# ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA

ICS 29.080.01 **Červen 2006**

| | |
|---|---|
| Koordinace izolace -<br>Část 4: Průvodce výpočty koordinace izolace<br>a modelováním elektrických sítí | ČSN 33 0419-4 |

idt IEC TR 60071-4:2004

Insulation co-ordination -
Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks

Tato norma je českou verzí technické zprávy IEC TR 60071-4:2004. Technická zpráva IEC TR 60071-4:2004 má status české technické normy.

This standard is the Czech version of the Technical Report IEC TR 60071-4:2004. The Technical Report IEC TR 60071-4:2004 has the status of a Czech Standard.

© Český normalizační institut, 2006

**75767**

Podle zákona č. 22/1997 Sb. smějí být české technické normy rozmnožovány a rozšiřovány jen se souhlasem Českého normalizačního institutu.



Obsah

Strana

Předmluva ..... 6

**1** Rozsah platnosti a předmět normy ..... 8

**2** Normativní odkazy ..... 8

**3** Termíny a definice ..... 8

**4** Seznam značek a zkratek..... 10

**5** Typy přepětí ..... 11

**6** Typy studií ..... 12

**6.1** Dočasná přepětí (TOV)..... 12

**6.2** Přepětí s pomalým čelem (SFO)..... 12

**6.3** Přepětí s rychlým čelem (FFO)..... 13

**6.4** Přepětí s velmi rychlým čelem (VFFO)..... 13

**7** Reprezentace prvků sítě a numerické úvahy..... 13

**7.1** Obecně ..... 13

**7.2** Numerické úvahy ..... 13

**7.3** Reprezentace venkovních vedení a podzemních kabelů..... 15

**7.4** Reprezentace prvků sítě při výpočtech dočasných přepětí..... 16

**7.5** Reprezentace prvků sítě při výpočtech přepětí s pomalým čelem..... 21

**7.6** Reprezentace prvků sítě při výpočtech přepětí s rychlým čelem..... 24

**7.7** Reprezentace prvků sítě při výpočtech přepětí s velmi rychlým přepětím..... 35

**8** Analýzy dočasných přepětí (TOV)..... 36

**8.1** Všeobecně ..... 36

**8.2** Rychlé určení dočasného přepětí..... 36

**8.3** Detailní určení dočasných přepětí [2], [9]..... 37

**9** Analýza přepětí s pomalým čelem (SFO)..... 39

**9.1** Všeobecně ..... 39

**9.2** Rychlá metodologie pro provádění SFO studií..... 39

**9.3** Výběr metody ..... 40

**9.4** Podrobnější průvodce pro statistickými metodami..... 40

**10** Studie přepětí s rychlým čelem..... 42

**10.1** Všeobecně ..... 42

**10.2** Průvodce pro použití statistických nebo semi-statistických metod..... 43

**11** Analýza přepětí s velmi rychlým čelem..... 47

**11.1** Všeobecně ..... 47

**11.2** Cíl prováděných studií..... 47

**11.3** Původ a typologie VFFO..... 47

**11.4** Průvodce pro provádění studií..... 48

**12** Vzorové případy ..... 49

**12.1** Všeobecně ..... 49

**12.2** Případ 1 TOV v rozsáhlém přenosovém systému obsahující dlouhá vedení..... 49

**12.3** Případ 2 (SFO) - Zapínání vedení 500 kV..... 54

**12.4** Případ 3 (FFO) - Ochrana proti atmosférickým přepětím GIS 500 kV..... 59

**12.5** Příklad 4 (VVFO) - Simulace přechodových jevů v GIS 765 kV [51]..... 65





**Příloha A** (informační) Reprezentace venkovních vedení a podzemních kabelů..... 69

**Příloha B** (informativní) Modelování oblouku: fyzika vypínače..... 72

**Příloha C** (informativní) Pravděpodobnostní metoda pro výpočet rizika poruchy zařízení elektrizační soustavy

způsobené atmosférickým
přepětím..... 74

**Příloha D** (informativní) Vzorový případ 5 (TOV) - Rezonance mezi vedením a reaktorem v přenosovém
systému 400/220
kV..... 78

