

2020

Výkonové transformátory –
Část 7: Směrnice pro zatěžování výkonových transformátorů ponořených IEC 60076-7
do minerálního oleje

ČSN

35 1001

Power transformers –
Part 7: Loading guide for mineral-oil-immersed power transformers

Tato norma je českou verzí mezinárodní normy IEC 60076-7:2018. Překlad byl zajištěn Českou agenturou pro standardizaci. Má stejný status jako oficiální verze.

This standard is the Czech version of the International Standard IEC 60076-7:2018. It was translated by the Czech Standardization Agency. It has the same status as the official version.

Národní předmluva

Informace o citovaných dokumentech

IEC 60076-2 zavedena v ČSN EN 60076-2 ed. 2 (35 1001) Výkonové transformátory – Část 2: Oteplení transformátorů ponořených do kapaliny

IEC 60076-14 zavedena v ČSN EN 60076-14 (35 1001) Výkonové transformátory – Část 14: Výkonové transformátory ponořené do kapaliny používající vysokoteplotní izolační materiály

Souvisící ČSN

ČSN EN 62770 (34 6760) Kapaliny pro elektrotechnické aplikace – Nepoužité kapaliny na bázi přírodních esterů pro transformátory a podobná elektrická zařízení

ČSN EN 60076-5 ed. 2 (35 1001) Výkonové transformátory – Část 5: Zkratová odolnost

Vysvětlivky k textu této normy

V případě nedatovaných odkazů na evropské/mezinárodní normy jsou ČSN uvedené v člancích „Informace o citovaných dokumentech“ a „Souvisící ČSN“ nejnovějšími vydáními, platnými v schválení této normy. Při používání této normy je třeba vždy použít takové vydání ČSN, která přejímají nejnovější vydání nedatovaných evropských/mezinárodních norem (včetně všech změn).

Upozornění na národní poznámky

Do normy byly k příloze I v kapitole I.2 doplněny národní poznámky.

Vypracování normy

Zpracovatel: CTN AZVN, z.s., IČO 65400739, Ing. Leoš Valenta, CSc.

Technická normalizační komise: TNK 97 Elektroenergetika

Pracovník České agentury pro standardizaci: Ing. Petr Kubeš

Česká agentura pro standardizaci je státní příspěvková organizace zřízená Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví na základě ustanovení § 5 odst. 2 zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

ICS 29.180

Obsah

	Strana
Předmluva.....	
..... 7	
Úvod.....	
..... 9	
1..... Rozsah	
platnosti.....	
..... 10	
2..... Citované	
dokumenty.....	
..... 10	
3..... Termíny	
a definice.....	
..... 10	
4..... Značky	
a zkratky.....	
..... 12	
5..... Vliv zatěžování nad jmenovitý štítkový	
výkon.....	14
5.1.....	
Obecně.....	
..... 14	
5.2..... Obecné	
následky.....	
..... 14	
5.3..... Vlivy a rizika krátkodobého nouzového	
zatěžování.....	14
5.4..... Vlivy dlouhodobého nouzového	
zatěžování.....	15

5.5..... Velikost transformátoru.....	15
6..... Relativní rychlost stárnutí a životnost transformátoru.....	16
6.1..... Obecně.....	16
6.2..... Životnost izolace.....	16
6.3..... Relativní rychlost stárnutí.....	19
6.4..... Výpočet zkrácené životnosti.....	20
7..... Omezení.....	20
7.1..... Omezení teplot.....	20
7.2..... Omezení proudu.....	21
7.3..... Zvláštní omezení pro malé transformátory.....	22
7.3.1... Omezení proudu a teploty.....	22
7.3.2... Příslušenství a jiné části.....	22
7.3.3... Transformátory uvnitř budov.....	22
7.3.4... Podmínky vnějšího prostředí.....	22

7.4..... Zvláštní omezení pro střední výkonové transformátory.....	22
7.4.1... Omezení proudu a teploty.....	22
7.4.2... Příslušenství, pomocná zařízení a další hlediska.....	22
7.4.3... Požadavky na zkratovou odolnost.....	22
7.4.4... Omezení napětí.....	22
7.5..... Zvláštní omezení pro velké výkonové transformátory.....	22
7.5.1... Obecně.....	22

7.5.2... Omezení proudu a teploty.....	23
7.5.3... Příslušenství, zařízení a jiné faktory.....	23
7.5.4... Požadavky na zkratovou odolnost.....	23
7.5.5... Omezení napětí.....	23
8..... Stanovení teplot.....	23
8.1..... Oteplení hot-spot v ustáleném stavu.....	23
8.1.1... Obecně.....	23
8.1.2... Výpočet oteplení hot-spot z údajů normální oteplovací zkoušky.....	24
8.1.3... Přímé měření oteplení hot- spot.....	25
8.1.4... Činitel hot- spot.....	27
8.2..... Teplota oleje v horní vrstvě a teploty hot-spot při proměnné okolní teplotě a podmínkách zatížení.....	29
8.2.1... Obecně.....	29
8.2.2... Řešení exponenciálních rovníc.....	30
8.2.3... Řešení diferenčních rovníc.....	33
8.3..... Okolní teplota.....	

