

CEI EN 60034-1**2011-03**

La seguente Norma è identica a: EN 60034-1:2010-10; EN 60034-1/EC:2010-10.

*Titolo***Macchine elettriche rotanti****Parte 1: Caratteristiche nominali e di funzionamento***Title*

Rotating electrical machines

Part 1: Rating and performance

Sommario

La presente Norma si applica a tutte le macchine elettriche rotanti non coperte, in toto o per determinati aspetti, da altre specifiche Norme (per. es. IEC 60349). La Norma contiene principalmente definizioni e prescrizioni relative alle caratteristiche nominali e di funzionamento.

Nella presente revisione viene introdotto l'obbligo di inserire in targa per i motori che ricadono nel campo di applicazione della CEI EN 60034-30 l'indicazione della classe energetica IE stabilita in accordo alla Norma stessa.

La Norma in oggetto sostituisce completamente la Norma CEI EN 60034-1:2006-05, che rimane applicabile fino al 01-10-2013.



DATI IDENTIFICATIVI CEI

Norma italiana CEI EN 60034-1
Classificazione CEI 2-3
Edizione

COLLEGAMENTI/RELAZIONI TRA DOCUMENTI

Nazionali

Europei (IDT) EN 60034-1:2010-10; EN 60034-1/EC:2010-10;

Internazionali (PEQ) IEC 60034-1:2010-02;

Legislativi

Legenda (IDT) - La Norma in oggetto è identica alle Norme indicate dopo il riferimento (IDT)
 (PEQ) - La Norma in oggetto recepisce con modifiche le Norme indicate dopo il riferimento (PEQ)

INFORMAZIONI EDITORIALI

Pubblicazione Norma Tecnica

Stato Edizione In vigore

Data validità 01-04-2011

Ambito validità Internazionale

Fascicolo 11111

Ed. Prec. Fasc. 8284:2006-05 che rimane applicabile fino al 01-10-2013

Comitato Tecnico CT 2-Macchine rotanti

Approvata da Presidente del CEI

In data 03-02-2011

CENELEC

In data 01-10-2010

Sottoposta a Inchiesta pubblica come Documento originale

Chiusura in data 09-07-2010

ICS 29.160;

Macchine elettriche rotanti**Parte 1: Caratteristiche nominali e di funzionamento**

Rotating electrical machines**Part 1: Rating and performance**

Machines électriques tournantes**Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement**

Drehende elektrische Maschinen**Teil 1: Bemessung und Betriebsverhalten**

I Comitati Nazionali membri del CENELEC sono tenuti, in accordo col regolamento interno del CEN/CENELEC, ad adottare questa Norma Europea, senza alcuna modifica, come Norma Nazionale. Gli elenchi aggiornati e i relativi riferimenti di tali Norme Nazionali possono essere ottenuti rivolgendosi al Segretariato Centrale del CENELEC o agli uffici di qualsiasi Comitato Nazionale membro. La presente Norma Europea esiste in tre versioni ufficiali (inglese, francese, tedesco). Una traduzione effettuata da un altro Paese membro, sotto la sua responsabilità, nella sua lingua nazionale e notificata al CENELEC, ha la medesima validità. I membri del CENELEC sono i Comitati Elettrotecnici Nazionali dei seguenti Paesi: Austria, Belgio, Bulgaria, Cipro, Croazia, Danimarca, Estonia, Finlandia, Francia, Germania, Grecia, Irlanda, Islanda, Italia, Lettonia, Lituania, Lussemburgo, Malta, Norvegia, Olanda, Polonia, Portogallo, Regno Unito, Repubblica Ceca, Romania, Slovacchia, Slovenia, Spagna, Svezia, Svizzera e Ungheria.

I diritti di riproduzione di questa Norma Europea sono riservati esclusivamente ai membri nazionali del CENELEC.

CENELEC members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a National Standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such National Standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CENELEC member. This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language and notified to the CENELEC Central Secretariat has the same status as the official versions. CENELEC members are the national electrotechnical committees of: Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

© CENELEC Copyright reserved to all CENELEC members.



PREMESSA

Il testo della IEC 60034-1:2010, preparato dal TC 2 IEC , Rotating machinery, insieme alle modifiche comuni preparate dal Comitato Tecnico TC 2 CENELEC, Rotating machinery, è stato sottoposto al voto formale CENELEC ed è stato approvato dal CENELEC come EN 60034-1 in data 01-10-2010.

La presente Norma Europea sostituisce la EN 60034-1:2004.

Si richiama l'attenzione sulla possibilità che alcune parti del presente documento possano essere oggetto di brevetti. Il CEN e il CENELEC non devono essere ritenuti responsabili di identificare alcuni o tutti i suddetti brevetti.

Sono state fissate le seguenti date:

- data ultima entro la quale la EN deve essere recepita
a livello nazionale tramite pubblicazione di una
Norma nazionale identica o tramite adozione (dop) 01-10-2011
- data ultima entro la quale le Norme nazionali
contrastanti con la EN devono essere ritirate (dow) 01-10-2013

La presente Norma Europea è stata preparata su mandato assegnato al CENELEC dalla Commissione Europea e dall'Associazione Europea per il Libero Scambio (EFTA) e soddisfa i requisiti essenziali delle Direttive CE 2004/108/CE e 2006/95/CE. Si veda l'Allegato ZZ.

L'Allegato ZA è stato aggiunto dal CENELEC.

AVVISO DI ADOZIONE

Il testo della Norma Internazionale IEC 60034-1:2010 è stato approvato dal CENELEC come Norma Europea con le modifiche comuni concordate ed evidenziate da una barra laterale a margine.



INDICE

1	Campo di applicazione.....	7
2	Riferimenti normativi.....	7
3	Terminologia e definizioni	7
4	Servizi.....	12
4.1	Identificazione del servizio.....	12
4.2	Tipi di servizi.....	12
5	Caratteristiche nominali	25
5.1	Attribuzione delle caratteristiche nominali	25
5.2	Classi di caratteristiche nominali.....	25
5.3	Scelta di una classe di caratteristiche nominali	26
5.4	Attribuzione della potenza a una classe di caratteristiche nominali	27
5.5	Potenza nominale.....	27
5.6	Tensione nominale	27
5.7	Coordinazione delle tensioni e delle potenze.....	27
5.8	Macchine con più caratteristiche nominali	28
6	Condizioni di funzionamento in campo	28
6.1	Generalità	28
6.2	Altitudine.....	28
6.3	Temperatura massima dell'aria ambiente	28
6.4	Temperatura minima dell'aria ambiente.....	28
6.5	Temperatura dell'acqua di raffreddamento	29
6.6	Immagazzinamento e trasporto	29
6.7	Purezza dell'idrogeno di raffreddamento	29
7	Condizioni elettriche di funzionamento	29
7.1	Alimentazione	29
7.2	Forma e simmetria delle tensioni e delle correnti.....	29
7.3	Variazioni di tensione e di frequenza durante il funzionamento	32
7.4	Macchine trifase a corrente alternata funzionanti su reti isolate	35
7.5	Livelli di tenuta a tensione (picco e gradiente).....	35
8	Caratteristiche termiche di funzionamento e prove termiche	35
8.1	Classe termica	35
8.2	Fluido di raffreddamento di riferimento.....	35
8.3	Condizioni per le prove termiche.....	36
8.4	Sovratemperatura di una parte della macchina.....	37
8.5	Metodi di misura della temperatura	38
8.6	Determinazione delle temperature degli avvolgimenti	38
8.7	Durata delle prove termiche.....	42
8.8	Determinazione della costante di tempo termica equivalente delle macchine per tipo di servizio S9	42
8.9	Misura della temperatura dei cuscinetti	42
8.10	Limiti di temperatura e di sovratemperatura	43



9	Altre caratteristiche di funzionamento e prove	52
9.1	Prove individuali.....	52
9.2	Prova di tensione di tenuta	53
9.3	Sovracorrente occasionale	55
9.4	Eccesso momentaneo di coppia dei motori	56
9.5	Coppia minima durante l'avviamento	57
9.6	Velocità di funzionamento sicuro di motori ad induzione a gabbia.....	57
9.7	Sovravelocità	58
9.8	Corrente di cortocircuito delle macchine sincrone	59
9.9	Prova di tenuta al cortocircuito delle macchine sincrone.....	59
9.10	Prova di commutazione per macchine a collettore	59
9.11	Distorsione armonica totale (<i>THD</i>) per macchine sincrone.....	59
10	Targhe	60
10.1	Generalità	60
10.2	Marcatura sulle targhe.....	60
11	Prescrizioni diverse	62
11.1	Messa a terra di protezione delle macchine	62
11.2	Chiavetta(e) d'estremità d'albero	64
12	Tolleranze	64
12.1	Generalità	64
12.2	Tolleranze sui valori di grandezza	64
13	Compatibilità elettromagnetica (EMC)	66
13.1	Generalità	66
13.2	Immunità.....	67
13.3	Emissione	67
13.4	Prove di immunità	67
13.5	Prove di emissione.....	67
14	Sicurezza	68
	Allegato A (informativo) Guida per l'applicazione del tipo di servizio S10 e per la determinazione del valore relativo TL di vita termica attesa	69
	Allegato B (informativo) Limiti di compatibilità elettromagnetica (EMC).....	70
	Bibliografia	71
	Allegato ZA (normativo) Riferimenti normativi alle Pubblicazioni Internazionali con le corrispondenti Pubblicazioni Europee.....	72
	Allegato ZZ (informativo) Requisiti essenziali delle Direttive Comunitarie soddisfatti dalla presente Norma.....	74



MACCHINE ELETTRICHE ROTANTI

Parte 1 : Caratteristiche nominali e di funzionamento

1 Campo di applicazione

La presente parte della IEC 60034 si applica a tutte le macchine elettriche rotanti ad eccezione di quelle già oggetto di altre Norme IEC come per es. la IEC 60349 [10]¹⁾.

Le macchine comprese nel campo di applicazione della presente Norma possono anche essere soggette a prescrizioni nuove, modificate o complementari, considerate da altre Pubblicazioni, come ad esempio dalla IEC 60079 [8] e dalla IEC 60092 [9].

NOTA Qualora alcuni articoli della presente Norma siano modificati per esigenze di applicazioni speciali come ad esempio nel caso di macchine soggette a radiazioni o macchine per utilizzo aerospaziale, i restanti articoli rimangono ancora validi purché compatibili.

2 Riferimenti normativi

I documenti citati nel seguito(*) ai quali viene fatto riferimento sono indispensabili per l'applicazione del presente documento. Per quanto riguarda i riferimenti datati, si applica esclusivamente l'edizione citata. Per quanto riguarda i riferimenti non datati, si applica l'ultima edizione del documento al quale viene fatto riferimento (comprese eventuali Modifiche).

3 Terminologia e definizioni

Ai fini della presente Norma, si applicano le definizioni e i termini della IEC 60050-411, alcuni dei quali sono ripetuti qui per comodità, oltre alle definizioni e ai termini seguenti.

NOTA 1 Per le definizioni diverse da quelle fornite da 3.17 a 3.22 relative ai mezzi e ai modi di raffreddamento, si dovrebbe fare riferimento alla IEC 60034-6 [1].

NOTA 2 Ai fini della presente Norma il termine "accordo" implica il significato di "accordo tra costruttore ed acquirente".

3.1

valore nominale

valore di una grandezza attribuito, generalmente dal costruttore, per una specifica condizione di funzionamento di una macchina

[IEV 411-51-23]

NOTA La tensione nominale o la gamma delle tensioni sono quelle concatenate ai morsetti.

3.2

caratteristiche nominali

l'insieme dei valori nominali e delle condizioni di funzionamento

[IEV 411-51-24]

3.3

potenza nominale

valore della potenza inclusa nelle caratteristiche nominali

¹⁾ I numeri tra parentesi quadre si riferiscono alla Bibliografia.

(*) **N.d.R.:** Per l'elenco delle Pubblicazioni si veda l'Allegato ZA.

**3.4****carico**

l'insieme dei valori delle grandezze elettriche e meccaniche che caratterizzano le esigenze imposte ad una macchina rotante da un circuito elettrico o da un dispositivo meccanico, in un determinato istante

[IEV 411-51-01]

3.5**funzionamento a vuoto**

condizione di funzionamento di una macchina rotante a potenza resa nulla (essendo le altre condizioni quelle normali di funzionamento)

[IEV 411-51-02, mod.]

3.6**pieno carico**

carico che consente ad una macchina di funzionare alla potenza nominale

[IEV 411-51-10]

3.7**valore di pieno carico**

valore di una grandezza per una macchina funzionante a pieno carico

[IEV 411-51-11]

NOTA Questo concetto è ugualmente applicabile a potenza, coppia, corrente, velocità, ecc.

3.8**riposo**

mancaza completa di qualsiasi movimento e di qualsiasi alimentazione elettrica o trascinamento meccanico

[IEV 411-51-03]

3.9**servizio**

la definizione del carico o dei carichi cui la macchina è sottoposta, inclusi (se applicabili) i periodi di avviamento, frenatura elettrica, funzionamento a vuoto e riposo, nonché la loro durata e la loro sequenza nel tempo

[IEV 411-51-06]

3.10**tipi di servizio**

servizio continuo o di durata limitata oppure periodico, comprendente uno o più carichi che restano costanti per la durata specificata, o un servizio non periodico durante il quale generalmente il carico e la velocità variano nel campo di funzionamento ammissibile

[IEV 411-51-13]

3.11**rapporto di intermittenza**

rapporto percentuale tra la durata di funzionamento a carico, ivi compresi gli avviamenti e le frenature elettriche, e la durata di un ciclo

[IEV 411-51-09]

**3.12****coppia a rotore bloccato**

coppia minima misurata che il motore, alimentato alla tensione e alla frequenza nominali, sviluppa sul suo albero di trascinamento e con il rotore mantenuto bloccato, qualunque sia la sua posizione angolare

[IEV 411-48-06]

3.13**corrente a rotore bloccato**

valore efficace massimo della corrente a regime assorbita con il motore mantenuto bloccato, in tutte le posizioni angolari del rotore, alla tensione e alla frequenza nominali

[IEV 411-48-16]

3.14**coppia minima durante l'avviamento o coppia d'insellamento (per motori a corrente alternata)**

valore minimo della coppia asincrona a regime che un motore sviluppa nel campo di velocità tra zero e la velocità corrispondente alla coppia massima, quando il motore è alimentato a tensione e frequenza nominali

Questa definizione non si applica a quei motori asincroni la cui coppia decresce con continuità all'aumentare della velocità.

NOTA A determinate velocità coppie sincrone armoniche, che sono funzione dell'angolo di carico del rotore, si aggiungono alle coppie asincrone a regime.

A tali velocità la coppia di accelerazione può essere negativa per alcuni angoli di carico del rotore.

L'esperienza ed il calcolo indicano che questa è una condizione di funzionamento instabile e che, di conseguenza, le coppie sincrone armoniche non impediscono l'accelerazione del motore e sono escluse dalle definizioni.

3.15**coppia massima (per motori a corrente alternata)**

valore massimo della coppia asincrona a regime che il motore sviluppa senza che si manifesti una brusca caduta di velocità, quando il motore è alimentato a tensione e frequenza nominali

Questa definizione non si applica a quei motori asincroni la cui coppia decresce con continuità all'aumentare della velocità.

3.16**coppia di uscita dal sincronismo (per motori sincroni)**

coppia massima che un motore sincrono sviluppa alla velocità di sincronismo, con tensione, frequenza e corrente di eccitazione nominali

3.17**raffreddamento**

operazione mediante la quale il calore risultante dalle perdite prodotte nella macchina è ceduto a un fluido di raffreddamento primario, che può essere continuamente sostituito o raffreddato, mediante un fluido di raffreddamento secondario, in uno scambiatore di calore

[IEV 411-44-01]

3.18**fluido di raffreddamento**

fluido, liquido o gas, mediante il quale avviene il trasferimento di calore

[IEV 411-44-02]

**3.19****fluido di raffreddamento primario**

fluido, liquido o gas, che, essendo a temperatura inferiore rispetto a quella delle parti della macchina con cui è a contatto, provvede al trasferimento del calore ceduto dalle stesse

[IEV 411-44-03]

3.20**fluido di raffreddamento secondario**

fluido, liquido o gas, che, essendo a temperatura inferiore rispetto a quella del fluido di raffreddamento primario, riceve il calore ceduto dal fluido primario per mezzo di uno scambiatore di calore oppure attraverso la superficie esterna della macchina

[IEV 411-44-04]

3.21**avvolgimento a raffreddamento diretto (dall'interno)**

avvolgimento raffreddato principalmente da un fluido di raffreddamento che scorre a diretto contatto con la parte raffreddata attraverso conduttori cavi, tubi, condotti o canali che, indipendentemente dal loro orientamento, costituiscono parte integrante dell'avvolgimento all'interno dell'isolamento principale

[IEV 411-44-08]

NOTA In tutti i casi quando "diretto" o "indiretto" non viene indicato, si sottintende un avvolgimento a raffreddamento indiretto.

3.22**avvolgimento a raffreddamento indiretto**

ogni avvolgimento diverso da quello a raffreddamento diretto

NOTA In tutti i casi quando "diretto" o "indiretto" non viene indicato, si sottintende un avvolgimento a raffreddamento indiretto.

[IEV 411-44-09]

3.23**isolamento supplementare**

isolamento indipendente previsto in aggiunta all'isolamento principale al fine di assicurare la protezione contro i contatti diretti e indiretti in caso di guasto dell'isolamento principale

3.24**momento d'inerzia**

somma (integrale) dei prodotti delle masse elementari di un corpo per i quadrati delle loro distanze (radiali) rispetto ad un asse dato

3.25**equilibrio termico**

stato raggiunto quando le sovratemperatures rilevate nelle diverse parti della macchina non variano più di un gradiente di 2 K per ora

[IEV 411-51-08]

NOTA Si può determinare l'equilibrio termico in base al grafico delle sovratemperatures quando le rette comprese tra i punti di inizio e di fine di due intervalli di tempo ragionevolmente successivi hanno ciascuna un gradiente inferiore a 2 K per ora

3.26**costante di tempo termica equivalente**

la costante di tempo termica che, utilizzata in sostituzione di più costanti di tempo individuali, determina approssimativamente l'evoluzione della temperatura in un avvolgimento a seguito di una variazione a gradino della corrente

**3.27****avvolgimento incapsulato**

avvolgimento completamente racchiuso o sigillato da un isolante solidificato

[IEV 411-39-06]

3.28**valore nominale del fattore di forma della corrente continua fornita all'indotto di un motore a corrente continua da un convertitore statico di potenza**

rapporto fra il massimo valore efficace ammissibile per la corrente $I_{\text{rms,maxN}}$ e il suo valore medio I_{avN} (valore medio integrato per un periodo) alle condizioni nominali, cioè:

$$k_{\text{fN}} = \frac{I_{\text{rms,maxN}}}{I_{\text{avN}}}$$

3.29**fattore d'ondulazione della corrente**

rapporto fra la differenza tra il valore massimo I_{max} e il valore minimo I_{min} della corrente ondulata e due volte il valore medio I_{av} (valore medio integrato per un periodo) cioè:

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2 \times I_{\text{av}}}$$

NOTA Per piccoli valori della corrente ondulata il fattore d'ondulazione può essere approssimato mediante la seguente formula:

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

L'espressione di cui sopra può essere usata come approssimazione se il valore di q_i calcolato è uguale o inferiore a 0,4.

3.30**tolleranza**

deviazione permessa tra il valore dichiarato di una grandezza e il valore misurato di una grandezza

3.31**prova di tipo**

prova effettuata su una o più macchine realizzate secondo un determinato progetto per verificare che tale progetto soddisfi determinate condizioni

[IEV 411-53-01]

NOTA La prova di tipo può essere considerata valida anche se effettuata su una macchina avente scostamenti di piccola entità nei valori nominali o in altre caratteristiche. È opportuno che tali scostamenti siano oggetto di accordo.

3.32**prova individuale**

prova alla quale è soggetta ciascuna macchina nel corso od alla fine del processo di fabbricazione per verificarne la conformità a determinate caratteristiche

[IEV 411-53-02]



3.33

velocità di fuga

velocità massima ottenuta dal gruppo motore/generatore dopo rimozione del pieno carico del generatore se il regolatore di velocità non funziona

[IEV 811-17-23]

NOTAE Per i motori, la massima sovravelocità durante la perdita di alimentazione è considerata come quella che un motore potrebbe raggiungere quando azionato dall'apparecchiatura accoppiata.

4 Servizi

4.1 Identificazione del servizio

È responsabilità dell'acquirente specificare il servizio. L'acquirente può descrivere il tipo di servizio basandosi su quanto segue:

- a) numericamente, se il carico non varia o varia in modo noto;
- b) graficamente, con una rappresentazione delle grandezze variabili in funzione del tempo;
- c) scegliendo uno dei tipi di servizi da S1 a S10 che non sia meno severo di quello reale.

Il tipo di servizio deve essere designato dall'abbreviazione appropriata, specificata in 4.2, scritta dopo il valore del carico.

In ciascuna figura relativa al tipo di servizio viene indicata una formula per il rapporto di intermittenza.

Generalmente l'acquirente non può fornire i valori relativi al momento di inerzia del motore (J_M) oppure alla corrispondente aspettativa di vita termica (TL), vedi Allegato A. Questi valori vengono forniti dal costruttore.

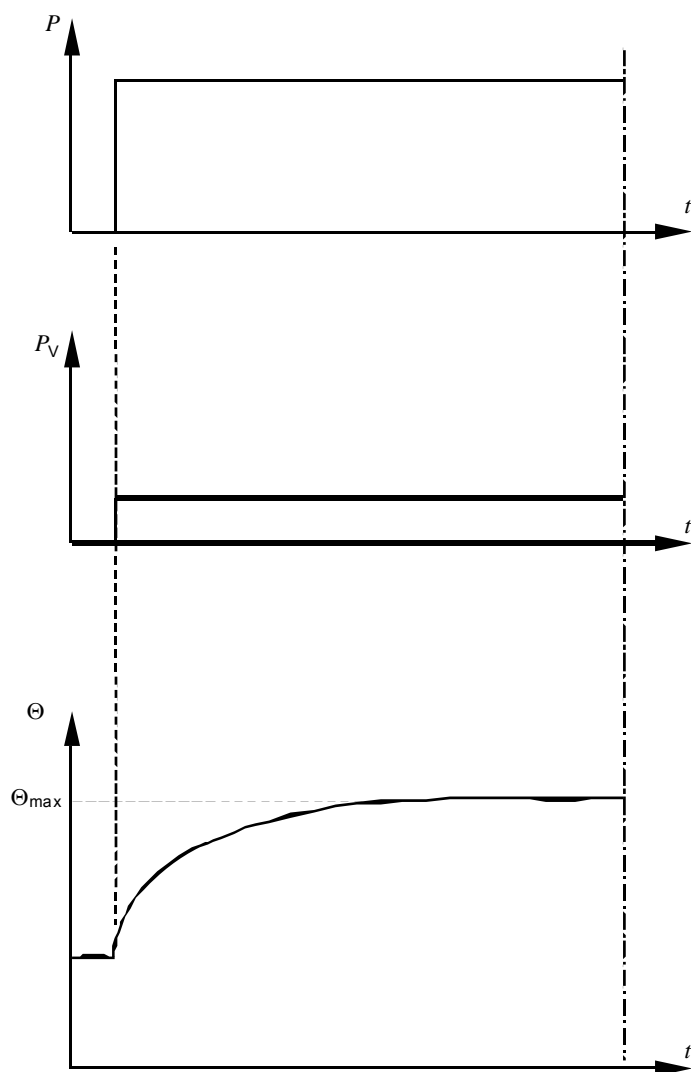
Se l'acquirente non specifica il tipo di servizio, il costruttore deve presupporre che sia applicabile il tipo di servizio S1 (servizio continuo).

4.2 Tipi di servizi

4.2.1 Tipo di servizio S1 – Servizio continuo

Funzionamento a carico costante di durata sufficiente a consentire alla macchina il raggiungimento dell'equilibrio termico, vedi Fig. 1.

