Төсөл

****

**МОНГОЛ УЛСЫН СТАНДАРТ**

**Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам –**

**Хүчдэлтэй хэсэг болон хаалт хоорондын зайд байх цахилгааны бүрэлдэхүүн хэсгийг тооцоолох– Тооцооллын аргачлал**

**Overhead lines –**

**Calculation of the electrical component**

**of distance between live parts and obstacles – Method of calculation**

**MNS IEC 61865:2020**

**Албан хэвлэл**

**СТАНДАРТ, ХЭМЖИЛ ЗҮЙН ГАЗАР**

**Улаанбаатар хот**

**2020 он**

Энэ стандартыг Эрчим хүчний эдийн засгийн хүрээлэнгийн ИТА Г.Амаржаргал орчуулж, ....................... шүүмж, редакц хийж хянасан .

Анхны үзлэгийг 2024 онд, дараа нь 5 жил тутамд хийнэ.

**Стандарт, хэмжил зүйн газар (СХЗГ)**

Энхтайваны өргөн чөлөө 46А

Шуудангийн хаяг

Улаанбаатар-13343, Ш/Х - 48

Утас: 976-51-263860 Факс: 976-11-458032

E-mail: [masm@mongol.net](mailto:masm@mongol.net); [standardinform@masm.gov.mn](mailto:standardinform@masm.gov.mn)

[www.estandard.mn](http://www.estandard.mn); [www.masm.gov.mn](http://www.masm.gov.mn)

**© СХЗГ, 2019**

“Стандартчилал, тохирлын үнэлгээний тухай” Монгол Улсын хуулийн дагуу энэхүү стандартыг бүрэн, эсвэл хэсэгчлэн хэвлэх, олшруулах эрх нь гагцхүү СХЗГ (Стандартчиллын төв байгууллага)-т байна.

|  |  |
| --- | --- |
| **Нийтлэлийн тоо**  1997 оны нэгдүгээр сарын 1-ний өдрөөс ОУЦТК бүх нийтлэлүүдийг 60000 цуврал нэртэй гаргасан. Жишээ нь, ОУЦТК 34-1-ийг ОУЦТК 60034-1 гэж нэрлэдэг болсон.  **Нэгдсэн хэвлэл**  ОУЦТК одоо нийтлэлийн нэгдсэн хувилбарыг нийтэлж байна. Жишээ нь,  1.0 үндсэн нийтлэл, 1.1 нь 1 нэмэлтийг агуулсан үндсэн нийтлэл, 1.2 бол 1 болон 2 нэмэлтийг агуулсан үндсэн нийтлэлийг тус тусад нь дурдсан.  **ОУЦТХ-ын нийтлэлийн талаарх нэмэлт мэдээлэл**  ОУЦТХ-ын нийтлэлийн техникийн агуулгыг ОУЦТХ–оос тогтмол хянадаг ба тухайн агуулга нь одоогийн технологийг тусгасан эсэхийг баталгаажуулдаг. Хүчин төгөлдөр байдлыг тусгасан энэхүү нийтлэлтэй холбоотой мэдээллийн шинэ хэвлэлүүд, нэмэлт өөрчлөлтүүд болон хавсралтуудыг багтаасан нийтлэлүүдийг ОУЦТХ-ын каталогоос (доорх хэсгээс харна уу) харах боломжтой. Энэхүү нийтлэлийг бэлтгэсэн техникийн хорооноос хэлэлцэж байгаа болон хийгдэж буй ажлын талаарх мэдээлэл, хэвлэгдсэн бүтээлийн жагсаалтыг дараах хэсгээс харах боломжтой.   * **ОУЦТК-ын ВэбСайт** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch)) * **ОУЦТК-ын нийтлэлийн товъёог** * ОУЦТХ -ны вэб хуудас ([www.iec.ch/catlg-e.htm)](http://www.iec.ch/catlg-e.htm)) дах онлайн каталог нь та бүхэнд бичвэрийн хайлт, техникийн хороод, нийтлэлийн огноо зэрэг төрөл бүрийн шалгуураар хайлт хийх боломжийг олгодог. Түүнчлэн цахим мэдээллийг хамгийн сүүлд гаргасан нийтлэлүүд, хүчингүй болсон болон шинэчилсэн нийтлэлүүд, түүнчлэн хавсаргасан нийтлэлүүдээс харах боломжтой. * **ОУЦТК-ийн сүүлчийн хэвлэлүүд**   Сүүлд хэвлэгдсэн нийтлэлийн хураангуйг (www.iec.ch/JP.htm) имэйлээр авах боломжтой. Дэлгэрэнгүй мэдээллийг Хэрэглэгчид Үйлчлэх Төвтэй холбоо барина уу (доороос харна уу).   * **Хэрэглэгчид үйлчлэх төв**   Хэрэв танд энэ нийтлэлтэй холбоотой асуулт байгаа эсвэл нэмэлт тусламж шаардлагатай бол Хэрэглэгчид Үйлчлэх Төвтэй холбоо барина уу.  Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  Tel: +41 22 919 02 11  Fax: +41 22 919 03 00 | **Publication numbering**  As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.  **Consolidated editions**  The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.  **Further information on IEC publications**  The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:   * **IEC Web Site** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch)) * **Catalogue of IEC publications**   The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/catlg-e.htm)](http://www.iec.ch/catlg-e.htm)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On- line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.   * **IEC Just Published**   This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/JP.htm)](http://www.iec.ch/JP.htm)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.   * **Customer Service Centre**   If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:  Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  Tel: +41 22 919 02 11  Fax: +41 22 919 03 00 |

**АГУУЛГА**

Өмнөх үг ……………………………………………………………………………… 5

Удиртгал 9

1 Хамрах хүрээ 11

2 Норматив ишлэл 13

3 Нэр томьёо болон тодорхойлолт 13

* 1. Тодорхойлолт 13

3.2 Тэмдэглэгээ 17

4 Цахилгаан тасалдлын зайг тодорхойлоход ашиглах арга 19

5 Хэт хүчдэл 21

* 1. Хэт хүчдэлийн ангилал 21
  2. Түр хугацаанд үргэлжлэх хэт хүчдэл 21
  3. Налуу фронттой хэт хүчдэл 23
  4. Эгц фронттой хэт хүчдэл 23

1. Агаарын завсарт шаардагдах тэсвэрлэх хүчдэл 25
   1. Ерөнхий зүйл 27
   2. Шаардагдах тэсвэрлэх хүчдэлийг тодорхойлох 31
2. Хэт хүчдэлтэй холбогдсон зайг тооцоолох 33

A хавсралт (мэдээллийн) *U50* болон завсрын урт*, d* хоорондын хамаарал 35

B хавсралт (мэдээллийн) Цахилгаан бүрдлийг тооцоолох жишээ 39

Ном зүй 45

1-р хүснэгт – Налуу фронттой долгион: цахилалт үүсэх магадлал 27

2-р хүснэгт –Эгц фронттой долгион: цахилалт үүсэх магадлал 29

B.1-р хүснэгт – Үр дүнгийн хураангуй 43

**CONTENTS**

FOREWORD……………………………………………………………………………… 5

INTRODUCTION 9

1 Scope 11

2 Normative references 13

3 Terms, definitions and symbols 13

* 1. Definitions 13
  2. Symbols 17

4 Approach used to derive the electrical distance 19

5 Overvoltages 21

5.1 Classification of overvoltages 21

* 1. Temporary overvoltages 21
  2. Slow-front overvoltages 23
  3. Fast-front overvoltages 23

1. Required withstand voltage of the air gap 25
   1. General 27
   2. Calculation of the required withstand voltage 31
2. Calculation of the distance associated with the overvoltages 33

Annex A (informative) Relationship between U50 and the gap length, d 35

Annex B (informative) Example of the calculation of the electrical component 39

Bibliography 45

Table 1 – Slow-front waves: probability of discharge 27

Table 2 – Fast-front waves: probability of discharge 29

Table B.1 – Summary of the results 43

ОЛОН УЛСЫН ЦАХИЛГААН ТЕХНИКИЙН КОМИСС

**1000 В-ООС ДЭЭШ НЭРЛЭСЭН ХҮЧДЭЛТЭЙ ЦДАШ-Д ЗОРИУЛСАН ТУСГААРЛАГЧ —**

**Хувьсах гүйдлийн системийн керамик эсвэл шилэн тусгаарлагч хэсгүүд —**

**Тагтай болон шөргөн төрлийн тусгаарлагч хэсгийн тодорхойломж**

ӨМНӨХ ҮГ

1. Олон Улсын Цахилгаан Техникийн Комисс (ОУЦТК) нь бүх үндэстний Цахилгаан техникийн хороог (ОУЦТК-ын Үндэсний хороод) нэгтгэсэн дэлхий нийтийн стандартчиллын байгууллага юм. ОУЦТК-ын зорилго нь цахилгаан болон электроникийн салбарт стандартчиллын бүх асуудлаар олон улсын хамтын ажиллагааг дэмжих явдал байдаг. ОУЦТК нь энэ зорилгын хүрээнд хийх ажлууд, бусад үйл ажиллагаанаас гадна Олон Улсын Стандартуудыг бэлтгэн нийтэлдэг. Стандартууд бэлтгэх ажлыг техникийн хороодод үүрэг болгох бөгөөд ОУЦТК-ын аливаа Үндэсний Хороо сонирхсон асуудлынхаа бэлтгэл ажилд оролцох боломжтой. Мөн ОУЦТК-той холбоотой ажилладаг олон улсын, төрийн, төрийн бус байгууллагууд энэ бэлтгэл ажилд оролцоно. ОУЦТК нь хоёр байгууллага хоорондын гэрээгээр тодорхойлсон нөхцөлийн дагуу Олон Улсын Стандартчиллын Байгууллагатай (ОУСБ) нягт хамтран ажилладаг.
2. Техникийн хороо бүрт тухайн асуудлыг сонирхсон Үндэсний бүх хорооны төлөөлөл байдаг тул ОУЦТК-оос техникийн асуудлаар гаргасан албан ёсны шийдвэр эсвэл хэлцэл нь хамааралтай сэдвүүдээр ирүүлсэн олон улсын саналын зөвшилцлийг аль болох нэгдмэл саналтайгаар илэрхийлнэ.
3. Бэлтгэсэн бичиг баримтууд олон улсын хэрэглээнд зориулсан зөвлөмж хэлбэртэй байх бөгөөд стандарт, техникийн тодорхойлолт, техникийн илтгэл эсвэл зааварчилгаа хэлбэрээр нийтэлдэг. Үндэсний хороод бичиг баримтуудыг энэ агуулгаар ойлгож, хүлээн авна.
4. Олон улсын хэмжээний нийтлэг байдлыг дэмжихийн тулд Үндэсний хороод ОУЦТК-ын Олон Улсын Стандартуудыг үндэсний болон бүс нутгийн стандартуудад боломжит хамгийн их хэмжээнд тодорхой тусгах үүрэг хүлээдэг. ОУЦТК-ын Стандарт болон тухайн Стандартад нийцэх үндэсний эсвэл бүс нутгийн стандартын хоорондын аливаа зөрүүг үндэсний буюу бүс нутгийн стандартад тодорхой тайлбарлавал зохино.
5. ОУЦТК нь баталгаа гаргах тэмдэг хэрэглэдэггүй бөгөөд аль нэг стандартад нь нийцсэн гэж мэдэгдсэн аливаа тоног төхөөрөмжийн талаар хариуцлага хүлээхгүй болно.
6. Олон улсын энэхүү стандартын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн зарим нь зохиогчийн эрхийн дагуу хамгаалагдсан байж болохыг анхаарах хэрэгтэй. ОУЦТК нь зохиогчийн эрхийн аль нэг ийм асуудал эсвэл бүх асуудлыг тодруулан заах үүрэг хүлээхгүй болно.

Олон Улсын IEC 61865 Стандартыг ОУЦТК-ын Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам нэртэй 11 дүгээр хороотой хамтран бэлтгэсэн

Энэ стандартын бичвэрийг дараах баримт бичгүүдэд үндэслэсэн.

|  |  |
| --- | --- |
| FDIS | Санал хураалтын тайлан |
| 11/161/FDIS | 11/162/RVD |

Энэ стандартыг баталсан санал хураалтын тухай бүх мэдээллийг дээрх хүснэгтэд заасан Санал хураалтын тайлангаас үзэж болно.

Энэхүү нийтлэл нь ОУСБ / ОУЦТК-ын Удирдамжийн 3 дугаар Хэсгийн заалтын дагуу боловсруулсан төсөл юм.

Хавсралт А болон B –ээс зөвхөн мэдээлэл авах боломжтой

Тус хорооноос энэ нийтлэлийн агуулгыг 2005-11 хүртэл өөрчлөхгүй үлдээхээр шийдвэрлэсэн. Товлосон хугацаанд хэвлэгдэх нийтлэл

* дахин баталгаажуулсан;
* хэрэглэхээ больсон;
* хянасан нийтлэлээр сольсон эсхүл
* нэмэлт өөрчлөлт оруулсан байх болно.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**OVERHEAD LINES –**

**CALCULATION OF THE ELECTRICAL COMPONENT OF DISTANCE BETWEEN LIVE PARTS AND OBSTACLES – METHOD OF CALCULATION**

FOREWORD

1. The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
3. The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
4. In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
5. The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
6. Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61865 has been prepared by IEC technical committee 11: Overhead lines.