..... 33

8.3.1... Venkovní vzduchem chlazené transformátory..... 33

8.3.2... Korekce okolní teploty pro transformátorový kryt..... 34

8.3.3... Vodou chlazené transformátory.....
..... 35

9..... Vliv přepínačů odboček.....
..... 35

9.1.....
Obecně.....
..... 35

9.2..... Ztráty nakrátko.....
..... 35

9.3..... Poměr ztrát.....
..... 36

9.4..... Činitel zatížení.....
..... 36

Příloha A (informativní) Očekávaná životnost a relativní rychlost stárnutí vzhledem k vlivu kyslíku a vody..... 37

A.1..... Očekávaná životnost.....
..... 37

A.2..... Relativní rychlost stárnutí s ohledem na vliv kyslíku a vody..... 38

Příloha B (informativní) Teplota jádra..... 41

B.1.....
Obecně.....
..... 41

B.2..... Polohy hot-spot v jádru.....
..... 41

Příloha C (informativní) Technické podmínky zatížení nad jmenovitý výkon.....	42
--	----

Příloha D (informativní) Popis činitelů Q , S a H	44
--	----

Příloha E (informativní) Výpočet časové konstanty vinutí a oleje.....	46
--	----

Příloha F (informativní) Parametry tepelného modelu.....	48
---	----

F.1 Obecně.....	48
---------------------------------	----

F.2 Odhad tepelné konstanty: experimentální přístup.....	48
---	----

F.3 Dynamické tepelné modelování: další vývoj.....	49
---	----

Příloha G (informativní) Exponenty oleje a vinutí.....	51
---	----

G.1 Obecně.....	51
---------------------------------	----

G.2 Historické pozadí.....	51
---	----

G.3 Teoretický přístup.....	53
--	----

G.4 Metoda prodloužené oteplovací zkoušky.....	54
---	----

Příloha H (informativní) Praktický příklad metody exponenciálních rovnic.....	56
--	----

H.1 Obecně.....	56
---------------------------------	----

H.2..... Časová perioda 0 až 190 minut.....	56
H.3..... Časová perioda 190 minut až 365 minut.....	57
H.4..... Časová perioda 365 minut až 500 minut.....	57
H.5..... Časová perioda 500 minut až 705 minut.....	58
H.6..... Časová perioda 705 minut až 730 minut.....	58
H.7..... Časová perioda 730 minut až 745 minut.....	58
H.8..... Porovnání s měřenými hodnotami.....	59
Příloha I (informativní) Aplikace metody řešení pomocí diferenčních rovnic.....	61
I.1..... Obecně.....	61
I.2..... Příklad.....	61
I.3..... Použití pro měření teploty v horní vrstvě oleje.....	66
Příloha J (informativní) Síťový graf, založený na příkladu v příloze H.....	67
Příloha K (informativní) Příklad výpočtu a prezentace údajů přetížení.....	69
Příloha L (informativní) Geomagnetické indukované proudy.....	73
L.1..... Pozadí.....	73
L.2..... Schopnost GIC u výkonových transformátorů [54], [55].....	73
Příloha M (informativní) Alternativní	

