

2022

Točivé elektrické stroje -
Část 32: Měření vibrací čel vinutí statoru u tvarovaných vinutí

ČSN
CLC IEC/TS 60034-32

35 0000

idt IEC/TS 60034-32:2016

Rotating electrical machines -
Part 32: Measurement of stator end-winding vibration at form-wound windings

Machines électriques tournantes -
Partie 32: Mesurage des vibrations des développantes de stator au niveau des enroulements préformés

Drehende elektrische Maschinen -
Teil 32: Messung von Wickelkopfschwingungen an Formspulen im Ständer

Tato norma je českou verzí technické specifikace CLC IEC/TS 60034-32:2021. Překlad byl zajištěn Českou agenturou pro standardizaci. Má stejný status jako oficiální verze.

This standard is the Czech version of the Technical Specification CLC IEC/TS 60034-32:2021. It was translated by the Czech Standardization Agency. It has the same status as the official version.

Národní předmluva

Upozornění na používání této normy

Tato norma přejímá technickou specifikaci CLC IEC/TS 60034-32:2021 vydanou v souladu s vnitřními předpisy CEN/CENELEC, část 2.

Převzetí TS do národních norem členů CEN/CENELEC není povinné a tato TS nemusí být na národní úrovni převzata jako normativní dokument.

Informace o citovaných dokumentech

IEC 60034-1 zavedena v ČSN EN IEC 60034-1 ed. 2 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 1: Jmenovité údaje a vlastnosti

IEC 60034-15 zavedena v ČSN EN 60034-15 ed. 2 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 15: Hladiny impulzních výdržných napětí tvarovaných statorových cívek pro střídavé točivé stroje

IEC 60079 (soubor) zaveden v ČSN EN 60079 (33 2320) Výbušné atmosféry

ISO 7626-5:1994 nezavedena[1]

ISO 18431-1 zavedena v ČSN ISO 18431-1 (01 1466) Vibrace a rázy - Zpracování signálů - Část 1: Obecný úvod

ISO 18431-2 zavedena v ČSN ISO 18431-2 (01 1466) Vibrace a rázy - Zpracování signálů - Část 2: Časová okna pro analýzu Fourierovou transformací

Souvisící ČSN

ČSN EN 60034-18-31 ed. 2 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 18-31: Funkční hodnocení izolačních systémů - Zkušební postupy pro tvarovaná vinutí - Tepelné hodnocení a klasifikace izolačních systémů točivých strojů

ČSN EN 60034-18-32 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 18-32: Funkční hodnocení izolačních systémů - Zkušební postupy pro tvarovaná vinutí - Hodnocení podle elektrické odolnosti

ČSN CLC/TS 60034-18-33 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 18-33: Funkční hodnocení izolačních systémů - Zkušební postupy pro tvarovaná vinutí - Multifaktorové hodnocení podle odolnosti při současném tepelném a elektrickém namáhání

ČSN EN 60034-18-34 (35 0000) Točivé elektrické stroje - Část 18-34: Funkční hodnocení izolačních systémů - Zkušební postupy pro tvarovaná vinutí - Hodnocení termomechanické odolnosti izolačních systémů

ČSN ISO 2041 (01 1400) Vibrace, rázy a monitorování stavu - Slovník

ČSN ISO 7626 (soubor) (01 1416) Vibrace a rázy

ČSN ISO 7626-1 (01 1416) Vibrace a rázy - Experimentální určování mechanické pohyblivosti - Část 1: Základní termíny a definice, specifikace snímačů

ČSN ISO 13373-1 (01 1440) Monitorování stavu a diagnostika strojů - Monitorování stavu vibrací - Část 1: Obecné postupy

ČSN ISO 13373-2 (01 1440) Monitorování stavu a diagnostika strojů - Monitorování stavu vibrací - Část 2: Zpracování, analýza a prezentace vibračních dat

ČSN ISO 16063-1 (01 1417) Metody kalibrace snímačů vibrací a rázů - Část 1: Základní pojetí

ČSN EN 1779 (01 5059) Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení těsnosti - Kritéria pro volbu metod a postupů

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 době schválení této normy. Při používání této normy je třeba vždy použít taková vydání ČSN, která přejímají nejnovější vydání nedatovaných evropských/mezinárodních norem (včetně všech změn).