**Příloha E** (informativní) Vzorový případ 6 (SFO) - Určení rizika poruchy zapouzdřeného vedení (GIL) způsobené
SFO
.....
83

**Příloha F** (informativní) Vzorový případ 7 (FFO) - Zánik vysokofrekvenčního oblouku při spínání tlumivky..... 89

Bibliografie
.....
..... 92

Obrázek 1 - Typy přepětí (kromě přepětí s velmi s rychlým
čelem)..... 11

Obrázek 2 - Tlumicí rezistor použitýk
indukčnosti..... 14

Obrázek 3 - Tlumicí rezistor použitý ke
kapacitě..... 14

Obrázek 4 - Příklad náhrady nelineárního prvku pro výpočty v ustáleném
stavu..... 15

Obrázek 5 - Ekvivalentní obvod pro střídavé
napětí..... 16

Obrázek 6 - Dynamické modelování
zdroje..... 17

Obrázek 7 - Lineární sí»ový
ekvivalent..... 18

Obrázek 8 - Reprezentace zátěže v
[56]..... 20

Obrázek 9 - Reprezentace synchronního
stroje..... 21

Obrázek 10 - Diagram ukazující dvojí rozložení pro statistické
vypínače..... 24

Obrázek 11 - Přenosový stožár s několika úseky [16], H = l1 + l 2 + l 3 + l
4..... 26

Obrázek 12 - Příklad modelu
koróny..... 27

Obrázek 13 - Napě»ově-časová
křivka..... 28

Obrázek 14 - Tvar dvojitě lichoběžníkového
impulzu..... 32

Obrázek 15 - Konkávní tvar podle
CIGRE..... 32

Obrázek 16 - Zjednodušení model zemnicí
elektrody..... 34

Obrázek 17 - Příklad modelování do hloubky jedné
stanice..... 41

Obrázek 18 - Příklad modelování do hloubky dvou
stanic..... 41

Obrázek 19 - Aplikace statistických nebo semi-statistické
metod..... 43

Obrázek 20 - Aplikace elektrogeometrického
modelu..... 45

Obrázek 21 - Hraniční funkce pro dvě pravděpodobnostní proměnné: maximální hodnota proudu blesku
a napětí
průrazu
.....
46

Obrázek 22 - Na rozhraní GIS-vzduch: vazba mezi zapouzdřením a zemí (Z3), mezi venkovním vedením
a zemí (Z2) a mezi vodičem a zapouzdřením (Z1)
[33]..... 48

Obrázek 23 - Jednopólové schéma vzorového
případu..... 50

Obrázek 24 - TOV v CHM7, LVD7 a CHE7 při simulacích stability systému při přechodných jevech..... 51

Obrázek 25 - Kmitočet generátorů v centrech č.1, 2 a 3 při simulacích stability systému při přechodných jevech..... 51

Obrázek 26 - Blokový diagram modelu dynamického zdroje [55]
..... 52

Obrázek 27 - TOV v LVD7 - Simulace elektromagnetických přechodových jevů s permanentními svodiči přepětí 588 kV a 612

kV..... 53

Obrázek 28 - TOV v LVD7 - Simulace elektromagnetických přechodových jevů s permanentními svodiči přepětí 588 kV a 612
kV..... 53

Obrázek 29 - TOV v LVD7 - Simulace elektromagnetických přechodových jevů s automaticky spínanými
svodiči přepětí 484
kV..... 54



---



Obrázek 30 - TOV v CHM7 - Simulace elektromagnetických přechodových jevů s automaticky spínanými svodiči přepětí 484
kV..... 54

Obrázek 31 - Reprezentace
systému..... 55

Obrázek 32 - Pomocné a hlavní
kontakty..... 56

Obrázek 33 - Příklad funkce kumulativní četnosti přepětí fáze-zem a pravděpodobnost vybití izolace v konfiguraci se zachyceným nábojem a vloženým
rezistorem..... 58

Obrázek 34 - Počet poruch na tisíc manipulací v závislosti na výdržném napětí
izolace..... 58

Obrázek 35 - Schématický diagram GIS 500 kV upravené pro studie atmosférických
přepětí..... 60

Obrázek 36 - Tvar proudu
blesku..... 61

Obrázek 37 - Aproximace ploch odezev (poruchový a bezpečný stav pro jednu sekci (uzel) GIS)..... 63