L'abbreviazione appropriata è S1.

**Legenda**

P	carico
P_V	perdite elettriche
Θ	temperatura
Θ_{\max}	temperatura massima raggiunta
t	tempo

Figura 1 – Servizio continuo – Tipo di servizio S1

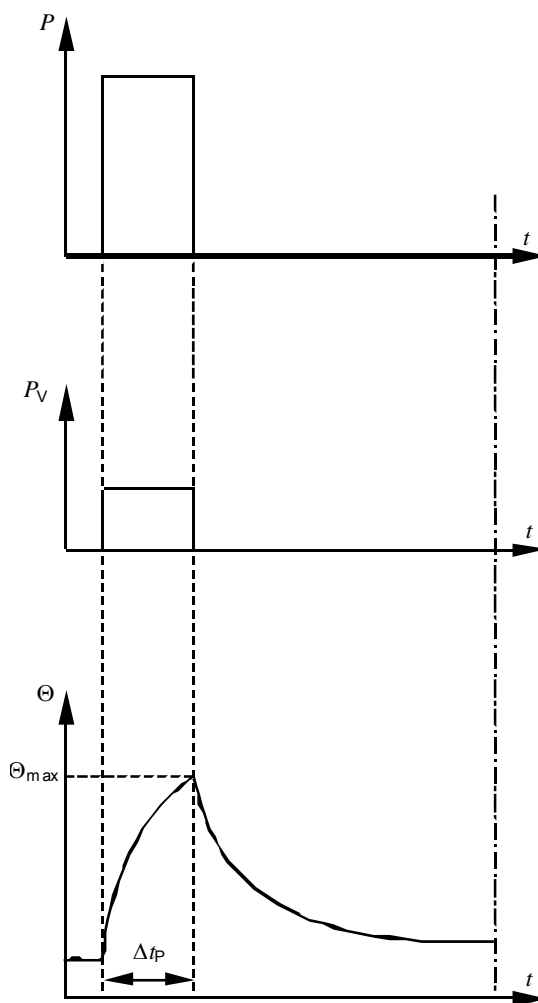


4.2.2 Tipo di servizio S2 – Servizio di durata limitata

Funzionamento a carico costante per un periodo di tempo determinato, inferiore a quello richiesto per raggiungere l'equilibrio termico, seguito da un tempo di riposo di durata sufficiente a ristabilire l'uguaglianza fra la temperatura della macchina e quella del fluido di raffreddamento, con una tolleranza di 2 K, vedi Fig. 2.

L'abbreviazione appropriata è S2, seguita dall'indicazione della durata del servizio,

Esempio: S2 60 min.



Legenda

P	carico
P_v	perdite elettriche
Θ	temperatura
Θ_{\max}	temperatura massima raggiunta
t	tempo
Δt_p	tempo di funzionamento a carico costante

Figura 2 – Servizio di durata limitata – Tipo di servizio S2



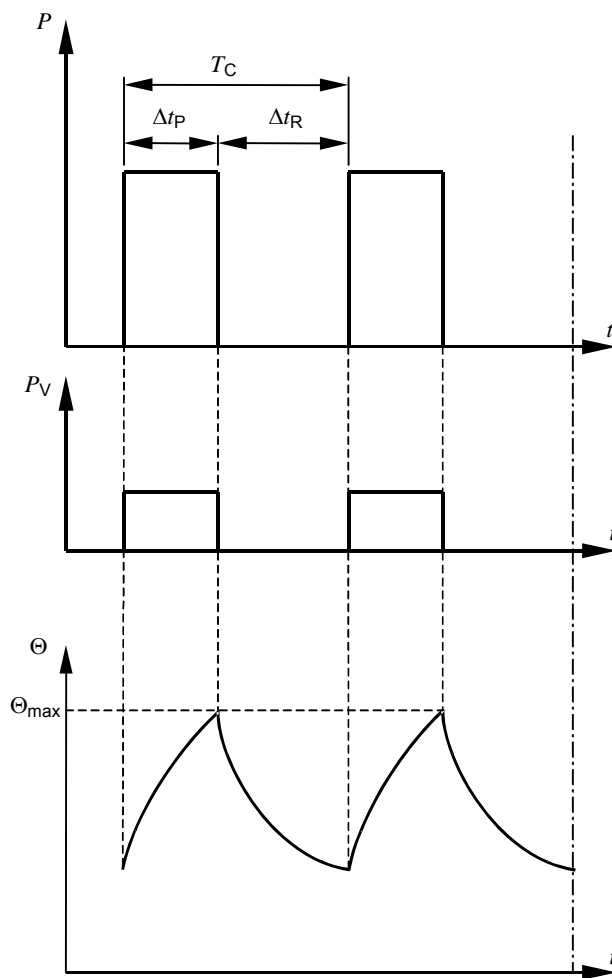
4.2.3 Tipo di servizio S3 – Servizio intermittente periodico

NOTA Il servizio periodico implica che l'equilibrio termico non è raggiunto durante il periodo sotto carico.

Sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di riposo, vedi Fig. 3. In questo servizio il ciclo è tale che la corrente di avviamento non influenza la sovratemperatura in maniera significativa.

L'abbreviazione appropriata è S3, seguita dall'indicazione del rapporto di intermittenza.

Esempio: S3 25 %



Legenda

P	carico
P_V	perdite elettriche
Θ	temperatura
Θ_{max}	temperatura massima raggiunta
t	tempo
T_C	durata di un ciclo
Δt_P	tempo di funzionamento a carico costante
Δt_R	tempo di riposo
Rapporto di intermittenza = $\Delta t_P / T_C$	

Figura 3 – Servizio intermittente periodico – Tipo di servizio S3



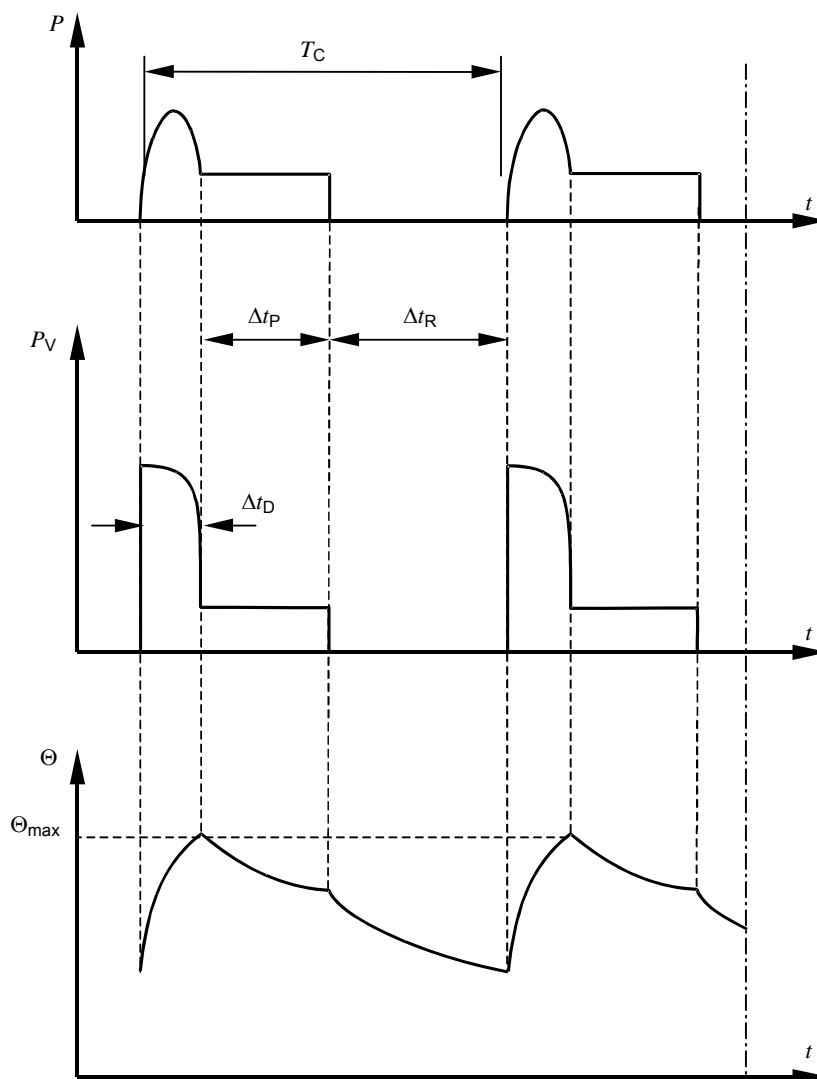
4.2.4 Tipo di servizio S4 – Servizio intermittente periodico con avviamento

NOTA Il servizio periodico implica che l'equilibrio termico non è raggiunto durante il periodo sotto carico.

Sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo non trascurabile di avviamento, un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di riposo, vedi Fig. 4.

L'abbreviazione appropriata è S4, seguita dal rapporto di intermittenza, dal momento di inerzia del motore (J_M) e dal momento d'inerzia del carico (J_{ext}), questi ultimi due riferiti all'albero del motore.

Esempio: S4 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Legenda

P	carico	t	tempo
P_V	perdite elettriche	T_C	durata di un ciclo
Θ	temperatura	Δt_D	tempo di avviamento/accelerazione
Θ_{max}	temperatura massima raggiunta	Δt_P	tempo di funzionamento a carico costante
		Δt_R	tempo di riposo

Rapporto di intermittenza = $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$

Figura 4 – Servizio intermittente periodico con avviamento – Tipo di servizio S4



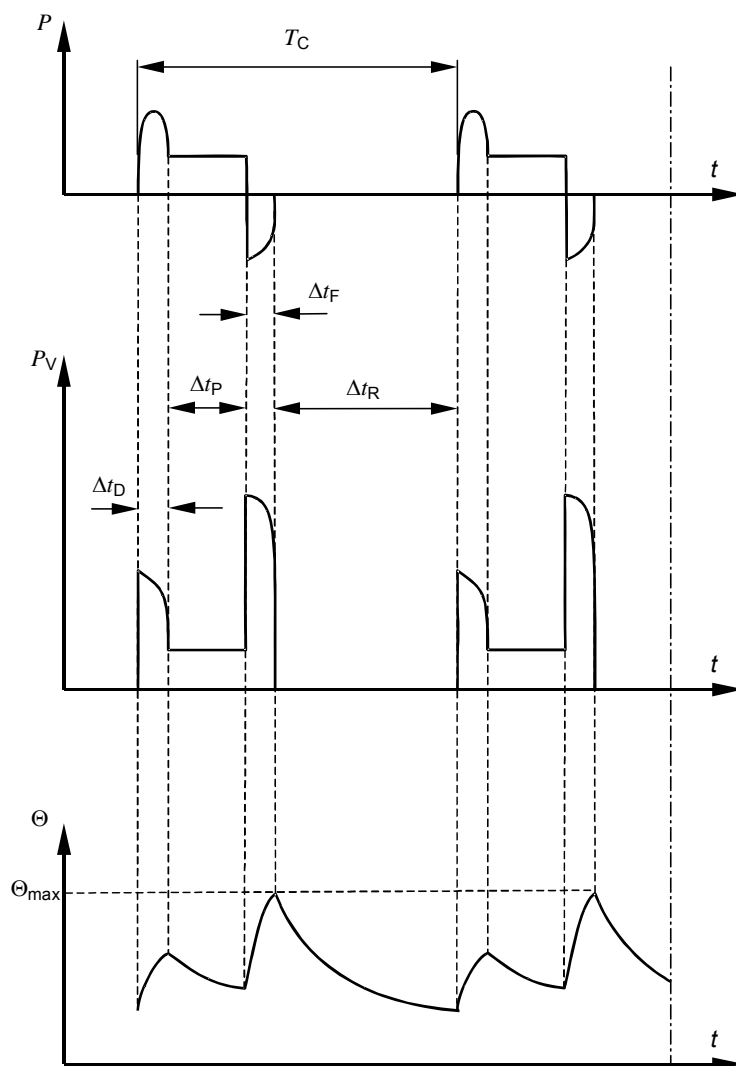
4.2.5 Tipo di servizio S5 – Servizio intermittente periodico con frenatura elettrica

NOTA Il servizio periodico implica che l'equilibrio termico non è raggiunto durante il periodo sotto carico.

Sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di avviamento, un tempo di funzionamento a carico costante, un tempo di frenatura elettrica rapida ed un tempo di riposo, vedi Fig. 5.

L'abbreviazione appropriata è S5, seguita dal rapporto di intermittenza, dal momento di inerzia del motore (J_M) e dal momento d'inerzia del carico (J_{ext}), questi ultimi due riferiti all'albero del motore.

Esempio: S5 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Legenda

P	carico	T_C	durata di un ciclo
P_V	perdite elettriche	Δt_D	tempo di avviamento/accelerazione
Θ	temperatura	Δt_P	tempo di funzionamento a carico costante
Θ_{max}	temperatura massima raggiunta	Δt_F	tempo di frenatura elettrica
t	tempo	Δt_R	tempo di riposo

Rapporto di intermittenza = $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/T_C$

Figura 5 – Servizio intermittente periodico con avviamento - Tipo di servizio S5



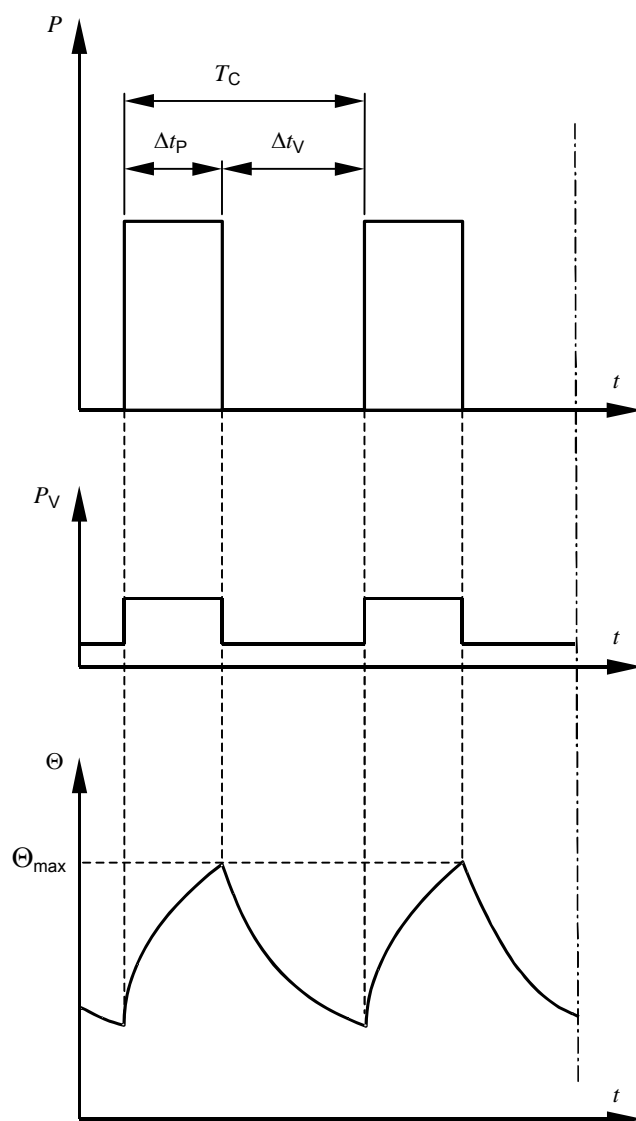
4.2.6 Tipo di servizio S6 – Servizio ininterrotto periodico

NOTA Il servizio periodico implica che l'equilibrio termico non è raggiunto durante il periodo sotto carico.

Sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di funzionamento a vuoto. Non esiste alcun tempo di riposo, vedi Fig. 6.

L'abbreviazione appropriata è S6, seguita dal rapporto di intermittenza.

Esempio: S6 40 %



Legenda

P	carico	t	tempo
P_V	perdite elettriche	T_C	durata di un ciclo
Θ	temperatura	Δt_P	tempo di avviamento/accelerazione
Θ_{\max}	temperatura massima raggiunta	Δt_V	tempo di funzionamento a carico costante

Rapporto di intermittenza = $\Delta t_P / T_C$

Figura 6 – Servizio ininterrotto periodico con carico intermittente – Tipo di servizio S6



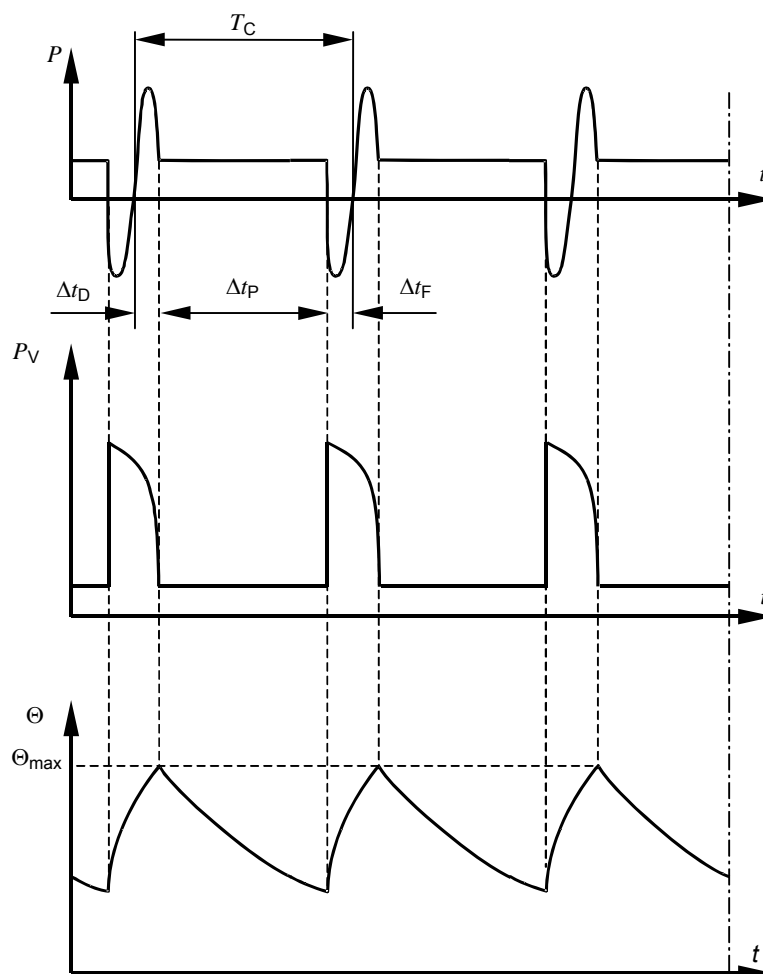
4.2.7 Tipo di servizio S7 – Servizio ininterrotto periodico con frenatura elettrica

NOTA Il servizio periodico implica che l'equilibrio termico non è raggiunto durante il periodo sotto carico.

Sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di avviamento, un tempo di funzionamento a carico costante ed un tempo di frenatura elettrica. Non esiste alcun periodo di riposo, vedi Fig. 7.

L'abbreviazione appropriata è S7, seguita dal momento di inerzia del motore (J_M) e dal momento di inerzia del carico (J_{ext}), entrambi riferiti all'albero del motore.

Esempio: S7 $J_M = 0,4 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 7,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Legenda

P	carico	t	tempo
P_v	perdite elettriche	T_C	durata di un ciclo
Θ	temperatura	Δt_D	tempo di avviamento/accelerazione
Θ_{max}	temperatura massima raggiunta	Δt_P	tempo di funzionamento a carico costante
Rapporto di intermittenza = 1		Δt_F	tempo di frenatura elettrica

Figura 7 – Servizio ininterrotto periodico con frenatura elettrica – Tipo di servizio S7



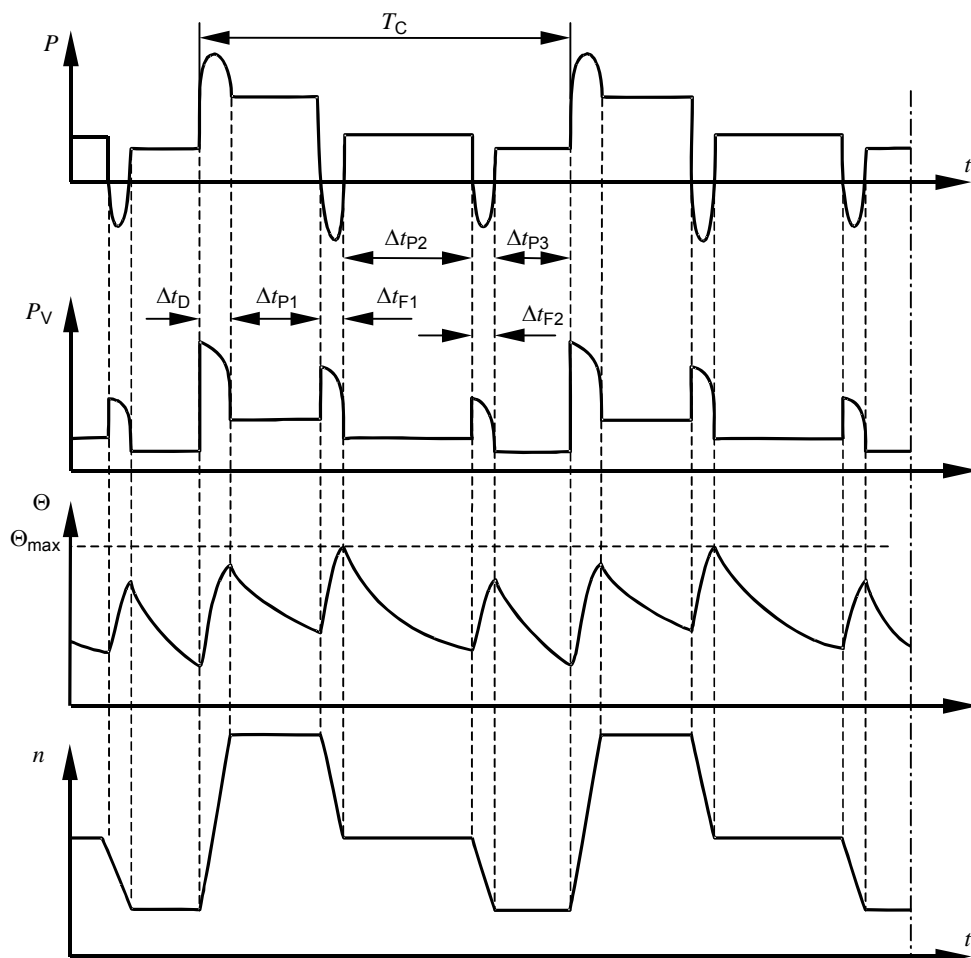
4.2.8 Tipo di servizio S8 – Servizio ininterrotto periodico con variazioni correlate di carico e velocità

NOTA Il servizio periodico implica che l'equilibrio termico non è raggiunto durante il periodo sotto carico.

Sequenza di cicli di funzionamento identici, ciascuno comprendente un tempo di funzionamento a carico costante corrispondente ad una prestabilita velocità di rotazione, seguito da uno o più tempi di funzionamento con altri carichi costanti corrispondenti a diverse velocità di rotazione (realizzato per esempio mediante cambio del numero di poli nel caso dei motori ad induzione). Non esiste alcun tempo di riposo (vedi Fig. 8).

L'abbreviazione appropriata è S8, seguita dal momento di inerzia del motore (J_M) e dal momento di inerzia del carico (J_{ext}), entrambi riferiti all'albero del motore, insieme al carico, alla velocità e al rapporto di intermittenza, per ogni regime caratterizzato da una determinata velocità.