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

|  |  |
| --- | --- |
| FDIS | Report on voting |
| 11/161/FDIS | 11/162/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 3. Annexes A and B are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005-11. At this date, the publication will be

* reconfirmed;
* withdrawn;
* replaced by a revised edition, or
* amended.

УДИРТГАЛ

Цахилгаан дамжуулах агаарын шугам ба тэдгээрийн ойролцоо объектуудын хоорондох хамгийн бага зайг ихэвчлэн үндэсний стандарт, дүрэмд заасан байдаг. Энэхүү хамгийн бага зай нь ихэвчлэн доорхоос бүрдэнэ.

* цахилгаан тасалдлын зай буюу агаарын тусгаарлагч зай гэдэг нь цахилгаан дамжуулах агаарын шугам дээр хэт хүчдэл үүсэхэд дамжуулагч болон бусад объект хоорондын цахилгаан цахилалтаас урьдчилан сэргийлэх агаарын тусгаарлах зайг хэлнэ;
* тодорхой нөхцөлүүдээс үүсэх туйлын хязгаарыг тооцох нэмэлт зай гэдэг нь хүний ​​үйл ажиллагаа, шугаман доогуур явж өнгөрч болзошгүй объектын хэмжээ, температур, ачаалал, орчны нөхцөл зэргээс шалтгаалан үүсэх дамжуулагчийн хөдөлгөөн гэх мэт эрсдэлийг тооцох нэмэлт зай болон тодорхойгүй байдлыг тооцох аюулгүй байдлын нөөц хэмжээг хэлнэ.

Энэхүү хоёр төрлийн зайг зөв зааж өгөх нь чухал юм.

Энэхүү олон улсын стандартад тусгагдсан цахилгаан тасалдлын зайг тооцоолох арга нь үндсэндээ одоогийн байдлаар тодорхойлсон цахилгаан тасалдлын зайг хянах, засварлахад зориулагдсан болно (жишээлбэл, хүчдэлийн шинэ түвшин нэмэх). Энэ арга нь шугаман дээр үүсэх хэт хүчдэл болон агаар мандлын зонхилох нөхцлүүдийг (өндрийн нөлөө гэх мэт) ашиглан зайны цахилгаан бүрэлдхүүн хэсгийг тодорхойлдог байна. Энэ арга нь ялангуяа налуу фронттой долгионы хувьд илүү тохиромжтой боловч эгц фронттой болон түр хугацаанд үргэлжлэх хэт хүчдэл бүхий долгионы хувьд ч хэрэглэгддэг байна.

INTRODUCTION

The minimum distances to be maintained between overhead line conductors and objects close to them are usually specified in national standards or regulations. Such minimum distances normally comprise

* an electrical distance, i.e. an air insulation distance which prevents an electrical discharge between the conductors and other objects, even when there are overvoltages present on the overhead line conductors;
* an additional distance to account for an extreme range of certain conditions (such as human activities, sizes of objects that may normally come under a line, movement of conductors due to temperature, load or environmental conditions) plus a safety margin to allow for uncertainties.

It is important that the two distances are specified correctly.

The method presented in this International Standard for calculating the electrical distance is mainly for use when reviewing or revising existing electrical distances (for example, to add new voltage levels). The method uses the overvoltages which occur on the lines together with the prevailing atmospheric conditions (including the effects of altitude, etc.) to derive the electrical component of the distance. The method is especially suited to the case of slow- fronted waves but is extended to cover the case of fast-front waves and temporary overvoltages.

МОНГОЛ УЛСЫН СТАНДАРТ

Ангилалтын код

|  |  |
| --- | --- |
| **1000 В -ООС ДЭЭШ НЭРЛЭСЭН ХҮЧДЭЛТЭЙ ЦДАШ-Д ЗОРИУЛСАН ТУСГААРЛАГЧ —**  **Хувьсах гүйдлийн системийн керамик эсвэл шилэн тусгаарлагч хэсгүүд —**  **Тагтай болон шөргөн төрлийн тусгаарлагч хэсгийн тодорхойломж** | MNS ОУЦТК 60305:2020 |
| **INSULATORS FOR OVERHEAD LINES WITH A NOMINAL VOLTAGE ABOVE 1 000 V —**  **Ceramic or glass insulator units for a.c. systems —**  **Characteristics of insulator units of the cap and pin type** | IEC 60305:2020 |

Стандартчиллын үндэсний зөвлөлийн 2019 оны … дугаар сарын ... -ны өдрийн ... дугаар тогтоолоор батлав.

Энэ стандартыг 2019 оны ... дүгээр сарын ...-ний өдрөөс эхлэн дагаж мөрдөнө.