Obrázek 38 - Reprezentace limitního stavu prostoru pravděpodobnosti pro určení rizika fyzických změn..... 64

Obrázek 39 - Jednopólový diagram GIS 765 kV se zapínajícím
odpojovačem..... 65

Obrázek 40 - Část simulačního schématu GIS 765 kV, zahrnující oblast zájmu studia přechodových jevů..... 65

Obrázek 41a - Výsledky simulace - Napětí v místě
UC1..... 67

Obrázek 41b - Výsledky simulace - Napětí v místě UK..... 67

Obrázek 41 - Čelo 4 ns ..... 67

Obrázek 42a - Výsledky simulace - Napětí v místě UC1..... 68

Obrázek 42b - Výsledky simulace - Napětí v místě UK..... 68

Obrázek 42 - Manipulace vypínačem..... 68

Obrázek A.1 - Model p-článku ..... 69

Obrázek A.2 - Reprezentace jednovodičového vedení..... 70

Obrázek B.1 - Spínání vypínačem $SF_6$ ..... 73

Obrázek C.1 - Příklad oblasti poruchy..... 76

Obrázek D.1 - Vedení a tlumivka jsou zapnuty ve stejný okamžik..... 78

Obrázek D.2 - Konfigurace pro zapnutí vedení minimalizující riziko dočasného přepětí..... 79

Obrázek D.3 - Chybná funkce jednoho pólu vypínače při zapnutí transformátoru..... 81

Obrázek D.4 - Napětí ve stanici B, v nesepnuté fázi A..... 81

Obrázek D.5 - Napětí ve stanici B, v korektně sepnuté fázi B..... 82

Obrázek D.6 - Napětí ve stanici B, v nesepnuté fázi A (konfigurace podle obrázku D.2)..... 82

Obrázek E.1 - Elektrický obvod použitý pro výpočty spínacích přepětí..... 83

Obrázek E.2 - Vypočtené rozdělení přepětí - Dvě odhadnuté Gaussovy pravděpodobnostní funkce podle

výsledků dvou vhodných kritérií..... 84

Obrázek E.3 - Příklad spínacího přepětí mezi fázemi A a B a fáze-zem (A a B)..... 86

Obrázek E.4 - Rozdělení napětí podle GIL (ER-zapnutí naprázdno, ED-zapnutí po jednofázové poruše, ChPg-zachycený náboj)..... 86

Obrázek F.1 - Zkušební obvod (Copyright 1998 IEEE [48])..... 89

Obrázek F.2a - Napětí UGCS na svorkách modelu GCB..... 89

Obrázek F.2b - Proud IGCS v modelu GCB..... 89

Obrázek F.2 - Napětí na svorkách a proud modelu GCB (Copyright 1998 IEEE [48])..... 89

Obrázek F.3a - Časová konstanta oblouku $q$ ..... 90

Obrázek F.3b - Činné ztráty oblouku $N_0$ ..... 90

Obrázek F.3 - Naměřené parametry oblouku (Copyright 1998 IEEE [48])..... 90

Obrázek F.4 - Obvod použitý pro simulace..... 90

Obrázek F.5 - Porovnání naměřených a vypočtených výsledků (Copyright 1998 IEEE [48])..... 91



Strana

Tabulka 1 - Třídy a tvary přepětí - Standardní tvary napětí a standardní výdržné zkoušky..... 11

Tabulka 2 - Vztah mezi událostmi a nejkritičtějšími typy vzniklých přepětí..... 12

Tabulka 3 - Použití a omezení modelů současných venkovních vedení a podzemních kabelů..... 15