Informativní údaje z IEC/TS 60034-32:2016

Hlavním úkolem technických komisí IEC je vypracovat mezinárodní normy. Ve zvláštních případech mohou technické komise navrhnout vydání technické specifikace, jestliže

- nelze získat přes opakovanou snahu potřebnou podporu ke schválení jako mezinárodní normy, nebo
- předmětná záležitost je stále ve stadiu technického vývoje, nebo kde existuje jiný důvod znemožňující její okamžité vydání jako mezinárodní normy.

Technické specifikace podléhají do tří let od vydání revizi, aby se rozhodlo, zda mohou být převedeny na mezi-národní normy.

IEC/TS 60034-32, která je technickou specifikací, vypracovala technická komise IEC/TC 2 *Točivé stroje*.

Text této technické specifikace se zakládá na těchto dokumentech:

Návrh k vyjádření 2/1810/DTS	Zpráva o hlasování 2/1849/RVC
---------------------------------	----------------------------------

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

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

POZNÁMKA Tabulku odkazů na všechny publikace IEC/TC 2 je možné nalézt v řídicím panelu IEC/TC 2 na webových stránkách IEC.

Komise rozhodla, že obsah této publikace 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

- převedena na mezinárodní normu,
- 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.

Upozornění na národní poznámku

Do normy byly k článkům 3.1.25, 3.1.26, 3.2, 5.2.3.4, A.1.4 a A.2.3 doplněny informativní národní poznámky.

Vypracování normy

Zpracovatel: CTN AZVN, z.s., IČO 65400739, Ing. Pavel Ryška, Ph.D.

Technická normalizační komise: TNK 129 Točivé elektrické stroje

Pracovník České agentury pro standardizaci: Ing. Václav Bošek

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.

TECHNICKÁ SPECIFIKACE
TECHNICAL SPECIFICATION
SPECIFICATION TECHNIQUE
TECHNISCHE SPEZIFIKATION

CLC IEC/TS 60034-32

Říjen 2021

ICS
29.160.01

Točivé elektrické stroje -
Část 32: Měření vibrací čel vinutí statoru u tvarovaných vinutí
(IEC/TS 60034-32:2016)

Rotating electrical machines -
Part 32: Measurement of stator end-winding vibration at form-wound windings
(IEC/TS 60034-32:2016)

Machines électriques tournantes -
Partie 32: Mesurage des vibrations
des développantes de stator au niveau
des enroulements préformés
(IEC/TS 60034-32:2016)

Drehende elektrische Maschinen -
Teil 32: Messung von Wickelkopfschwingungen
an Formspulen im Ständer
(IEC/TS 60034-32:2016)

Tato technická specifikace byla schválena CENELEC dne 2021-08-16.

Členové CENELEC jsou povinni oznámit existenci této TS stejným způsobem jako u EN a umožnit, aby TS byla v příslušné formě okamžitě dostupná na národní úrovni. Je dovoleno, aby zůstaly v platnosti národní normy, které jsou s TS v rozporu.

Členy CENELEC jsou národní elektrotechnické komitety Belgie, Bulharska, České republiky, Dánska, Estonska, Finska, Francie, Chorvatska, Irska, Islandu, Itálie, Kypru, Litvy, Lotyšska, Lucemburska, Maďarska, Malty, Německa, Nizozemska, Norska, Polska, Portugalska, Rakouska, Republiky Severní Makedonie, Rumunska, Řecka, Slovenska, Slovinska, Spojeného království, Srbska, Španělska, Švédsko, Švýcarsko a Turecko.



Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
Řídicí centrum CEN-CENELEC: Rue de la Science 23, B-1040 Brusel

© 2021 CENELEC Veškerá práva pro využití v jakékoliv formě a jakýmkoliv prostředky jsou celosvětově vyhrazena členům CENELEC.

Ref. č. CLC IEC/TS

60034-32:2021 E

Evropská předmluva

Tento dokument (CLC IEC/TS 60034-32:2021) sestává z textu IEC/TS 60034-32:2016, který vypracovala technická komise IEC/TC 2 *Točivé stroje*.

Upozorňuje se na možnost, že některé prvky tohoto dokumentu mohou být předmětem patentových práv. CENELEC nelze činit odpovědným za identifikaci jakéhokoliv nebo všech patentových práv.

Jakákoli zpětná vazba a otázky týkající se tohoto dokumentu mají být adresovány národnímu normalizačnímu orgánu uživatele. Úplný seznam těchto orgánů lze nalézt na webových stránkách CENELEC.

Oznámení o schválení

Text mezinárodní technické specifikace IEC/TS 60034-32:2016 byl schválen CENELEC evropská technická specifikace bez jakýchkoliv modifikací.

Úvod.....	10
1..... Rozsah platnosti.....	12
2..... Citované dokumenty.....	12
3..... Termíny, definice a zkratky.....	12
3.1..... Termíny a definice.....	13
3.2..... Zkratky.....	15
4..... Příčiny a účinky vibrací čela vinutí statoru.....	15
5..... Měření strukturální dynamiky čel vinutí statoru v klidovém stavu.....	16
5.1..... Obecně.....	16
5.2..... Experimentální modální analýza.....	16
5.2.1... Obecně.....	16
5.2.2... Měřicí zařízení.....	17
5.2.3... Postup měření.....	18
5.2.4... Vyhodnocení naměřených funkcí frekvenčních odezev, identifikace	

módů.....	21
5.2.5... Náležitosti zkušebního protokolu.....	
21	
5.2.6... Interpretace výsledků.....	
..... 21	
5.3..... Analýza v místě buzení.....	
..... 22	
5.3.1... Obecně.....	
..... 22	
5.3.2... Měřicí zařízení.....	
..... 23	
5.3.3... Postup měření.....	
..... 23	
5.3.4... Vyhodnocení naměřených FRF, identifikace módů.....	23
5.3.5... Náležitosti zkušebního protokolu.....	
23	
5.3.6... Interpretace výsledků.....	
..... 24	
6..... Měření vibrací čel vinutí během provozu.....	24
6.1..... Obecně.....	
..... 24	
6.2..... Měřicí zařízení.....	
..... 25	
6.2.1... Obecně.....	
..... 25	
6.2.2... Snímače	

vibrací.....	25
6.2.3... Optoelektrické převodníky pro optické systémy.....	26
6.2.4... Prostup u strojů chlazených vodíkem.....	26
6.2.5... Sběr dat.....	26
6.3..... Instalace snímače.....	27
6.3.1... Umístění snímače.....	27
6.3.2... Správné postupy instalace.....	28
6.4..... Nejdůležitější dynamické charakteristiky, které je potřeba získat.....	29
6.5..... Identifikace provozních tvarů kmitů.....	29
6.6..... Náležitosti zkušebního protokolu.....	29
6.7..... Interpretace výsledků.....	30
7..... Opakovaná měření pro detekci strukturálních změn.....	30
7.1..... Obecně.....	30
7.2..... Referenční měření, provozní parametry a jejich srovnatelnost.....	30
7.3..... Volba měřicích činností.....	32