|  |  |
| --- | --- |
| **1 Хамрах хүрээ**  Олон улсын Стандарт нь хүчдэлтэй хэсгүүдэд хуульд заасны дагуу ойртож буй хүмүүст аюул учруулж болзошгүй агаарын завсрын тасалдлаас урьдчилан сэргийлэхэд шаардлагатай хүчдэлтэй ба газардуулсан хэсгүүдийн хоорондох цахилгаан тасалдлын зайг тооцоолох гарын авлага агуулсан болно. Стандарт нь зөвхөн фаз хоорондын 45 кВ-оос дээш хүчдэлтэй хувьсах гүйдлийн ЦДАШ-д хамаарна. Стандарт нь дамжуулагч ба дараах хөдөлгөөнт объектуудын хоорондын зайны цахилгаан бүрэлдэхүүн хэсгийг авч үздэг. Эдгээр нь газар дээрх тээврийн хэрэгсэл, усан дээрх усан онгоц, объектын гадаргуу дээр эсвэл газар дээр байгаа хүмүүс, газар дээрх амьтад (агаар дээр бус) гэх мэт байж болно.  Энэхүү стандарт нь олон нийтийн аюулгүй байдал болон ажилчдын аюулгүй байдалтай холбоотой дараах асуудлуудыг авч үзээгүй. Үүнд:   * суурин объектууд – шугамын доор эсвэл ойролцоо байрлах байгууламжууд, мод, газрын гадаргуу гэх мэт. Эдгээр нь уг байгууламж дээр авирч гарах боломжтой эсэх, мод ямар өндөрт ургах зэрэг асуудлуудыг харгалзан үзэхийг шаарддаг байна; * хүчдэлтэй шугманд ойр ажиллах шаардлагатай хүн ойртож болох хамгийн бага зай, үүнийг IEC 61472-т авч үздэг; * ЦДАШ-аар явагдах багтаамжийн холбоо эсвэл соронзон индукц. Жишээлбэл шугам доогуур зорчих тээврийн хэрэгсэлд эсвэл шугамын дагуу газар доор суурилуулсан дамжуулах хоолойд индукцлэгдэх/үүсэх хүчдэл; * шугамын гэмтэл гарах эсвэл аянга буух үед байгууламжуудын эргэн тойронд алхмын ба хүрэх хүчдэл үүсгэдэг, шугамаас үүсэлтэй газар доогуур гүйх гүйдэл; * шугамын тусгаарлагчийн нэвт цохилт, очны завсар, фаз хоорондын цахилалт зэрэг нь акустик чимээ, цахилгаан чимээ ба хүчтэй нум үүсгэх; * дамжуулагчийн доорх их хэмжээний гал түймрийн улмаас үүсэх дамжуулагч ба газар хоорондын агаарын диэлектрик эвдрэл; * зэргэлдээх эрчим хүчний эсвэл харилцаа холбооны хэлхээнд цахилалт үүсэхээс урьдчилан сэргийлэхэд шаардлагатай хамгийн бага цахилгаан тасалдлын зай.   Энэхүү стандарт нь ЦДАШ-ын зураг төсөл боловсруулахад шаардагдах цахилгаан тасалдлын зайн шаардлагыг заадаггүй болно. Түүнчлэн хүчдэлтэй шугамын ойр ажиллах шаардлагатай ажилчдад хүртээмжтэй байх ЦДАШ-ын байгууламжид тавигдах зайны шаардлагыг мөн заадаггүй (жишээлбэл, шугам дээр засвар хийх эсвэл будгийн ажил хийх ажилчдад хүртээмжтэй байх зай). Дамжуулагч ба тулгуур бүтцийн хоорондын зайг ихэвчлэн шугамын ашиглалтын ажиллагааг найдвартай явуулах шаардлагад нийцэх байдлаар тогтоож өгдөг. Магадгүй энэ зай нь хүчдэлтэй үед ажиллахад эсвэл зарим тохиолдолд ажилчид хүчдэлтэй дамжуулагчтай зэргэлдээ бүтцийн хэсэг рүү нэвтрэхэд шаардлагатай хэмжээнд үргэлж/тэр болгон нийцдэггүй байж болно.  **2. Норматив ишлэл**  Дараах норматив баримт бичигт энэ бичвэрийн ишлэлийн дагуу энэхүү Олон улсын Стандартын заалтыг бүрдүүлдэг заалтууд орсон болно. Огноо заасан ишлэлүүдийн хувьд эдгээр нийтлэлүүдийн алинд нь ч оруулсан дараагын нэмэлт, өөрчлөлтүүд хамаарахгүй. Гэсэн хэдий ч энэхүү олон улсын стандартад үндэслэсэн гэрээнд оролцогч талуудыг дор дурдсан норматив баримт бичгийн хамгийн сүүлийн хэвлэлийг ашиглах боломжийг судлахыг зөвлөж байна. Огноо заагаагүй ишлэлийн хувьд норматив баримт бичгийн хамгийн сүүлийн хэвлэлийг хэрэглэнэ. ОУЦТК ба ОУСБ-ын гишүүд одоо хүчин төгөлдөр үйлчилж буй Олон улсын стандартын бүртгэлийг хөтөлдөг.  ОУЦТК 60050(601):1985, *Олон улсын цахилгаан техникийн тайлбар толь (*ОУЦТТТ*) – 601 Дүгээр бүлэг: Цахилгаан энергийн үйлдвэрлэл, дамжуулалт болон түгээлт – Ерөнхий зүйл*  ОУЦТК 60050(604):1987, *Олон улсын цахилгаан техникийн тайлбар толь (*ОУЦТТТ*) – 604 Дүгээр бүлэг: Цахилгаан энергийн үйлдвэрлэл, дамжуулалт болон түгээлт – Үйл ажиллагаа*  ОУЦТК 60060-1:1989, *Хамгийн их хүчдэлийн туршилтын техник – 1 дүгээр хэсэг: Ерөнхий тодорхойлолт болон туршилтын шаардлагууд*  ОУЦТК 60071-1:1993, *Тусгаарлагыг нийцүүлэх – 1 дүгээр хэсэг: Тодорхойлолт, зарчим ба дүрэм*  ОУЦТК 60071-2:1996, *Тусгаарлагыг нийцүүлэх – 2 дугаар хэсэг: Хэрэглээний удирдамж*  ОУЦТК 61472:1998, *Явагдаж байгаа ажил – Хамгийн бага ойртох зай – Тооцооллын аргачлал*  **3 Нэр томьёо, тодорхойлолт болон тэмдэглэгээ**  Энэхүү Олон улсын Стандартын зорилгод нийцүүлэн IEC 60050(601) болон IEC 60050(604)-ийн тодорхойлолтуудаас гадна дараах тодорхойлолтуудыг дагаж мөрдөнө.  **3.1 Тодорхойлолт**  **3.1.1**  **системийн нэрлэсэн хүчдэл**  системийг тодорхойлох эсвэл тэмдэглэхэд хэрэглэдэг хүчдэлийн тохиромжтой, ойролцоо утга [IEV 601-01-21]  Тайлбар ОУЦТТТ 601-01-29 -өөс харна уу: фаз хоорондын хүчдэл  **3.1.2**  **системийн хамгийн их хүчдэл US**  системийн аль ч цэгт, ямар ч хугацаанд хэвийн үйл ажиллагааны нөхцөлд үүсэх ажлын хүчдэлийн хамгийн их утга  [IEV 601-01-23]  ТАЙЛБАР 1 IEV 601-01-29 -өөс харна уу: фаз хоорондын хүчдэл  ТАЙЛБАР 2 Хүчдэлийн таслах, залгах үйл ажиллагаа болон түр зуурын хэвийн бус өөрчлөлт зэргээр үүсэх шилжилтийн хэт хүчдэлийг тооцоонд оруулахгүй.  **3.1.3**  **түр зуурын хэт хүчдэл**  өгөгдсөн байршилд харьцангуй урт хугацаанд үргэлжлэх гүйдлийн давтамжийн бууралттай эсвэл бууралтгүй хэт хүчдэл  [IEV 604-03-12, өөрчлөгдсөн]  ТАЙЛБАР Түр зуурын хүчдэл нь ихэвчлэн таслах, залгах үйл ажиллагаа эсвэл гэмтлээс үүсдэг (жишээ нь, гэнэт ачаалал буурах, нэг фазын газар хоорондын гэмтлүүд болон/ эсвэл шугаман бус байдлаас (феррорезонансын нөлөө, гармоник)    **3.1.4**  **тавин хувийн нуман цахилалтын хүчдэл**  диэлектрикийн туршилт хийх бүрдээ нуман цахилалт үүсэх магадлал 50% байх импульсийн туршилтын хүчдэлийн оргил утга  [IEV 604-03-43]  **3.1.5**  **гүйдлийн давтамжийг тэсвэрлэх хүчдэл**  тусгайлан заасан нөхцөлд, тодорхой хугацаанд хийсэн туршилтын явцад төхөөрөмж тэсвэрлэх чадвартай, синусоид гүйдлийн давтамжийн хүчдэлийн дунджийн квадрат утга  [IEV 604-03-40]  **3.1.6**  **аянгын хэт хүчдэл**  тусгаарлагчийг нийцүүлэх зорилгоор хэлбэрийг нь стандарт аянгын импульсийнхтэй төстэй гэж үзэж болох шилжилтийн хэт хүчдэл  [IEV 604-03-30]  **3.1.7**  **хүчдэлийн импульсийн фронт**  оргил үеэс өмнө үүссэн импульсийн аль нэг хэсэг [IEV 604-03-16]  **3.1.8**  **цахилгаан тасалдлын зай Del**  цахилгаан тоног төхөөрөмжийн хүчдэлтэй хэсэг ба хүний бие эсвэл цахилгаан контакт үүсгэж болох аливаа цахилгаан дамжуулагч төхөөрөмж, объектын хоорондох цахилгаан эвдрэлээс үр дүнтэй зайлсхийх боломжийг баталгаажуулах жишиг зай.  **3.1.9**  **цахилгаан тасалдлын зай дахь байршуулалт Tocc:**  тухайн хүн эсвэл түүнтэй контактлаж буй дамжуулагч хэсэг нь цахилгаан тасалдлын зайн хязгаарт байх цагийн тоо  ТАЙЛБАР Ишлэл, Тосс-ийг жилд 1 цаг гэж авдаг.  **3.1.10**  **агаарын завсарт эвдрэл үүсэх жилийн магадлал Ra**  очит цахилалт үүсэх магадлал  ТАЙЛБАР Цахилгаан тасалдлын зайд жилд 1 цаг байх жишиг багтаамжийн хувьд Del, Rа утгыг 10-7 гэж авна.  **3.1.11**  **статистикийн тэсвэрлэх хүчдэл U90**  тусгаарлагч нь тэсвэрлэх магадлалын 90% -ийг илтгэдэг хэт хүчдэлийн төлөөлөл бүхий хэлбэртэй хэт хүчдэл  **3.1.12**  **хоёр хувийн статистикийн хэт хүчдэл U2**  эрчим хүчний системээс үүсэх хэт хүчдэлийн статистик хуваарилалтаас үүссэн хэт хүчдэл 2% -иас хэтрэх магадлалтай  **3.1.13**  **нэгж бүрд ногдох хоёр хувийн хэт хүчдэл ue2**  2% -иас хэтрэх магадлалтай статистик фаз газар хоорондын хэт хүчдэл (нэгж тутамд илэрхийлсэн эсвэл p.u.)  **3.1.14**  **статистик коэффициент Ks**  90% -ийн статистик тэсвэрлэх хүчдэлийг авахын тулд статистикийн 2% -ийн хэт хүчдэлийн утгад хэрэглэх коэффициент    ТАЙЛБАР Энэ нь IEC 60071-2-ийн 3.3.2.2-ийн KCS статистикийн нийцүүлэх коэффициент ба IEC 61472-ийн 5.3-ийн статистикийн коэффициент Ks юм.  **3.1.15**  **цахилалтын статистик магадлал Rs**  тодорхой статистик түгээлттэй хэт хүчдэл хэрэглэвэл завсар үүсэх магадлалтай  **3.1.16**  **агаар мандлын залруулгын коэффициент ka**  ашиглалтын агаар мандлын дундаж нөхцөл ба агаар мандлын стандарт жишиг хоорондын зөрүүг тооцоолоход тэсвэрлэх хүчдэлд хэрэглэх коэффициент  ТАЙЛБАР Энэ нь тодорхой газар нутагт хамаатай бөгөөд эрчим хүчний системийн бүх газарзүйн хувьд тогтмол биш байж болно.  **3.1.17**  **бууруулах залруулгын коэффициент km**  бодит байдал дээр магадлалын бодит түвшин буурч байгааг харуулсан коэффициент (6.1.3-ыг үзнэ үү)  **3.1.18**  **завсрын коэффициент kg**  өгөгдсөн электродын геометртэй налуу фронттой долгионы диэлектрикийн бат бөх чанарын эерэг туйлтай цэгтэй саваа-хавтгай хэлбэршилтэй харьцуулсан харьцаа (CIGRE-ийн удирдамж 72-ийг үзнэ үү)  **3.2 Тэмдэглэгээнүүд**  ∆t (s) түр зуурын хэт хүчдэлийн дундаж хугацаа  kg (–) завсрын коэффициент  km (–) зөөлрүүлэх залруулгын коэффициент  kmSF (–) налуу фронттой тэнцүүлэн зөөлрүүлэх залруулгын коэффициент  kmFF (–) эгц фронттой тэнцүүлэн зөөлрүүлэх залруулгын коэффициент  KS (–) статистик коэффициент эсвэл U90, U2 харьцаа  ka (–) агаар мандлын залруулгын коэффициент  nt (year–1) жил дэх түр зуурын хэт хүчдэлийн тоо  nSF (year–1) жил дэх дахин залгах үйл ажиллагааны налуу фронттой хэт хүчдэлийн тоо  nSFR (year–1) жил дэх дахин залгах үйл ажиллагааны налуу фронттой хэт хүчдэлийн тоо  nFF (year–1) жил дэх эгц фронттой хэт хүчдэлийн тоо  N (–) жилийн цагийн тоо– 8760 цаг гэж тоологдсон  RS (–) цахилалтын статистик магадлал  Ra (year–1) агаарын завсрын эвдрэлийн жилийн магадлал  RaSF (year–1) налуу фронттой хэт хүчдэлээс болж агаарын завсарт эвдрэл үүсэх жилийн магадлал  RaFF (year–1) налуу фронттой хэт хүчдэлээс болж агаарын завсарт эвдрэл үүсэх жилийн магадлал  RaT (year–1) шилжилтийн хэт хүчдэлээс үүдэн агаарын завсрын эвдрэл үүсэх жилийн магадлал  s2 (–) U2 дахь хэт хүчдэлийн тархалтын хэлбэлзлийн коэффициент  s2SF (–) U2SF дахь налуу фронттой хэт хүчдэлийн тархалтын хэлбэлзлийн коэффициент  U2SF s (–) U50-ын үлдэгдэл очит цахилалтын хүчдэлийн тархалтын хэлбэлзлийн коэффициент  sSF (–) налуу фронттой долгионы цахилалтын хүчдэлийн тархалтын хэлбэлзлийн коэффициент (0,05 байдаг)  sFF (–) эгц фронттой долгионы цахилалтын хүчдэлийн тархалтын хэлбэлзлийн коэффициент (0,03 байдаг)  Tocc (h) цахилгаан тасалдлын зай дахь байршуулалт  US (kV r.m.s.) системийн хамгийн өндөр дундаж квадрат утгатай хүчдэл (фаз хоорондын)  U50 (kV) тавин хувийн нуман цахилалттай хүчдэл  U90 (kV) статистик тэсвэрлэх хүчдэл  U2 (kV) хэт хүчдэл нь 2 %-иар хэтрэх магадлалтай  U2SF (kV) налуу фронттой хэт хүчдэл нь 2%-иар хэтрэх магадлалтай  U2FF (kV) эгц фронттой хэт хүчдэл нь 2%-иар хэтрэх магадлалтай  u2SF (–) нэгж тутамд 2%-аас хэтрэх магадлалтай налуу фронттой хэт хүчдэл  u2FF (–) нэгж тутамд 2%-аас хэтрэх магадлалтай эгц фронттой хэт хүчдэл  UT (kV) түр зуурын хэт хүчдэлийн оргил утга  **4 Цахилгаан тасалдлын зайг тодорхойлоход ашиглах аргачлал**  Эрчим хүчний системүүдийн хувьд дараах аргачлал, таамаглалуудыг нийтлэг/хэвшмэл гэж үздэг боловч илүү нарийвчилсан мэдээлэл авах боломжтой бол эдгээрт дүн шинжилгээ хийхэд нээлттэй байдаг.   * Ерөнхийдөө хүн нэг жилийн дотор цахилгаан тасалдлын зайны хязгаарт урт хугацаагаар ойр байх шаардлага гардаггүй. Энэхүү хугацааг тооцоолохын тулд хүн жилд 1 цагийн турш цахилгаан тасалдлын зайд ойртож очно гэж авч үздэг боловч энэ аргачлалаар өөр хугацааг тогтоох боломжтой. * Сүлжээнээс үүсэх хүчдэл ба хэт хүчдэлд цахилгаан тасалдлын зай нь эсэргүүцэл үзүүлэх ёстой бөгөөд ингэснээр тусгаарлагчийн цахилгааны эвдрэлийн магадлал нь ашиглалтын явцад бараг тэгтэй тэнцүү байна. * Оруулсан параметрүүд нь статистик хувьсагчууд тул агаарын завсрын эвдрэл үүсэх магадлалыг тооцоолох шаардлагатай. Тооцооллын хувьд энэ утгыг жилд Ra = 10-7 гэж тооцдог боловч илүү өндөр эсвэл бага утгыг авч үзэх боломжтой юм.   **5 Хэт хүчдэл**  Олон нийт ойртох боломжтой хамгийн бага зайг цахилгаан системд гарч болзошгүй хэт хүчдэлээр тодорхойлдог. Хэт хүчдэлийн шалтгаанууд нь эрчим хүчний систем дэх богино хугацааны хүчдэлийн өөрчлөлт, таслах, залгах үйл ажиллагаа, резонансын нөхцөл, гэмтэл, аянга буух гэх мэт орно.  **5.1 Хэт хүчдэлийн ангилал**  Агаарын завсрын диэлектрик бат бөх чанар нь түүн дээрх хүчдэлийн хүчлэгийн хэлбэрээс хамаарна. IEC 60071-2 нь хэт хүчдэлийн төрлүүд ба тэдгээрийн шалтгааныг тодорхойлдог бөгөөд эдгээр нь зарчмын хувьд ижил ч агаарын завсарт эвдрэл үүсгэдэг хүчдэл нь ялгаатай.  Энэ стандартад ашигласан гурван төрлийн хэт хүчдэлийн долгионы хэлбэрийг дараах байдлаар харуулав.   * түр хугацаанд үргэлжлэх хэт хүчдэл; * налуу фронттой хэт хүчдэл; * эгц фронттой хэт хүчдэл.   Цахилгаан тасалдлын зайг тооцоолохын тулд хэт хүчдэлийн хамгийн их утга эсвэл гурван төрлийн хэт хүчдэлийн хувьд хэт хүчдэлийн 2% -иар хэтэрсэн утгаар туршилт, судалгаа хийх шаардлагатай. Хэрэв утга байхгүй/олдох боломжгүй бол IEC 60071-2-ийн 2-р зүйлийг гарын авлага болгон ашиглаж болно. 2% -ийн утгыг хамгийн их (таслагдсан) утгаас авч болно (IEC 61472-ийн А хавсралтыг үзнэ үү).  US хэт хүчдэлийн хамгийн их утга нь ихэвчлэн (p.u.) нэгжээр илэрхийлэгддэг, өөрөөр хэлбэл US нь системийн хамгийн их хүчдэл юм.  АНУ-ын хэт хүчдэлийн хамгийн их утга нь ихэвчлэн (p.u.) нэгжээр илэрхийлэгддэг, өөрөөр хэлбэл US нь системийн хамгийн их/өндөр хүчдэл юм. Хэт хүчдэлийн статистик хэлбэлзлээс шалтгаалан энд авч үзэх хэт хүчдэл нь хэт хүчдэлийн 2%-тай тэнцүү U2 хүчдэл байна (эсвэл U2-ыг нэгж тутамд илэрхийлсэн бол), өөрөөр хэлбэл 2%-иар хэтрэх магадлалтай хэт хүчдэл гэсэн үг юм. U2 нь S2 гэсэн холбоотой хэлбэлзлийн коэффициенттой (өөрөөр хэлбэл дундаж утгаас хувиар илэрхийлсэн стандарт хазайлт) байна. Тэгвэл U2-ийг ерөнхий илэрхийллээр тодорхойлно. Үүнд:  (1)  (2)  (3)  **5.2 Түр хугацаанд үргэлжлэх/түр зуурын хэт хүчдэл**  Амплитуд болон цаг хугацааны хувьд түр зуурын хэт хүчдэл үүсэх статистик хэлбэлзэл байдаг. Ерөнхийдөө энэ нь эрчим хүчний системүүдийн хувьд тийм ч сайн мэдэгдсэн/тодорхой зүйл биш боловч ихэвчлэн оргил амплитуд, үзэгдлийн нэг жилийн дотор үргэлжлэх хугацаа ба тоо нь тодорхой эсвэл тооцоолох боломжтой байдаг. Хэрэв Del зай нь нуман цахилалт гарах магадлалгүй болгох хангалттай их зайгүй бол түр зуурын хэт хүчдэлийн жилийн давтамж, тэдгээрийн дундаж үргэлжлэх хугацаа t ба оргил хүчдэл UT нь эдгээр хэт хүчдэлээс хамгаалахад зайлшгүй шаардлагатай юм.  Практик дээр түр зуурын хэт хүчдэл нь бодит дамжуулалтын эсвэл түгээлтийн шугам дээр Del-ийг тодорхойлох параметр байх магадлал багатай юм.  **5.3 Налуу фронттой хэт хүчдэл**  Налуу фронттой хэт хүчдэл нь статистикийн хувьд U2SF (ба нэгжээр илэрхийлсэн u2SF) статистик хэт хүчдэлийн ойролцоо хэвийн (Гауссын) тархалттай ойролцоо байж болох функцийн дагуу хуваарилагддаг бөгөөд энэхүү статистик хэт хүчдэлийн хэтрэх магадлал нь зөвхөн 2% -тай байдаг. U2SF-ийн ойролцоо хэвийн тархалтыг s2SF хэлбэлзлийн коэффициентын тусламжтайгаар тохируулж болно. Хэрэв илүү сайн мэдээлэл байхгүй бол s2SF-ийн санал болгосон утга нь 20% байна.  Гэмтлийн дараах ердийн таслах, залгах үйл ажиллагаа ба хугацааны барилттай автоматаар дахин залгах үйл ажиллагааны улмаас налуу фронттой хэт хүчдэл үүсэх үзэгдэл нь шугамын үйл ажиллагаанаас хамаарна. Ердийн утга нь жилд 1-ээс 100 удаа хэт хүчдэлтэй байдаг.  .  Ердийн таслах, залгах үйл ажиллагаанаас гадна шугам хүчдэлтэй байх үед шугам дээр гэмтэл гарах (жишээлбэл, аянга эсвэл бохирдлын улмаас үүсэх нэвт цохилт) ба эдгээр тохиолдолд таслуурыг салгах, дахин залгах нь гүйдлийн гүйлтийг тасалдуулах болно.  Хугацааны барилттай автоматаар дахин залгах ажиллагааны тохиолдолд (хэдэн секундийн ачаалалгүй хугацаатай) шугам дээрх барьсан цэнэг тодорхой хэмжээгээр унасан байх ба хэрэв уналт тэгтэй тэнцвэл дахин хүчдэл өгөх үеийн хэт хүчдэл нь үндсэндээ шугамын хүчдэлтэй тэнцүү байна. Өндөр хурдтай дахин залгалт ашиглах тохиолдолд хэт хүчдэл илүү өндөр байх магадлалтай. Дахин залгах үйл ажиллагааны жилийн тоог nSFR-ээр тэмдэглэнэ. Дахин залгалтаас үүдэлтэй налуу фронттой хэт хүчдэлийн жилийн давтамж нь шугамын загвар, газар дээр буух аянгын нягтрал, бохирдлын түвшин, дамжуулагч хоорондоо хавиралдах осол гэх мэт параметрүүдээс хамаарах шугамын гэмтлийн давтамжтай холбоотой байдаг. Жилийн ердийн гэмтлийн давтамж нь жилд 100 км шугам тутамд 1-ээс 2 хүртэлх давтамжтай байдаг.  **5.4 Эгц фронттой хэт хүчдэл**  Эгц фронттой хэт хүчдэлийн бодит тархалтын магадлалыг инженерийн шугам сүлжээ, шугам сүлжээний төлөвлөгчдөд ерөнхийдөө тодорхойгүй байдаг. Тиймээс 6-р хэсэгт заасан журмыг бүрэн хэрэгжүүлэх боломжгүй байна. Эгц фронттой хэт хүчдэлийн хэмжээ ба давтамжийн тархалтыг тооцоолох гарын авлагыг доор харуулав.    Эгц фронттой хэт хүчдэлийн гол эх үүсвэр нь аянга бөгөөд түүний давтамжийг (газарт буух цахилалтын нягтрал эсвэл аянга цахилгаантай бороотой өдрүүдийн хэлбэрээр) мэдэх боломжтой юм. Аянга буухад шугаманд шууд тусах, хэлэхсэн тусгаарлагчийн хариу нэвт цохилт, индукцлэх зэргээс шалтгаалан аянгын хэт хүчдэл үүсч болно. Аянга буух улмаас шугамын дагуу чиглэл тус бүрт хэт хүчдэл дамжин өнгөрөхийн хэрээр тэдгээрийн амплитуд/далайц багасаж, оргил үед хүрэх хугацаа нь нэмэгддэг байна. Энэ нь хэт хүчдэлийн энерги нь титэм цахилалт үүсэх байдлаар сарнидагтай холбоотой юм.  Шугамын тусгаарлагчийн түвшингээс хэтэрсэн аянгын хэт хүчдэл нь аянга буухад ойролцоо тулгуураар дамжин газар дээр тархах бөгөөд ингэснээр эгц фронтын үлдэгдэл хэт хүчдэл нь харьцангуй бага байх болно. Гэсэн хэдий ч шугамын тусгаарлагчийн түвшингээс доогуур туссан аянгын хэт хүчдэл нь титэм цахилалт үүсэх замаар сарних хүртэл тархах эсвэл дамжуулагч ба тулгууруудын төмөр хийцийн хоорондох завсруудын статистик хэлбэлзлээс болж тулгуурт очны цахилалт гарч болзошгүй юм. Дамжуулагчийн ойролцоо аль ч холбогч дээр шууд цохилт тохиолдсон үед газардуулсан хэсгүүдэд цахилалт үүсэх магадлалыг энд тооцоогүй болно.  Бусад мэдээлэл байхгүй тохиолдолд эгц фронттой хэт хүчдэлийг шугамын дагуу тархаж болох хүчдэл гэж үзэхийг зөвлөж байна (өөрөөр хэлбэл хамгийн ойрын тулгуур дээр очны цахилалд хүргэдэггүй). Энэ хүчдэл нь эгц фронттой долгион дамжуулагч ба тулгуурын хоорондох завсрын U90 утга юм. Хэрэв U90-ийн утга тодорхойгүй бол түүнийг хүчдэлтэй хэсэг ба тулгуурын газардуулсан хэсгүүдийн хоорондох агаарын завсрын уртаас тооцож болно (A.3-р зүйлийг үзнэ үү). Бусад мэдээлэл байхгүй тохиолдолд цахилгаан тасалдлын зайг (7-р зүйл) тодорхойлохын тулд дамжуулагч ба тулгуурын завсрын U90 утгыг цахилгаан тасалдлын зайг тэсвэрлэх хэт хүчдэлийн тархалтын U2FF болгон ашиглахыг зөвлөж байгаа бөгөөд бүх хэт хүчдэл нь ийм утгатай байх ёстой юм.  Эгц фронттой хэт хүчдэлийн тоог шугамын ойролцоох аянгын идэвхжилтээс тооцоолж болно. Индукцлэгдсэн хэт хүчдэл үүсгэдэг ойр үүсэх цахилалтын тоог (газардуулсан хэсэг ба гүйдэл дамжуулах хэсгүүдийг хамтад нь) керауник түвшингээс эсвэл аянгын газардуулгын нягтралаас тооцож болно.  Хэрэв газардуулгын утас суурилуулсан бол шугам дээрх ихэнх цахилалтыг фазын дамжуулагч дээр үлэмж хүчдэл (significant) үүсгэхгүйгээр газар луу дамжуулна. Фазын дамжуулагч дэр үлэмж хэмжээний хэт хүчдэл үүсгэдэг цахилалтын хувь хэмжээ нь шугамын байгууламж, хийцээс хамаарах бөгөөд 5% -иас 100% хооронд хэлбэлзэх магадлалтай. Дараах тохиолдлуудыг ялгаж үздэг байна. Үүнд:   * хамгаалалтын экраны эвдрэл нь улмаар цохилтын цэгийн ойролцоо очит цахилалт үүсгэх бол тэрээр шугамын дагуу хэт хүчдэл тархахад хүргэдэггүй байна; * хамгаалалтын эвдрэл нь цохилтын цэгийн ойролцоо очит цахилалт үүсгэхгүй - тэрээр ойролцоох тулгуур дээр, шугамын ойролцоох объект дээр очит цахилалт гарах хүртэл тархах эсвэл титэмт цахилалтаар тархах боломжтой юм (титэмт цахилалтын хүрээ нь 10 хүртэл километрээр хязгаарлагдах магадлалтай). Ийнхүү хүчдэлийн энэ ангилал нь Del-ийн утгыг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой юм; * Урвуу нэвт цохилтууд - эдгээр нь цохилтын цэгийн ойролцоо очит цахилалт үүсгэх бөгөөд хэт хүчдэл тархах болно. Ийм хэт хүчдэл нь зэргэлдээ тулгуур, шугаманд ойрхон объект дээр очит цахилалт гарах хүртэл тархах эсвэл титэмт цахилалтаар сарних боломжтой юм (титэмт сарнилын хүрээ нь 10 хүртэл километрээр хязгаарлагдах магадлалтай). Ийнхүү хэт хүчдэлийн энэхүү ангилал нь Del утгыг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой юм.   Индукцлэгдсэн цохилтын давтамж нь шугамын ойролцоох аянгын идэвхжилтэй холбоотой боловч хэт хүчдэл нь ерөнхийдөө 200 кВ-аас бага байдаг тул эдгээр нь илүү өндөр утгатай дамжуулах хүчдэлийн хувьд тийм ч их ач холбогдолгүй юм.  Ийнхүү шугам дээр эгц фронттой долгион үүсэх давтамж нь шугаманд тусах цохилтоос илүү шугамын эвдрэлийн давтамжтай холбоотой байх магадлалтай юм. Хүнээс 10 км-ийн зайд буух аянгын буух нь хэт хүчдэл үүсгэдэг ба Del-ийг тодорхойлоход түүнийг харгалзах хэрэгтэй юм.  **6 Агаарын завсарт шаардагдах тэсвэрлэх хүчдэл**  Энэ утгыг статистикийн аргаар тодорхойлдог ба статистикийн тэсвэрлэх хүчдэл U90 гэж нэрлэдэг ба статистикийн хэт хүчдэл U2-ын 2 %-ийн утгыг статистикийн аюулгүй байдлын коэффициент KS-ээр үржүүлж тодорхойлдог. KS-ийн утгыг агаарын завсрын нуман цахилалтын магадлалын тодорхой түвшинг хангах үүднээс сонгодог болно.  **6.1 Ерөнхий зүйл**  Цахилгаан тасалдлын зай Del нь гурван төрлийн цахилгааны хүчлэгийн тус бүрээс цахилалт үүсэх магадлал нь оршин байх хугацаандаа хүлээн зөвшөөрөгдөх түвшинд байх зай юм.  Практик дээр цахилгаан тасалдлын зайг ихэвчлэн аянгын хэт хүчдэл нь 245 кВ-аас хэтрэхгүй АНУ-ын системийн болон таслах, залгах хэт хүчдэл нь мөн 245 кВ-аас дээш системийн хэт хүчдэлээр тодорхойлдог.  **6.1.1 Налуу фронттой үелзлийн хувьд нуман цахилалт үүсэх магадлал**  Хэт хүчдэлийн төрөл бүрийн хувьд RS цахилалтын магадлалыг ихэвчлэн IEC 60071-2-д заасны дагуу тооцоолж болно. Хэт хүчдэлийн нягтралын функц f (U) ба цахилалтын хүчдэлийн (discharge voltage) магадлалын P (U) функцийг мэдсэнээр RS-ийг томьёогоор тооцоолж болно (IEC 60071-2-ийн 3.3.2.2 дахь тэгшитгэл (8) –ийг үзнэ үү):  (4)  Тодорхой таамаглал ба налуу фронтын үелзлийн хувьд f (U) -г U2 хэт хүчдэлийн 2% -аас ба харгалзах хэлбэлзлийн коэффициент s2-оос тодорхойлж болно. P (U) функцийг статистик эсэргүүцлийн U90 хүчдэл ба харгалзах s90 хэлбэлзлийн коэффициентоос тодорхойлох боломжтой (энэ коэффициент нь налуу фронттой үелзлийн хувьд 5% эсвэл 6%, эгц фронттой үелзлийн хувьд 3% байх боломжтой). Тэгшитгэл (4) -ийг гарын авлагыг IEC 60071-2 стандартад заасан байдаг.  U90 = KS U2 тул очит цахилтын магадлал нь статистикийн аюулгүй байдлын хүчин зүйл болох KS-тай холбоотой юм. Энэ магадлалыг тэгшитгэл (4)-ийг ашиглан функц бүрийн хувьд Вейбулл тархалтыг баримжаалан тооцоолж болно. Гаргаж авсан утгуудыг өөр газарт зааж өгсөн болно (IEC 60071-2-ийн 3.3.2.2 дахь Зураг 8-ийг үзнэ үү), энэ зургаас авсан ойролцоо утгыг Хүснэгт 1-д үзүүлэв. Хэрэв боломжтой бол хэт хүчдэлийн судалгаанаас авсан утгыг ашиглахыг зөвлөж байна. Бусад тохиолдолд IEC 60071-2-ын Зураг 8.-ын утгыг ашиглана уу. | 1. **Scope**   This International Standard provides guidance for the calculation of electrical distances between live and earthed parts required to prevent air-gap breakdown which may endanger members of the public who legitimately come close to live parts. It is applicable only to overhead lines designed to operate at more than 45 kV phase-to-phase a.c. It deals with the electrical component of distances between conductors and movable objects – vehicles on the ground, vessels on water, persons on top of objects or on the ground, wildlife on the ground (but not airborne), etc.  This standard does not deal with the following public and worker safety aspects:   * stationary objects – structures beneath or next to lines, trees, ground contours, etc. These, in general, require consideration as to whether the structure can be climbed on, the extent to which the tree will grow, etc; * minimum approach distance for live working, which is dealt with in IEC 61472; * capacitive coupling or magnetic induction by overhead lines, such as voltages induced in vehicles under a line, or in pipelines buried alongside it; * currents flowing in the ground that originate from lines and result in step and touch voltages around structures during line faults or lightning strikes; * flashover of line insulators or spark gaps, or a phase-to-phase discharge, resulting in audible and electrical noise and intense arcs; * dielectric breakdown of the air between the conductors and the ground due to large fires beneath conductors; * minimum electrical distances required to prevent discharge to adjacent overhead power or communication circuits.   This standard does not give the electrical distance requirements for the design of overhead line structures. Neither does it give the distance requirements for overhead line structures which need to be accessible to workers while the line is energized (for example, distances to line workers or painters). Distances between conductors and the structure of the tower are normally chosen to meet the required operating reliability of the line. It is possible that this distance may not always be adequate to allow live working or, in some cases, access for workers to parts of the structure near to live conductors.  **2 Normative references**  The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.    IEC 60050(601):1985, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 601: Generation, transmission and distribution of electricity – General*  IEC 60050(604):1987, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 604: Generation, transmission and distribution of electricity – Operation*  IEC 60060-1:1989, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*  lEC 60071-1:1993, *Insulation co-ordination – Part 1: Definitions, principles and rules*  lEC 60071-2:1996, *Insulation co-ordination – Part 2: Application guide*  IEC 61472:1998, *Live working – Minimum approach distances – Method of calculation*  **3 Terms, definitions and symbols**  For the purposes of this International Standard, certain definitions from IEC 60050(601) and IEC 60050(604) as well as the following definitions apply.  **3.1 Definitions**  **3.1.1**  **nominal voltage of a system**  suitable approximate value of voltage used to designate or identify a system [IEV 601-01-21]  NOTE See also IEV 601-01-29: phase-to-phase voltage.  **3.1.2**  **highest voltage of a system US**  highest value of operating voltage which occurs under normal operating conditions at any time and any point in the system [IEV 601-01-23]  NOTE 1 See also IEV 601-01-29: phase-to-phase voltage.  NOTE 2 Transient overvoltages due, for example, to switching operations and abnormal operation, as well as abnormal temporary variations of voltage, are not taken into account.  **3.1.3**  **temporary overvoltage**  oscillatory overvoltage (at power frequency) at a given location, of relatively long duration and which is undamped or weakly damped  [IEV 604-03-12, modified]  NOTE Temporary overvoltages usually originate from switching operations or faults (for example, sudden load rejection, single phase-to-earth faults and/or from non-linearities (ferro-resonance effects, harmonics).  **3.1.4**  **fifty percent disruptive discharge voltage**  peak value of an impulse test voltage having a 50 % probability of initiating a disruptive discharge each time the dielectric testing is performed  [IEV 604-03-43]  **3.1.5**  **power-frequency withstand voltage**  r.m.s. value of sinusoidal power frequency voltage that the equipment can withstand during tests made under specified conditions and for a specified time  [IEV 604-03-40]  **3.1.6**  **lightning overvoltage**  transient overvoltage, the shape of which can be regarded for insulation coordination purposes as similar to that of the standard lightning impulse  [IEV 604-03-30]  **3.1.7**  **front of a voltage impulse**  that part of an impulse which occurs prior to the peak [IEV 604-03-16]  **3.1.8**  **electrical distance Del**  reference distance which ensures that the electrical breakdown between any live part of the electrical installation to the body of a member of the public, or any conductive tool or object which they could reasonably be expected to be in contact with, is effectively avoided  **3.1.9**  **occupancy at electrical distance Tocc**  number of hours, at which the individual or any conductive part to which he/she is in contact, is taken to be at the limit of the electrical distance  NOTE As a reference, Tocc is taken to be 1 h per year.  **3.1.10**  **annual probability of breakdown of air gap Ra**  probability of sparkover  NOTE For a reference occupancy of 1 h per year at the electrical distance, Del, the value Ra is taken to be 10–7.  **3.1.11**  **statistical withstand voltage U90**  overvoltage, with the shape of the representative overvoltage, at which the insulation exhibits a 90 % probability of withstand  **3.1.12**  **two per cent statistical overvoltage U2**  overvoltage having a 2 % probability of being exceeded, derived from the statistical distribution of overvoltages generated by the power system  **3.1.13**  **per unit two per cent overvoltage ue2**  statistical overvoltage phase-to-earth (expressed in per unit or p.u.) having a 2 % probability of being exceeded  **3.1.14**  **statistical factor Ks**  factor to be applied to the value of the 2 % statistical overvoltage to obtain the 90 % statistical withstand voltage  NOTE This is the statistical coordination factor, KCS, of 3.3.2.2 of IEC 60071-2 and the statistical factor, Ks, of 5.3 of IEC 61472.  **3.1.15**  **statistical probability of discharge Rs**  probability that a gap will spark over when an overvoltage with a certain statistical distribution is applied to it  **3.1.16**  **atmospheric correction factor ka**  factor to be applied to the withstand voltage to account for the difference between the average atmospheric conditions in service and standard atmospheric conditions  NOTE This applies to a specific area and may not be constant for the entire geographical territory of a power system.  **3.1.17**  **mitigating correction factor km**  factor that accounts for the fact that, in practice, the actual level of probability is reduced (see 6.1.3)  **3.1.18**  **gap factor kg**  ratio of the dielectric strength for slow-fronted waves of a given electrode geometry to that of a rod-plane configuration in which the point has positive polarity (see CIGRE Guide No. 72)  **3.2 Symbols**  ∆t (s) the mean time duration of temporary overvoltages  kg (–) gap factor  km (–) mitigating correction factor  kmSF (–) mitigating correction factor for slow-front surges  kmFF (–) mitigating correction factor for fast-front surges  KS (–) statistical factor or the ratio of U90 to U2  ka (–) atmospheric correction factor  nt (year–1) number of temporary overvoltages per year  nSF (year–1) number of slow-front overvoltages due to switching operations per year  nSFR (year–1) number of slow-front overvoltages due to reclosing operations per year  nFF (year–1) number of fast-front overvoltages per year  N (–) number of hours in a year – taken to be 8 760 h  RS (–) statistical probability of discharge  Ra (year–1) annual probability of breakdown of air gap  RaSF (year–1) annual probability of breakdown of air gap due to a slow-front surge  RaFF (year–1) annual probability of breakdown of air gap due to a fast-front surge  RaT (year–1) annual probability of breakdown of air gap due to a transient overvoltage  s2 (–) coefficient of variation of the distribution of overvoltages at U2  s2SF (–) coefficient of variation of the distribution of slow-front overvoltages at U2SF  U2SF s (–) coefficient of variation of the distribution of sparkover voltages as a fraction of U50  sSF (–) coefficient of variation of the distribution of sparkover voltages for slow- front waves (typically 0,05)  sFF (–) coefficient of variation of the distribution of sparkover voltages for fast- front waves (typically 0,03)  Tocc (h) occupancy at electrical distance  US (kV r.m.s.) highest r.m.s. voltage of the system (phase-to-phase)  U50 (kV) fifty per cent disruptive discharge voltage  U90 (kV) statistical withstand voltage  U2 (kV) overvoltage having a 2 % probability of being exceeded  U2SF (kV) slow-front overvoltage having a 2 % probability of being exceeded  U2FF (kV) fast-front overvoltage having a 2 % probability of being exceeded  u2SF (–) slow-front overvoltage having a 2 % probability of being exceeded in p.u.  u2FF (–) fast-front overvoltage having a 2 % probability of being exceeded in p.u.  UT (kV) peak value of temporary overvoltages  **4 Approach used to derive the electrical distance**  The following approach and assumptions are considered to be representative of power systems, but they are open to review if better information is available.   * In general an individual does not come to the limit of the electrical distance for long periods in any one year. For the purpose of calculation, the individual is assumed to be at the electrical distance for 1 h per year, but the method allows for other times to be used. * The voltages and overvoltages which are generated by the network have to be resisted by the electrical distance such that the probability of an electrical breakdown of the insulation becomes effectively zero during the occupation time. * Because the parameters involved are statistical variables it is necessary to calculate a probability of breakdown of the air gap. For the purpose of calculation, this is taken as Ra = 10–7 per annum although higher or lower values may be considered.   **5 Overvoltages**  The minimum approach distance for the public is determined by the overvoltages which can occur on the electrical system. The causes of overvoltages include the following: short-term voltage changes on the power system, switching operations, resonance conditions, faults, lightning strikes, etc.  **5.1 Classification of overvoltages**  The dielectric strength of an air gap depends on the shape of the voltage stress across it. IEC 60071-2 defines the types of overvoltages and their origins, each of which leads, in principle, to a different breakdown voltage for the same air gap.  The three types of overvoltage wave shape used in this standard are as follows:   * temporary overvoltages; * slow-front overvoltages; * fast-front overvoltages.   In order to make a calculation of electrical distance, the maximum value of the overvoltage, or the values which are exceeded by 2 % of overvoltages, for the three types of overvoltage, are required from tests or studies. If values are not available, clause 2 of IEC 60071-2 can be used for guidance. The 2 % values can be derived from the maximum (i.e. truncated) values (see annex A of IEC 61472).  The maximum value value referred to US  an overvoltage is normally expressed in per unit (p.u.), that is, the, where US is the highest system voltage.  Because of the statistical variability of overvoltages, the maximum overvoltage considered here is the 2 % overvoltage, U2, (or u2 when expressed in per unit) i.e. the overvoltage having a 2 % probability of being exceeded. U2 has an associated coefficient of variation, s2 (i.e. the standard deviation expressed as a percentage of the mean value). U2 is then given by the general expression:  (1)  (2)  (3)  **5.2 Temporary overvoltages**  There is a statistical variability in the occurrence of temporary overvoltages, both in amplitude and over time. In general, this is not well known for power systems but normally the peak amplitude, the duration and the number of occurrences per year are known or can be estimated. The annual number of occurrences of temporary overvoltages, nt, their mean time duration, t, and the peak voltage, UT, are needed to ensure safety from these overvoltages unless the distance, Del, is sufficiently large for there to be no probability of sparkover.  In practice, it is unlikely that temporary overvoltages will be the determining parameter for Del on practical transmission or distribution lines.  **5.3 Slow-front overvoltages**  Slow-front overvoltages are statistically distributed according to a function which can frequently be approximated by a normal (Gaussian) distribution in the vicinity of the statistical overvoltage, U2SF, (and u2SF expressed on a per unit basis) which has only a 2 % probability of being exceeded. In the vicinity of U2SF a normal distribution can be fitted with a coefficient of variation, s2SF. If better information is not available, a suggested value for s2SF is 20 %.  The annual frequency of the occurrence of a slow-front overvoltage due to normal switching operations and to delayed auto-reclosure operations after faults, nSF, will depend upon the operation of the line. A typical value is likely to be 1 to 100 overvoltages per year.  In addition to normal switching operations when the line is energized, faults (for example due to lightning and pollution flashover) will occur on the line, and, in these cases, the breaker opening and reclosing will interrupt the passage of current.  In the event that delayed auto-reclosure is used (with a dead time of several seconds) the trapped charge on the line will have decayed to some extent and, if the decay is to zero, the overvoltage on re-energization will be essentially that of the line energization. In the event that high-speed reclosure is used, the overvoltages are potentially higher. The annual number of reclose operations is denoted by nSFR. The annual frequency of the occurrence of a slow-front overvoltage due to reclosing is related to the fault rate of the line which will depend upon parameters such as line construction, lightning ground-flash density, pollution levels, conductor clashing incidents, etc. A typical annual fault rate is of the order of 1 to 2 per 100 km of line per year.  **5.4 Fast-front overvoltages**  The actual probability distribution of fast-front overvoltages occurring on a line is usually not known by utilities or line designers. It is thus not possible to apply completely the procedure set out in clause 6. The following provides guidance for assessing the magnitude and frequency distribution of fast-front overvoltages.  The major source of fast-front overvoltages is from lightning and the frequency of occurrence of this (either in the form of ground-flash density or thunderstorm days) is known. Lightning surges can arise due to direct lightning strokes to the line, back flashover of insulator strings, or induction. Their amplitude decreases and their time to peak increases as the surge travels along the line in each direction away from the stroke. This is because the energy in the surge is dissipated by the production of corona discharges.  Lightning surges that exceed the insulation level of the line will be largely dissipated to ground at towers adjacent to the lightning stroke, so that any residual fast-front surge will then be relatively small. However, lightning surges which are below the insulation level of the line are able to propagate until they are dissipated by the generation of corona discharges, or result in sparkover at a tower because of the statistical variability of the gaps between conductors and the towers' steelwork. The probability of discharge to earthed parts near the conductor within any span where a direct stroke occurs is not considered here.  In the absence of other information, it is recommended that the fast-front voltage to be considered is the voltage which can propagate along the line (i.e. that which does not result in sparkover at the nearest tower). This voltage is the U90 value of the gap between the conductor and the tower for fast-front waves. If the value of U90 is not known, it can be estimated from the length of the air gap between the live parts and the earthed (grounded) parts of the tower (see clause A.3). For establishing the electrical distance (clause 7) in the absence of other information, it is recommended that the U90 value of the conductor-to-tower gap is used as U2FF of the overvoltage distribution to be withstood by the electrical distance, and that all surges have this value.  The number of fast-front overvoltages can be estimated from the lightning activity in the vicinity of the line. The number of nearby strikes which will result in an induced overvoltage and the number to the line (earthed parts and live parts together) can be estimated from the keraunic level or the lightning ground-flash density.  If an earth wire (ground wire) is installed, most strikes to the line will be conducted to earth without generating significant voltages on the phase conductors. The percentage of strikes, which result in significant overvoltages on the phase conductors, will depend on the construction and design of the line and is likely to be in the range of 5 % to 100 %. The following cases shall be distinguished:   1. shielding failure which results in sparkover near to the point of strike – this will not lead to overvoltages being propagated along the line; 2. b) shielding failures which do not result in sparkover near to the point of strike – these can propagate until sparkover occurs at a nearby tower, to an object near the line, or are dissipated by corona discharges (the range is likely to be limited to under 10 km by corona discharges). This class of overvoltages is thus potentially important for determining the value of Del; 3. back flashovers – these result in sparkover near to the point of strike but a surge will propagate. Such a surge can propagate until sparkover occurs at a nearby tower, to an object near the line, or are dissipated by corona discharges (the range is likely to be limited to under 10 km by corona discharges). This class of overvoltage is thus potentially important for determining the value of Del.   The rate of induced strikes is related to the lightning activity in the vicinity of the line but, as the overvoltage is generally under 200 kV, these are of little concern for the higher transmission voltages.  The rate of occurrence of fast-front waves on the line is thus likely to be related to the fault rate of the line rather than to the number of strikes to the line. Those strikes that are within a distance of 10 km of the person result in overvoltages which shall be considered in the determination of Del.  **6 Required withstand voltage of the air gap**  This value is defined statistically and known as the statistical withstand voltage, U90, which is determined by multiplying the 2 % statistical overvoltage, U2, by a statistical safety factor, KS. The value of KS is chosen to provide a particular level of probability of disruptive discharge of the air gap.  **6.1 General**  The electrical distance, Del, is that distance where the probability of discharge from each of the three types of electrical stress is an acceptable level for the time of occupancy.  In practical terms, the electrical distance is generally determined by lightning overvoltages for systems where US does not exceed 245 kV, and by switching overvoltages for systems where US is above 245 kV.  **6.1.1 Probability of disruptive discharge for slow-front waves**  The probability of discharge, RS, can then be calculated for each type of overvoltage, generally as described in lEC 60071-2. Knowing the probability density function of the overvoltage, f(U), and the probability function of the discharge voltage, P(U), one can calculate RS from (see 3.3.2.2, equation (8) of lEC 60071-2):  (4)  Under certain assumptions and for slow-front surges, function f(U) can be determined from the 2 % overvoltage, U2, and the associated coefficient of variation, s2. Function P(U) can be derived from the statistical withstand voltage, U90, and the relevant coefficient of variation, s90 (which can be taken to be 5 % or 6 % for slow-front waves and 3 % for fast-front waves). Guidance in the application of equation (4) is provided by IEC 60071-2.  Since U90 = KS U2, the probability of sparkover is related to the statistical safety factor, KS. This probability can be calculated using equation (4) and assuming a Weibull distribution for each function. The resulting values are given elsewhere (see 3.3.2.2, figure 8 of IEC 60071-2), approximate values derived from this figure are shown in table 1. It is recommended that values from overvoltage studies are used, when these are available, otherwise the values from figure 8 of IEC 60071-2 are used. |