Tabulka 4 - Hodnoty U0, k, DE pro různé konfigurace doporučené

[59]..... 29

Tabulka 5 - Minimální kapacity transformátoru vůči zemi podle [44]..... 30

Tabulka 6 - Typické kapacity transformátorů vůči zemi podle [28]..... 31

Tabulka 7 - Kapacity vypínačů vůči zemi podle [28]..... 31

Tabulka 8 - Reprezentace prvních záporných sestupných úderů..... 33

Tabulka 9 - Čas půltýlu prvních záporných sestupných úderů..... 33

Tabulka 10 - Reprezentace záporných sestupných následných úderů..... 33

Tabulka 11 - Čas půltýlu záporných sestupných následných úderů..... 33

Tabulka 12 - Reprezentace prvků při studiích VFFO..... 35

Tabulka 13 - Typy přístupů k provádění studií FFO..... 42

Tabulka 14 - Parametry na straně zdroje..... 55

Tabulka 15 - Charakteristika svodičů přepětí..... 56

Tabulka 16 - Charakteristika kompenzační tlumivky..... 56

Tabulka 17 - Kapacity vypínače..... 56

Tabulka 18 - Zachycený náboj..... 57

Tabulka 19 - Konfigurace systému..... 57

Tabulka 20 - Zaznamenaná přepětí..... 57

Tabulka 21 - Počet poruch na tisíc manipulací..... 58

Tabulka 22 - Modelování systému..... 61

Tabulka 23 - Data pro aplikaci EGM..... 62

Tabulka 24 - Rozdělení vrcholové hodnoty proudu..... 62

Tabulka 25 - Počet úderů do různých sekcí dvou vstupujících venkovních přenosových vedení..... 62

Tabulka 26 - Parametry rozdělení napětí poruchy v GIS a vrcholu proudu blesku..... 63

Tabulka 27 - Určení výsledků podle FORM (odpor uzemnění stožáru = 10 W)..... 64

Tabulka 28 - Určení četnosti poruch pro GIS11..... 64

Tabulka 29 - Reprezentace komponentů GIS - Data pro GIS 765 kV..... 66

Tabulka D.1 - Parametry vedení..... 79

Tabulka D.2 - 400/220/33 kV transformátor..... 80

Tabulka D.3 - 220/13,8 kV transformátor..... 80

Tabulka D.4 - Hodnoty proudu a magnetického toku pro 400/220/33 kV transformátor..... 80

Tabulka D.5 - Hodnoty proudu a magnetického toku pro 220/13,8 kV transformátor..... 80

Tabulka D.6 - Hodnoty proudu a magnetického toku pro 400 kV/150 MVAr..... 80

Tabulka E.1 - Parametry napájecího zdroje..... 85

Tabulka E.2 - Směrodatná odchylka a U50M pro různé délky (SIWV = 1 050 kV)..... 85

Tabulka E.3 - Směrodatná odchylka a U50M pro různé délky (SIWV = 950 kV)..... 85

Tabulka E.4 - Směrodatná odchylka a U50M pro různé délky (SIWV = 850 kV)..... 85

Tabulka E.5 - Statistická přepětí pro U2% a U10% pro každou uvažovanou konfiguraci..... 87

Tabulka E.6 - Riziko pro každou uvažovanou konfiguraci..... 87

Tabulka E.7 - Počet dielektrických průrazů na 20 000 operací pro každou konfiguraci..... 88



---

## Předmluva

Tato norma obsahuje informativní dokument přijatý v souladu se směrnicí ISO/IEC, Část 2, jako technická zpráva (TR) s označením IEC TR 60071-4.

Upozornění: Převzetí TR do národních norem členů ISO/IEC není povinné a tato TR nemusí být na národní úrovni převzata jako normativní dokument.

## Citované normy

IEC 60060-1:1989 zavedena v ČSN IEC 60-1:1994 (34 5640) Technika zkoušek vysokým napětím - Část 1: Obecné definice a požadavky na zkoušky (idt IEC 60-1:1989, idt HD 588.1 S1:1991)

IEC 60071-1:1993 zavedena v ČSN EN 60071-1:2000 (33 0419) Elektrotechnické předpisy - Koordinace izolace - Část 1: Definice, principy a pravidla (idt EN 60071-1:1995, idt IEC 71-1:1993)

IEC 60071-2:1996 zavedena v ČSN EN 60071-2:2000 (33 0419) Elektrotechnické předpisy - Koordinace izolace - Část 2: Pravidla pro použití (idt EN 60071-2:1997, idt IEC 71-2:1996)

IEC 60076-8:1997 zavedena v ČSN IEC 60076-8:2000 (35 1008) Výkonové transformátory - Pokyny pro použití (idt IEC 60076-8:1997)