7.4..... Aspekty stavu stroje a jeho historie.....	33
Příloha A (informativní) Základní příčiny a účinky vibrací čel vinutí.....	34
A.1..... Dynamika čela vinutí statoru.....	34
A.1.1.. Vibrační módy a provozní tvar kmitu.....	34
A.1.2.. Buzení vibrací čel vinutí.....	34
A.1.3.. Důležité vibrační charakteristiky čel vinutí statoru.....	35
A.1.4.. Vliv provozních parametrů.....	37
A.2..... Zvýšené vibrace čel vinutí statoru.....	37
A.2.1.. Obecné aspekty zvýšených vibrací.....	37
A.2.2.. Zvýšení úrovně vibrací čel vinutí statoru v průběhu času a možná nápravná opatření.....	38
A.2.3.. Přechodné stavy jako příčina strukturálních změn.....	39
A.2.4.. Speciální aspekty hlavní izolace.....	39
A.3..... Provozní tvar kmitu globálních vibrací čel statoru.....	39
A.3.1.. Obecně.....	39
A.3.2.. Rozložení sil odpovídající chování globálních vibrací.....	40
A.3.3.. Idealizované chování globálních vibrací v provozu.....	41

A.3.4. Obecné vibrační chování čel vinutí statoru.....	42
A.3.5. Umísťování snímačů pro měření úrovně globálních vibrací.....	44
A.4..... Provozní tvar kmitu lokálních vibrací čel statoru.....	45
Příloha B (informativní) Vizualizace dat.....	47
B.1..... Obecně.....	47
B.2..... Měření v klidovém stavu.....	48
B.3..... Měření během provozu.....	51
Bibliografie.....	57
Příloha ZA (normativní) Normativní odkazy na mezinárodní publikace a jim odpovídající evropské publikace.....	58
Obrázky	
Obrázek 1 – Čelo vinutí statoru turbogenerátoru (vlevo) a velkého motoru (vpravo) na straně vývodů s paralelními kruhy (spojovacími pasy).....	10
Obrázek 2 – Příklad konstrukce čela vinutí u nepřímo chlazeného stroje.....	11
Obrázek 3 – Struktura měření s číslováním bodů a indikací buzení.....	20
Obrázek 4 – Zjednodušený řetězec příčin a následků vibrací čela vinutí statoru a ovlivňující provozní parametry.....	32
Obrázek A.1 – Znázornění globálních módů vibrací.....	36
Obrázek A.2 – Příklad rozložení rotační síly pro $p = 1$	40

Obrázek A.3 - Příklad rotující vlny výchylky provozních vibrací pro $p = 1$	41
Obrázek A.4 - Zobrazení dvou vibračních módů s různou orientací v prostoru (příklad pro $p = 1$).....	42
Obrázek A.5 - Zobrazení nerotující vlny výchylky provozních vibrací (příklad pro $p = 1$).....	43
Obrázek A.6 - Rozložení amplitudy a fáze v obecném případě.....	44
Obrázek A.7 - Snímače pro měření úrovně globálních vibrací umístěné do středu zón vinutí.....	44
Obrázek A.8 - Měření úrovně globálních vibrací pomocí 6 rovnoměrně rozmístěných snímačů umístěných ve středu zón vinutí.....	45
Obrázek A.9 - Příklad - Polohy snímačů pro měření úrovně lokálních vibrací vývodu vinutí vzhledem k úrovni globálních vibrací.....	46
Strana	
Obrázek B.1 - Struktura měření s číslováním bodů a indikací buzení.....	47
Obrázek B.2 - Příklad zkoušky linearity - Signál síly a hodnoty příslušných funkcí FRF.....	48
Obrázek B.3 - Příklad testu reciprocity - Porovnání funkcí FRF.....	48
Obrázek B.4 - Dva překryvné grafy se stejnými přenosovými funkcemi, ale s různými rozměry.....	49
Obrázek B.5 - Tvary 4, 6 a 8uzlových módů s vlastními frekvencemi, měření v jedné rovině.....	50
Obrázek B.6 - Tvar módu typického 4uzlového módu s různými směry pohledu (čelo vinutí statoru a vnější podpěrný kruh).....	50
Obrázek B.7 - Příklad - Amplituda a fáze dynamické poddajnosti a koherence.....	51
Obrázek B.8 - 2pólový generátor 60 Hz - Trend výchylky v čase u 10 akcelerometrů na čelech vinutí	