Esempio:	S8 $J_M = 0,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$	$J_{ext} = 6 \text{ kg} \times \text{m}^2$	16 kW	740 min ⁻¹	30 %
			40 kW	1 460 min ⁻¹	30 %
			25 kW	980 min ⁻¹	40 %

**Legenda**

P	carico	t	tempo
P_V	perdite elettriche	T_C	durata di un ciclo
Θ	temperatura	Δt_D	tempo di avviamento/accelerazione
Θ_{max}	temperatura massima raggiunta	Δt_P	tempo di funzionamento a carico costante (P1, P2, P3)
n	velocità	Δt_F	tempo di frenatura elettrica (F1, F2)

Rapporto di intermittenza = $(\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C$; $(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C$; $(\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$

Figura 8 – Servizio ininterrotto periodico con variazioni correlate di carico e velocità – Tipo di servizio S8

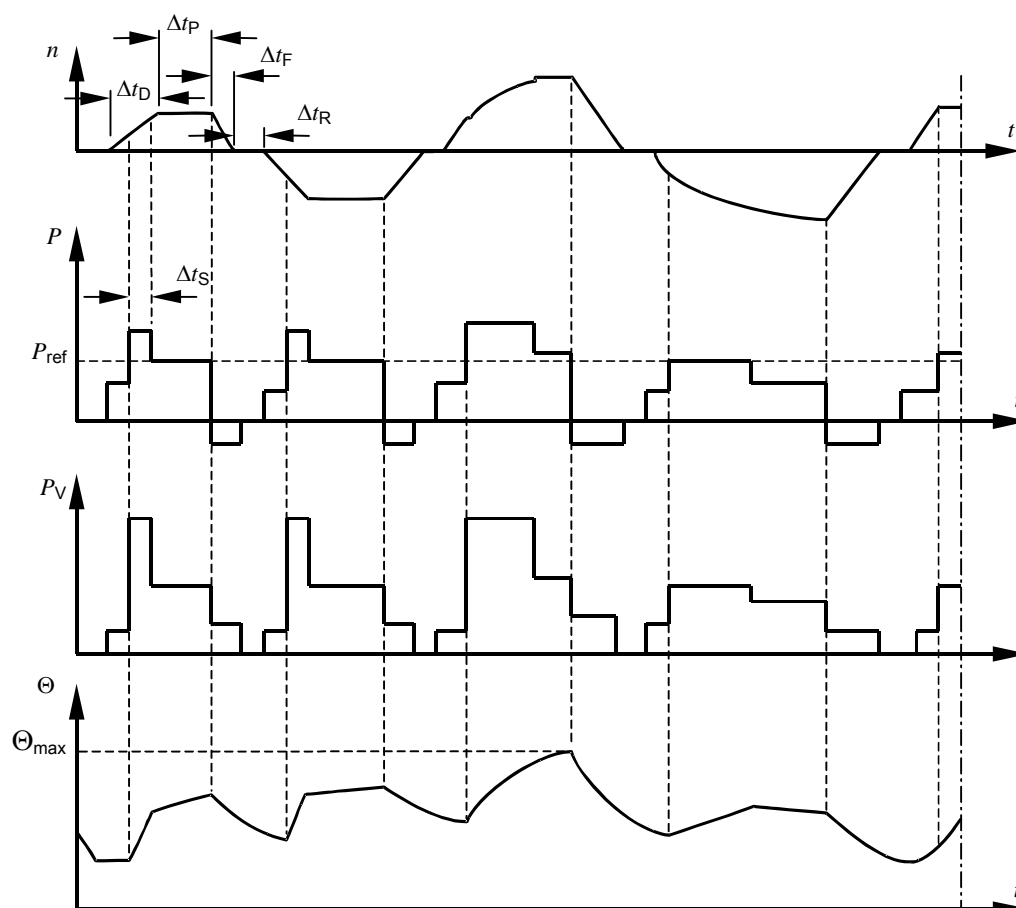


4.2.9 Tipo di servizio S9 – Servizio con variazioni non periodiche di carico e di velocità

Servizio in cui generalmente il carico e la velocità variano in modo non periodico nel campo di funzionamento ammissibile. Questo servizio comprende sovraccarichi frequentemente applicati che possono essere largamente superiori ai valori di pieno carico (vedi Fig. 9).

L'abbreviazione appropriata è S9.

Per questo tipo di servizio si prende come valore di riferimento (" P_{ref} " nella Fig. 9) per il concetto di sovraccarico, un carico costante adeguatamente scelto e basato sul tipo di servizio S1.



Legenda

P	carico	t	tempo
P_{ref}	carico di riferimento	Δt_D	tempo di avviamento/accelerazione
P_V	perdite elettriche	Δt_P	tempo di funzionamento a carico costante
Θ	temperatura	Δt_F	tempo di frenatura elettrica
Θ_{max}	temperatura massima raggiunta	Δt_R	tempo di riposo
n	velocità	Δt_S	tempo di funzionamento in sovraccarico

Figura 9 – Servizio con variazioni non periodiche di carico e di velocità – Tipo di servizio S9



4.2.10 Tipo di servizio S10 – Servizio con carichi distinti costanti

Servizio che consiste in un numero specifico di valori distinti di carico (o carico equivalente) e, se applicabile, di velocità e ciascuna combinazione di carico/velocità, mantenendo ogni valore per un tempo sufficiente per consentire alla macchina di raggiungere l'equilibrio termico, vedi Fig. 10. Il carico minimo durante un ciclo di servizio può avere valore zero (a vuoto o in stato di riposo).

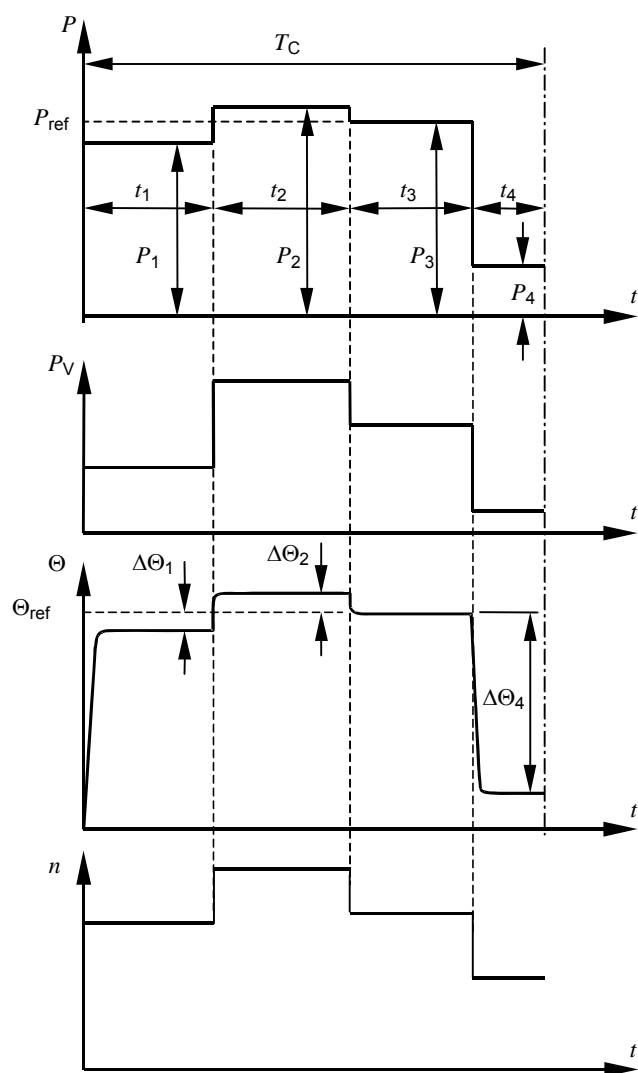
L'abbreviazione appropriata è S10, seguita dalle quantità $p/\Delta t$ (espressa in p.u.) per il carico relativo e la sua durata e la quantità TL (espressa in p.u.) per la vita termica prevista del sistema di isolamento. Il valore di riferimento per la vita termica prevista è la vita termica prevista alle caratteristiche nominali di tipo continuo ed ai limiti ammessi di sovratemperatura basati sul servizio di tipo S1. Per i periodi in stato di riposo il carico deve essere indicato con la lettera r .

Esempio: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$ $TL = 0,6$

Il valore di TL dovrebbe essere arrotondato al più vicino multiplo di 0,05. Informazioni relative al significato di questo parametro ed alla determinazione del suo valore sono fornite nell'Allegato A.

Per questo tipo di servizio, deve essere assunto come valore di riferimento (P_{ref} nella Fig. 10) per i carichi distinti (carico equivalente) un carico costante adeguatamente scelto e basato sul servizio S1.

NOTA I valori distinti del carico saranno di solito carichi equivalenti risultanti dall'integrazione su un periodo di tempo. Non è necessario che ogni ciclo di carico sia esattamente lo stesso, basta che ogni carico all'interno di un ciclo sia mantenuto per un tempo sufficiente per raggiungere l'equilibrio termico, e che ogni ciclo di carico possa essere integrato per dare la stessa previsione di vita termica.

**Legenda**

P	carico	t	tempo
P_i	carico costante in un ciclo	t_i	durata di un carico costante in un ciclo
P_{ref}	carico di riferimento, basato sul tipo di servizio S1	T_C	durata di un ciclo
P_V	perdite elettriche	$\Delta\Theta_i$	differenza tra la sovratemperatura dell'avvolgimento per ciascuno dei diversi carichi in un ciclo e la sovratemperatura basata sul tipo di servizio S1 con carico di riferimento
Θ	temperatura	n	velocità
Θ_{ref}	temperatura al carico di riferimento basato sul tipo di servizio S1		

Figura 10 – Servizio con carichi costanti distinti – Tipo di servizio S10



5 Caratteristiche nominali

5.1 Attribuzione delle caratteristiche nominali

Le caratteristiche nominali, definite in 3.2, devono essere assegnate dal costruttore. Attribuendo le caratteristiche nominali il costruttore deve scegliere una delle classi definite da 5.2.1 a 5.2.6. La designazione di classe delle caratteristiche nominali deve seguire il valore della potenza nominale. Se non viene dichiarata alcuna designazione, si applicano le caratteristiche nominali relative al tipo di servizio continuo.

Quando i componenti ausiliari (quali i reattori, i condensatori ecc.) vengono collegati dal costruttore come parte della macchina, i valori nominali devono fare riferimento ai morsetti di alimentazione dell'insieme completo.

NOTA Quanto sopra non si applica ai trasformatori di potenza collegati tra la macchina e l'alimentazione.

Un'attenzione particolare è necessaria quando si assegnano caratteristiche nominali a macchine che sono alimentate o che alimentano convertitori statici. La Pubblicazione IEC 60034-17 fornisce indicazioni per i motori a induzione a gabbia coperti dalla Pubblicazione IEC 60034-12.

5.2 Classi di caratteristiche nominali

5.2.1 Caratteristiche nominali per servizio continuo

Caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare per un periodo illimitato in conformità con le prescrizioni della presente Norma.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio S1 e viene designata come il tipo di servizio S1.

5.2.2 Caratteristiche nominali per servizio di durata limitata

Caratteristiche nominali alle quali la macchina, avviata alla temperatura ambiente, può funzionare per un periodo di durata limitata, e in conformità alle prescrizioni della presente Norma.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio S2 e viene designata come il tipo di servizio S2.

5.2.3 Caratteristiche nominali per servizio periodico

Caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare con cicli periodici e in conformità alle prescrizioni della presente Norma.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde ad uno dei tipi di servizio periodico definiti da S3 a S8 e viene designata come il corrispondente tipo di servizio.

Se non diversamente specificato, la durata di un ciclo di servizio deve essere di 10 min ed il rapporto di intermittenza deve avere uno dei seguenti valori:

15 %, 25 %, 40 %, 60 %.

5.2.4 Caratteristiche nominali per servizio non periodico

Caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare in modo non periodico ed in conformità alle prescrizioni della presente Norma.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio non periodico S9 e viene designato come il tipo di servizio S9.



5.2.5 Caratteristiche nominali per carichi distinti costanti

Caratteristiche nominali alle quali la macchina può funzionare coi carichi associati del tipo di servizio S10 per un periodo di tempo illimitato ed in conformità alle prescrizioni della presente Norma. Il massimo carico ammissibile in un ciclo deve prendere in considerazione tutte le parti della macchina, ad es. il sistema di isolamento in relazione alla validità della legge esponenziale per la vita termica prevista, i cuscinetti in relazione alla temperatura altre parti in relazione alla dilatazione termica. A meno che non sia specificato in altre norme IEC applicabili, il carico massimo non deve eccedere 1,15 volte il valore del carico basato sul tipo di servizio S1. Il carico minimo può avere valore zero, quando la macchina funziona a vuoto o si trova in stato di riposo. Informazioni per l'applicazione di questa classe di caratteristiche nominali vengono date nell'Allegato A.

Questa classe di caratteristiche nominali corrisponde al tipo di servizio S10 e viene designato come il tipo di servizio S10.

NOTA Altre Pubblicazioni IEC appropriate possono specificare il carico massimo in termini di limitazione della temperatura (o sovratemperatura) dell'avvolgimento invece di un valore del carico per unità, basato sul servizio di tipo S1.

5.2.6 Caratteristiche nominali per carico equivalente

Caratteristiche nominali alle quali, al fine delle prove, la macchina può funzionare a carico costante fino a raggiungere l'equilibrio termico e che portano alla stessa sovratemperatura dell'avvolgimento statorico che si ha al termine della prova sul tipo di servizio specificato.

NOTA Per determinare le caratteristiche nominali di tipo equivalente, si dovrebbe prendere in considerazione la variabilità di carico, la velocità e il raffreddamento del ciclo di servizio.

Questa classe di caratteristiche nominali, se applicabile, viene designata 'equ'.

5.3 Scelta di una classe di caratteristiche nominali

Una macchina costruita per uso generale deve avere caratteristiche nominali per servizio continuo ed essere in grado di operare secondo il tipo di servizio S1.

Se il servizio non è stato specificato dall'acquirente, si adotta il tipo di servizio S1 e la classe assegnata delle caratteristiche nominali dovrà essere del tipo continuo.

Quando una macchina è prevista per avere caratteristiche nominali per servizio di durata limitata, le caratteristiche dovranno basarsi sul tipo di servizio S2, vedi 4.2.2.

Quando una macchina è prevista per carichi variabili o carichi comprendenti un tempo di funzionamento a vuoto o periodi durante i quali la macchina è nello stato di riposo e non alimentata, la classe delle caratteristiche nominali per servizio periodico, deve basarsi su un tipo di servizio scelto tra i servizi da S3 a S8, vedi da 4.2.3 a 4.2.8.

Quando una macchina è prevista per servizio non periodico con carichi variabili a velocità variabili, compresi i sovraccarichi, la classe delle caratteristiche nominali per servizio non periodico deve basarsi sul tipo di servizio S9, vedi 4.2.9.

Quando una macchina è prevista per alimentare carichi distinti costanti, inclusi tempi di sovraccarico e tempi in assenza di carico (o periodi nei quali la macchina sarà in uno stato di riposo e non alimentata) la classe di caratteristiche nominali deve essere del tipo con carichi distinti costanti, basata sul tipo di servizio S10, vedi 4.2.10.



5.4 Attribuzione della potenza a una classe di caratteristiche nominali

Nella determinazione delle caratteristiche nominali:

Per i tipi di servizio da S1 a S8, i valori specificati dei carichi costanti sono assunti come potenza nominale, vedi da 4.2.1 a 4.2.8

Per i tipi di servizio S9 e S10, il valore massimo del carico basato sul tipo di servizio S1 deve essere assunto come potenza nominale, vedi 4.2.9 e 4.2.10.

5.5 Potenza nominale

5.5.1 Generatori a corrente continua

La potenza nominale è la potenza elettrica ai morsetti e deve essere espressa in watt (W).

5.5.2 Generatori a corrente alternata

La potenza nominale è la potenza elettrica apparente ai morsetti e deve essere espressa in voltampere (VA) insieme all'indicazione del fattore di potenza.

Se non altrimenti specificato dall'acquirente, il fattore di potenza nominale per generatori sincroni deve essere 0,8 in ritardo (in sovraeccitazione).

5.5.3 Motori

La potenza nominale è la potenza meccanica disponibile sull'albero e deve essere espressa in watt (W).

NOTA In molti Paesi è usuale esprimere la potenza meccanica disponibile sugli alberi del motore anche in cavalli vapore (1 HP (cavallo vapore) è equivalente a 745,7 W; 1 CV (cavallo vapore metrico) è equivalente a 736 W).

5.5.4 Compensatori sincroni

La potenza nominale è la potenza elettrica reattiva ai morsetti e deve essere espressa in voltampere reattivi (var) sia in regime di sottoeccitazione che di sovraeccitazione

5.6 Tensione nominale

5.6.1 Generatori a corrente continua

Per generatori a corrente continua previsti per funzionare in un campo di tensioni relativamente piccolo, la potenza e la corrente nominali devono essere riferite alla più alta delle tensioni nel campo considerato, se non diversamente specificato, vedi anche 7.3.

5.6.2 Generatori a corrente alternata

Per i generatori a corrente alternata previsti per funzionare in un campo di tensioni relativamente piccolo, la potenza ed il fattore di potenza nominali devono essere riferiti ad ogni tensione all'interno del campo considerato, se non diversamente specificato, vedi anche 7.3.

5.7 Coordinazione delle tensioni e delle potenze

In pratica non si costruiscono macchine con tutte le caratteristiche nominali per tutte le tensioni nominali. In generale, per le macchine a corrente alternata, in relazione a considerazioni costruttive e di progetto, le tensioni nominali preferibili superiori a 1 kV sono indicate nella Tab.1 in funzione della potenza nominale.

**Tabella 1 – Tensioni nominali preferibili**

Tensione nominale kV	Potenza nominale minima kW (o kVA)
$1,0 < U_N \leq 3,0$	100
$3,0 < U_N \leq 6,0$	150
$6,0 < U_N \leq 11,0$	800
$11,0 < U_N \leq 15,0$	2 500

5.8 Macchine con più caratteristiche nominali

Per macchine con più caratteristiche nominali, la macchina deve essere conforme alla presente Norma, sotto tutti i punti di vista, per ciascuna caratteristica nominale.

Per motori a più velocità è necessario definire le caratteristiche nominali relative a ciascuna velocità.

Se una grandezza nominale (potenza, tensione, velocità, ecc.) può assumere diversi valori oppure può variare in modo continuo tra due limiti, le caratteristiche nominali devono essere riferite a questi valori o ad entrambi questi limiti. Questa prescrizione non si applica a variazioni di tensione o di frequenza durante il funzionamento definito in 7.3 oppure nel caso di connessioni stella-triangolo per l'avviamento.

6 Condizioni di funzionamento in campo

6.1 Generalità

Se non diversamente specificato, le macchine devono essere adatte alle seguenti condizioni di funzionamento in campo. Per condizioni di funzionamento in campo diverse da questi valori, nell'art. 8 vengono indicate delle correzioni.

6.2 Altitudine

L'altitudine non deve essere superiore a 1 000 m sul livello del mare.

6.3 Temperatura massima dell'aria ambiente

La temperatura dell'aria ambiente non deve essere superiore a 40 °C.

6.4 Temperatura minima dell'aria ambiente

La temperatura minima dell'aria ambiente non deve essere inferiore a -15 °C per qualsiasi macchina.

La temperatura dell'aria ambiente non deve essere inferiore a 0 °C per una macchina con una delle seguenti caratteristiche:

- a) potenza nominale superiore a 3 300 kW (o kVA) per 1 000 min⁻¹;
- b) potenza nominale inferiore a 600 W (o VA);
- c) con commutatore;
- d) con cuscinetti a strisciamento;
- e) con acqua come fluido primario o secondario di raffreddamento.



6.5 Temperatura dell'acqua di raffreddamento

Per la temperatura di riferimento dell'acqua di raffreddamento si veda la Tab. 4. Per altre temperature dell'acqua di raffreddamento si veda la Tab. 9. La temperatura dell'acqua di raffreddamento non deve essere inferiore a +5 °C.

6.6 Immagazzinamento e trasporto

Qualora durante il trasporto, l'immagazzinamento o nel periodo successivo all'installazione siano previste temperature inferiori ai valori indicati in 6.4, l'acquirente deve informarne il costruttore e specificare la temperatura minima prevista.

6.7 Purezza dell'idrogeno di raffreddamento

Le macchine raffreddate con idrogeno devono poter funzionare alla potenza nominale in condizioni nominali con un fluido di raffreddamento contenente non meno del 95 % in volume di idrogeno.

NOTA Per motivi di sicurezza la percentuale di idrogeno deve essere sempre mantenuta uguale o superiore al 90 %, presupponendo che l'altro gas presente nella miscela sia aria.

Per il calcolo del rendimento, in accordo con la IEC 60034-2, la composizione normalizzata della miscela gassosa deve essere 98 % idrogeno e 2 % aria in volume, ai valori prescritti di pressione e temperatura del gas raffreddato, se non diversamente concordato. Le perdite per ventilazione devono essere calcolate alla densità corrispondente.

7 Condizioni elettriche di funzionamento

7.1 Alimentazione

Per le macchine trifase a corrente alternata, a 50 Hz o 60 Hz, destinate a essere collegate direttamente a una rete di distribuzione o d'uso, i valori della tensione nominale devono essere ricavati dai valori di tensione nominale indicati nella IEC 60038.

NOTA Per macchine a corrente alternata di grande potenza ad alta tensione, le tensioni possono essere scelte secondo il criterio di ottimizzazione delle prestazioni.

Per i motori a corrente alternata alimentati da convertitori statici queste restrizioni su tensione, frequenza e forma d'onda non si applicano. In questo caso, le tensioni nominali devono essere scelte in base ad accordo.

7.2 Forma e simmetria delle tensioni e delle correnti

7.2.1 Motori a corrente alternata

7.2.1.1 I motori a corrente alternata con caratteristiche nominali per il funzionamento con una alimentazione a frequenza fissa, alimentati da un generatore a corrente alternata (localmente o attraverso una rete di alimentazione) devono essere atti a funzionare con una tensione di alimentazione avente un fattore armonico di tensione (*HVF*) non superiore a:

- 0,02 per i motori monofase e trifase compresi i motori sincroni, ma esclusi i motori di concezione N (vedi IEC 60034-12), se non diversamente dichiarato dal costruttore.
- 0,03 per i motori di concezione N.



Il fattore *HVF* deve essere calcolato in base alla seguente formula:

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=2}^k \frac{u_n^2}{n}}$$

dove

u_n è il valore in p.u. dell'armonica di tensione U_n (riferita alla tensione nominale U_N);

n è l'ordine dell'armonica (non divisibile per tre in caso di motori trifase in c.a.);

$k = 13$.

I motori trifase a corrente alternata devono essere adatti al funzionamento in un sistema trifase di tensione avente una componente di sequenza inversa non superiore all'1 % della componente di sequenza diretta durante un lungo periodo di tempo o all'1,5 % per un breve periodo non superiore a pochi minuti, ed una componente omopolare non superiore all'1 % della componente di sequenza diretta.

Qualora i valori limite indicati per il fattore *HVF*, la componente di sequenza inversa e la componente omopolare dovessero presentarsi contemporaneamente in servizio a carico nominale, nel motore non deve verificarsi alcuna temperatura dannosa e si raccomanda che il conseguente incremento di sovratemperatura o di temperatura, rispetto ai limiti indicati nella presente Norma, non superi il valore di circa 10 K.

NOTA In vicinanza di grandi carichi monofase (ad es. forni ad induzione) ed in aree rurali, in particolare su reti di distribuzione mista industriale e domestica, l'alimentazione può essere deformata al di là dei limiti sopra indicati. In tali casi saranno necessari speciali accordi.

7.2.1.2 I motori a corrente alternata alimentati da convertitori statici devono sopportare contenuti armonici più elevati della tensione di alimentazione, vedi IEC 60034-17 per il caso di motori a gabbia considerati nel campo di applicazione della IEC 60034-12.

NOTA Quando la tensione di alimentazione è significativamente non sinusoidale, ad esempio nel caso di alimentazione da convertitori statici, il valore efficace della forma d'onda totale e della forma d'onda fondamentale sono entrambi importanti nella determinazione delle prestazioni di una macchina a corrente alternata.

7.2.2 Generatori a corrente alternata

I generatori a corrente alternata trifase dovrebbero essere adatti ad alimentare circuiti che, quando alimentati da un sistema di tensioni bilanciate e sinusoidali, diano luogo:

- a) a correnti che non superino un fattore armonico di corrente (*HCF*) di 0,05, e
- b) ad un sistema di correnti ove né la componente di sequenza inversa né quella omopolare superino il 5% della componente di sequenza diretta.