**1-р хүснэгт – Налуу фронттой долгион: цахилалт үүсэх магадлал**

|  |  |
| --- | --- |
| **KS** | **Магадлал RS** |
| 1,0 | 1  10–2 |
| 1,07 | 1  10–3 |
| 1,13 | 1  10–4 |
| 1,2 | 1  10–5 |

**Table 1 – Slow-front waves: probability of discharge**

|  |  |
| --- | --- |
| **KS** | **Probability RS** |
| 1,0 | 1  10–2 |
| 1,07 | 1  10–3 |
| 1,13 | 1  10–4 |
| 1,2 | 1  10–5 |

|  |  |
| --- | --- |
| **6.1.2 Эгц фронттой долгионы нуман цахилалтын магадлал:**  Аянгын хэт хүчдэлийн тархалтыг бүхэлд нь дамжуулагч ба тулгуурын хоорондох завсар U90 хүчдэлтэй байхаар тооцсон болно. Ийнхүү нуман цахилалтын магадлал нь U90 ба U50 завсрын хоорондох стандарт хазайлтын тооноос хамаарна. Ойролцоо утгыг тухайн завсар дах хэвийн тархалтад үндэслэн хүснэгт 2-т харуулав. | **6.1.2 Probability of disruptive discharge for fast-front waves**  The distribution of the lightning overvoltages is taken to be such that all have a voltage of U90 of the gap between the conductor and the tower. The probability of a disruptive discharge thus depends on the number of standard deviations between U90 and U50 of the gap, Del. Approximate values are given in table 2, based on a normal distribution for the gap. |

**2-р хүснэгт –Эгц фронттой долгион: цахилалт үүсэх магадлал**

|  |  |
| --- | --- |
| ***K*S** | **Магадлал *R*S** |
| 1,0 | 9,7  10–2 |
| 1,01 | 5,3  10–2 |
| 1,02 | 2,7  10–2 |
| 1,03 | 1,3  10–2 |
| 1,04 | 5,7  10–3 |
| 1,05 | 2,4  10–3 |
| 1,06 | 9,3  10–4 |

**Table 2 – Fast-front waves: probability of discharge**

|  |  |
| --- | --- |
| ***K*S** | **Probability**  ***R*S** |
| 1,0 | 9,7  10–2 |
| 1,01 | 5,3  10–2 |
| 1,02 | 2,7  10–2 |
| 1,03 | 1,3  10–2 |
| 1,04 | 5,7  10–3 |
| 1,05 | 2,4  10–3 |
| 1,06 | 9,3  10–4 |