statoru a jednoho akcelerometru namontovaného na jádře statoru.....	51
Obrázek B.9 - 2pólový generátor 60 Hz - Vibrace čel vinutí, trendy teploty vinutí v čase, konstantní statorový proud.....	52
Obrázek B.10 - 2pólový generátor 60 Hz - Vibrace čel vinutí, trendy statorového proudu v čase, konstantní teplota vinutí.....	52
Obrázek B.11 - 2pólový generátor 60 Hz - Příklad kolísání úrovně vibrací při srovnatelných provozních podmínkách.....	53
Obrázek B.12 - 2pólový generátor 60 Hz - Nezpracovaný vibrační signál, časový průběh zrychlení.....	54
Obrázek B.13 - 2pólový generátor 60 Hz - FFT a vibrační signál po dvojité integraci, spektrum výchylek vibrací.....	54
Obrázek B.14 - 2pólový generátor 60 Hz - Spektrum výchylek vibrací.....	55
Obrázek B.15 - 2pólový generátor 60 Hz - Spektrum rychlostí.....	55
Obrázek B.16 - 2pólový generátor 60 Hz - Spektrum zrychlení.....	56
 Tabulky	
Tabulka 1 - Počet uzlů nejvyššího tvaru módu v příslušném frekvenčním rozsahu a minimální počet měřicích míst.....	20
Tabulka 2 - Možné měřicí akce pro pochopení různých aspektů řetězce příčin a následků.....	33

Úvod

Velké střídavé (AC) stroje jsou vybaveny vícefázovými statorovými vinutími. Informace uvedené v tomto dokumentu se zakládají na dvouvrstevném provedení. Taková vinutí jsou připojena k vícefázové napěťové soustavě (vícefázové proudové soustavě), která vytváří točivé magnetické pole ve vzduchové mezeře mezi povrchem

rotoru a vrtáním statoru. Napětí a proud se mohou při provozu měnit tak, aby docházelo k přizpůsobení měničimu se mechanickému zatížení. Elektrické stroje jsou obvykle konstruovány pro motorický a generátorový provozní režim. Většina střídavých strojů má symetrické trojfázové vinutí, které se skládá ze tří elektricky izolovaných, prostorově rozložených částí vinutí určených pro běžný provoz.

Velké střídavé točivé elektrické stroje jsou obvykle vybaveny tvarovanými vinutími, která se skládají z tvarovaných cívek (jak je definováno v článku 2.3 normy IEC 60034-15:2009), jednotlivých cívek vinutí (jednotlivých tyčí vinutí), které jsou vytvářeny před montáží do stroje.

Vyložení vinutí nebo čelo vinutí je část statorového vinutí, která přesahuje konec magnetického jádra a je ve většině případů vytvářena do podoby rotačního kužele, viz některé příklady uvedené níže na obrázku 1.



POZNÁMKA Čelo cívky je označeno černou čarou.

Obrázek 1 - Čelo vinutí statoru turbogenerátoru (vlevo) a velkého motoru (vpravo) na straně vývodů s paralelními kruhy (spojovacími pásy)

Většina velkých střídavých strojů s tvarovanými statorovými vinutími je vybavena podpěrnou konstrukcí čel vinutí statoru. Od ní se kromě jiného očekává, že odolá vysokému zatížení vlivem elektromagnetických sil, pokud stroj čelí elektrické poruše v elektrické napájecí síti, přičemž je zahrnuta také porucha v napájecím vedení elektrické sítě nebo v elektronickém napájecím zařízení. V mnoha případech je podpěrná konstrukce čel vinutí statoru navržena tak, aby nejen zvyšovala strukturální pevnost, ale poskytovala také vhodnou strukturální tuhost a setrvačnost, které soustavně ovlivňují strukturální dynamiku, a tím i úroveň vibrací během provozu.