oleje.....	74
Bibliografie.....	75
Obrázek 1 – Strukturní vzorec celulózy.....	16
Obrázek 2 – Vztah mezi pevností v tahu a hodnotou DP.....	17
Obrázek 3 – Zrychlené stárnutí v minerálním oleji při 140 °C, při obsahu kyslíku udržovaném na hodnotě < 6 000 ppm a vlhkosti 0,5 %.....	18
Obrázek 4 – Předpokládaná životnost pro papír tepelně neupravený a její závislost na vlhkosti, kyslíku a teplotě.....	18
Obrázek 5 – Předpokládaná životnost pro papír tepelně upravený a její závislost na vlhkosti, kyslíku a teplotě.....	19
Obrázek 6 – Tepelný diagram.....	24
Obrázek 7 – Oteplení nad teplotou v horní vrstvě oleje (v nádobě) 65,8 °C zigzag chlazeného VN vinutí 400 MVA, 3fázový typ, chlazení ONAF, zatěžovací proud 1,0 p.j., poloha odbočky (-).....	25
Obrázek 8 – Okraje cívek, kde by mohly být umístěny senzory na hraně s vyšším vypočteným oteplením.....	26
Obrázek 9 – Oteplení nad teplotou v horní vrstvě oleje na konci 8hodinové tepelné zkoušky naprázdno při 110% napájecím napětí.....	27
Obrázek 10 – Chlazené zigzag vinutí, v němž jsou vzdálenosti mezi všemi sekcemi desek stejné a podložka usměrňující tok je instalována v prostoru mezi diskovými sekcemi.....	28
Obrázek 11 – Pohled shora na sekci obdélníkového vinutí se „sesutým uspořádáním kanálů“ pod jhem.....	28
Obrázek 12 – Blokový diagram znázorňující diferenciální rovnice.....	29

Obrázek 13 – Odezvy teploty na skokové změny proudu zatížení.....	30
Obrázek 14 – Funkce $Dq_h(t)/Dq_{hr}$ vytvořené hodnotami uvedenými v tabulce 4.....	32
Obrázek 15 – Princip ztrát jako funkce polohy odbočky.....	36
Obrázek A.1 – Arrheniův náčrt pro proces stárnutí.....	37
Obrázek F.1 – Celkový model hot-spot a oleje v horní vrstvě.....	50
Obrázek G.1 – Rozšířená oteplovací zkouška.....	54
Obrázek G.2 – Diagramy odhadu transformátorových exponentů.....	55
Obrázek H.1 – Odezva hot-spot teploty na krokové změny zatěžovacího proudu.....	59
Obrázek H.2 – Odezva teploty oleje v horní vrstvě na krokové změny zatěžovacího proudu.....	59

Obrázek I.1 – Znázorněné vstupní údaje pro uvedený příklad.....	63
Obrázek I.2 – Znázorněné výstupní údaje pro uvedený příklad.....	66
Obrázek K.1 – Velké výkonové transformátory s chlazením OF: Přípustné zatížení pro normální stárnutí.....	72
Obrázek L.1 – GIC tekoucí do výkonového transformátoru.....	73
Tabulka 1 – Relativní rychlost stárnutí v důsledku teploty hot-spot.....	20
Tabulka 2 – Maximální přípustné meze použitelné pro zatížení nad jmenovité hodnoty výkonnostního štítu.....	21
Tabulka 3 – Doporučené proudové limity použitelné pro zatížení nad jmenovité hodnoty výkonnostního štítu.....	21
Tabulka 4 – Doporučené teplotní charakteristiky pro exponenciální vztahy.....	32
Tabulka 5 – Korekce na nárůst okolní teploty v důsledku krytu.....	35
Tabulka A.1 – Aktivační energie (E_A) a činitel prostředí (A) pro oxidaci, hydrolýzu.....	38
Tabulka A.2 – Předpokládaná životnost papíru za různých podmínek.....	38
Tabulka A.3 – Rychlosti relativního stárnutí v důsledku teploty hot-spot, kyslíku a vlhkosti pro tepelně neupravenou papírovou izolaci.....	39
Tabulka A.4 – Rychlosti relativního stárnutí v důsledku teploty hot-spot, kyslíku a vlhkosti pro tepelně upravenou papírovou izolaci.....	40
Tabulka H.1 – Kroky zatížení transformátoru 250 MVA.....	56
Tabulka H.2 – Teploty na konci každého zatěžovacího kroku.....	60

Tabulka I.1 – Vstupní údaje pro uvedený příklad.....	62
Tabulka I.2 – Výstupní údaje pro uvedený příklad.....	65
Tabulka K.1 – Příklad významných znaků souvisejících s přetížitelností transformátorů.....	69
Tabulka K.2 – Příklad tabulky přípustných zatížení a odpovídajících denních zkrácení životnosti (v „normálních“ dnech) a maximální oteplení hot-spot v průběhu zatěžovacího cyklu.....	71



DOKUMENT CHRÁNĚNÝ COPYRIGHTEM

© IEC 2018, Ženeva, Švýcarsko

Veškerá práva vyhrazena. Není-li specifikováno jinak, nesmí být žádná část této publikace reprodukována nebo používána v jakékoliv formě nebo jakýmkoliv způsobem, elektronickým ani mechanickým, včetně pořizování fotokopii a mikrofilmů bez předchozího písemného svolení IEC nebo národního komitétu člena IEC v zemi žadatele. Máte-li jakékoliv dotazy týkající se copyrightu IEC nebo požadavky na získání dalších práv k této publikaci, kontaktujte prosím IEC na níže uvedené adrese nebo národní komitét IEC ve vaší zemi.