|  |  |
| --- | --- |
| **6.1.3 Буруулах хүчин зүйлс:**  Бодит байдал дээр магадлалыг бууруулах хүчин зүйлсийн үр дүнд бууралтыг тодорхойлдог km гэх гишүүний тусламжтайгаар дахин бууруулдаг. Магадлалын бууралт нь хэт хүчдэл тус бүрийн хувьд өөр өөр бөгөөд эгц фронттой болон түр зуурын хэт хүчдэлийн хувьд өөр мэдээлэл байхгүй тохиолдолд km-ийг 1,0 болгож тохируулахыг зөвлөж байна. Налуу фронттой долгионы хувьд km нь нэгжээс бага утгатай байж болно, учир нь   * Налуу фронттой хэт хүчдэлүүдийн тэн хагас орчим нь сөрөг туйлшралтай байдаг бөгөөд энэ нь Del-ийг тодорхойлоход хамааралтай геометрийн хувьд тийм ч ноцтой биш юм; * U2 нь системийн хамгийн өндөр хүчдэл US дээр үндэслэн тооцоологддог бөгөөд US нь өөрөө энэ процедурт оруулж тооцдоггүй статистик хэлбэлзэлтэй байдаг; * Налуу фронттой хэт хүчдэлийн оргилд хүрэх бодит хугацаа нь ихэвчлэн завсрын цахилалтын томьёонд үндэслэсэн оргил хугацаанаас ихэвчлэн бага хүчлэгтэй байх болно.   Эдгээр зөөлрүүлэх хүчин зүйлүүд нийлээд тасалдалт гарах магадлалыг 3-аас дээш дахин бууруулж болох бөгөөд энэ тохиолдолд km = 0,33 байна.  **6.1.4 KS-ийг сонгох**  Жилийн зөвшөөрөгдөх магадлалын түвшингээс доогуур байхын тулд RS-тай холбоотой статистикийн аюулгүй байдлын зохих хүчин зүйлийг сонгох шаардлагатай. Хэт хүчдэлийн хувьд жилийн нийт магадлал Ra-г дараах томьёогоор олно:  (5)  Жилийн дотор цахилгаан тасалдлын зайд очит цахилалт үүсэх бодит магадлал Ra нь налуу фронттой хэт хүчдэл, эгц фронттой хэт хүчдэл ба түр зуурын хэт их хүчдэлийн (∆t үргэлжлэх хугацаа) оруулсан хувь нэмрийн нийлбэр юм. Тэр нь:  (6)  Хэрэв түр хугацаанд үргэлжлэх хэт хүчдэл нь нэрлэсэн тохиолдолд Del тодорхойлоход ач холбогдолгүй бол энэ нь буурдаг  (7)  Цахилгаан тасалдлын зай Del-ийг тооцох журам нь RS-ийг завсрын уртын функц гэдгийг тооцох ба бага утгатай байхаар сонгодог (жишээлбэл, Rа нь 10-7- байхад RS нь 10-3 гэсэн эрэмбэтэй байх болно).  Практик талаас нь харвал эгц фронттой хэт хүчдэл, таслах, залгах хэт хүчдэл, дахин залгах хэт хүчдэл, түр зуурын хэт хүчдэлийн хувьд цахилгаан тасалдлын зай Del-ийг 7-р гарын авлагад тооцоолох нь хамгийн зөв арга юм. Ерөнхий цахилгаан тасалдлын зай Del нь гол төлөв эдгээр зайнуудаас их байх болно.  ТАЙЛБАР: Гол эрсдэл нь Ra-ийн заасан хэмжээнээс ихгүй байгааг тодорхойлох нь оновчтой юм (жишээлбэл, 10-7), хэрэв ийм тохиолдолд Del-ийг тааруулан нэмэгдүүлэх хэрэгтэй.  Хэрэв энэ практик үзэл бодлыг дагаж мөрдвөл RSFF, RSSF, RSSFR ба Rt нь дараах тэгшитгэлээс гарна.  (8)  (9)  (10)  (11)  **6.2 Шаардлагатай тэсвэрлэх хүчдэлийг тооцоолох**  Завсрын тэсвэрлэх хүчдэлийн дурын магадлалыг (RSFF, RSSF, RSSFR) агаарын завсрын тэсвэрлэх хүчдэлийн 90% болох U2 хүчдэлийг аюулгүй байдлын коэффициент KS-ийн тохирох утгаар үржүүлэн тодорхойлж болно. (RSFF, RSSF, RSSFR).  (12)  (50%) статистик тэсвэрлэх хүчдэл U50-ийг дараах байдлаар тодорхойлно.  (13)  (14)  Тиймээс хэт хүчдэл бүрийн хувьд 50% -ийн статистик тэсвэрлэх хүчдэлийг дараах томьёогоор тодорхойлно.  налуу фронт: (15)  налуу фронтыг дахин залгах:  (16)  эгц фронт: (16)  KSSF, KSSFR ба KSFF нь статистикийн аюулгүй байдлын коэффициент юм; sSF, sSFR ба sFF нь тохиолдол бүрийн хамааралтай коэффициент юм.  **7 Хэт хүчдэлтэй холбоотой зайг тооцоолох**  Шаардлагатай U50 завсрыг тооцоолсны дараа агаарын завсрын уртыг тодорхойлж болно.  Тухайн уртад агаарын завсарт цахилалт үүсгэхгүйгээр тогтвортой байлгах U50 хүчдэл нь гурван үндсэн хүчин зүйлээс хамаарна.   1. Хүчдэлийн долгионы хэлбэр 2. агаарын завсар үүсгэдэг электродуудын салангид байршуулалт ба хэлбэр; 3. агаар мандлын нөхцөл байдал: агаарын нягт ба чийгшил (агаарын нягтралд далайн түвшнээс дээших өндөр, температур нөлөөлнө).   Эдгээр хүчин зүйлсийн нөлөөг олон арван жилийн туршид олон лабораторийн явуулсан импульсийн туршилтаар тодорхойлсон болно. Эдгээр туршилтуудад 50%-ийн цахилгааны эвдрэлд тэсвэртэй хүчдэл U50 ба ихэвчлэн түүний статистикийн хэвийн хазайлт s–ийг гол төлөв агаарын завсрын тодорхой уртын хувьд тодорхойлдог. “d” урттай агаарын завсар U50-ийн хувьд ерөнхий илэрхийлэл нь:  (18)  f (d) нь хүчдэлийн хэлбэрээс хамааран *U50*-ийн *d* зайны хэлбэлзлийг илэрхийлэх илэрхийлэл юм (ихэвчлэн саваа-хавтгайн тэг потенциалт завсар *U50RP* цахилалтын хүчдэлийн хувьд өгдөг);  kg нь завсрын коэффициент бөгөөд үүнийг kgSF илэрхийлэл буюу налуу фронттой завсрын коэффициентоор илэрхийлж, электродын геометрийн нөлөөллийг тооцдог байна. Налуу фронттой хэт хүчдэлийн завсрын коэффициентыг хувьсах гүйдлийн ба эгц фронттой хэт хүчдэлийн үр дүнтэй завсрын коэффициентыг тодорхойлоход ашиглаж болно (хавсралт А-с харна уу). Хавтгай дээгүүрх дамжуулагчийн хувьд налуу фронттой завсрын коэффициент нь 1,1-ээс 1,15-тэй тэнцэх боловч шугаман доор байрладаг олон практик объектын хувьд завсар нь саваа дамжуулагчийн завсартай илүү ойрхон байна (тэдгээрийн агаарын завсрын коэффициент ихэвчлэн 1.6 байдаг). Цахилгаан тасалдлын зайг ашиглах шаардлагатай хэлбэршилд нийцэх завсрын коэффициентыг ашиглахыг зөвлөж байна. Бусад мэдээлэл байхгүй тохиолдолд олон хэлбэршлийн хувьд цахилгаан тасалдлын зайг тооцоолохдоо 1,2 гэсэн завсрын коэффициентыг ашиглаж болох боловч илүү өндөр ба бага утга гарч болохыг тооцох хэрэгтэй.  Ka нь агаар мандлын стандарт бус нөхцөлийг хангах агаар мандлын залруулгын коэффициент юм (өөрөөр хэлбэл 20 ° C, 101 кПа, 325 кПа ба чийгийн агууламж 0,011 кг⋅м – 3-аас бусад).  Хэт хүчдэлийн гурван төрөлд агаар тусгаарлагчийн хариу үйлдлийг IEC 60071-2-ийн G хавсралтаар тайлбарласан бөгөөд энэхүү стандартын А хавсралтад нэгтгэв. D ба U50-ийн хоорондын хамаарлыг A.5-р нөхцөлд өгсөн болно.  Хавсралт B-ийн жишээнээс Del-ийн уламжлалыг харуулав.  **А хавсралт**  (мэдээллийн)  *U50* ба завсрын урт хоорондын хамаарал, *d*  **А.1 Түр зуурын хэт хүчдэл**  *f(d):* тайлбар 1-ийг харна уу (A.1)  завсрын коэффициент: тайлбар 2-ийг харна уу (A.2)  Түр зуурын хэт хүчдэлийн хэлбэлзлийн коэффициент, sA = 0,03-0,04;  kgSF нь налуу фронттой завсрын коэффициент .  ТАЙЛБАР 1 *U* нь киловольт дундаж квадрат утгаар, *d* нь метрээр илэрхийлнэ. 2 м-ээс их завсрын хувьд оргил утга нь налуу фронттой хэт хүчдэлийн харгалзах утгаас 20% -иас 30% илүү байна.  ТАЙЛБАР 2 2 м-ээс бага завсрын хувьд kgA нь налуу фронттой хэт хүчдэлээс ерөнхийдөө бага байдаг ба ойролцоогоор 1 м хүртэлх завсард маш ойрхон байдаг.  **А.2 Налуу фронттой хэт хүчдэл**  *f(d):* тайлбар 1-ийг харна уу (A.3)  завсрын коэффициент : тайлбар 2-ийг харна уу  sSF бол налуу фронттой долгионы хэлбэлзлийн коэффициент (= 0,05) тайлбар 3-ийг харна уу  Тайлбар 1: U нь киловольт, d нь метрээр хэмжигдэнэ. Тэгшитгэл (A.3) нь эерэг туйлтай, хязгаарын фронттой долгион ба 1 м-ээс 24 м-ийн хоорондох завсард хүчинтэй байна. Сөрөг туйлын хүч нь 2 м-ээс 14 м-ийн хоорондох завсрын хувьд эерэг туйлшралаас 1,8-2,4 дахин их тул ерөнхийдөө орхигдуулж болно.  ТАЙЛБАР 2 IEC 60071-2.-ын хүснэгт G.1-ийг харна уу  ТАЙЛБАР 3 Эерэг импульсийн хувьд таван хувь; Сөрөг импульсийн хувьд 8% хүртэл (CIGRE-ийн удирдамж 72-ийг харна уу ).  **А.3 Эгц фронттой хэт хүчдэл**  Эерэг туйлшрал:  *f(d):*  (A.4)  завсрын коэффициент: (A.5)  sFF нь эгц фронттой долгионы хэлбэлзлийн коэффициент (= 0,03) юм.  ТАЙЛБАР 1 Тэгшитгэл (A.4) нь 8 м хүртэлх завсарт хүчинтэй, d нь метрээр, U нь киловольтоор илэрхийлэгдсэн.  Дараах үүсмэл тоо нь дамжуулагчаас тулгуур хүртэлх завсар U90 (үүнийг метрээр хэмжсэн DLT-ийн зайтай тэнцүү байхаар тооцсон болно) болон холбогдох kgSF-ийн налуу фронттой завсрын коэффициент, хэлбэлзлийн эгц фронтын коэффициент sFF ба агаар мандлын залруулгын коэффициент ка байна.  Тайлбар 2: Анхаарч үзэх шаардлагатай DLT зай нь дамжуулагч ба эгц фронттой импульсийг дамжуулагчид хэрэглэх үед цахилалт үүсгэх байгуулалт хоорондын зай юм; цахилалт нь хэлхсэн тусгаарлагчийн дагуу эсвэл тулгуур хүртэлх агаарын завсраар дамжин үүсдэг.  Жишээ нь, DLT = 2,8 м, kgSF = 1,4 sFF = 0,03 ба агаар мандлын залруулгын коэффициент, ka = 1  Агаар мандлын залруулгын коэффициент, ka  (A.7)  **A.4 Агаар мандлын залруулгын коэффициент, ka**  Хэт хүчдэлийн төрөл тус бүрийн хувьд цаг хугацааны явцад хувьсах шинж чанар бүхий температур, даралт, үнэмлэхүй чийгшил зэрэг нь тус тус агаарын завсрын диэлектрик бат бөх чанарт нөлөөлдөг. Үүнийг, далайн түвшнээс дээших өндрөөс ихээхэн хамааралтай утга бүхий агаар мандлын залруулгын коэффициент ка –р харгалзан үзэж болно. Энэхүү залруулгын коэффициентын утгыг дурын цэг дээрх агаар мандлын даралт, температурыг ашиглан IEC 60060-1-ээс эсвэл IEC 61472-оос тооцож болно.  **A.5 Цахилгаан тасалдлын зайг тооцоолох**  Цахилгаан тасалдлын зайны хувьд дараах илэрхийллүүдийг гаргаж авахын тулд өмнөх дэд хэсгүүдэд харуулсан тэгшитгэлийг завсрын нэгжид хөрвүүлж, 6.2-т тодорхойлсон хэт хүчдэл бүрийн хувьд U50-ийн утгуудтай нэгтгэх боломжтой юм.   1. Түр зуурын хэт хүчдэлийн хувьд (A.8)   эндээс: (A.9)  x= (A.10)   1. налуу фронттой хэт хүчдэлийн (эерэг туйлшрал)-ын хувьд (A.11)   тиймээс: (A.12)   1. эгц фронттой хэт хүчдэлийн эерэг туйлшрал)-ын хувьд (A.13)   эндээс: (A.14)    **B хавсралт**  (мэдээллийн)  **Цахилгааны бүрэлдэхүүн хэсгийг тооцоолох жишээ**  Жишээ нь 420 кВ-ын системийн хамгийн их хүчдэл бүхий шугамын хувьд юм.  Tocc = 1 h  kg нь налуу фронттой завсрын коэффициент юм. Налуу фронттой завсрын коэффициентыг тооцоолоход 1,4 ба 1,2 байхаар авна.  ТАЙЛБАР. Ашиглагдах утга нь объектын ба шугамын хэлбэршлээс хамаарна. Нэмэлт мэдээллийг CIGRE 72 гарын авлага болон IEC 60071-2-д тусгасан болно. 1,4-ийн завсрын коэффициентыг шугам ба сунгасан гарны хоорондох ердийн завсар гэж үздэг бөгөөд 1,1-ийг шугам ба хавтгай биетийн орой хүртэлх завсар гэж үздэг, жишээлбэл тээврийн хэрэгслийн орой хүртэлх шугам.  ka = 1, өөрөөр хэлбэл жишиг өндөр нь 0 м, орчны температур 20 ° C, чийгийн хэмжээ 11 g⋅m – 3.  km = 0,4 нь долгионы хэлбэрийг таслах, залгах ба дахин залгах үед, харин аянгын хэт хүчдэл ба түр зуурын хүчдэлд 1,0 байна.  Жилд 20 таслах, залгах үйл ажиллагаа (nSF = 20) байдаг гэж таамагладаг.  жилд нэг удаа дахин залгах үйл ажиллагаа (nSFR = 1) -тай  100 км тутамд жилд нэг эгц фронттой хэт хүчдэл (өөрөөр хэлбэл дамжуулагч ба металл тулгуурын хоорондох завсрын U90 далайцын утга болон очит цахилалтын тус тусын магадлалыг жилд эгц фронтын хэт хүчдэлтэй тооцоолоход хамааралтай ).  Дамжуулагч ба металл тулгуур хоорондын завсар нь 2,75м байна.  Түр зуурын хэт хүчдэл нь 1.5 p.u. (нэгж тутамд) -ээс их байж болно, үргэлжлэх хугацаа нь тодорхойгүй байна  **В.1 Таслах, залгах үйл ажиллагааг Del тодорхойлох**  6-р нөхцөлийн хувьд жилийн магадлал болох RaSF нь 10-7-оос бага байх ёстой тул, RS, завсрын очит цахилалтын магадлалыг тооцоолно.  (B.1)  IEC 60071-2-ийн 8-р зургаас Ks = 1,13  6.2 (B.2)  ба =1036 kV (B.3)  эндээс Del=2,14 m kg = 1,4 (ба Del = 2,66 m kg = 1,2)  **B.2 Дахин залгах үйл ажиллагааны хувьд Del-ийг тодорхойлох**  6-р нөхцөлөөс жилийн магадлал болох Ra нь 10-7-оос бага байх ёстой тул, RS, завсрын очит цахилалтын магадлалыг тооцоолж болно:  (B.4)  IEC 60071-2-ийн 8-р зургаас k\_S = 1,04  6.2 (B.5)  ба =1068 kV (B.6)  эндээс Del=2,24 m for kg=1,4 (ба Del=2,80 m kg=1,2)  **В.3 Аянга**  Хэлхсэн тусгаарлагчийн эгц фронтын U50 болох U50FF-ийг түүний хэмжээ (2,75 м) болон хэлхсэн тусгаарлагчийн таамагласан завсрын коэффициентоос тооцдог (налуу фронттой долгионы хувьд 1,4). Өндрийн залруулгын коэффициент, ка (энэ жишээнд 1-тэй тэнцүү) –г ерөнхийдөө орлуулагдаж байгааг харуулахын тулд оруулсан болно.  (B.7)  дараагийн U90FF-ийг гаргаж авсан болно:  (B.8)  Завсрын очит цахилалт үүсэх магадлалыг дараах байдлаар өгсөн болно.  =4,4x (B.9)  6.1.2-аас Ks=1,04  Объект хүртэлх завсар U90 = 1546 ks kа = 1608 ka  ба (A.3-р зүйлээс)  (B.10)  kg=1,4 Del= 2,87 m-ын хувьд  kg=1,2 Del= 3,01 m-ын хувьд  **В.4 Түр зуурын хэт хүчдэл**  Завсрын U50 нь түр зуурын хэт хүчдэлийн хамгийн их амплитудын оргил утгаас дээш байх дөрвөн стандарт хазайлтуудаар (энэ жишээн дээрх утга нь 1,5) мөн sA хэлбэлзлийн коэффициент sA-г 0,04 байхаар тус тус тооцно.  Del-ийг тэгшитгэлээр шийдвэрлэх (A.9)  Del=1,56 m kg=1,4  ба Del=1,70 m kg= 1,2 | **6.1.3 Mitigating factors**  In reality, the probability is further reduced by the term km that defines the reduction resulting from mitigating factors. The reduction in probability is specific to each overvoltage type and for fast-front and temporary overvoltages it is recommended that km is set to 1,0 in the absence of other information. For slow-front waves, km can have a value less than unity because   * about half the slow-front overvoltages are of negative polarity, which is less severe for geometries relevant to the determination of Del; * U2 is calculated on the basis of the highest voltage of the system, US, which in itself has a statistical variation that is not taken into account in this procedure; * the actual time-to-peak of slow-front overvoltages will usually be less stressful than the so-called critical time-to-peak on which the gap discharge formula is based.   Together, these mitigating factors could reduce the probability of disruptive discharge by a factor of more than 3 and in this case km = 0,33.  **6.1.4 Choosing KS**  To stay below the annual acceptable probability level, the appropriate statistical safety factor, KS, associated with RS has to be selected. For n overvoltages, the overall annual probability, Ra, is then given by the formula:  (5)  The actual probability of sparkover of the electrical distance in a year, Ra, is the sum of contributions from slow-front overvoltages, fast-front overvoltages and temporary over- voltages (of duration ∆t). That is:  (6)  If the temporary overvoltages are not significant in determining Del as is normally the case, this reduces to  (7)  The procedure to derive the electrical distance, Del, recognizes that RS is a function of the length of the gap and is selected to be a small value (for example, RS will be of order 10–3 for Ra of 10–7).  From a practical point of view, it is best to calculate the electrical distance, Del, in clause 7, for fast-front overvoltages, switching overvoltages, reclosing overvoltages and temporary overvoltages. The overall electrical distance, Del, will then be the greater of these distances, in general.  NOTE It is prudent to confirm that the overall risk is not then greater than the specified value for Ra (for example, 10–7) and if this is the case, Del should be increased accordingly.  If this practical point of view is followed, RSFF, RSSF, RSSFR and Rt are derived from the following equations:  (8)  (9)  (10)  (11)  **6.2 Calculation of the required withstand voltage**  From the voltage U2, the 90 % withstand voltage of the air gap can be determined by multiplying by the appropriate value of KS, the statistical safety factor, to give the desired probability of withstand of the gap (RSFF, RSSF, RSSFR)  (12)  The (50 %) statistical withstand voltage, U50, is then determined from:  (13)  (14)  Hence the 50 % statistical withstand voltages can be determined for each overvoltage by the following formulae:  slow-front: (15)  slow-front reclosing:  (16)  fast-front: (16)  where *KSSF, KSSFR* and *KSFF* are the statistical safety factors; *sSF, sSFR* and *sFF* are the applicable coefficients of variation, in each case.  **7 Calculation of the distance associated with the overvoltage**  Once the required *U50* of the gap has been calculated, the length of the air gap can be determined.  The *U50* voltage that an air gap of a given length can sustain without discharge depends on three main factors:   1. the waveshape of the applied voltage; 2. the separation and shape of the electrodes forming the air gap; 3. the atmospheric conditions: air density and humidity (air density is markedly affected by altitude above sea-level and by temperature).   The effect of these factors has been determined in impulse tests conducted by many laboratories over many decades. In these tests, the 50 % disruptive withstand voltage, U50, and often also its statistical conventional deviation, s, have normally been determined for a certain air-gap length. A general expression for U50 of an air gap of length d is:  (18)  f(d) is an expression for the variation of U50 with distance d, depending on voltage shape (usually given in terms of the discharge voltage, U50RP, of a rod-plane reference gap);  kg is the gap factor and can be expressed in terms of kgSF, the slow-front gap factor, and allows for the influence of the electrode geometry. The gap factor for the slow-front overvoltage can be used to determine the effective gap factor for the a.c. and fast- front overvoltages (see annex A). The slow-front gap factor for a conductor over a plane is 1,1 to 1,15 but for many practical objects under a line, the gap is nearer to a rod-conductor gap (for which the gap factor is typically 1.6). It is recommended that the gap factor appropriate to the configuration for which the electrical distance is required be used. In many cases where there is an absence of other information, a gap factor of 1,2 can be used for calculating the electrical distance for many configurations, but it should be borne in mind that higher and lower values can occur;  ka is an atmospheric correction factor to allow for non-standard atmospheric conditions (i.e. other than at 20 °C, 101 kPa, 325 kPa and a moisture content of 0,011 kgm–3).  The response of air insulation to the three types of overvoltages is described in annex G of IEC 60071-2, and summarized in annex A of this standard. The relationship between D and U50 is given in clause A.5.  The example in annex B demonstrates the derivation of Del.  **Annex A**  (informative)  **Relationship between *U50* and the gap length, *d***  **A.1 Temporary overvoltages**  *f(d):* see note 1 (A.1)  gap factor: see note 2 (A.2)  The coefficient of variation for temporary overvoltages, sA = 0,03 to 0,04;  kgSF is the slow-front gap factor.  NOTE 1 U is in kilovolts r.m.s. and d in metres. For gaps greater than 2 m, the peak value is about 20 % to 30 % higher than the corresponding value for slow-front overvoltage.  NOTE 2 For gaps less than 2 m, kgA is generally lower than for slow-front overvoltage, and is quite close to unity for gaps up to about 1 m.  **A.2 Slow-front overvoltages**  *f(d):* see note 1 (A.3)  gap factor: see note 2  sSF is the coefficient of variation for slow-front waves (= 0,05) see note 3  NOTE 1 U is in kilovolts and d in metres. Equation (A.3) is valid for positive polarity, critical-front waves and gaps in the range of 1 m to 24 m. The negative polarity strength is 1,8 to 2,4 times higher than positive polarity for gaps from 2 m to 14 m, and can therefore generally be ignored.  NOTE 2 See table G.1 of IEC 60071-2.  NOTE 3 Five per cent for positive impulses; up to 8 % for negative (CIGRE Guide No 72).  **A.3 Fast-front overvoltages**  Positive polarity:  *f(d):*  (A.4)  gap factor: (A.5)  sFF is the coefficient of variation for fast-front waves (= 0,03).  NOTE 1 Equation (A.4) is valid for gaps up to 8 m, d is in metres and U in kilovolts.  The following derivation is of the U90 of the conductor-to-tower gap (which is taken to have a distance of DLT in metres), an associated slow-front gap factor of kgSF, a fast-front coefficient of variation, sFF, and an atmospheric correction factor, ka.  NOTE 2 The distance DLT to be considered is that between the conductor and the structure which discharges when fast-front impulses are applied to the conductor; the discharge occurs either along the insulator string or across the air gap to the tower.  For example, DLT = 2,8 m, kgSF = 1,4 sFF = 0,03 and an atmospheric correction factor, ka = 1  Atmospheric correction factor, ka  (A.7)  **A.4 Atmospheric correction factor, ka**  For each type of overvoltage, the temperature, pressure and absolute humidity, each of which has variability over time, affect the dielectric strength of an air gap. This can be taken into account by the atmospheric correction factor, ka, which has a value that depends mainly on altitude above sea level. The value of this correction factor can be derived from IEC 60060-1, using the atmospheric pressure and temperature at the point of interest, or by referring to IEC 61472.  **A.5 Calculating the electrical distance**  The equations given in the previous subclauses can be converted in terms of distance and combined with the values of U50 for each overvoltage determined in 6.2, to give the following expressions for the electrical distance:   1. for temporary overvoltages   (A.8)  hence: (A.9)  where: x= (A.10)   1. for slow-front overvoltage (positive polarity)   (A.11)  hence: (A.12)   1. for fast-front overvoltage (positive polarity)   (A.13)  hence: (A.14)  **Annex B**  (informative)  **Example of the calculation of the electrical component**  The example is for a line with a highest system operating voltage of 420 kV.  Tocc = 1 h  kg is the slow-front gap factor. The slow-front gap factor is taken to be 1,4 and to be 1,2 for this calculation.  NOTE The value to be used depends upon the configuration of the object and the line. Further information is given in CIGRE Guide 72 and IEC 60071-2. A gap factor of 1,4 is taken to be typical of the gap between a line and the outstretched hand of an individual, and 1,1 for a gap between a line and the top of a flat object such as the line to the top of a vehicle.  ka = 1, i.e. the reference altitude is 0 m, the ambient temperature is 20 °C and moisture content 11 gm–3.  km = 0,4 for switching and reclosing waveforms, but 1,0 for lightning overvoltages and temporary overvoltages.  It is presumed that there are 20 switching operations per year (nSF = 20) with  and one reclosing operation per year (nSFR = 1) with  One fast-front overvoltage per year per 100 km (i.e. fast-front overvoltage per year of relevance for calculating individual probability of sparkover and of amplitude U90 of the gap between conductor and tower).  The gap between conductor and tower is 2,75 m.  The temporary overvoltage can be up yo 1,5 p.u. and the duration is not known with certainty  **B.1 Determination of Del for switching operations**  From clause 6, the annual probability, RaSF, has to be less than 10–7 and so the probability of sparkover of the gap, RS, can be calculated:  (B.1)  Ks= 1,13 from figure 8 of IEC 60071-2  From 6.2 (B.2)  and =1036 kV (B.3)  hence Del=2,14 m for kg = 1,4 (and Del = 2,66 m for kg = 1,2)  **B.2 Determination of Del for reclosing operations**  From clause 6, the annual probability, Ra, has to be less than 10–7 and so the probability of sparkover of the gap, RS, can be calculated:  (B.4)  =1,04 from figure 8 of IEC 60071-2  From 6.2 (B.5)  and =1068 kV (B.6)  hence Del=2,24 m for kg=1,4 (and Del=2,80 m for kg=1,2)  **B.3 Lightning**  The fast-front U50 of the insulator string, U50FF, is calculated from its dimension (2,75 m) and the assumed gap factor of the insulator string (1,4 for slow-front waves). The altitude correction factor, ka (which equals 1 in this example) is included to show that in general it cancels out.  (B.7)  and next U90FF is derived:  (B.8)  The probability of sparkover of the gap is given by:  =4,4x (B.9)  Ks=1,04 from 6.1.2  U90 of gap to object = 1546 ks kа=1608 ka  and (from clause A.3)  (B.10)  for kg=1,4 Del= 2,87 m  for kg=1,2 Del= 3,01 m  **B.4 Temporary overvoltages**  The U50 of the gap is taken to be four standard deviations above the peak value of the maximum amplitude of the temporary overvoltage (1,5 p.u. in this example) and the coefficient of variation sA is taken to be 0,04. So  Solving Del in the equition (A.9)  Del=1,56 m for kg=1,4  And Del=1,70 m for kg= 1,2 |