Obrázek 2 - Příklad konstrukce čela vinutí u nepřímě chlazeného stroje

Typickými podpěrnými prvky jsou desky (konzoly) a kruhy (zděře), které podpírají kužel čela vinutí jako celek. Kromě toho jsou vzdálenosti mezi cívkami (nebo tyčemi) v čelech vinutí vymezeny distančními prvky a jejich poloha je zafixována upevňovacími prvky. Typickými materiály používanými pro podpěrné prvky, vložky a upevňovací prvky jsou kompozity obsahující materiály se skleněnými vlákny, stejně jako pryskyřicí impregnované plstěné materiály, šňůry a vázací tkanice (viz obrázek 2). Elektrická pole o vysoké intenzitě, která obklopují kovové součásti, by mohla také vyvolat elektrické výboje ohrožující dlouhodobou elektrickou pevnost.

Doposud neexistovala žádná obecná technická specifikace, která by umožňovala získání spolehlivých a srovnatelných výsledků pro identifikaci vlastních frekvencí v klidovém stavu a pro vibrační chování čel vinutí statoru za provozu.

Experimentální modální analýza čel vinutí statoru je osvědčený nástroj, který se po celém světě používá také pro ověřování vlastních frekvencí a tvarů módů velkých elektrických strojů. Cílem je vyvarovat se provozu stroje se zvýšenou úrovní vibrací čel vinutí vlivem vlastních frekvencí. Běžným zkušebním postupem je měření přenosových funkcí a identifikace strukturálních dynamických vlastností (např. vlastních frekvencí, tvarů módů a dalších modálních parametrů) pomocí rázové zkoušky. Výrobce tento postup uplatňuje na nových strojích a uživatel nebo dodavatel jej používá také jako nástroj údržby při generální opravě velkých točivých strojů.

Provozní měření vibračního chování čel vinutí statoru lze provádět pomocí instalace speciálních snímačů vibrací na vybraná místa čel vinutí pro periodická měření nebo trvalé online monitorování.

Ačkoli jde v případě měření vlastních frekvencí a úrovní vibrací čel vinutí statoru o osvědčené techniky, interpretace výsledků je stále záležitostí dalšího zdokonalování a vývoje. Proto je první vydání technickou specifikací a nikoli mezinárodní normou.

1 Rozsah platnosti

Cílem této části souboru IEC 60034 je poskytnout ucelené pokyny pro měření a podávání zpráv o vibračním chování čel vinutí za provozu a v klidovém stavu. Dokument

- definuje termíny pro měření, analýzu a vyhodnocování vibrací čel vinutí statoru a související strukturální dynamiku,
- uvádí pokyny pro měření dynamických/strukturálních charakteristik v režimu offline a vibrací čel vinutí statoru v režimu online,
- popisuje přístrojové vybavení a postupy instalace zařízení pro měření vibrací čel vinutí,
- stanovuje obecné zásady pro dokumentaci výsledků zkoušek,
- popisuje teoretické základy pro vibrace čel vinutí statoru.

Tato část IEC 60034 platí pro:

- trojfázové synchronní generátory o jmenovitém výkonu 150 MVA a vyšším, poháněné parními nebo spalovacími turbínami;
- trojfázové synchronní motory s přímým připojením k elektrické síti (DOL) o jmenovitém výkonu 30 MW a vyšším.

Tento dokument se omezuje na popis měřicích postupů pro dvoupólové a čtyřpólové stroje. U strojů s nižšími jmenovitými hodnotami, než jsou definovány v tomto dokumentu, lze uzavřít dohodu mezi prodejcem a odběratelem o konkrétním výběru z měření uvedených v tomto dokumentu, který se má použít.

Konec náhledu - text dále pokračuje v placené verzi ČSN.

[1]¹⁾ ČSN ISO 7626-5:1998, která přejímala ISO 7626-5:1994, byla zrušena z důvodu nahrazení mezinárodní normy novějším vydáním a je dostupná v zákaznickém centru ČAS.