Il fattore *HCF* deve essere calcolato in base alla seguente formula:

$$HCF = \sqrt{\sum_{n=2}^k i_n^2}$$

dove

i_n è il valore in p.u. dell'armonica di tensione I_n riferita alla tensione nominale I_N ;

n è l'ordine dell'armonica;

$k = 13$.



Qualora i valori limite indicati per la deformazione e lo squilibrio dovessero presentarsi contemporaneamente in servizio a carico nominale, nel generatore non deve verificarsi alcuna temperatura dannosa e si raccomanda che il conseguente incremento di sovratemperatura o di temperatura rispetto ai limiti indicati nella presente Norma non superi il valore di circa 10 K.

7.2.3 Macchine sincrone

Salvo diversamente specificato, le macchine sincrone trifase debbono essere in grado di funzionare in permanenza su un sistema asimmetrico di tensioni tale che, non essendo alcuna delle correnti di fase superiore alla corrente nominale, il rapporto tra il valore della componente di sequenza inversa della corrente (I_2) e la corrente nominale (I_N) non superi i valori della Tab. 2, e debbono poter funzionare, in condizioni di guasto, con valori del prodotto tra $(I_2/I_N)^2$ e il tempo (t) non superiori a quelli indicati nella Tab. 2

Tabella 2 – Condizioni di funzionamento squilibrato per macchine sincrone

Punto	Tipo di macchina	Valore massimo I_2/I_N per funzionamento permanente	Valore massimo $(I_2/I_N)^2 \times t$ in secondi, per funzionamento in condizioni di guasto
Macchine a poli salienti			
1	Avvolgimenti a raffreddamento indiretto		
	motori	0,1	20
	generatori	0,08	20
	compensatori sincronici	0,1	20
2	Avvolgimenti di statore e/o di campo a raffreddamento diretto (raffreddamento interno)		
	motori	0,08	15
	generatori	0,05	15
	componenti sincroni	0,08	15
Macchine sincrone a rotore cilindrico			
3	Avvolgimenti di rotore a raffreddamento indiretto		
	raffreddamento ad aria	0,1	15
	raffreddamento a idrogeno	0,1	10
4	Avvolgimenti di rotore a raffreddamento diretto (raffreddamento interno)		
	≤ 350 MVA	0,08	8
	$> 350 \leq 900$ MVA	a	b
	$> 900 \leq 1\,250$ MVA	a	5
	$> 1\,250 \leq 1\,600$ MVA	0,05	5
<p>a Per queste macchine il valore di I_2/I_N viene calcolato come segue:</p> $\frac{I_2}{I_N} = 0,08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}$ <p>b Per queste macchine il valore di $(I_2/I_N)^2 \times t$, in secondi, viene calcolato come segue:</p> $(I_2/I_N)^2 \times t = 8 - 0,005\,45 (S_N - 350)$ <p>Dove nelle due note, S_N è la potenza nominale apparente in megavoltampere.</p>			



7.2.4 Motori in corrente continua alimentati da convertitori statici di potenza

Nel caso di un motore in corrente continua alimentato da un convertitore statico di potenza, l'ondulazione della tensione e della corrente influenza le prestazioni della macchina. Le perdite e le sovratemperature aumentano e la commutazione diviene più difficile rispetto ad un motore in corrente continua alimentato da una sorgente di corrente continua pura.

È necessario pertanto che i motori di potenza nominale superiore a 5 kW, previsti per essere alimentati da un convertitore statico di potenza, siano progettati per funzionare con una alimentazione specificata e, se il costruttore del motore lo reputa necessario, con una induttanza esterna prevista per ridurre l'ondulazione.

L'alimentazione per mezzo di un convertitore statico di potenza deve essere caratterizzata da un codice di identificazione come segue:

$$[CCC - U_{aN} - f - L]$$

dove:

CCC è il codice di identificazione del collegamento del convertitore, in conformità alla IEC 60971;

U_{aN} è un numero costituito da tre o quattro cifre che indica il valore nominale della tensione alternata ai morsetti di ingresso del convertitore, in V;

f è un numero costituito da due cifre che indica il valore nominale della frequenza ai morsetti di ingresso, in Hz;

L è un numero costituito da una, due o tre cifre che indica il valore dell'induttanza che deve essere aggiunta esternamente in serie all'indotto del motore, in mH. Se tale valore è zero, lo si omette.

I motori di potenza nominale inferiore o uguale a 5 kW, invece di essere legati ad uno specifico tipo di convertitore statico di potenza, possono essere progettati per essere utilizzati con un convertitore statico qualsiasi, con o senza induttanza esterna, a condizione che il valore nominale del fattore di forma per il quale il motore è stato progettato non sia superato e che il livello di isolamento dell'indotto sia adeguato al valore nominale della tensione alternata ai morsetti di ingresso del convertitore statico di potenza.

In tutti i casi si presume che l'ondulazione della corrente di uscita del convertitore statico di potenza sia così bassa da comportare un fattore di ondulazione della corrente non maggiore di 0,1 in condizioni nominali.

7.3 Variazioni di tensione e di frequenza durante il funzionamento

Per le macchine a corrente alternata con caratteristiche nominali che prevedano il funzionamento con una alimentazione a frequenza fissa fornita da un generatore a corrente alternata (localmente o attraverso una rete di alimentazione), le combinazioni delle variazioni di tensione e di frequenza sono classificate come zona A o zona B, secondo la Fig.11 per gli alternatori e la Fig.12 per i motori.

Per le macchine a c.c. collegate a una alimentazione continua normalmente costante, le zone A e B si riferiscono solamente alle tensioni.

Una macchina deve poter assicurare la sua funzione principale, come indicato nella Tab. 3 in maniera continua all'interno della zona A, ma non è necessario che soddisfi completamente le proprie caratteristiche di funzionamento a tensione e frequenza nominali (vedere i punti delle caratteristiche nominali nelle Fig. 11 e 12) e può presentare degli scostamenti. Le sovratemperature possono essere superiori a quelle corrispondenti a tensione e frequenza nominali.



All'interno della zona B una macchina deve essere in grado di assicurare la sua funzione principale ma può presentare scostamenti nelle prestazioni, rispetto a quelle a tensione e frequenza nominali, maggiori che nella zona A. Le sovratemperature possono essere maggiori di quelle corrispondenti a tensione e frequenza nominali e molto probabilmente possono superare quelle della zona A. Il funzionamento prolungato ai limiti periferici esterni della zona B è sconsigliato.

NOTA 1 In particolari condizioni di funzionamento riscontrabili nella pratica, una macchina può talvolta essere soggetta a funzionare fuori del perimetro della zona A. Si raccomanda di limitare il valore, la durata e la frequenza di tali escursioni all'esterno della zona A. Ove possibile, entro un tempo ragionevole si dovrebbero prendere misure correttive come, per esempio, una riduzione della potenza. Tali provvedimenti possono evitare la riduzione della vita della macchina per effetto della temperatura.

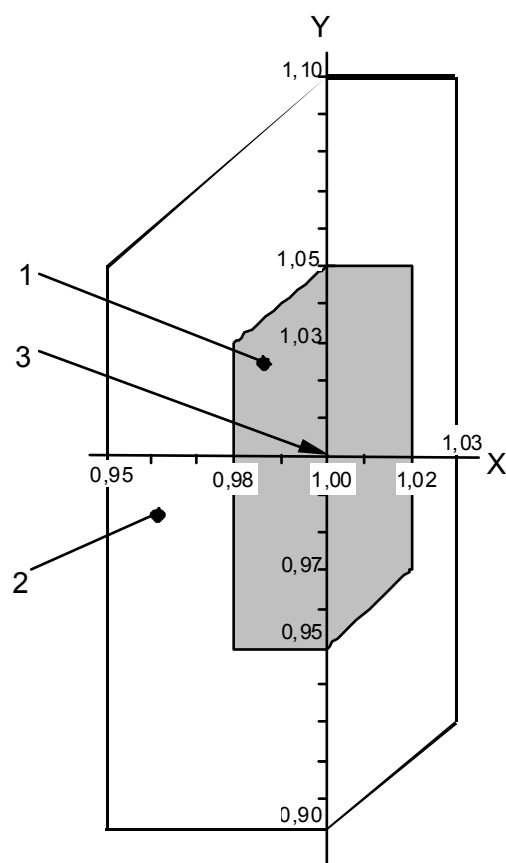
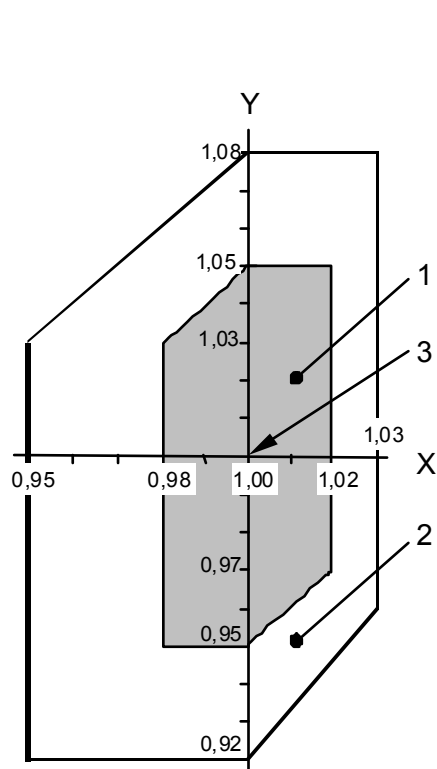
NOTA 2 I limiti di sovratemperatura o di temperatura conformi alla presente Norma si applicano al punto delle caratteristiche nominali e possono essere progressivamente superati con l'allontanarsi da esso del punto di funzionamento effettivo. Per condizioni agli estremi confini della zona A, le sovratemperature e le temperature superano abitualmente di circa 10 K i limiti specificati nella presente Norma.

NOTA 3 Un motore a c.a. potrà avviarsi con la tensione di alimentazione al limite inferiore solo se la coppia di avviamento è adeguata alla coppia resistente del carico, ma ciò non è una prescrizione del presente articolo. Per le caratteristiche di avviamento dei motori di tipo N, vedere la IEC 60034-12.

NOTA 4 Per le macchine oggetto della IEC 60034-3, si applicano limiti di tensione e frequenza diversi.

**Tabella 3 – Funzioni primarie delle macchine**

Punti	Tipo di macchina	Funzione principale
1	Generatore c.a., escluso il punto 5	Potenza nominale apparente (kVA) al fattore di potenza nominale, se questo è separatamente controllabile
2	Motore c.a., escluso i punti 3 e 5	Coppia nominale (Nm)
3	Motore sincrono, escluso il punto 5	Coppia nominale (Nm), con l'eccitazione che mantiene o il valore nominale della corrente di eccitazione o il valore nominale del fattore di potenza, se questo è separatamente controllabile
4	Compensatore sincrono, escluso il punto 5	Salvo accordi diversi, la potenza nominale apparente (kVA) all'interno della zona applicabile ad un generatore, vedi Fig. 11
5	Turboalternatore, con potenza nominale ≥ 10 MVA	Vedi IEC 60034-3
6	Generatore c.c.	Potenza nominale (kW)
7	Motore c.c.	Coppia nominale (Nm), con l'eccitazione del motore shunt che mantiene la velocità nominale, se questa è separatamente controllabile

**Legenda**

asse X frequenza p.u.

asse Y tensione p.u.

1 zona A

2 zona B (all'esterno della zona A)

3 punto delle caratteristiche nominali

Figura 11 – Valori limite di tensione e frequenza per gli alternatori**Figura 12 – Valori limite di tensione e frequenza per i motori**



7.4 Macchine trifase a corrente alternata funzionanti su reti isolate

Le macchine trifase a corrente alternata devono essere idonee al funzionamento continuo con il neutro a un potenziale pari o prossimo a quello di terra. Tali macchine devono inoltre essere idonee al funzionamento accidentale su reti isolate con una fase al potenziale di terra, per periodi di breve durata, ad esempio come richiesto nel caso di una normale riparazione di un guasto. Se per la macchina è previsto il funzionamento continuo o per periodi prolungati in queste condizioni, è necessario richiedere una macchina con un livello di isolamento appropriato.

Se gli avvolgimenti non hanno lo stesso livello d'isolamento ai terminali di fase e di neutro, ciò deve essere dichiarato dal costruttore.

NOTA Non si dovrebbe effettuare la messa a terra del neutro delle macchine o il collegamento tra punti di neutro senza aver consultato il costruttore, a causa del pericolo, in alcune condizioni di funzionamento, di circolazione di correnti omopolari di tutte le frequenze e del possibile danneggiamento meccanico degli avvolgimenti in condizioni di guasto tra fase e neutro.

7.5 Livelli di tenuta a tensione (picco e gradiente)

Per i motori a corrente alternata il costruttore deve dichiarare un valore limite per la tensione di picco e per il gradiente di tensione per il funzionamento continuo.

Per i motori a induzione a gabbia coperti dalla IEC 60034-12, vedi anche la IEC 60034-17.

Per i motori a corrente alternata ad alta tensione, vedi anche la IEC 60034-15.

Per le distanze di isolamento in aria e superficiali delle sbarre di rame in tensione vedi IEC 60664-1.

8 Caratteristiche termiche di funzionamento e prove termiche

8.1 Classe termica

Al sistema di isolamento usato nelle macchine si deve assegnare una classificazione termica in accordo con la IEC 60085.

Il costruttore della macchina è responsabile dell'interpretazione dei risultati ottenuti nelle prove di vita termica, in accordo con la parte appropriata della IEC 60034-18.

NOTA 1 La classe termica di un nuovo sistema di isolamento non dovrebbe essere considerata direttamente correlata alle caratteristiche termiche dei singoli materiali isolanti utilizzati.

NOTA 2 È consentito continuare ad utilizzare sistemi di isolamento esistenti, purché questi siano stati provati da una soddisfacente esperienza d'esercizio.

8.2 Fluido di raffreddamento di riferimento

Il fluido di raffreddamento di riferimento per un dato metodo di raffreddamento della macchina viene specificato nella Tab. 4.

**Tabella 4 - Fluido di raffreddamento di riferimento (vedere anche la Tabella 10)**

Punto	Fluido di raffreddamento principale	Metodo di raffreddamento	Fluido di raffreddamento secondario	Tab. N°	La tabella cui si fa riferimento nella colonna 5 specifica i limiti di:	Fluido di raffreddamento di riferimento
1	Aria	Indiretto	Nessuno	7	Sopratemperatura	Aria ambiente Temperatura di riferimento: 40 °C Fluido di raffreddamento all'ingresso della macchina o acqua ambiente Temperatura di riferimento del gas di raffreddamento all'ingresso della macchina: 40 °C Temperatura di raffreddamento dell'acqua ambiente: 25 °C (vedi Nota)
2	Aria	Indiretto	Aria	7		
3	Aria	Indiretto	Acqua	7		
4	Idrogeno	Indiretto	Acqua	8		
5	Aria	Diretto	Nessuno	12	Temperatura	Aria ambiente Temperatura di riferimento: 40 °C Gas all'ingresso della macchina o liquido all'ingresso degli avvolgimenti Temperatura di riferimento: 40 °C
6	Aria	Diretto	Aria	12		
7	Aria	Diretto	Acqua	12		
8	Idrogeno o liquido	Diretto	Acqua	12		

NOTA Una macchina con avvolgimenti a raffreddamento indiretto ed uno scambiatore di calore raffreddato ad acqua può essere classificata in base all'uso del fluido di raffreddamento primario o secondario come fluido di riferimento (vedi anche 10.2 per le informazioni da indicare nei dati di targa). Una macchina atta a funzionare sommersa con raffreddamento a mezzo della superficie o una macchina raffreddata a mezzo di una incamiciatura d'acqua può essere classificata in base all'uso del fluido di raffreddamento secondario come fluido di riferimento.

Se viene utilizzato un terzo fluido di raffreddamento, la sovratemperatura deve essere misurata al di sopra della temperatura del fluido di raffreddamento primario o secondario, come specificato nella Tab. 4.

NOTA Una macchina può essere disposta e raffreddata in modo tale da poter applicare più di un punto tra quelli indicati nella Tab. 4, nel qual caso più fluidi di raffreddamento di riferimento possono essere applicati ad avvolgimenti differenti.

8.3 Condizioni per le prove termiche

8.3.1 Alimentazione elettrica

Durante la prova termica di un motore in corrente alternata il fattore HVF dell'alimentazione non deve superare 0,015 e la componente di sequenza inversa del sistema di tensioni deve essere inferiore allo 0,5 % della componente di sequenza diretta, avendo eliminato l'influenza della componente omopolare.

Dietro accordo, si può misurare la componente di sequenza inversa del sistema di correnti al posto di quella del sistema di tensioni. La componente di sequenza inversa del sistema di correnti non deve superare il 2,5 % della componente di sequenza diretta.



8.3.2 Temperatura della macchina prima della prova

Se la temperatura di un avvolgimento deve essere determinata in base all'aumento di resistenza, la temperatura iniziale dell'avvolgimento non deve differire di più di 2 K da quella del fluido refrigerante.

Quando una macchina deve essere provata alle caratteristiche nominali per un servizio di (durata limitata tipo di servizio S2) la sua temperatura all'inizio della prova termica non deve differire di più di 5 K rispetto alla temperatura del fluido di raffreddamento.

8.3.3 Temperatura del fluido di raffreddamento

La prova della macchina può essere effettuata ad ogni valore opportuno della temperatura del fluido di raffreddamento. Vedi la Tab. 11 (per gli avvolgimenti a raffreddamento indiretto) oppure la Tab. 14 (per gli avvolgimenti a raffreddamento diretto).

8.3.4 Misura della temperatura del fluido di raffreddamento durante le prove

Il valore da assumersi come temperatura del fluido di raffreddamento durante la prova è dato dalla media delle letture dei rivelatori di temperatura prese ad intervalli di tempo uguali durante l'ultimo quarto della durata della prova stessa. Per evitare errori dovuti al ritardo con cui la variazione di temperatura delle grandi macchine segue le variazioni di temperatura del fluido di raffreddamento, si devono prendere tutte le precauzioni possibili per ridurre queste variazioni.

8.3.4.1 Macchine aperte o macchine chiuse senza scambiatori di calore (raffreddate dall'aria o da un gas circostante)

La temperatura dell'aria o del gas circostante deve essere misurata per mezzo di più rivelatori posti in punti differenti intorno alla macchina, a metà della sua altezza, distanti da 1 m a 2 m da essa. Ciascun rivelatore deve essere protetto contro l'irraggiamento termico e le correnti d'aria.

8.3.4.2 Macchine raffreddate dall'aria o da un gas proveniente da una sorgente distante attraverso condotti di ventilazione e macchine con scambiatori di calore montati separatamente

La temperatura del fluido di raffreddamento primario deve essere misurata al suo ingresso nella macchina.

8.3.4.3 Macchine chiuse con scambiatori di calore montati sulla macchina od incorporati

La temperatura del fluido di raffreddamento primario deve essere misurata al suo ingresso nella macchina. La temperatura del fluido di raffreddamento secondario deve essere misurata al suo ingresso negli scambiatori di calore.

8.4 Sovratemperatura di una parte della macchina

La sovratemperatura, $\Delta\theta$, di una parte della macchina è la differenza tra la temperatura di quella parte, misurata col metodo più appropriato secondo 8.5, e quella del fluido di raffreddamento, misurata come indicato in 8.3.4.

Per il confronto con i limiti di sovratemperatura (vedi Tab. 7 o 8) o di temperatura (vedi Tab. 12), quando possibile, la temperatura deve essere misurata immediatamente prima che la macchina venga fermata al termine della prova termica, come descritto in 8.7.

Quando questo non è possibile, per es. quando si adotta la misura diretta del metodo per variazione di resistenza, si veda 8.6.2.3.

Per le macchine sottoposte alla prova per un servizio periodico reale (tipo di servizio da S3 a S8) la temperatura al termine della prova deve essere considerata quella al centro del periodo di durata che provoca il riscaldamento massimo nell'ultimo ciclo di funzionamento (ma si veda anche 8.7.3).



8.5 Metodi di misura della temperatura

8.5.1 Generalità

Sono ammessi tre metodi di misura della temperatura degli avvolgimenti e delle altre parti:

- metodo per variazione di resistenza;
- metodo con termorivelatori incorporati (ETD);
- metodo termometrico.

I differenti metodi non possono essere utilizzati come controllo reciproco.

Per prove indirette vedere la IEC 60034-29.

8.5.2 Metodo per variazione di resistenza

Secondo questo metodo la temperatura degli avvolgimenti viene dedotta dall'aumento della loro resistenza.

8.5.3 Metodo con termorivelatori incorporati (ETD)

Secondo questo metodo la temperatura viene determinata per mezzo di rivelatori (termometri a resistenza, termocoppie o rivelatori a semiconduttori con coefficiente di temperatura negativo), incorporati nella macchina durante la costruzione, in punti non più accessibili a macchina completata.

8.5.4 Metodo termometrico

Secondo questo metodo la temperatura viene misurata per mezzo di termometri applicati alle superfici accessibili della macchina completa. Il termine "termometro" non comprende solo i termometri a bulbo ma anche le termocoppie non incorporate e i termometri a resistenza. Nel caso in cui si utilizzino termometri a bulbo in posizioni dove esistano campi magnetici intensi variabili o mobili, è preferibile usare termometri ad alcool invece che a mercurio.

8.6 Determinazione delle temperature degli avvolgimenti

8.6.1 Scelta del metodo

In generale, per la misura della temperatura degli avvolgimenti di una macchina, si deve applicare il metodo per variazione di resistenza, in accordo con quanto indicato in 8.5.1 (ma si veda anche 8.6.2.3.3).

Il metodo con termorivelatori incorporati deve essere impiegato per la misura della temperatura degli avvolgimenti di statore di macchine a corrente alternata di potenza nominale maggiore o uguale a 5 000 kW (o kVA).

Per macchine a corrente alternata di potenza nominale inferiore a 5 000 kW (o kVA) ma maggiore di 200 kW (o kVA) il costruttore deve scegliere o il metodo per variazione di resistenza o il metodo con termorivelatori incorporati (ETD), salvo non sia diversamente concordato.

Per macchine a corrente alternata di potenza nominale minore o uguale a 200 kW (o kVA) il costruttore deve scegliere il metodo per variazione di resistenza o con misura diretta o nella versione per sovrapposizione (vedi 8.6.2.1), salvo non sia diversamente concordato (ma si veda anche quanto segue).

Per macchine di potenza nominale minore o uguale a 600 W (o VA), qualora gli avvolgimenti non siano uniformi o risulti difficile la realizzazione delle necessarie connessioni, la temperatura può essere determinata per mezzo di termometri. I limiti di sovratemperatura prescritti sono quelli riportati nella Tab. 7 punto 1d relativa al metodo per variazione di resistenza.



L'uso del metodo termometrico viene ammesso nei casi seguenti:

- a) Quando il metodo per variazione di resistenza non è facilmente applicabile, ad esempio nel caso di bobine di commutazione ed avvolgimenti di compensazione a bassa resistenza e, in generale, nel caso di avvolgimenti a bassa resistenza, soprattutto quando la resistenza delle giunzioni e delle connessioni costituisca una parte notevole della resistenza totale.
- b) Con avvolgimenti ad un solo strato, rotanti o fissi.
- c) Durante le prove individuali su macchine costruite in grande serie.

Per gli avvolgimenti statorici a corrente alternata con un solo lato di matassa per cava, il metodo con termorivelatori incorporati (ETD) non è ammesso per verificare la conformità alla presente Norma: si deve usare il metodo per variazione di resistenza.

NOTA Per verificare in servizio la temperatura di un avvolgimento di questo tipo, un termorivelatore posto in fondo cava è di scarsa attendibilità, in quanto esso indica soprattutto la temperatura del nucleo in ferro. Un termorivelatore posto tra matassa e bietta di cava segue molto più fedelmente la temperatura dell'avvolgimento e quindi è preferibile per la misura a scopo di controllo in servizio. Poiché la temperatura in quella zona può essere piuttosto bassa, la relazione tra questa temperatura rilevata e la temperatura misurata per variazione di resistenza si dovrebbe determinare per mezzo di una prova termica.