IEC 60099-4:1991 zavedena v ČSN EN 60099-4:2005 (35 4870) Svodiče přepětí - Část 4: Omezovače přepětí bez jiskřiš» pro sítě střídavého napětí (idt EN 60099-4:2004, idt IEC 60099-4)

IEC 61233:1994 nezavedena

## Obdobné mezinárodní normy

IEC TR 60071-4:2004 Insulation co-ordination - Part 4: Computational guide to insulation co-ordination and modelling of electrical networks

*(Koordinace izolace - Část 4: Průvodce výpočty koordinace izolace a modelováním elektrických sítí)*

Hlavním úkolem technických komisí IEC je připravovat mezinárodní normy. Avšak technická komise může navrhnout vydání technické zprávy, když technická komise shromáždí údaje různého druhu, které se normálně vydávají jako mezinárodní norma, například „stav techniky“.

IEC 60071-4, která představuje technickou zprávu, byla připravena technickou komisí IEC TC 28:

Koordinace izolace.

Text této technické zprávy vychází z těchto dokumentů:

| Dotazníkový návrh | Zpráva o hlasování |
|---|---|
| 28/156/DTR | 28/158/RVC |

Úplné informace o hlasování při schvalování této technické zprávy je možné nalézt ve zprávě o hlasování ve výše uvedené tabulce.

Tato publikace byla navržena podle Směrnic ISO/IEC, Část 2.

Komise rozhodla, že obsah této publikace se nebude měnit do konečného data vyznačeného na internetové adrese IEC „http://webstore.iec.ch“ termínu příslušejícímu dané publikaci.

V tomto roce bude publikace buď:

- přeměněna na mezinárodní normu;
- opětně potvrzena;
- zrušena;
- nahrazena revidovaným vydáním, nebo
- změněna.

Dvojjazyčná verze této technické zprávy bude vydána později.



Upozornění na poznámku, která byla oproti IEC TR 60071-4 doplněna

Do normy k článku 7.5.2.1 byla doplněna informativní poznámka, která upřesňuje používání označení p. j.

Vypracování normy

Zpracovatel: EGÚ - Laboratoř vvn a.s., 190 11 Praha 9 - Běchovice, IČ 25634330, Ing. Martin ©vancar

Technická normalizační komise: TNK 22 Elektrotechnické předpisy

Pracovník Českého normalizačního institutu: Ing. Vincent Csirik



1 Rozsah platnosti a předmět normy

Tato technická norma je průvodce pro studium koordinace izolace, který předkládá mezinárodně uznávaná doporučení

– pro modelování elektrických systémů, a

– pro implementaci deterministických a pravděpodobnostních metod upravených pro použití v numerických programech.

Předmětem je poskytnutí informace přehledem metod, modelů a příkladů, vhodných pro aplikace úloh specifikovaných v IEC 60071-2 a pro výběr izolačních hladin přístrojů nebo uspořádání podle definic v IEC 60071-1.

## 2 Normativní odkazy

Pro používání tohoto dokumentu jsou nezbytné dále uvedené referenční dokumenty. U datovaných odkazů platí pouze citovaná vydání. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání referenčního dokumentu (včetně změn).

IEC 60060-1:1989 Technika zkoušek vysokým napětím - Část 1: Obecné definice a požadavky na zkoušky

*(High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements)*

IEC 60071-1:1993 Koordinace izolace - Část 1: Definice, principy a pravidla

*(Insulation co-ordination - Part 1: Definitions, principles and rules)*

IEC 60071-2:1996 Koordinace izolace - Část 2: Pravidla pro použití

*(Insulation co-ordination - Part 2: Application guide)*

IEC 60076-8:1997 Výkonové transformátory - Pokyny pro použití

*(Power transformers - Part 8: Application guide)*

IEC 60099- 4:1991 Svodiče přepětí - Část 4: Omezovače přepětí bez jiskřiš» pro sítě střídavého napětí

*(Surge arresters - Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems*[1]*)*

IEC 61233:1994 Vysokonapě»ové vypínače AC - Spínání induktivních proudů

*(High-voltage alternating current circuit-breakers - Inductive load switching)*

---

**-- Vynechaný text --**