IEC Central Office

3, rue de Varembé · CH-1211 Geneva 20, Switzerland

Tel. + 41 22 919 02 11

info@iec.ch

www.iec.ch

Předmluva

1) IEC (Mezinárodní elektrotechnická komise) je celosvětová normalizační organizace zahrnující všechny národní elektrotechnické komitety (národní komitety IEC). Cílem IEC je podporovat mezinárodní spolupráci ve všech otázkách, které se týkají normalizace v oblasti elektrotechniky a elektroniky. Za tím účelem, kromě jiných činností, IEC vydává mezinárodní normy, technické specifikace, technické zprávy, veřejně dostupné specifikace (PAS) a pokyny (dále „publikace IEC“). Jejich vypracování je svěřeno technickým komisím, každý národní komitét IEC, který se zajímá o projednávaný předmět, se může těchto prací zúčastnit. Mezinárodní vládní i nevládní organizace, s nimiž IEC navázala pracovní styk, se těchto prací rovněž zúčastňují. IEC úzce spolupracuje s Mezinárodní organizací pro normalizaci (ISO) v souladu s podmínkami dohodnutými mezi těmito dvěma organizacemi.

2) Oficiální rozhodnutí nebo dohody IEC týkající se technických otázek vyjadřují v největší možné míře mezinárodní shodu v názoru na předmět, kterého se týkají, protože v každé technické komisi jsou zastoupeny všechny zainteresované národní komitety.

3) Publikace IEC mají formu doporučení pro mezinárodní používání a v tomto smyslu jsou přijímány národními komitety IEC. Přestože je věnováno velké úsilí tomu, aby byl obsah publikací IEC přesný, IEC nemůže nést odpovědnost za způsob, jakým jsou používány, nebo za jakoukoliv chybnou interpretaci uživatelem.

4) Na podporu mezinárodního sjednocení národní komitety IEC transparentně přejímají publikace IEC v maximální možné míře do svých národních a regionálních publikací. Každý rozdíl mezi publikací IEC a odpovídající národní nebo regionální publikací v nich musí být jasně vyznačen.

5) IEC se nezabývá ověřováním shody. Služby posuzování shody a v některých oblastech přístup ke značkám shody poskytují nezávislé certifikační orgány. IEC nenesе odpovědnost za žádné služby prováděné nezávislými certifikačními orgány.

6) Všichni uživatelé se mají ujistit, že mají poslední vydání této publikace.

7) IEC ani její řídicí pracovníci, zaměstnanci, pomocné síly nebo zástupci, včetně samostatných expertů a členů technických komisí a národních komisí IEC, neodpovídají za jakékoliv zranění osob, poškození majetku nebo poškození čehokoliv, ať už přímé, nebo nepřímé, ani za náklady (včetně právních poplatků) a výdaje spojené s publikováním, používáním a spoléháním se na tuto publikaci IEC nebo na jiné publikace IEC.

8) Upozorňuje se na normativní odkazy citované v této publikaci. Používání citovaných publikací je nezbytné ke správnému používání této publikace.

9) Upozorňuje se na možnost, že některé prvky této publikace IEC mohou být předmětem patentových práv. IEC nelze činit odpovědnou za identifikaci jakéhokoliv nebo všech patentových práv.

Mezinárodní normu IEC 60076-7 vypracovala technická komise IEC/TC 14 *Výkonové transformátory*.

Toto druhé vydání zrušuje a nahrazuje první vydání z roku 2005. Toto vydání je jeho technickou revizí. Toto vydání obsahuje následující významné technické změny s ohledem na předcházející vydání:

- a) název normy byl aktualizován z „olejových výkonových transformátorů“ na „výkonových transformátorů ponořených do minerálního oleje“;
- b) životnost izolace je aktualizována uvažováním nejnovějších výzkumných zjištění;
- c) teplotní limity byly zrevidovány a je doporučena nejvyšší teplota jádra;
- d) je doporučen počet optických vláknových senzorů pro oteplovací zkoušku;
- e) jsou uvažovány faktory Q , S a H ;
- f) teplotní modely jsou zrevidovány a přepracovány do obecně aplikovatelného matematického

tvaru;

g) geomagneticky indukované proudy jsou stručně pojednány a jsou navrženy odpovídající teplotní limity;

h) byla provedena rozsáhlá revize literatury a do bibliografie bylo přidáno množství odkazů.