Per altri avvolgimenti con un solo lato di matassa per cava e per le testate degli avvolgimenti, il metodo con termorivelatori incorporati (ETD) non è ammesso per verificare la conformità alla presente Norma.

Per avvolgimenti di armature con collettori a lamelle e per avvolgimenti di campo possono essere utilizzati sia il metodo per variazione di resistenza che il metodo termometrico. Il metodo per variazione di resistenza è da preferire, ma per gli avvolgimenti di campo statorici di macchine a corrente continua con più di uno strato può anche essere utilizzato il metodo con termorivelatori incorporati (ETD).

8.6.2 Determinazione con metodo per variazione di resistenza

8.6.2.1 Misura

Si deve utilizzare uno dei metodi seguenti:

- misura diretta, all'inizio ed al termine della prova, utilizzando uno strumento avente una portata appropriata;
- misura mediante corrente/tensione continua per gli avvolgimenti a corrente continua, misurando la corrente attraverso l'avvolgimento e la tensione ai suoi capi, utilizzando strumenti che abbiano portate appropriate;
- misura mediante corrente/tensione continua per gli avvolgimenti a corrente alternata iniettando corrente continua nell'avvolgimento in assenza di tensione.

**8.6.2.2 Calcolo**

La sovratemperatura, $\theta_2 - \theta_a$, si può determinare dalla formula:

$$\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1}$$

dove:

θ_1 è la temperatura (°C) dell'avvolgimento (freddo) al momento della misura della resistenza iniziale;

θ_2 è la temperatura (°C) dell'avvolgimento al termine della prova termica;

θ_a è la temperatura (°C) del fluido di raffreddamento al termine della prova termica;

R_1 è la resistenza dell'avvolgimento alla temperatura θ_1 (a freddo);

R_2 è la resistenza dell'avvolgimento al termine della prova termica;

k è l'inverso del coefficiente di temperatura della resistenza a 0 °C del materiale conduttore.

Per il rame $k = 235$

Per l'alluminio $k = 225$, se non diversamente specificato.

Nella pratica può essere conveniente utilizzare la seguente espressione in alternativa:

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (k + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a$$

8.6.2.3 Correzione per il tempo di arresto**8.6.2.3.1 Generalità**

La misura diretta delle temperature al termine della prova termica mediante metodo per variazione di resistenza richiede che la macchina sia fermata il più rapidamente possibile. Si richiedono procedure accuratamente programmate ed un numero adeguato di persone.

8.6.2.3.2 Tempo di arresto breve

Qualora la lettura iniziale di resistenza sia eseguita entro i tempi indicati nella Tab. 5, tale lettura deve essere adottata per la misura della temperatura.

Tabella 5 - Intervallo di tempo

Potenza nominale (P_N) kW o kVA	Intervallo di tempo dopo l'interruzione dell'alimentazione s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	Secondo accordo



8.6.2.3.3 Tempo di arresto prolungato

Se la lettura iniziale per variazione di resistenza non può essere effettuata entro l'intervallo di tempo indicato nella Tab. 5, essa deve essere effettuata il più presto possibile, ma non oltre un tempo uguale a due volte l'intervallo indicato nella Tab. 5 e si devono effettuare ulteriori letture, ad intervalli di circa 1 min, fino a quando non sia evidenziato un sensibile decremento rispetto ai valori massimi. Si traccia quindi una curva di queste letture in funzione del tempo e la si estrapola all'intervallo di tempo della Tab.5, appropriato alla potenza nominale della macchina. Si raccomanda di tracciare una curva semilogaritmica dove la temperatura è rappresentata in scala logaritmica. Il valore di temperatura così ottenuto deve essere assunto come valore della temperatura al momento dell'arresto della macchina. Se misure successive mostrano temperature crescenti dopo l'arresto della macchina, si deve considerare il valore più elevato.

Se una lettura iniziale per variazione di resistenza non può essere effettuata se non dopo due volte l'intervallo di tempo indicato nella Tab. 5, questo metodo di correzione deve essere usato solo in seguito ad accordo.

8.6.2.3.4 Avvolgimenti con un solo lato di matassa per cava

Per le macchine con un solo lato di matassa per cava, il metodo di misura diretta per variazione di resistenza è applicabile se la macchina si ferma entro l'intervallo di tempo indicato nella Tab. 5. Se la macchina si arresta in un tempo maggiore di 90 s dal momento dell'interruzione dell'alimentazione può essere utilizzato, previo accordo, il metodo di sovrapposizione.

8.6.3 Determinazione con metodo dei termorivelatori incorporati (ETD)

8.6.3.1 Generalità

I termorivelatori devono essere convenientemente distribuiti tra gli avvolgimenti della macchina ed il numero di quelli installati non deve essere inferiore a sei.

Compatibilmente con la sicurezza, i termorivelatori devono essere montati nei vari punti ove presumibilmente si manifestano le più alte temperature ed in modo tale che essi siano efficacemente riparati dal contatto col fluido primario di raffreddamento.

Per determinare la temperatura degli avvolgimenti, deve essere utilizzato il valore di lettura più elevato tra quelli forniti dai termorivelatori incorporati.

NOTA I termorivelatori incorporati o le loro connessioni possono risultare difettosi e comportare letture errate. Pertanto, qualora ad una indagine una o più letture si rivelino inattendibili, esse debbono essere eliminate.

8.6.3.2 Due o più lati di matassa per cava

I termorivelatori incorporati devono essere installati tra i lati di matassa isolati, entro la cava, in posizione ove è presumibile che si verifichino le temperature più elevate.

8.6.3.3 Un solo lato di matassa per cava

I termorivelatori incorporati devono essere installati tra la bietta e la superficie esterna dell'isolamento dell'avvolgimento, in posizioni ove è presumibile che si verifichino le temperature più elevate, si veda comunque anche 8.6.1.

8.6.3.4 Testate degli avvolgimenti

I termorivelatori incorporati devono essere installati tra due lati adiacenti di matassa entro il tratto costituente la testata degli avvolgimenti, in posizioni dove è presumibile che si verifichino le temperature più elevate. L'elemento sensibile di ciascun termorivelatore deve essere a stretto contatto con la superficie delle bobine e adeguatamente protetto dall'influenza del fluido di raffreddamento, si veda comunque anche 8.6.1.



8.6.4 Determinazione con metodo termometrico

Compatibilmente con la sicurezza, deve essere fatto tutto il possibile per collocare i termometri nei vari punti ove presumibilmente si manifestano le più alte temperature (per es. sulle testate degli avvolgimenti vicine al nucleo di ferro) ed in modo tale che essi siano efficacemente protetti dal contatto col fluido primario di raffreddamento ed abbiano un buon contatto termico con l'avvolgimento o altra parte della macchina.

Per determinare la temperatura dell'avvolgimento o di altre parti della macchina, deve essere utilizzato il valore di lettura più elevato tra quelli forniti dai termometri.

8.7 Durata delle prove termiche

8.7.1 Caratteristiche nominali per il servizio continuo

La prova deve essere prolungata finché sia stato raggiunto l'equilibrio termico.

8.7.2 Caratteristiche nominali per il servizio di durata limitata

La durata della prova deve essere quella indicata nelle caratteristiche nominali.

8.7.3 Caratteristiche nominali per il servizio periodico

Generalmente le caratteristiche nominali per carichi equivalenti assegnati dal costruttore (vedi 5.2.6) devono essere applicate fino al raggiungimento dell'equilibrio termico. Se viene concordata una prova in servizio reale, si deve applicare il ciclo di carico specificato e mantenerlo sino a quando non si ottengano cicli di temperatura praticamente identici. Il criterio per valutare il raggiungimento di questo stato termico consiste nel fatto che la retta congiungente punti corrispondenti di cicli di servizio successivi su un diagramma di temperatura abbia una pendenza inferiore a 2K/h. Se necessario, si devono eseguire i rilievi a intervalli opportuni per un tempo adeguato.

8.7.4 Caratteristiche nominali per servizio non periodico e per servizio con carichi distinti costanti

Le caratteristiche nominali per un carico equivalente stabilito dal costruttore (vedi 5.2.6) devono essere applicate fino al raggiungimento dell'equilibrio termico.

8.8 Determinazione della costante di tempo termica equivalente delle macchine per tipo di servizio S9

La costante di tempo termica equivalente, con ventilazione come nelle normali condizioni di funzionamento, utilizzabile per la determinazione approssimata dell'andamento di temperatura, può essere determinata dalla curva di raffreddamento tracciata come indicato in 8.6.2.3. Il valore della costante di tempo è pari a 1,44 volte (cioè $1/\ln(2)$ volte) il tempo impiegato dalla macchina a raffreddarsi fino ad una temperatura pari alla metà della sovratemperatura a pieno carico, dopo l'interruzione dell'alimentazione.

8.9 Misura della temperatura dei cuscinetti

Si può utilizzare il metodo termometrico o il metodo dei termorivelatori incorporati (ETD).

Il punto di misura deve essere il più vicino possibile ad una delle due zone specificate nella Tab. 6.



Tab.6 – Punti di misura

Tipo di cuscinetto	Punto di misura	Posizione nel punto di misura
A rotolamento (sfere o rulli)	A	Nell'alloggiamento del cuscinetto e a una distanza non superiore a 10 mm ^a dall'anello esterno del cuscinetto stesso ^b
	B	Sulla superficie esterna dell'alloggiamento del cuscinetto, il più vicino possibile all'anello esterno del cuscinetto stesso
A strisciamento	A	Nella zona sotto pressione del guscio del cuscinetto ^c e a una distanza non superiore a 10 mm ^a dal film d'olio ^b
	B	In qualunque altra posizione del guscio del cuscinetto
^a La distanza è determinata con riferimento al punto più vicino del termorivelatore incorporato o del termometro installato.		
^b Nel caso di macchina a rotore esterno, il punto A sarà nella parte fissa a una distanza non superiore a 10 mm dall'anello interno del cuscinetto e il punto B sulla superficie esterna della parte fissa il più vicino possibile all'anello interno del cuscinetto.		
^c Il guscio del cuscinetto è la parte che sostiene il materiale del cuscinetto e che è fissata nell'alloggiamento. La zona di pressione è la parte di circonferenza che sostiene la risultante del peso del rotore e dei carichi radiali.		

Si deve ridurre la resistenza termica tra il rilevatore e l'oggetto di cui si deve misurare la temperatura; ad esempio ogni volume d'aria deve essere riempito con un materiale buon conduttore termico.

NOTA Tra i punti di misura A e B, così come fra questi punti e quello più caldo del cuscinetto, possono esserci differenze di temperatura che dipendono tra l'altro dalle dimensioni del cuscinetto. Per cuscinetti a strisciamento con bronzina fissata a pressione e per cuscinetti a rotolamento (sia a sfere che a rulli) con diametro interno inferiore od uguale a 150 mm, le differenze di temperatura fra i punti A e B possono essere ritenute trascurabili. Nel caso di cuscinetti più grandi, si possono presentare differenze di temperatura tra i punti di misura A e B di circa 15 K.

8.10 Limiti di temperatura e di sovratemperatura

Si indicano i limiti per le condizioni di funzionamento in sito specificate nell'art. 6 e per le caratteristiche nominali per un tipo di servizio continuo (condizioni di riferimento), seguiti dalle regole per la regolazione di quei limiti in caso di funzionamento in sito in condizioni e con caratteristiche nominali diverse. Ulteriori regole forniscono la correzione dei limiti durante le prove termiche, quando le condizioni nel luogo di prova differiscono da quelle del luogo di funzionamento.

I limiti sono relativi al fluido di raffreddamento di riferimento, specificato nella Tab. 4.

Viene fornita una regola per tenere conto della purezza dell'idrogeno di raffreddamento.

8.10.1 Avvolgimenti a raffreddamento indiretto

Le sovratemperature nelle condizioni di riferimento non devono superare i limiti indicati nella Tab. 7 (raffreddamento ad aria) o nella Tab. 8 (raffreddamento a idrogeno), secondo il caso.

Per differenti condizioni di funzionamento in sito, per caratteristiche nominali diverse da quelle per il servizio continuo e per tensioni nominali superiori a 12 000 V, i limiti devono essere corretti secondo la Tab. 9. (Si veda anche la Tab. 10 per il limite relativo alla temperatura del fluido di raffreddamento presunto nella Tab. 9.)

In caso di letture mediante termometro effettuate secondo 8.6.1, il limite di sovratemperatura deve essere conforme alla Tab. 7.



Se per gli avvolgimenti a raffreddamento indiretto ad aria le condizioni nel luogo di prova differiscono da quelle del luogo di funzionamento, i limiti corretti indicati nella Tab. 11 si devono applicare sul luogo di prova.

Se i limiti corretti indicati nella Tab. 11 portano a temperature consentite sul luogo di prova che il costruttore reputi eccessive, la procedura di prova ed i limiti devono essere concordati.

Non vengono indicate correzioni per il luogo di prova relative agli avvolgimenti a raffreddamento indiretto con idrogeno, perché è molto improbabile che essi vengano provati a carico nominale in luoghi diversi dal sito di funzionamento.



Tab.7 Limiti di sovratemperatura degli avvolgimenti a raffreddamento indiretto ad aria

Classe termica		130 (B)			155 (F)			180 (H)		
Metodo di misura		Th K	R K	ETD K	Th K	R K	ETD K	Th K	R K	ETD K
Th = Termometro, R = Resistenza, ETD = Termorivelatore										
Punto	Parti della macchina									
1a)	Avvolgimenti a corrente alternata di macchine di potenza superiore o uguale a 5 000 kW (o kVA)	–	80	85 ^a	–	105	110 ^a	–	125	130 ^a
1b)	Avvolgimenti a corrente alternata di macchine di potenza superiore a 200 kW (o kVA), ma inferiori a 5 000 kW (o kVA)	–	80	90 ^a	–	105	115 ^a	–	125	135 ^a
1c)	Avvolgimenti a c.a. di macchine di potenza inferiore o uguale a 200 kW (o kVA) diversi da quelli dei punti 1d) o 1e) ^b	–	80	–	–	105	–	–	125	–
1d)	Avvolgimenti a corrente alternata di macchine di potenza inferiore a 600 W (o VA) ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–
1e)	Avvolgimenti a corrente alternata di macchine a raffreddamento naturale senza ventilatore (IC 40) e/o ad avvolgimenti incapsulati ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–
2	Avvolgimenti di armatura con commutatori	70	80	–	85	105	–	105	125	–
3	Avvolgimenti di campo di macchine a corrente alternata e continua diversi da quelli del punto 4	70	80	–	85	105	–	105	125	–
4a)	Avvolgimenti di campo di macchine sincrone con rotor cilindrici aventi un avvolgimento di eccitazione a corrente continua alloggiato in cava, eccetto i motori asincroni sincronizzati	–	90	–	–	110	–	–	135	–
4b)	Avvolgimenti di campo fissi isolati di macchine a corrente continua, aventi più di uno strato	70	80	90	85	105	110	105	125	135
4c)	Avvolgimenti di campo di bassa resistenza di macchine a corrente alternata e continua aventi più di uno strato e avvolgimenti di compensazione di macchine a corrente continua	80	80	–	100	100	–	125	125	–
4d)	Avvolgimenti ad un solo strato di macchine a corrente alternata e continua con superfici esposte nude o in metallo verniciato ^c	90	90	–	110	110	–	135	135	–
^a Per la correzione per gli avvolgimenti a corrente alternata ad alta tensione vedi punto 4 della Tab. 9. ^b Qualora si applichi il metodo di prova per sovrapposizione ad avvolgimenti di macchine di potenza inferiore o uguale a 200 kW (o kVA) con classi termiche 130 (B) e 155 (F), i limiti di sovratemperatura indicati per il metodo per variazione di resistenza possono essere superati di 5 K. ^c Comprende anche gli avvolgimenti a più strati, a condizione che ciascuno degli strati inferiori sia in contatto con il fluido di raffreddamento primario in circolazione.										



Tabella 8 – Limiti di sovratemperatura degli avvolgimenti a raffreddamento indiretto a idrogeno

Classe termica		130 (B)		155 (F)	
Metodo di misura		Resistenza	ETD	Resistenza	ETD
ETD = Termorivelatore incorporato		K	K	K	K
Punto					
1	Avvolgimenti a corrente alternata di macchine di potenza superiore o uguale a 5 000 kW (o kVA), oppure con nucleo di lunghezza uguale o superiore a 1 m Pressione assoluta dell'idrogeno ^b <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 40%;"></div> <div style="width: 40%;"> $\leq 150 \text{ kPa (1,5 bar)}$ $> 150 \text{ kPa} \leq 200 \text{ kPa (2,0 bar)}$ $> 200 \text{ kPa} \leq 300 \text{ kPa (3,0 bar)}$ $> 300 \text{ kPa} \leq 400 \text{ kPa (4,0 bar)}$ $> 400 \text{ kPa}$ </div> </div>	– – – – –	85 ^a 80 ^a 78 ^a 73 ^a 70 ^a	– – – – –	105 ^a 100 ^a 98 ^a 93 ^a 90 ^a
2a	Avvolgimenti a corrente alternata di macchine di potenza inferiore a 5 000 kW (o kVA), oppure con nucleo di lunghezza inferiore a 1 m	80	85 ^a	100	110 ^a
2b	Avvolgimenti di campo a corrente continua di macchine a corrente alternata e continua diversi da quelli dei punti 3 e 4	80	–	105	–
3	Avvolgimenti di campo a corrente continua di turboalternatori	85	–	105	–
4a	Avvolgimenti di campo di bassa resistenza aventi più di uno strato e avvolgimenti di compensazione	80	–	100	–
4b	Avvolgimenti ad un solo strato di macchine a corrente alternata e continua con superfici esposte nude o in metallo verniciato ^c	90	–	110	–
^a Per le correzioni nel caso di avvolgimenti a corrente alternata ad alta tensione, vedi Tab 9 punto 4.					
^b È l'unico caso in cui il limite di sovratemperatura dipende dalla pressione dell'idrogeno					
^c Comprende anche gli avvolgimenti di campo a più strati, a condizione che ciascuno degli strati inferiori sia in contatto con il fluido di raffreddamento primario in circolazione.					

Tabella 9 - Correzione dei limiti di sovratemperatura nel sito di funzionamento degli avvolgimenti a raffreddamento indiretto per tenere conto delle condizioni di funzionamento e delle caratteristiche nominali che non sono di riferimento

Punto	Condizioni di funzionamento o caratteristiche nominali		Correzione dei limiti di sovratemperatura ($\Delta\theta$) delle Tabelle 7 e 8
1a	Massima temperatura dell'aria ambiente o dell'aria all'ingresso della macchina (θ_c) e per altitudini fino a 1 000 m. Se la differenza tra la classe termica ed il limite osservabile di temperatura, consistente nella somma della temperatura di riferimento del fluido di raffreddamento all'entrata (40°C) ed il limite di sovratemperatura secondo le tabelle 7 ed 8, è inferiore o uguale a 5K: Per altitudini maggiori sostituire 40°C con il valore dato nella Tab. 10.	$0^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 40^\circ\text{C}$	Aumentati dalla differenza fra 40 °C e la temperatura del fluido di raffreddamento.



Tabella 9 (continua)

Punto	Condizioni di funzionamento o caratteristiche nominali	Correzione dei limiti di sovratemperatura ($\Delta\theta$) delle Tabelle 7 e 8
1b	Massima temperatura dell'aria ambiente o dell'aria all'ingresso della macchina (θ_c) e per altitudini fino a 1 000 m. Se la differenza tra la classe termica ed il limite osservabile di temperatura, consistente nella somma della temperatura di riferimento del fluido di raffreddamento all'entrata (40°C) ed il limite di sovratemperatura secondo le tabelle 7 ed 8, è inferiore o uguale a 5K: Per altitudini maggiori sostituire 40°C con il valore dato nella Tabella 10.	0 °C ≤ θ_c ≤ 40 °C Aumentati della differenza tra 40 °C e la temperatura del fluido di raffreddamento, ma tale differenza va ridotta del fattore $\left(1 - \frac{\text{classe termica} - (40\text{ °C} + \text{lim.tmp.})}{80\text{ K}}\right)$ con <i>lim.tmp.</i> = limite di sovratemperatura secondo le Tabelle 7 e 8 per una temperatura del fluido di raffreddamento freddo di 40°C
1c		40 °C < θ_c ≤ 60 °C Ridotti dalla differenza tra la temperatura del fluido di raffreddamento e 40 °C ,
1d		$\theta_c < 0$ or $\theta_c > 60$ °C In base ad accordo
2	Massima temperatura dell'acqua all'ingresso dello scambiatore di calore raffreddato ad acqua o massima temperatura dell'acqua ambiente per macchine atte a funzionare sommerse con raffreddamento a mezzo della superficie o macchine raffreddate a mezzo di una incamiciatura d'acqua (θ_w)	5 °C ≤ θ_w ≤ 25 °C $\theta_w > 25$ °C Aumentati di 15 K e della differenza tra 25 °C e θ_w Aumentati di 15 K e ridotto dalla differenza tra θ_w e 25°C
3a	Altitudine (H) – regole generali	1 000 m < H ≤ 4 000 m e temperatura massima dell'aria ambiente non specificata H > 4 000 m Nessuna correzione. Si deve assumere che il raffreddamento ridotto dovuto all'altitudine sia compensato da una riduzione della massima temperatura ambiente sotto i 40 °C e che la temperatura totale non supererà quindi 40 °C più le sovrature delle Tab. 7 e 8 ^a In base ad accordo
3b	Altitudine (H) - Specifica per generatore di centrale elettrica	in base alla specifica del cliente La capacità dei generatori di centrali elettriche dovrebbe essere regolata e dipende dall'altitudine (pressione dell'aria). Non è necessaria alcuna regolazione della capacità se la pressione assoluta del refrigerante viene mantenuta costante indipendentemente dall'altitudine.

**Tabella 9 (continua)**

Punto	Condizioni di funzionamento o caratteristiche nominali		Correzione dei limiti di sovratemperatura ($\Delta\theta$) delle Tabelle 7 e 8
4	Tensione nominale dell'avvolgimento (U_N)	$12\text{ kV} < U_N \leq 24\text{ kV}$ $U_N > 24\text{ kV}$	$\Delta\theta$ per termorivelatori incorporati (ETD) deve essere ridotto di 1 K in passi di 1kV (o frazioni di esso) a partire da 12 kV sino a 24 kV inclusi In base ad accordo
5 ^b	Caratteristiche nominali per servizio di durata limitata (S2), con potenza nominale inferiore a 5 000 kW (kVA)		Aumentati di 10 K
6 ^b	Caratteristiche nominali per servizio non periodico (S9)		$\Delta\theta$ può essere superato per brevi periodi, durante il funzionamento della macchina
7 ^b	Caratteristiche nominali per servizio con carichi distinti (S10)		$\Delta\theta$ può essere superato per periodi distinti, durante il funzionamento della macchina
^a Supponendo che sia necessaria una riduzione della temperatura ambiente pari all'1 % delle massime sovratemperature per ogni 100 m sopra i 1 000 m, la massima temperatura ambiente presunta del luogo di funzionamento sarà quella indicata nella Tabella 10.			
^b Solo per gli avvolgimenti raffreddati ad aria.			

Tabella 10 – Massima temperatura ambiente presunta

Altitudine m	Classe termica		
	130 (B)	155 (F)	180 (H)
	Temperatura °C		
1 000	40	40	40
2 000	32	30	28
3 000	24	19	15
4 000	16	9	3

8.10.2 Avvolgimenti a raffreddamento diretto

Le temperature nelle condizioni di riferimento non devono superare i limiti indicati nella Tab. 12.

Per altre condizioni del luogo di funzionamento i limiti devono essere corretti in accordo con la Tab. 13.

Se le condizioni nel luogo di prova differiscono da quelle del luogo di funzionamento, i limiti corretti indicati nella Tab. 14 devono essere applicati al luogo di prova.

Se i limiti corretti indicati nella Tab. 14 portano a temperature nel luogo di prova che il costruttore considera eccessive, la procedura di prova e i limiti devono essere concordati.

