonnement X produite par l'accélérateur à travers l'acier ou le propergol solide afin d'estimer l'énergie du rayonnement X de l'accélérateur.

Lors de la mesure, la sonde du dosimètre est placée à 1 m de la cible dans l'axe central du faisceau de rayonnement X (à 0°), et des plaques d'acier d'épaisseurs différentes sont placées entre la sonde et la cible. Mesurer l'atténuation du rayonnement X à travers des plaques d'acier d'épaisseurs d différentes pour le même débit de dose $\dot{D}$, mesuré par un dosimètre. En général, pour éviter les erreurs provoquées par un rayonnement X de faible énergie, il convient que l'épaisseur initiale d de la plaque soit supérieure à deux fois la couche de demi-transmission correspondant au profil d'énergie mesuré.

Réaliser une représentation graphique des débits de kerma dans l'air du faisceau de rayonnement X obtenus pour des plaques d'acier ou de propergol solide d'épaisseurs différentes. Utiliser la méthode des moindres carrés pour calculer les valeurs μ conformément à la formule (1), puis calculer la valeur de la couche de demi-transmission $d_{1/2}$ à l'aide de la formule $d_{1/2} = \ln 2 / \mu$ et utiliser le Tableau 2 pour estimer l'énergie du faisceau de rayonnement X.

$$\dot{D} = \dot{D}_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

où:

d est l'épaisseur des plaques, en mm;

$\dot{D}_0$ est le débit de dose lorsque $d = 0$, en cGy/min;

$\dot{D}$ est le débit de dose, en cGy/min;

μ est le coefficient d'atténuation linéaire, en mm⁻¹.

Les résultats d'essai doivent satisfaire aux exigences du 5.3.1.

6.4.2 Homogénéité du faisceau de rayonnement X

Mesurer le débit de kerma dans l'air du rayonnement X à 1 m de la cible sur l'axe central du faisceau, $\dot{K}_0$. Mesurer les débits de kerma dans l'air du rayonnement X, $\dot{K}_i$, sur un plan normal par rapport à l'axe du faisceau et à des distances égales dans des directions symétriquement opposées, comme représenté à la Figure 4. Mesurer au moins quatre valeurs de débit aux points transversaux horizontaux et verticaux formant un angle A avec l'axe central du faisceau (les valeurs de A étant données au Tableau 3). Toutes les mesures doivent être réalisées dans les mêmes conditions. Utiliser la valeur minimale de $\dot{K}_i$ obtenue pour calculer l'homogénéité η_h conformément à la formule (2).

$$\eta_h = \frac{\dot{K}_{\min}}{\dot{K}_0} \times 100 \% \quad (2)$$

où:

η_h est l'homogénéité du faisceau de rayonnement X;