**B.1-р хүснэгт – Үр дүнгийн хураангуй**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **/Долгионы төрөл** | **Утга p.u.** | ***K*g-ын *D*el =1,4** | ***k*g –ын *D*el =1,2** |
| Түр зуурын хэт хүчдэл | 1,5 | 1,56 m | 1,70 m |
| Аянгын хэт хүчдэл | *шугамын U*90 / металл тулгууран завсар | 2,87 m | 3,01 m |
| Таслах, залгах хэт хүчдэл | *U*2 *=* 2,5 p.u. | 2,14 m | 2,66 m |
| Дахин залгах хэт хүчдэл | *U*2 *=* 2,8 p.u. | 2,24 m | 2,80 m |

**Table B.1 – Summary of the results**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Wave type** | **Value p.u.** | ***D*el for *k*g =1,4** | ***D*el for *k*g =1,2** |
| Temporary overvoltage | 1,5 | 1,56 m | 1,70 m |
| Lightning overvoltage | *U*90 of line / tower gap | 2,87 m | 3,01 m |
| Switching overvoltage | *U*2 *=* 2,5 p.u. | 2,14 m | 2,66 m |
| Reclosing overvoltage | *U*2 *=* 2,8 p.u. | 2,24 m | 2,80 m |

|  |  |
| --- | --- |
| Del нь долгионы төрөл тус бүрийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн хамгийн их байх ба өөрөөр хэлбэл 1,4 утгатай завсрын коэффициентод 2,87 м, 1,2 утгатай завсрын коэффициент 3,01 м байна. Учир нь kg = 1,2 утгын хувьд аянгын хэт их хүчдэлийн Del нь дахин залгах хэт хүчдэлийн Del-тэй ойролцоо байна. Очит цахилалт үүсэх ерөнхий магадлал 10-7-аас хэтрээгүй эсэхийг шалгаж, шаардлагатай бол 3,01 м-ийг магадлал нь зөвшөөрөгдөх утгаас доогуур байхаар ихэсгэх хэрэгтэй. Энэ тохиолдолд үүнийг хийх шаардлагагүй тул, kg = 1,2 –ын хувьд Del = 3,01 м ба kg = 1,4-ийн хувьд Del = 2,87 м байна. | The Del will be the greatest of the components for each wave type, i.e. 2,87 m for a gap factor of 1,4 and 3,01 m for a gap factor of 1,2. Because, for kg = 1,2, Del for the lightning overvoltage is close to Del for the reclose overvoltage, it is necessary to check that the overall probability of sparkover does not exceed 10–7 and, if necessary, increase the 3,01 m so that the probability is below the acceptable value. In this case, it is not necessary so Del = 3,01 m for kg =1,2 and Del = 2,87 m for kg =1,4. |

**Bibliography**

CIGRE №. 72, 1992, Guidelines for the evaluation of the dielectric strength of external insulation, prepeared by CIGRE SC 33/WG 07