8.10.3 Correzioni per tener conto del grado di purezza dell'idrogeno durante la prova

Per avvolgimenti raffreddati indirettamente o direttamente con idrogeno, nessuna correzione deve essere apportata ai limiti di sovratemperatura o di temperatura totale se la percentuale di idrogeno nel fluido di raffreddamento è compresa tra il 95 % e il 100 %.



8.10.4 Avvolgimenti permanentemente in cortocircuito, nuclei magnetici e tutti i componenti strutturali (diversi dai cuscinetti) che sono o non sono in contatto con l'isolamento.

La sovratemperatura o la temperatura non deve compromettere l'isolamento di quella parte o di qualsiasi altra parte ad essa adiacente.

8.10.5 Commutatori e anelli di scorrimento, aperti o racchiusi, e loro spazzole e portaspazzole

La sovratemperatura o la temperatura di qualsiasi commutatore, anello di scorrimento, spazzola o portaspazzola, non deve compromettere l'isolamento di quella parte o di qualsiasi altra parte ad essa adiacente.

La sovratemperatura o la temperatura di un commutatore o di un anello di scorrimento non deve superare quella a cui la combinazione del tipo di spazzola con il materiale del commutatore o dell'anello di scorrimento può permettere il passaggio di corrente nell'intera gamma di funzionamento.

Tabella 11 – Limiti corretti di sovratemperatura nel luogo di prova ($\Delta\theta_T$) per avvolgimenti a raffreddamento indiretto ad aria per tenere conto delle condizioni di funzionamento nel luogo di prova

Punto	Condizioni di prova		Limite corretto nel luogo di prova $\Delta\theta_T$
1	Differenza tra la temperatura del fluido di riferimento nel luogo di prova (θ_{cT}) e quella nel luogo di funzionamento (θ_c)	Valore assoluto di $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30 \text{ K}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta$
		Valore assoluto di $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30 \text{ K}$	In base ad accordo
2	Differenza tra l'altitudine del luogo di prova (H_T) e quella del luogo di funzionamento (H)	$1\,000 \text{ m} < H \leq 4\,000 \text{ m}$ $H_T < 1\,000 \text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 - \frac{H - 1\,000 \text{ m}}{10\,000 \text{ m}} \right)$
		$H < 1\,000 \text{ m}$ $1\,000 \text{ m} < H_T \leq 4\,000 \text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - 1\,000 \text{ m}}{10\,000 \text{ m}} \right)$
		$1\,000 \text{ m} < H \leq 4\,000 \text{ m}$ $1\,000 \text{ m} < H_T \leq 4\,000 \text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - H}{10\,000 \text{ m}} \right)$
		$H > 4\,000 \text{ m}$ o $H_T > 4\,000 \text{ m}$	In base ad accordo

NOTA 1 $\Delta\theta$ è indicato nella Tab.7 e se necessario viene corretto in base alla Tab. 9.

NOTA 2 Se la sovratemperatura deve essere misurata al di sopra della temperatura dell'acqua al suo ingresso nel refrigerante, si dovrebbe a rigore calcolare l'influenza dell'altitudine sulla differenza di temperatura tra l'aria e l'acqua. Tuttavia, per la maggior parte dei tipi refrigeranti, tale influenza sarà piccola, poiché la differenza aumenta di circa 2 K ogni 1 000 m: se è necessaria una correzione, questa dovrebbe essere oggetto di accordo.


Tabella 12 – Limiti di temperatura delle macchine a raffreddamento diretto e dei loro fluidi refrigeranti

Classe termica		130 (B)			155 (F)		
Metodo di misura		Termome- tro °C	Resistenza °C	ETD °C	Termome- tro °C	Resistenza °C	ETD °C
Punto	Parte della macchina						
1	Fluido di raffreddamento all'uscita degli avvolgimenti a corrente alternata a raffreddamento diretto. Queste temperature sono preferibili rispetto ai valori indicati al punto 2 come base delle caratteristiche nominali.						
1a)	Gas (aria, idrogeno, elio, ecc)	110	–	–	130	–	–
1b)	Acqua	90	–	–	90	–	–
2	Avvolgimenti a corrente alternata						
2a)	Raffreddati da un gas	–	–	120 ^a	–	–	145 ^a
2b)	Raffreddati da un liquido						
3	Avvolgimenti di campo di un turboalternatore						
3a)	Raffreddati da un gas che esce dal rotore attraverso il seguente numero di zone di uscita ^b						
	1 e 2	–	100	–	–	115	–
	3 e 4	–	105	–	–	120	–
	5 e 6	–	110	–	–	125	–
	da 7 a 14	–	115	–	–	130	–
	oltre 14	–	120	–	–	135	–
3b)	Raffreddati da un liquido	L'osservanze della temperatura massima del fluido di raffreddamento indicata al punto 1b) assicurerà che la temperatura nei punti caldi dell'avvolgimento non sia eccessiva					
4	Avvolgimenti di campo di macchine a corrente alternata e continua con eccitazione a corrente continua, diversi da quelli di cui al punto 3.						
4a)	Raffreddati da un gas	–	130	–	–	150	–
4b)	Raffreddati da un liquido	L'osservanze della temperatura massima del fluido di raffreddamento indicata al punto 1b) assicurerà che la temperatura nei punti caldi dell'avvolgimento non sia eccessiva					

^a Nessuna correzione a questi punti è applicabile in caso di avvolgimenti a corrente alternata ad alta tensione, vedi Tab.13, punto 2.

^b La ventilazione del rotore è caratterizzata da numero di zone di uscita radiali su tutta la lunghezza del rotore. Le zone speciali di uscita del fluido di raffreddamento sulle testate delle bobine sono incluse in ragione di una uscita su ciascun estremità. La zona di uscita comune di due correnti dirette in senso inverso viene contata come due zone.



Tabella 13 – Correzioni dei limiti di temperatura nel luogo di funzionamento per avvolgimenti raffreddati direttamente ad aria o idrogeno per tenere conto di condizioni di funzionamento e di caratteristiche nominali diverse da quelle di riferimento

Punto	Condizioni di funzionamento o caratteristiche nominali		Correzioni dei limiti di temperatura della Tab. 12
1	Temperatura θ_c del fluido di raffreddamento di riferimento	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Riduzione pari alla differenza tra 40 °C e θ_c . Tuttavia, in base ad accordo, si può applicare una riduzione inferiore a condizione che per $\theta_c < 10\text{ °C}$ la riduzione sia almeno uguale alla differenza tra 10 °C and θ_c .
		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	Nessuna correzione
		$\theta_c < 0\text{ °C}$ o $\theta_c > 60\text{ °C}$	In base ad accordo
2	Tensione nominale dell'avvolgimento statorico (U_N)	$U_N > 11\text{ kV}$	Nessuna correzione Il flusso di calore passa principalmente attraverso il fluido di raffreddamento all'interno dei conduttori e non attraverso l'isolamento principale dell'avvolgimento

Tabella 14 – Correzioni dei limiti di temperatura nel luogo di prova θ_T per avvolgimenti raffreddati direttamente ad aria per tenere conto delle condizioni di funzionamento nel luogo di prova

Punto	Condizioni di prova		Correzioni dei limiti di temperatura nel luogo di prova θ_T
1	Differenza tra la temperatura del fluido di raffreddamento nel luogo di prova (θ_{cT}) e quella nel luogo di funzionamento (θ_c)	Valore assoluto di $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30\text{ K}$	$\theta_T = \theta$
		Valore assoluto di $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30\text{ K}$	In base ad accordo
2	Differenza tra l'altitudine del luogo di prova (H_T) e quella del luogo di funzionamento (H)	$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $H_T < 1\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 - \frac{H - 1000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H < 1\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - 1000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - H}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H > 4\,000\text{ m}$ oppure $H_T > 4\,000\text{ m}$	In base ad accordo
NOTA θ è indicato nella Tab. 12 e corretto, se necessario, secondo la Tab. 13.			



9 Altre caratteristiche di funzionamento e prove

9.1 Prove individuali

Le prove individuali sono sempre prove effettuate in officina. Esse possono essere eseguite solo su macchine assemblate negli stabilimenti del costruttore. Non è necessario che la macchina sia completamente assemblata. Essa può mancare dei componenti non significativi ai fini della prova. Per le prove individuali non è necessario che la macchina sia accoppiata, fatta eccezione per la prova a vuoto delle macchine sincrone.

L'elenco minimo di queste prove è dato nella Tabella 15 ed applicabile alle macchine aventi potenza nominale ≤ 20 MW (MVA). Possono essere eseguite prove individuali addizionali, specialmente su macchine con potenza nominale superiore a 200 kW (kVA). Il termine macchine sincrone include le macchine a magneti permanenti.

Per le macchine a corrente continua, a seconda delle dimensioni e del progetto, può essere effettuata come prova individuale una prova di commutazione a carico.

Tabella 15 – Elenco minimo delle prove individuali

Punto	Prova	Macchine asincrone (inclusi i motori asincroni sincronizzati) ^a	Macchine sincrone		Macchine a c.c. con eccitazione separata o in derivazione
			Motori	Alternatori	
1	Resistenza degli avvolgimenti (a freddo)	Si	Si		Si
2	Perdite e corrente a vuoto	Si	–		–
3a	Perdite a vuoto con fattore di potenza unitario ^b	–	Si ^d		–
3b	Corrente di eccitazione a vuoto alla tensione nominale a mezzo di una prova a vuoto ^b	–	Si ^d		–
4	Corrente di eccitazione a velocità e tensione d'indotto nominali	–	–		Si
5	Tensione indotta sul circuito secondario aperto a motore fermo (rotori avvolti) ^c	Si	–		–
6a	Senso di rotazione	Si	Si	–	Si
6b	Sequenza delle fasi	–	–	Si	–
7	Prova di tensione di tenuta secondo 9.2	Si	Si		Si

^a IEC 411-33-04.

^b Ad esclusione delle macchine a magneti permanenti.

^c Per motivi di sicurezza questa prova può essere fatta a tensione ridotta.

^d Le prove 3a e 3b sono in alternativa. Può essere richiesta soltanto una di queste prove.



9.2 Prova di tensione di tenuta

Una tensione di prova, come quella sotto specificata, deve essere applicata tra gli avvolgimenti in prova e la carcassa della macchina, alla quale vanno collegati il nucleo e gli avvolgimenti non in prova. La prova deve essere effettuata solo su una macchina nuova e completa di tutte le sue parti montate in condizioni equivalenti alle normali condizioni di servizio; essa deve essere effettuata presso il costruttore oppure dopo l'installazione sul posto. Quando viene effettuata una prova termica, la prova di tensione di tenuta deve essere eseguita immediatamente dopo.

Nel caso di macchine polifase con tensione nominale superiore a 1 kV, aventi le due estremità di ogni fase singolarmente accessibili, la tensione di prova deve essere applicata tra ogni fase e la carcassa, alla quale vanno collegati il nucleo, le altre fasi e gli avvolgimenti non in prova.

Ad eccezione di quanto sotto specificato, la tensione di prova deve essere a frequenza industriale e di forma praticamente sinusoidale. Il valore finale della tensione deve essere quello indicato nella Tab. 16. Tuttavia, per le macchine con una tensione nominale uguale o superiore a 6 kV, quando non è disponibile l'apparecchiatura per la frequenza industriale, si può effettuare – previo accordo – una prova in tensione continua ad un livello pari a 1,7 volte il valore efficace indicato nella Tab. 16

NOTA È noto che durante la prova in corrente continua, la distribuzione del potenziale di superficie lungo l'isolamento della testata dell'avvolgimento ed i meccanismi di invecchiamento sono diversi da quelli che si verificano durante una prova in corrente alternata.

La prova va iniziata con tensione non superiore alla metà della piena tensione di prova. La tensione va in seguito aumentata fino al valore di prova, in modo continuo o per gradini non superiori al 5 % di tale valore; il tempo permesso per l'aumento della tensione da metà al valore di prova non deve essere inferiore a 10 s. La piena tensione di prova, al valore specificato nella Tab. 16, va quindi mantenuta per 1 min. In questo arco di tempo non deve verificarsi alcun guasto (vedi IEC 60060-1).

Nelle prove individuali su macchine di potenza inferiore o uguale a 200 kW (o kVA) e con tensione nominale $U_N \leq 1\text{kV}$ costruite in serie, la prova di un minuto può essere sostituita con una prova di 1s al 120 % della normale tensione di prova specificata nella Tab. 16.

La prova di tensione di tenuta effettuata a piena tensione sugli avvolgimenti al momento dell'accettazione non deve essere ripetuta. Qualora, tuttavia, si eseguisse una seconda prova su richiesta del cliente, questa va effettuata, dopo un nuovo essiccamento se ritenuto necessario, con tensione di prova pari all'80 % di quella specificata nella Tab. 16.

Per determinare in base alla Tab. 16 la tensione di prova per i motori a c.c. alimentati da convertitori statici di potenza, ci si deve riferire alla tensione continua del motore o al valore efficace della tensione alternata nominale tra le fasi ai morsetti di entrata del convertitore statico di potenza, scegliendo il più grande tra i due valori.

Gli avvolgimenti completamente riavvolti devono essere provati al pieno valore della tensione previsto per le macchine nuove.

Qualora tra un utilizzatore ed un riparatore si convenga di effettuare prove di tensione di tenuta su avvolgimenti parzialmente riavvolti o su una macchina revisionata, si raccomanda di procedere nel modo seguente:

- a) gli avvolgimenti parzialmente riavvolti vanno provati al 75 % della tensione di prova prevista per una macchina nuova. Prima della prova si deve pulire ed essiccare con cura la parte vecchia dell'avvolgimento;
- b) le macchine revisionate vanno sottoposte, dopo pulizia ed essiccamento, ad una prova con tensione uguale a 1,5 volte la tensione nominale, con un minimo di 1 000 V se la tensione nominale è uguale o superiore a 100 V e un minimo di 500 V se la tensione nominale è inferiore a 100 V.

**Tabella 16 – Prove di tensione di tenuta**

Punto	Macchina o parte della macchina	Tensione di prova (valore efficace)
1	Avvolgimenti isolati di macchine rotanti di potenza nominale inferiore a 1 kW (o kVA) e di tensione nominale inferiore a 100 V con l'eccezione di quelli di cui ai punti da 4 a 8.	500 V + due volte la tensione nominale
2	Avvolgimenti isolati di macchine rotanti di potenza nominale inferiore a 10 000 kW (o kVA) ^b con l'eccezione di quelli di cui ai punti da 4 a 8 ^b	1 000 V + due volte la tensione nominale con un minimo di 1 500 V ^a
3	Avvolgimenti isolati di macchine rotanti di potenza nominale uguale o superiore a 10 000 kW (o kVA) con l'eccezione di quelli di cui ai punti da 4 a 8 ^b Tensione nominale ^a : - fino a 24 000 V incluso - oltre 24 000 V	1 000 V + due volte la tensione nominale Soggetta ad accordo
4	Avvolgimenti di eccitazione separata di macchine a corrente continua	1 000 V + due volte la tensione nominale massima di eccitazione con un minimo di 1 500 V
5	Avvolgimenti di eccitazione di generatori sincroni, di motori sincroni e di compensatori sincroni	
5a)	Tensione nominale di eccitazione: - fino a 500 V inclusi, - oltre 500 V.	Dieci volte la tensione nominale di eccitazione con un minimo 1 500 V 4 000 V + due volte la tensione nominale di eccitazione
5b)	Quando una macchina è prevista per essere avviata con l'avvolgimento di eccitazione chiuso in cortocircuito o su una resistenza di valore inferiore a dieci volte la resistenza dell'avvolgimento	Dieci volte la tensione nominale di eccitazione con un minimo di 1 500 V ed un massimo di 3 500 V.
5c)	Quando una macchina è prevista per essere avviata con l'avvolgimento di eccitazione chiuso su una resistenza di valore uguale o superiore a dieci volte la resistenza dell'avvolgimento, oppure con l'avvolgimento di eccitazione lasciato aperto o senza divisori di campo	1 000 V + due volte il valore massimo della tensione efficace, che può verificarsi in speciali condizioni di avviamento, tra i terminali dell'avvolgimento di eccitazione, oppure in caso di avvolgimento di eccitazione sezionabili, tra i terminali di ciascuna sezione, con un minimo di 1 500 V ^c
6	Avvolgimenti secondari (generalmente rotorici) di motori a induzione o motori asincroni sincronizzati se non permanentemente in cortocircuito (per es. se destinati ad avviamenti reostatici)	
6a)	Per motori non reversibili o reversibili solo da fermo	1 000 V + due volte la tensione del circuito secondario aperto, a motore fermo, misurata tra gli anelli di scorrimento o tra i morsetti secondari e con tensione nominale applicata agli avvolgimenti primari
6b)	Per i motori reversibili o che possono essere frenati invertendo l'alimentazione primaria mentre il motore è in funzione	1 000 V + quattro volte la tensione del circuito secondario aperto come definita al punto 6a)



Tabella 16 – (continua)

Punto	Macchina o parte della macchina	Tensione di prova (valore efficace)
7	Eccitatrici (con le eccezioni che seguono)	Come per gli avvolgimenti cui sono collegate
	<i>Eccezione 1:</i> Eccitatrici di motori sincroni (inclusi i motori asincroni sincronizzati) se messe a terra o scollegate dagli avvolgimenti di eccezione durante l'avviamento	1 000 V + due volte la tensione nominale dell'eccitatrice, con un minimo 1 500 V
	<i>Eccezione 2:</i> Avvolgimenti di eccitazione separata delle eccitatrici (vedi punto 4)	
8	Insieme di macchine ed apparecchi elettricamente collegati tra loro	Si dovrebbe evitare, per quanto possibile, la ripetizione delle prove dal punto 1 al punto 7, ma se si effettua una prova su un gruppo di macchine ed apparecchi, ciascuno dei quali abbia già superato la propria prova di tensione di tenuta, la tensione di prova da applicare a un tale insieme elettricamente collegato non deve superare l'80% della più bassa tensione di prova applicabile a ciascuno dei componenti dell'insieme ^d
9	Apparecchiature che sono in contatto fisico con gli avvolgimenti, ad esempio i rilevatori di apparecchiatura, devono essere provati rispetto alla carcassa. Durante le prove di tensione di tenuta della macchina, tutte le apparecchiature in contatto fisico con l'avvolgimento debbono essere connesse alla carcassa.	1 500 V
<p>^a Nel caso di avvolgimenti bifase con un morsetto in comune, la tensione considerata nella formula è la più alta tensione, in valore efficace, che si presenta tra due qualsiasi morsetti durante il funzionamento.</p> <p>^b Le prove di tenuta su macchine a isolamento graduato dovrebbero essere oggetto di accordo.</p> <p>^c La tensione che si stabilisce ai morsetti degli avvolgimenti di eccitazione, o delle loro sezioni, nelle condizioni di avviamento specificate, può essere misurata a una qualsiasi tensione di alimentazione ridotta appropriata, e la tensione così misurata deve essere aumentata nel rapporto tra la tensione di avviamento specificata e la tensione di alimentazione di prova.</p> <p>^d Per gli avvolgimenti di una o più macchine elettricamente collegate assieme, la tensione da considerare è la tensione massima che si stabilisce rispetto alla terra.</p>		

9.3 Sovracorrente occasionale

9.3.1 Generalità

La capacità delle macchine rotanti di sopportare sovracorrenti occasionali è definita a scopo di coordinamento delle macchine con i dispositivi di comando e di protezione. La presente Norma non prescrive prove per dimostrare tale capacità. L'effetto del riscaldamento negli avvolgimenti della macchina varia approssimativamente col prodotto del tempo per il quadrato della corrente. Una corrente superiore alla corrente nominale provoca un aumento di temperatura. Salvo accordi contrari, si può assumere che la macchina sia sottoposta in servizio alle sovracorrenti specificate soltanto per brevi periodi nel corso della sua vita. Se una macchina a corrente alternata deve essere utilizzata sia come generatore sia come motore, la capacità di sopportare sovracorrenti dovrebbe essere oggetto di accordo.

NOTA Per la possibilità delle macchine sincrone di funzionare con occasionale componente di sequenza inversa della corrente in condizioni di guasto, si veda 7.2.3.



9.3.2 Generatori

I generatori a corrente alternata la cui potenza nominale è inferiore o uguale a 1 200 MVA devono essere in grado di sopportare una corrente uguale a 1,5 volte la corrente nominale per almeno 30 s.

I generatori a corrente alternata la cui potenza nominale è superiore a 1 200 MVA devono essere in grado di sopportare una corrente uguale a 1,5 volte la corrente nominale per un periodo di tempo, da concordare, non inferiore comunque a 15 s.

9.3.3 Motori a corrente alternata (eccetto i motori a collettore a lamelle ed a magneti permanenti)

I motori polifase, la cui potenza nominale è inferiore o uguale a 315 kW e la cui tensione nominale è inferiore o uguale a 1 kV, devono essere in grado di sopportare:

- una corrente uguale a 1,5 volte la corrente nominale per almeno 2 min.

NOTA Per i motori polifase con potenza nominale superiore a 315 kW e per tutti i motori monofase, non è specificata alcuna sovracorrente occasionale.

9.3.4 Macchine a collettore a lamelle

Una macchina a collettore a lamelle deve essere in grado di sopportare per 60 s una corrente pari a 1,5 volte la corrente nominale, nella combinazione appropriata delle seguenti condizioni:

a) velocità:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1) motore a corrente continua: | massima velocità a piena eccitazione |
| 2) generatore a corrente continua: | velocità nominale |
| 3) motore a collettore a corrente alternata: | massima velocità a piena eccitazione |

- b) tensione di indotto: quella corrispondente alla velocità specificata.

NOTA È opportuno fare attenzione ai limiti di capacità di comunicazione.

9.4 Eccesso momentaneo di coppia dei motori

9.4.1 Motori a induzione polifase e motori a corrente continua

I motori devono essere in grado, indipendentemente dal loro servizio e dalla loro costruzione, di sopportare per 15 s senza bloccarsi o variare bruscamente la velocità (nel presupposto che l'aumento della coppia resistente avvenga con gradualità), un eccesso di coppia pari ad almeno il 60 % della loro coppia nominale. La tensione e la frequenza (per motori ad induzione) debbono essere mantenute ai loro valori nominali.

NOTA Coppie più elevate sono richieste per alcuni motori costruiti secondo la IEC 60034-12.

Per i motori a corrente continua la coppia deve essere espressa in termini di corrente di sovraccarico.

I motori per il tipo di servizio S9 devono essere in grado di sopportare un eccesso momentaneo di coppia determinato conformemente al servizio specificato.

NOTA Per una determinazione approssimata delle variazioni di temperatura dovute al variare delle perdite in funzione della corrente, può essere utilizzata la costante di tempo termica equivalente, determinata conformemente al paragrafo 8.8.

I motori destinati ad applicazioni particolari, per le quali è richiesta una coppia elevata (ad esempio per gli apparecchi di sollevamento) devono essere oggetto di accordo.



Per i motori ad induzione a gabbia, espressamente progettati per assicurare una corrente di spunto inferiore a 4,5 volte la corrente nominale, l'eccesso di coppia può essere inferiore al valore di 60 % indicato nel primo capoverso, ma non inferiore al 50 %.

Nel caso di motori ad induzione di tipo speciale con particolari proprietà all'avviamento, per esempio motori destinati all'uso a frequenza variabile oppure motori a induzione alimentati da convertitori statici, il valore dell'eccesso di coppia deve essere oggetto di accordo.

9.4.2 Motori sincroni polifase

Salvo accordo contrario, un motore sincrono polifase deve, indipendentemente dal servizio, essere in grado di sopportare per 15 s, senza perdita di sincronismo, l'eccesso di coppia sotto specificato, con l'eccitazione mantenuta al valore corrispondente al carico nominale. Nel caso di regolazione automatica della eccitazione, i limiti di coppia devono avere gli stessi valori, con il sistema di eccitazione funzionante nelle condizioni normali:

- motori asincroni sincronizzati (a rotore avvolto): eccesso di coppia 35 %;
- motori sincroni (a rotore cilindrico): eccesso di coppia 35 %;
- motori sincroni (a poli salienti): eccesso di coppia 50 %;

9.4.3 Altri motori

L'eccesso momentaneo di coppia dei motori monofase, a collettore e di altro tipo, deve essere oggetto di accordo

9.5 Coppia minima durante l'avviamento

Salvo quando diversamente specificato (ad es. per macchine conformi alle IEC 60034-12), la coppia minima durante l'avviamento a piena tensione dei motori ad induzione a gabbia non deve essere inferiore a 0,3 volte la coppia nominale.