Text této normy se zakládá na těchto dokumentech:

FDIS	Zpráva o hlasování
14/933/FDIS	14/942/RVD

Úplnou informaci o hlasování při schvalování této normy lze najít ve zprávě o hlasování ve výše uvedené tabulce.

Tato publikace byla vypracována v souladu se směrnicemi ISO/IEC, část 2.

Seznam všech částí souboru IEC 60076 se společným názvem *Výkonové transformátory* je možno nalézt na webových stránkách IEC.

Komise rozhodla, že obsah této publikace a jejích změn zůstane nezměněn až do data příští prověrky (stability date) uvedeného na webových stránkách IEC (<http://webstore.iec.ch>) v údajích o této publikaci. K tomuto datu bude publikace buď

- znovu potvrzena;
- zrušena;
- nahrazena revidovaným vydáním, nebo
- změněna.

UPOZORNĚNÍ Publikace obsahuje barevný tisk, který je považován za potřebný k porozumění jejímu obsahu. Uživatelé by proto měli pro tisk tohoto dokumentu použít barevnou tiskárnu.

Úvod

Tato část IEC 60076 poskytuje směrnici pro technické podmínky a zatěžování výkonových transformátorů z hlediska provozních teplot a tepelného stárnutí. Poskytuje doporučení pro zatěžování nad štítkovou hodnotu a směrnici pro projektanty pro volbu příslušných jmenovitých veličin a podmínek zatěžování pro nové zařízení.

IEC 60076-2 je základem pro smluvní ujednání; obsahuje požadavky a zkoušky, které se vztahují k výpočtům oteplení olejových transformátorů při trvalém jmenovitém zatížení.

Tato část IEC 60076 uvádí matematické modely pro posuzování následků různých zatížení při různých teplotách chladicího média a s přechodnými nebo cyklickými časovými změnami. Modely poskytují výpočet provozních teplot v transformátoru, zvláště teploty v nejteplejším místě vinutí. Tato teplota hot-spot je postupně použita pro vyhodnocení relativní hodnoty rychlosti tepelného stárnutí a výpočet procenta zestárnutí v určitém časovém období. Modelování se vztahuje na malé transformátory, které jsou zde označeny jako distribuční transformátory, a na výkonové transformátory.

Hlavní změna proti předchozímu vydání je extenzivní práce na degradaci papíru, která byla provedena a naznačuje, že stárnutí může být popsáno kombinací oxidace, hydrolýzy a pyrolýzy. Kromě toho za předpokladu možnosti odhadu očekávané životnosti izolace s ohledem na různé činitele stárnutí jako vlhkost, kyslík a teplota a další reálné provozní scénáře. Název byl aktualizován z „olejové výkonové transformátory“ na „výkonové transformátory ponořené do minerálního oleje“. Limity teploty a proudu jsou revidovány a je doporučena nejvyšší teplota jádra. Použití optických vláknových senzorů se stalo standardní praxí, nicméně počet instalovaných senzorů na transformátoru je značně proměnný. Tento problém a popis faktorů Q , S a H je rovněž vzat do úvahy. Tepelné modely jsou zrevidovány a přepsány do obecně použitelného matematického tvaru. Stručně jsou popsány geomagneticky indukované proudy a jsou navrženy odpovídající teplotní limity.

Tato část IEC 60076 dále poskytuje doporučení pro omezení přípustného zatížení podle výsledku výpočtů teplot nebo měření. Tato doporučení se vztahují na různé typy provozního zatížení – plynulé zatížení, normální cyklické nerušené zatížení nebo dočasné nouzové zatížení. Doporučení se vztahují na distribuční transformátory, střední výkonové transformátory a na velké výkonové transformátory. Kapitoly 1 až 7 obsahují definice, společné základní informace a typická omezení pro provoz různých kategorií transformátorů.

Kapitola 8 obsahuje stanovení teplot, uvádí matematické modely používané pro odhad teploty hot-spot v ustáleném stavu a v přechodných podmínkách.

Kapitola 9 obsahuje krátký popis vlivu polohy přepínače odboček.

Příklady použití jsou uvedeny v přílohách A, B, C, D, E, F, G, H, I a K.

1 Rozsah platnosti

Tato část IEC 60076 se vztahuje na transformátory ponořené do minerálního oleje. Popisuje vliv provozu při různých teplotách okolí a podmínkách zatěžování na životnost transformátoru.

POZNÁMKA V případě pecních transformátorů je s výrobcem konzultován charakteristický zatěžovací diagram.

Konec náhledu - text dále pokračuje v placené verzi ČSN.