9.6 Velocità di funzionamento sicuro di motori ad induzione a gabbia

Tutti i motori trifase a induzione a gabbia di grandezza inferiore o uguale a 315 e per tensioni inferiori o uguali a 1 000 V devono essere in grado di funzionare in modo continuo sicuro a velocità inferiori o uguali alla velocità appropriata indicata nella Tab. 17, se non diversamente specificato nei dati di targa.

Tabella 17 – Massima velocità di funzionamento sicuro (min^{-1}) dei motori trifase ad induzione a gabbia ad una sola velocità per tensioni inferiori o uguali a 1 000 V

Grandezza di carcassa	2 poli	4 poli	6 poli
≤ 100	5 200	3 600	2 400
112	5 200	3 600	2 400
132	4 500	2 700	2 400
160	4 500	2 700	2 400
180	4 500	2 700	2 400
200	4 500	2 300	1 800
225	3 600	2 300	1 800
250	3 600	2 300	1 800
280	3 600	2 300	1 800
315	3 600	2 300	1 800
NOTA I valori sopraindicati possono essere ridotti per soddisfare le prescrizioni della IEC 60079 [8].			

NOTA Quando si opera a velocità superiore alla nominale, ad esempio quando si utilizzino comandi di velocità regolabili, i livelli di rumore e vibrazioni aumenteranno. L'utilizzatore può ritenere necessario un affinamento dell'equilibratura del rotore per un funzionamento accettabile a velocità superiori alla nominale. La durata di vita dei cuscinetti può risultarne ridotta. Si dovrebbe prestare attenzione alla periodicità delle operazioni di ingrassaggio ed alla durata di vita del grasso.



9.7 Sovravelocità

Le macchine devono essere progettate per sopportare le velocità specificate nella Tab. 18.

Una prova di sovravelocità non è normalmente considerata necessaria, ma può essere effettuata quando sia stata specificata e concordata. (Per i turboalternatori si veda anche la IEC 60034-3.) La prova di sovravelocità deve essere considerata soddisfacente se a seguito di questa prova non si manifestano deformazioni anormali permanenti, né altri segni di cedimento in grado di impedire il normale funzionamento della macchina e se gli avvolgimenti rotorici soddisfano, dopo tale prova, le prove di rigidità dielettrica specificate. La durata di qualsiasi prova di sovravelocità deve essere di 2 min.

A causa dell'assestamento dei giochi rotorici laminati, dei poli laminati, incastrati o imbullonati ecc., può risultare normale un lieve aumento permanente del diametro, questo aumento non deve essere considerato come una deformazione anormale, indice del fatto che la macchina non è più in grado di funzionare normalmente.

Durante le prove di messa in servizio di un generatore sincrono accoppiato ad una turbina idraulica, la macchina deve essere portata alla massima velocità raggiungibile in presenza della protezione contro la sovravelocità, al fine di verificare che l'equilibratura sia soddisfacente fino a questa velocità.

Tabella 18 – Sovravelocità

Punto	Tipo di macchina	Sovravelocità
1	Macchine a corrente alternata Tutte le macchine diverse da quelle sotto specificate	1,2 volte la velocità nominale massima
1a)	Generatori azionati da turbine idrauliche, ed ogni macchina ausiliaria collegata direttamente (elettricamente o meccanicamente) alla macchina principale	Se non diversamente specificato la velocità di fuga del gruppo, ma non meno di 1,2 volte la velocità nominale massima
1b)	Macchine che possono, in certe circostanze, essere trascinate dal carico	La velocità di fuga del gruppo specificata, ma non meno di 1,2 volte la velocità nominale massima
1c)	Motori serie e motori universali	1,1 volte la velocità a vuoto alla tensione nominale. Per i motori integralmente accoppiati al carico in modo tale da non essere accidentalmente scollegati, l'espressione velocità a vuoto deve essere interpretata come la velocità corrispondente al minimo carico possibile
1d)	Motori trifase a induzione a gabbia conformi a 9.6	1,2 volte la velocità massima di funzionamento sicuro
2	Macchine a corrente continua	
2a)	Motori a eccitazione in derivazione e a eccitazione separata	1,2 volte la velocità nominale massima o 1,15 volte la velocità a vuoto corrispondente, si sceglie il valore più grande
2b)	Motori a eccitazione composta aventi una variazione di velocità inferiore o uguale al 35 %	1,2 volte la velocità nominale massima o 1,15 volte la velocità a vuoto corrispondente, si sceglie il valore più grande ma senza superare di 1,5 volte la velocità nominale massima
2c)	Motori a eccitazione composta aventi una variazione di velocità uguale o superiore al 35 %	Il costruttore deve definire una velocità massima di funzionamento, legata alla sicurezza, che deve essere indicata sulla targa. La sovravelocità di questi motori deve essere uguale a 1,1 volte questa velocità massima di funzionamento sicuro. Questa indicazione non è richiesta su motori in grado di sostenere una sovravelocità pari a 1,1 volte la velocità a vuoto alla tensione nominale
2d)	Motori eccitati mediante magneti permanenti	Sovravelocità specificate per il punto 2a) salvo quando il motore abbia un avvolgimento in serie; in questo caso deve poter sopportare le sovravelocità specificate per i punti 2b) o 2c) per quanto applicabili
2e)	Generatori	1,2 volte la velocità nominale



9.8 Corrente di cortocircuito delle macchine sincrone

Se non diversamente specificato, il valore di picco della corrente di cortocircuito delle macchine sincrone, compresi i turboalternatori non considerati nella IEC 60034-3, in caso di cortocircuito su tutte le fasi durante il funzionamento alla tensione nominale non deve superare 15 volte il valore di picco massimo oppure 21 volte il valore efficace della corrente nominale.

La verifica può essere effettuata mediante calcolo o con una prova ad una tensione almeno uguale o superiore a 0,5 volte la tensione nominale.

9.9 Prova di tenuta al cortocircuito delle macchine sincrone

La prova di cortocircuito trifase per le macchine sincrone deve essere effettuata solo su richiesta dell'acquirente. In questo caso la prova deve essere effettuata sulla macchina in rotazione a vuoto con una eccitazione corrispondente alla tensione nominale, salvo accordo contrario. La prova non deve essere effettuata con una eccitazione superiore a quella corrispondente a 1,05 volte la tensione nominale a vuoto.

L'eccitazione di prova così determinata può essere ridotta in base ad accordo per tener conto dell'impedenza del trasformatore che può essere interposto tra la macchina e la rete. In quest' ultimo caso può anche essere concordato che la prova sia effettuata sul luogo di funzionamento con il dispositivo di sovraeccitazione in servizio. Il cortocircuito deve essere mantenuto per 3 s.

La prova è da considerarsi soddisfacente se non si produce alcuna deformazione dannosa e se le prescrizioni della prova di tensione applicata (vedere Tab. 16) vengono soddisfatte dopo la prova di cortocircuito. Per i turboalternatori trifase si veda la IEC 60034-3.

9.10 Prova di commutazione per macchine a collettore

Una macchina a collettore a corrente continua o a corrente alternata deve essere in grado di funzionare da vuoto a carico con la sovracorrente o l'eccesso di coppia, rispettivamente specificati in 9.3 e 9.4, senza danni permanenti alla superficie del collettore o delle spazzole e senza scintillii dannosi, mantenendo le spazzole nella stessa posizione. Se possibile, la prova di commutazione deve essere eseguita a caldo.

9.11 Distorsione armonica totale (*THD*) per macchine sincrone

9.11.1 Generalità

Le prescrizioni della presente sezione si applicano soltanto alle macchine sincrone di potenza nominale uguale o superiore a 300 kW (o kVA) destinate ad essere collegate a reti di frequenza nominale compresa fra $16\frac{2}{3}$ Hz e 100 Hz inclusi, allo scopo di ridurre al minimo le interferenze causate dalle macchine.

9.11.2 Limiti

Quando venga misurata a circuito aperto alla velocità ed alla tensione nominali, la distorsione armonica totale (*THD*) della tensione tra i morsetti di fase, misurata conformemente ai metodi descritti in 9.11.3, non deve superare il 5 %.

NOTA Non vengono specificati valori limite per le singole armoniche poiché si ritiene che le macchine che soddisfano le condizioni sopra indicate funzionino in modo soddisfacente.



9.11.3 Prove

Le macchine a corrente alternata devono essere sottoposte a prove di tipo allo scopo di verificare la loro conformità al paragrafo 9.11.2. La gamma delle frequenze misurate deve coprire tutte le armoniche dalla frequenza nominale sino alla 100^{ma} armonica.

Si può misurare direttamente il valore del *THD* per mezzo di uno strumento di misura associato ad un circuito preparato appositamente per questo scopo, oppure misurare ogni singola armonica e calcolare il *THD* a partire dai valori misurati, mediante la seguente formula:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^k u_n^2}$$

dove

u_n è il rapporto tra la tensione ai morsetti di fase U_n della macchina e la tensione fondamentale ai morsetti di fase U_1 della macchina;

n è l'ordine dell'armonica;

$k = 100$.

10 Targhe

10.1 Generalità

Tutte le macchine elettriche devono essere provviste di una o più targhe. Le targhe devono essere di materiale durevole ed essere saldamente fissate. La scritta deve essere effettuata con inchiostro permanente.

Le targhe devono essere fissate preferibilmente sulla carcassa della macchina ed essere disposte in modo da risultare facilmente leggibili nella posizione d'uso determinata dal tipo di costruzione e di installazione della macchina. Se la macchina elettrica fa parte di un'apparecchiatura o vi è incorporata in modo tale che la sua targa non risulti facilmente leggibile, il costruttore deve fornire, su richiesta, una seconda targa da fissare sull'apparecchiatura.

10.2 Marcatura sulle targhe

Per macchine con potenze nominali fino a 750 W (o VA) inclusi con dimensioni non trattate dalla IEC 60072 devono essere riportati almeno i dati di cui ai punti a, b, k, l e z sottoindicati. Per macchine speciali e incorporate con potenze nominali fino a 3 kW (o kVA) inclusi devono essere riportati almeno i dati di cui ai punti a, b, k, ed l mentre il punto z potrà essere realizzato in altra forma.

In tutti gli altri casi la targa (o le targhe) deve/devono riportare in modo durevole i dati della lista sotto riportata che risultino appropriati. Non occorre che tutti i dati figurino sulla stessa targa. I simboli letterali delle unità e grandezze devono essere conformi alla IEC 60027-1 e alla IEC 60027-4.

Se il costruttore dà più informazioni, non occorre che queste siano necessariamente riportate sulla/e targa/ghe.



I dati sono stati numerati per comodità di riferimento, ma l'ordine in cui disporli sulla/e targa/ghe non è normalizzato. I dati possono essere raggruppati nel modo più opportuno.

- a) Nome o marchio del costruttore.
- b) Numero di serie stabilito dal costruttore o marcatura di identificazione.

NOTA Si può usare un'unica marcatura di identificazione per identificare ciascuna unità di un gruppo di macchine costruite secondo un unico progetto elettrico e meccanico ed in un unico lotto utilizzando la stessa tecnologia

- c) Informazioni per identificare l'anno di costruzione. Queste devono essere riportate sulla targa o essere indicate su un foglio dati separato che deve essere fornito con la macchina.

NOTA Se questa informazione si può ottenere dal costruttore citando i dati specificati al punto b, essa può essere omessa sia dalla targa sia dal foglio dati separato.

- d) Codice della macchina stabilito dal costruttore.
- e) Per macchine a corrente alternata, numero delle fasi.
- f) Numero/i della/e Norma/e relativa/e alle caratteristiche nominali e di funzionamento applicabili (IEC 60034-X e/o Norma/e nazionale/i equivalente/i). Se è indicata la IEC 60034, questo implica conformità a tutte le relative Norme della serie IEC 60034.
- g) Grado di protezione realizzato dal progetto globale della macchina (codice IP) conformemente alla IEC 60034-5.
- h) Per i motori che rientrano nel campo di applicazione della IEC 60034-30, la classe di rendimento (codice IE) e il rendimento nominale specificati nella IEC 60034-30.
- i) Classificazione termica e limite di temperatura o sovratemperatura (quando inferiore a quello della classificazione termica) e, se necessario, il metodo di misura, seguito, nel caso di una macchina con scambiatore di calore raffreddato ad acqua, da "P" o "S", a seconda che la sovratemperatura sia misurata rispetto al fluido refrigerante primario o secondario (vedere 8.2). Questa informazione deve essere fornita sia per lo statore che per il rotore (separate da una barra obliqua) quando la loro classificazione termica è diversa.
- j) Classe/i di caratteristiche nominali della macchina se progettata per caratteristiche nominali diverse dal tipo di servizio continuo S1, vedi 5.2.
- k) Potenza/e nominale/i o gamma di potenze nominali.
- l) Tensione/i nominale/i o gamma di tensioni nominali.
- m) Per le macchine a corrente alternata, la frequenza nominale o la gamma delle frequenze nominali.

Per i motori universali, la frequenza nominale deve essere seguita dal simbolo appropriato:

ad es. $\sim 50 \text{ Hz}$ / $\overline{\text{---}}$ oppure c.a. 50 Hz/c.c.

- n) Per le macchine sincrone eccitate da magneti permanenti, la tensione a circuito aperto alla velocità nominale.
- o) Corrente/i nominale/i o gamma delle correnti nominali.
- p) Velocità nominale/i o gamma delle velocità nominali.
- q) Sovravelocità ammissibile, se diversa da quella specificata in 9.7
oppure

la velocità massima di funzionamento sicuro se inferiore a quella specificata in 9.6 oppure se la macchina è progettata specificatamente per il funzionamento a velocità variabile.



- r) Per le macchine a corrente continua ad eccitazione separata o ad eccitazione derivata e per le macchine sincrone, la tensione e la corrente nominali di eccitazione.
- s) Per le macchine a corrente alternata, fattore/i di potenza nominale/i.
- t) Per le macchine ad induzione a rotore avvolto, la tensione tra gli anelli a circuito aperto e la corrente rotorica nominale.
- u) Per i motori a corrente continua con indotti destinati ad essere alimentati da convertitori statici di potenza, il codice di identificazione del convertitore statico conformemente alla IEC 60971. In alternativa per motori che non superano i 5 kW, il fattore di forma nominale e tensione alternata nominale ai morsetti di ingresso del convertitore statico, quando questa supera la tensione continua nominale dell'indotto del motore.
- v) Massima temperatura ambiente, se diversa da 40 °C.
Massima temperatura dell'acqua, se diversa da 25 °C.
- w) Minima temperatura ambiente, se diversa da quella specificata in 6.4.
- x) Altitudine per cui la macchina è progettata (se supera i 1 000 m sul livello del mare).
- y) Per le macchine raffreddate ad idrogeno, la pressione dell'idrogeno alla potenza nominale.
- z) Quando specificato, massa totale approssimativa della macchina, se superiore a 30 kg.
- aa) Per macchine adatte a funzionare con un solo senso di rotazione, la direzione di rotazione, indicata da una freccia. Non è necessario che la freccia sia sulla targa, ma deve essere in posizione facilmente visibile
- bb) Le istruzioni per la connessione in accordo con le IEC 60034-8 mediante uno schema o un testo forniti vicino alla morsettiera.


Due differenti valori nominali devono essere indicati con X/Y e una gamma di valori nominali deve essere indicata con X-Y (vedi IEC 61293).

Salvo che per la normale manutenzione, se l'avvolgimento di una macchina è stato parzialmente o totalmente riparato o cambiato da altri che non sia il costruttore, deve essere prevista una targa addizionale che indichi il nome del riparatore, l'anno della riparazione e le modifiche apportate.

11 Prescrizioni diverse

11.1 Messa a terra di protezione delle macchine

Le macchine devono essere munite di un morsetto di messa a terra o di altro dispositivo che permetta il collegamento ad un conduttore di protezione o ad un conduttore di terra.

Tale dispositivo deve essere identificato mediante il simbolo  o con l'indicazione appropriata. Tuttavia le macchine non debbono essere messe a terra né provviste di morsetto di messa a terra se:

- a) sono provviste di un isolamento supplementare o;
- b) sono destinate all'installazione in apparecchi con isolamento supplementare o;
- c) hanno tensioni nominali inferiori od uguali a 50 V in corrente alternata o 120 V in corrente continua e sono previste per funzionamento in circuiti SELV.

NOTA Il termine SELV è definito nella IEC 60884-2-4.



Nel caso di macchine con tensione nominale superiore a 50 V in corrente alternata o 120 V in corrente continua, ma non superiore a 1 000 V in corrente alternata o 1 500 V in corrente continua, il morsetto del conduttore di terra deve essere posto in prossimità dei morsetti dei conduttori di linea, all'interno dell'eventuale morsettiera. Le macchine di potenza nominale superiore a 100 kW (o kVA) devono, inoltre, avere un morsetto di terra fissato sulla carcassa.

Le macchine con tensione nominale superiore a 1 000 V in corrente alternata o 1 500 V in corrente continua, devono avere un morsetto di terra sulla carcassa, ad esempio una linguetta di ferro, ed inoltre un mezzo per collegare all'interno della morsettiera l'eventuale guaina metallica del cavo conduttore.

Il morsetto di terra deve essere realizzato in modo da assicurare una buona connessione al conduttore di terra senza deterioramento del conduttore o del morsetto. Le parti conduttrici accessibili, che non siano parti del circuito di funzionamento, devono avere fra di loro e con il morsetto di terra un buon collegamento elettrico. Quando in una macchina siano isolati tutti i cuscinetti e l'avvolgimento rotorico, l'albero deve essere elettricamente connesso al morsetto di terra, salvo nel caso in cui il costruttore e l'acquirente concordino un diverso sistema di protezione.

Quando un morsetto di terra è previsto all'interno della morsettiera, si deve presumere che il conduttore di terra sia dello stesso metallo dei conduttori di linea.

Quando un morsetto di terra è previsto sulla carcassa, il conduttore di terra può, su accordo delle parti, essere di metallo differente (ad esempio acciaio). In questo caso, progettando il morsetto di terra si deve tenere conto della conduttività del conduttore.

Il morsetto di terra deve essere progettato in modo da permettere il collegamento di un conduttore di terra la cui sezione sia in accordo con la Tabella 19. Nel caso sia utilizzato un conduttore di terra più grande di quello indicato nella tabella, si raccomanda che la sua sezione corrisponda quanto più possibile ad una delle altre sezioni indicate.

Per altre sezioni dei conduttori di fase, il conduttore di terra o di protezione deve avere una sezione almeno equivalente a:

- quella del conduttore di fase per sezioni minori di 25 mm²;
- 25 mm², per sezioni fra 25 mm² e 50 mm²;
- 50 % di quella del conduttore di fase, per sezioni superiori a 50 mm².

Il morsetto di terra deve essere contraddistinto in accordo con la IEC 60445.

**Tabella 19 – Sezione dei conduttori di terra**

Sezione del conduttore di fase mm ²	Sezione del conduttore di terra o di protezione mm ²
4	4
6	6
10	10
16	16
25	25
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

11.2 Chiavetta(e) d'estremità d'albero

Quando l'estremità d'albero di una macchina è provvista di una o più sedi di chiavetta, ciascuna di essa deve essere fornita di una chiavetta intera di forma e lunghezza normali.

12 Tolleranze

12.1 Generalità

La tolleranza è lo scostamento massimo consentito tra i risultati di prova di una grandezza della Tab. 20 e il valore dichiarato sui dati di targa o del catalogo. Finchè vengono utilizzate procedure ed apparecchiature di prova conformi alle Norme IEC, i risultati di prova non devono superare lo scostamento consentito indipendentemente dal laboratorio di prova o dall'apparecchiatura. La tolleranza non copre l'incertezza dovuta ad una procedura di prova, cioè lo scostamento tra il risultato di prova e il valore reale.

NOTA In caso di produzione in serie, la tolleranza si applica ad un qualsiasi campione scelto, cioè comprende le variazioni delle proprietà del materiale grezzo e delle procedure di lavorazione.

12.2 Tolleranze sui valori di grandezza

Se non diversamente indicato, le tolleranze sui valori dichiarati devono essere quelle specificate nella Tab. 20.

**Tabella 20 – Elenco delle tolleranze sui valori delle grandezze**

Punto	Grandezza	Tolleranza
1	Rendimento η – macchine di potenza inferiore o uguale a 150 kW (o kVA) – macchine di potenza oltre 150 kW (o kVA)	–15 % di $(1 - \eta)$ –10 % di $(1 - \eta)$
2	Perdite totali (applicabile alle macchine con potenza nominale >150 kW o kVA)	+10 % delle perdite totali
3	Fattore di potenza, $\cos \phi$, per le macchine a induzione	–1/6 $(1 - \cos \phi)$ Valore minimo assoluto 0,2 Valore massimo assoluto 0,07
4	Velocità dei motori a corrente continua (a pieno carico ed alla temperatura di esercizio) ^a	
4a)	Motori shunt e ad eccitazione separata	$1\,000\, P_N/n_N < 0,67$ $\pm 15\%$ $0,67 \leq 1\,000\, P_N/n_N < 2,5$ $\pm 10\%$ $2,5 \leq 1\,000\, P_N/n_N < 10$ $\pm 7,5\%$ $10 \leq 1\,000\, P_N/n_N$ $\pm 5\%$
4b)	Motori serie	$1\,000\, P_N/n_N < 0,67$ $\pm 20\%$ $0,67 \leq 1\,000\, P_N/n_N < 2,5$ $\pm 15\%$ $2,5 \leq 1\,000\, P_N/n_N < 10$ $\pm 10\%$ $10 \leq 1\,000\, P_N/n_N$ $\pm 7,5\%$
4c)	Motori ad eccitazione composta	Stesse tolleranze del punto 4b), se non diversamente concordato
5	Variazione di velocità di motori a corrente continua shunt e ad eccitazione composta (da carico nullo a pieno carico)	$\pm 20\%$ della variazione con un minimo di $\pm 2\%$ della velocità nominale
6	Variazione intrinseca della tensione dei generatori a corrente continua, ad eccitazione shunt o separata, in qualsiasi punto della caratteristica	$\pm 20\%$ della variazione in quel punto
7	Variazione intrinseca della tensione di generatori ad eccitazione composta (al fattore di potenza nominale nel caso di corrente alternata)	$\pm 20\%$ della variazione con un minimo di $\pm 3\%$ della tensione nominale. (Questa tolleranza si applica allo scarto massimo a qualsiasi carico tra la tensione osservata a quel carico e la linea retta tracciata tra i punti della tensione a vuoto e a pieno carico)
8 a)	Scorrimento dei motori ad induzione (a pieno carico e alla temperatura di esercizio) $P_N < 1\text{ kW}$ $P_N \geq 1\text{ kW}$	$\pm 30\%$ dello scorrimento $\pm 20\%$ dello scorrimento
8 b)	Velocità di motori (a collettore) a corrente alternata con caratteristiche shunt (a pieno carico ed alla temperatura di esercizio)	– a velocità massima: –3 % dello scorrimento – a velocità minima: +3 % della velocità di sincronismo
9	Corrente a rotore bloccato dei motori a induzione a gabbia con tutti i dispositivi di avviamento specificati	+20 % della corrente
10	Coppia a rotore bloccato dei motori a induzione a gabbia	+25 –15 % della coppia (+25 % può essere superato in base ad accordo)



Tabella 20 (continua)

Punto	Grandezza	Tolleranza
11	Coppia di insellamento dei motori a induzione	-15 % del valore
12	Coppia massima dei motori a induzione	-10 % della coppia con l'eccezione che con l'applicazione di questa tolleranza la coppia resti uguale o superiore a 1,6 o 1,5 volte la coppia nominale, vedi 9.4.1
13	Corrente a rotore bloccato dei motori sincroni	+ 20 % del valore
14	Coppia a rotore bloccato dei motori sincroni	+25 -15 % del valore (+25 % può essere superato in base ad accordo)
15	Coppia di uscita dal sincronismo dei motori sincroni	-10 % del valore con l'eccezione che con l'applicazione di questa tolleranza la coppia resti uguale o superiore a 1,35 o 1,5 volte la coppia nominale, vedi 9.4.2
16	Valore di picco della corrente di cortocircuito di un alternatore nelle condizioni specificate	±30 % del valore
17	Corrente di cortocircuito permanente di un alternatore con eccitazione specificata	±15 % del valore
18	Momento di inerzia	±10 % del valore
NOTA Quando si specifica una tolleranza in un solo senso, il valore non ha limiti nell'altro senso		
^a Le tolleranze indicate al punto 4 dipendono dal rapporto tra la potenza nominale P_N in kW e la velocità nominale in min^{-1} .		

13 Compatibilità elettromagnetica (EMC)

13.1 Generalità

Le prescrizioni che seguono si applicano alle macchine elettriche rotanti con tensione nominale non superiore a 1 000 V (corrente alternata) o 1 500 V (corrente continua) e destinate a funzionare in ambienti industriali.

I componenti elettronici montati all'interno della macchina elettrica rotante ed essenziali per il suo funzionamento (per esempio i dispositivi di eccitazione rotanti) sono parte della macchina.

Le prescrizioni applicabili all'azionamento elettrico finale ed ai suoi componenti, per es. all'apparecchiatura elettronica di potenza e di controllo, alle macchine accoppiate, ai dispositivi di monitoraggio ecc., montati internamente o esternamente alla macchina, non rientrano nel campo di applicazione della presente Norma.

Le prescrizioni di questo articolo si applicano alle macchine fornite direttamente all'utente finale.

NOTA Le macchine destinate ad essere incorporate come componenti in un apparato il cui involucro ed assemblaggio finali influenzino le emissioni EMC, sono soggette alle norme MC relative al prodotto finale.

I transistori (quale l'avviamento) non sono coperti dal presente articolo.



13.2 Immunità

13.2.1 Macchine che non incorporano circuiti elettronici

Le macchine prive di circuiti elettronici non sono sensibili alle emissioni elettromagnetiche nelle normali condizioni di funzionamento e, pertanto, non sono richieste prove di immunità.

13.2.2 Macchine che incorporano circuiti elettronici

Poiché i circuiti elettronici incorporati nelle macchine utilizzano generalmente componenti passivi (come per esempio diodi, resistenze, varistori, condensatori, soppressori d'impulsi, induttanze), non sono richieste prove di immunità.

13.3 Emissione

13.3.1 Macchine senza spazzole

Le emissioni irradiate e condotte debbono rispettare le prescrizioni della Pubblicazione CISPR 11, Classe B, Gruppo 1, vedi Tabella B.1.

13.3.2 Macchine con spazzole

Le emissioni irradiate e condotte (ove applicabili) debbono rispettare le prescrizioni della Pubblicazione CISPR 11, Classe A, Gruppo 1, vedi Tabella B.2.

AVVERTENZA: Le apparecchiature di Classe A sono destinate all'uso in ambiente industriale. Nella documentazione per l'utilizzatore, deve essere inclusa una dichiarazione che richiami l'attenzione sul fatto che possono esserci potenziali difficoltà nell'assicurare la compatibilità elettromagnetica in altri ambienti, a causa dei disturbi condotti e/o irradiati.

13.4 Prove di immunità

Non sono richieste prove di immunità.

13.5 Prove di emissione

Le prove di tipo debbono essere effettuate in conformità alle Pubblicazioni CISPR 11, CISPR 14 e CISPR 16, per quanto applicabili.

13.5.1 Macchine senza spazzole

Le macchine senza spazzole debbono rispettare i limiti di emissione indicati in 13.3.1.

NOTA Le emissioni provenienti da motori asincroni a gabbia sono sempre così basse da non necessitare di prove.

13.5.2 Macchine con spazzole

Le macchine con spazzole, quando provate a vuoto, debbono rispettare i limiti di emissione indicati in 13.3.2.

NOTA 1 La misura a vuoto è giustificata dalla trascurabile influenza del carico sull'emissione.

NOTA 2 Non esistono emissioni condotte provenienti da macchine a corrente continua in quanto esse non sono direttamente collegate all'alimentazione a corrente alternata.

NOTA 3 Le emissioni delle spazzole di messa a terra sono sempre talmente basse che non è necessario effettuare alcuna prova.



14 Sicurezza

Le macchine rotanti conformi alla presente Norma devono soddisfare le prescrizioni della IEC 60204-1 o della IEC 6024-11 o, nel caso di macchine rotanti incorporate in apparecchi elettrodomestici e simili, della IEC 60335-1, secondo il caso, salvo quando diversamente specificato nella presente Norma, ed essere progettate e costruite, nella misura del possibile, secondo le migliori regole di progetto accettate a livello internazionale, appropriate all'applicazione.

NOTA È responsabilità del costruttore o dell'assemblatore dell'apparecchiatura che incorpora macchine elettriche come componenti per garantire la sicurezza dell'apparecchiatura completa.

Questo può implicare di prendere in considerazione le relative norme di prodotto quali ad esempio:

la IEC 60079 (tutte le parti): Explosive atmospheres [8],

ed altre parti della serie IEC 60034, comprese le:

IEC 60034-5, IEC 60034-6 [1], IEC 60034-7 [2], IEC 60034-8, IEC 60034-9 [3], IEC 60034-11 [4], IEC 60034-12 e IEC 60034-14 [5].

Inoltre può essere necessario prendere in considerazione la limitazione della temperatura superficiale e caratteristiche analoghe; si veda per es. l'art. 11: Riscaldamento, della IEC 60335-1.



Allegato A (informativo)

Guida per l'applicazione del tipo di servizio S10 e per la determinazione del valore relativo TL di vita termica attesa

A.1 Il carico della macchina è, in ogni istante, equivalente al tipo di servizio S1 come definito in 4.2.1. Tuttavia il ciclo di carico può comprendere carichi diversi dal carico nominale basato sul tipo di servizio S1. Un ciclo di carico non può comprendere più di quattro carichi distinti costanti, vedi Fig. 10.

A.2 Il valore relativo di vita termica attesa della macchina basato sull'invecchiamento termico del sistema di isolamento può essere calcolato, in funzione del valore e della durata dei vari carichi compresi in un ciclo, mediante la seguente equazione:

$$\frac{1}{TL} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \times 2^{\frac{\Delta \Theta_i}{k}}$$

dove:

TL è la vita termica attesa espressa in valore relativo rispetto alla vita termica attesa nel caso di tipo di servizio S1 con potenza nominale;

$\Delta \Theta_i$ è la differenza tra la sovratemperatura dell'avvolgimento durante ciascuno dei vari carichi entro un ciclo e la sovratemperatura ammissibile basata sul tipo di servizio S1 con carico di riferimento;

Δt_i è la durata, espressa in p.u., di un carico costante entro un ciclo di carico;

k è l'incremento di sovratemperatura, espresso in K, cui corrisponde una riduzione pari al 50 % della vita termica attesa del sistema di isolamento;

n è il numero dei valori distinti di carico.

A.3 Il valore di TL è parte integrante dell'indicazione precisa della classe di caratteristiche nominali.

A.4 Il valore di TL può essere determinato solo quando, oltre alle informazioni sul ciclo di carico secondo la Fig. 10, si conosca il valore k per il sistema di isolamento. Tale valore k deve essere determinato in via sperimentale, conformemente alla IEC 60034-18, per l'intera gamma di temperature relativa al ciclo di carico di cui alla figura 10.

A.5 TL può essere ragionevolmente determinato soltanto come valore relativo. Questo valore può essere utilizzato per valutare, in modo approssimato, la reale variazione di vita termica attesa della macchina rispetto a quella che si avrebbe con un tipo di servizio S1 con potenza nominale, dal momento che si può supporre che in un ciclo ove siano presenti carichi di differente entità l'incidenza dei restanti fattori sulla vita della macchina (per es. sollecitazioni dielettriche, condizioni ambientali) sia approssimativamente invariata rispetto al caso del tipo di servizio S1 con potenza nominale.

A.6 Il costruttore della macchina è responsabile della corretta indicazione dei vari parametri che servono a determinare il valore di TL .



Allegato B (informativo)

Limiti di compatibilità elettromagnetica (EMC)

Tabella B.1 – Limiti di emissione per macchine senza spazzole

	Gamma di frequenza	Valori limite
Disturbi irradiati	da 30 MHz a 230 MHz	30 dB(μ V/m) quasi picco, misurato a 10 m di distanza (Nota 1)
	da 230 MHz a 1 000 MHz	37 dB(μ V/m) quasi picco, misurato a 10 m di distanza (Nota 1)
Disturbi condotti ai morsetti di alimentazione in corrente alternata	da 0,15 MHz a 0,50 MHz I valori limite decrescono in modo proporzionale al logaritmo della frequenza	da 66 dB(μ V) a 56 dB(μ V) quasi picco da 56 dB(μ V) a 46 dB(μ V) valore medio
	da 0,50 MHz a 5 MHz	56 dB(μ V) quasi picco 46 dB(μ V) valore medio
	da 5 MHz a 30 MHz	60 dB(μ V) quasi picco 50 dB(μ V) valore medio
NOTA 1 Si può misurare a 3 m di distanza utilizzando i valori limite aumentati di 10 dB.		
NOTA 2 I limiti di emissione sono tratti dalla Pubblicazione CISPR 11, Classe B, Gruppo 1.		

Tabella B.2 - Limiti di emissione per macchine con spazzole

	Gamma di frequenza	Valori limite
Disturbi irradiati	da 30 MHz a 230 MHz	30 dB(μ V/m) quasi picco, misurato a 30 m di distanza (Nota 1)
	da 230 MHz a 1 000 MHz	37 dB(μ V/m) quasi picco, misurato a 30 m di distanza (Nota 1)
Disturbi condotti ai morsetti di alimentazione in corrente alternata	da 0,15 MHz a 0,50 MHz	79 dB(μ V) quasi picco 66 dB(μ V) valore medio e
	da 0,50 MHz a 30 MHz	73 dB(μ V) quasi picco 60 dB(μ V) valore medio
NOTA 1 Si può misurare a 10 m di distanza utilizzando i valori limite aumentati di 10 dB o ad una distanza di 3 m con un aumento di 20 dB.		
NOTA 2 I limiti di emissione sono tratti dalla Pubblicazione CISPR 11, Classe B, Gruppo 1.		



Bibliografia

- [1] IEC 60034-6¹⁾, *Rotating electrical machines – Part 6: Methods of cooling (IC code)*
- [2] IEC 60034-7²⁾, *Rotating electrical machines – Part 7: Classification of types of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM code)*
- [3] IEC 60034-9³⁾, *Rotating electrical machines – Part 9: Noise limits*
- [4] IEC 60034-11⁴⁾, *Rotating electrical machines – Part 11: Thermal protection*
- [5] IEC 60034-14⁵⁾, *Rotating electrical machines – Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher – Measurement, evaluation and limits of vibration severity*
- [6] IEC 60034-29⁶⁾, *Rotating electrical machines – Part 29: Equivalent loading and superposition techniques – Indirect testing to determine temperature rise*
- [7] IEC 60050-811:1991, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 811: Electric traction*
- [8] IEC 60079⁷⁾ (tutte le parti), *Explosive atmospheres*
- [9] IEC 60092 (tutte le parti), *Electrical installations in ships*
- [10] IEC 60349⁸⁾ (tutte le parti), *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles*

1) NOTA Armonizzata come EN 60034-6.

2) NOTA Armonizzata come EN 60034-7.

3) NOTA Armonizzata come EN 60034-9.

4) NOTA Armonizzata come EN 60034-11.

5) NOTA Armonizzata come EN 60034-14.

6) NOTA Armonizzata come EN 60034-29.

7) NOTA Armonizzata come serie EN 60079 (parzialmente modificata).

8) NOTA Armonizzata come serie EN 60349 (parzialmente modificata).



Allegato ZA (normativo)

Riferimenti normativi alle Pubblicazioni Internazionali con le corrispondenti Pubblicazioni Europee

I documenti normativi sottoelencati sono indispensabili per l'applicazione del presente documento. In caso di riferimenti datati, si applicano solo le edizioni citate. In caso di riferimenti non datati, si applica l'ultima edizione della Pubblicazione indicata (Modifiche incluse).

NOTA Quando la Pubblicazione Internazionale è stata modificata da modifiche comuni CENELEC, indicate con (mod), si applica la corrispondente EN/HD.

<u>Pubblicazione</u>	<u>Anno</u>	<u>Titolo</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Anno</u>	<u>Norma CEI</u>
IEC 60027-1	–	Simboli letterali da usare in elettrotecnica Parte 1: Generalità	EN 60027-1	–	25-7
IEC 60027-4	-	Parte 4: Simboli delle grandezze relative alle macchine elettriche rotanti	EN 60027-4	-	24-2
IEC 60034-2	Serie	Macchine elettriche rotanti Parte 2: Metodi per la determinazione, mediante prove, delle perdite e del rendimento delle macchine elettriche rotanti (escluse le macchine per veicoli di trazione)	EN 60034-2	Serie	2-6
IEC 60034-3	-	Parte 3: Prescrizioni specifiche per macchine sincrone a rotore liscio (turboalternatori)	EN 60034-3	-	2-22
IEC 60034-5	-	Parte 5: Gradi di protezione degli involucri delle macchine rotanti (progetto integrale) (Codice IP) - Classificazione	EN 60034-5	-	2-16
IEC 60034-8	-	Parte 8: Marcatura dei terminali e senso di rotazione	EN 60034-8	-	2-8
IEC 60034-12	-	Parte 12: Caratteristiche di avviamento dei motori asincroni trifase a gabbia, ad una sola velocità	EN 60034-12	-	2-15
IEC 60034-15	-	Parte 15: Livelli di tensione di tenuta ad impulso delle macchine rotanti a corrente alternata con bobine statoriche preformate.	EN 60034-15	-	2-17
IEC/TS 60034-17		<i>Part 17: Cage induction motors when fed from converters - Application guide</i>	-	-	-
IEC 60034-18	Serie	Parte 18: Valutazione funzionale dei sistemi di isolamento	EN 60034-18	Serie	2-27
IEC 60034-30	-	Parte 30: Classi di rendimento dei motori asincroni trifase con rotore a gabbia ad una sola velocità (Codice IE)	EN 60034-30	-	2-43
IEC 60038	-	Tensioni nominali dei sistemi elettrici di distribuzione pubblica a bassa tensione	-	-	8-6
IEC 60050-411	1996	<i>International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 411: Rotating machines</i>	-	-	-
IEC 60060-1	-	<i>High-voltage test techniques Part 1: General definitions and test requirements</i>	HD 588.1	-	-
IEC 60072	Serie	<i>Dimensions and output series for rotating electrical machines</i>	-	-	-



<u>Pubblicazione</u>	<u>Anno</u>	<u>Titolo</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Anno</u>	<u>Norma CEI</u>
IEC 60085	-	Isolamento elettrico - Valutazione termica e designazione	EN 60085	-	15-26
IEC 60204-1	-	Sicurezza del macchinario - Equipaggiamento elettrico delle macchine	EN 60204-1	-	44-5
IEC 60204-11	-	Parte 1: Regole generali Parte 11: Prescrizioni per l'equipaggiamento AT con tensioni superiori a 1 000 V AC o 1 500 V DC, ma non superiori a 36 kV	EN 60204-11	-	44-15
IEC 60335-1 (mod)	-	Sicurezza degli apparecchi elettrici d'uso domestico e similare - Sicurezza	EN 60335-1	-	-
IEC 60445	-	Parte 1: Norme generali Principi base e di sicurezza per l'interfaccia uomo-macchina, marcatura e identificazione - Identificazione dei morsetti degli apparecchi e delle estremità di conduttori designati e regole generali per un sistema alfanumerico	EN 60445	-	16-2
IEC 60664-1	-	Coordinamento dell'isolamento per le apparecchiature nei sistemi a bassa tensione – Parte 1: Principi, prescrizioni e prove	EN 60664-1	-	109-1
IEC 60971 ¹⁾	-	<i>Semiconductor convertors. Identification code for convertor connections</i>	-	-	-
IEC 61293	-	Marcatura delle apparecchiature elettriche con riferimento ai valori nominali relativi alla alimentazione elettrica - Prescrizioni di sicurezza	EN 61293	-	16-8
CISPR 11	-	Apparecchi a radiofrequenza industriali, scientifici e medicali (ISM) - Caratteristiche di radiodisturbo - Limiti e metodi di misura	EN 55011	-	110-6
CISPR 14	Serie	Limiti e metodi di misura delle caratteristiche di radiodisturbo degli apparecchi elettrodomestici, utensili portatili ed apparecchi elettrici simili	EN 55014	Serie	110-1
CISPR 16	Serie	<i>Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods</i>	EN 55016	Serie	-

1) La IEC 60971 è stata ritirata e non sostituita nel 2004.



Allegato ZZ (informativo)

Requisiti essenziali delle Direttive Comunitarie soddisfatti dalla presente Norma

La presente Norma Europea è stata preparata su mandato assegnato al CENELEC dalla Commissione Europea e dall'Associazione Europea per il Libero Scambio (EFTA) e, relativamente al suo campo di applicazione, soddisfa (tutti/solo/i seguenti) requisiti essenziali delle Direttive CE 2004/108/CE e 2006/95/CE.

La conformità alla presente Norma costituisce un mezzo per soddisfare i requisiti essenziali delle Direttive interessate.

AVVERTENZA: Possono essere applicabili altri requisiti e altre Direttive ai prodotti che rientrano nel campo di applicazione della presente Norma.



Versione originale documento



FOREWORD

The text of the International Standard IEC 60034-1:2010, prepared by IEC TC 2, Rotating machinery, together with the common modification prepared by the Technical Committee CENELEC TC 2, Rotating machinery, was submitted to the CENELEC formal vote and was approved by CENELEC as EN 60034-1 on 2010-10-01.

This European Standard supersedes EN 60034-1:2004.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. CEN and CENELEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The following dates were fixed:

- latest date by which the EN has to be implemented
at national level by publication of an identical
national standard or by endorsement (dop) 2011-10-01
- latest date by which the national standards conflicting
with the EN have to be withdrawn (dow) 2013-10-01

This draft European Standard has been prepared under a mandate given to CENELEC by the European Commission and the European Free Trade Association and covers essential requirements of EC Directives 2004/108/EC and 2006/95/EC. See Annex ZZ.

Annex ZA has been added by CENELEC.

ENDORSEMENT NOTICE

The text of the International Standard IEC 60034-1:2010 was approved by CENELEC as a European Standard with agreed common modifications pointed out by a vertical bar.



CONTENTS

1	Scope	79
2	Normative references	79
3	Terms and definitions	79
4	Duty	84
4.1	Declaration of duty	84
4.2	Duty types	84
5	Rating	97
5.1	Assignment of rating	97
5.2	Classes of rating	97
5.3	Selection of a class of rating	98
5.4	Allocation of outputs to class of rating	99
5.5	Rated output	99
5.6	Rated voltage	99
5.7	Co-ordination of voltages and outputs	99
5.8	Machines with more than one rating	100
6	Site operating conditions	100
6.1	General	100
6.2	Altitude	100
6.3	Maximum ambient air temperature	100
6.4	Minimum ambient air temperature	100
6.5	Water coolant temperature	101
6.6	Storage and transport	101
6.7	Purity of hydrogen coolant	101
7	Electrical operating conditions	101
7.1	Electrical supply	101
7.2	Form and symmetry of voltages and currents	101
7.3	Voltage and frequency variations during operation	104
7.4	Three-phase a.c. machines operating on unearthed systems	107
7.5	Voltage (peak and gradient) withstand levels	107
8	Thermal performance and tests	107
8.1	Thermal class	107
8.2	Reference coolant	107
8.3	Conditions for thermal tests	108
8.4	Temperature rise of a part of a machine	109
8.5	Methods of measurement of temperature	110
8.6	Determination of winding temperature	110
8.7	Duration of thermal tests	114
8.8	Determination of the thermal equivalent time constant for machines of duty type S9	114
8.9	Measurement of bearing temperature	114
8.10	Limits of temperature and of temperature rise	115



9	Other performance and tests.....	124
9.1	Routine tests	124
9.2	Withstand voltage test	125
9.3	Occasional excess current	127
9.4	Momentary excess torque for motors.....	128
9.5	Pull-up torque.....	129
9.6	Safe operating speed of cage induction motors	129
9.7	Overspeed.....	130
9.8	Short-circuit current for synchronous machines	131
9.9	Short-circuit withstand test for synchronous machines	131
9.10	Commutation test for commutator machines	131
9.11	Total harmonic distortion (<i>THD</i>) for synchronous machines.....	131
10	Rating plates	132
10.1	General.....	132
10.2	Marking	132
11	Miscellaneous requirements.....	134
11.1	Protective earthing of machines	134
11.2	Shaft-end key(s).....	136
12	Tolerances	136
12.1	General.....	136
12.2	Tolerances on values of quantities	136
13	Electromagnetic compatibility (EMC)	138
13.1	General.....	138
13.2	Immunity	139
13.3	Emission	139
13.4	Immunity tests	139
13.5	Emission tests	139
14	Safety	140
	Annex A (informative) Guidance for the application of duty type S10 and for establishing the value of relative thermal life expectancy <i>TL</i>	141
	Annex B (informative) Electromagnetic compatibility (EMC) limits	142
	Bibliography	143
	Allegato ZA (normativo) Normative references to international publications with their corresponding European publications	144
	Annex ZZ (informative) Coverage of Essential Requirements of EC Directives	146



ROTATING ELECTRICAL MACHINES

Part 1: Rating and performance

1 Scope

This part of IEC 60034 is applicable to all rotating electrical machines except those covered by other IEC standards, for example, IEC 60349 [10]¹⁾.

Machines within the scope of this standard may also be subject to superseding, modifying or additional requirements in other publications, for example, IEC 60079 [8] and IEC 60092 [9].

NOTE If particular clauses of this standard are modified to meet special applications, for example machines subject to radioactivity or machines for aerospace, all other clauses apply insofar as they are compatible.

2 Normative references

The following referenced documents(*) are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions in IEC 60050-411, some of which are repeated here for convenience, and the following terms and definitions apply.

NOTE 1 For definitions concerning cooling and coolants, other than those in 3.17 to 3.22, reference should be made to IEC 60034-6 [1].

NOTE 2 For the purposes of this standard, the term 'agreement' means 'agreement between the manufacturer and purchaser'.

3.1

rated value

a quantity value assigned, generally by a manufacturer, for a specified operating condition of a machine

[IEV 411-51-23]

NOTE The rated voltage or voltage range is the rated voltage or voltage range between lines at the terminals.

3.2

rating

the set of rated values and operating conditions

[IEV 411-51-24]

3.3

rated output

the value of the output included in the rating

¹⁾ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

(*) **Editor's note:** For the list of Publications see Annex ZA.

**3.4
load**

all the values of the electrical and mechanical quantities that signify the demand made on a rotating machine by an electrical circuit or a mechanism at a given instant

[IEV 411-51-01]

**3.5
no-load (operation)**

the state of a machine rotating with zero output power (but under otherwise normal operating conditions)

[IEV 411-51-02, modified]

**3.6
full load**

the load which causes a machine to operate at its rating

[IEV 411-51-10]

**3.7
full load value**

a quantity value for a machine operating at full load

[IEV 411-51-11]

NOTE This concept applies to power, torque, current, speed, etc.

**3.8
de-energized and rest**

the complete absence of all movement and of all electrical supply or mechanical drive

[IEV 411-51-03]

**3.9
duty**

the statement of the load(s) to which the machine is subjected, including, if applicable, starting, electric braking, no-load and rest and de-energized periods, and including their durations and sequence in time

[IEV 411-51-06]

**3.10
duty type**

a continuous, short-time or periodic duty, comprising one or more loads remaining constant for the duration specified, or a non-periodic duty in which generally load and speed vary within the permissible operating range

[IEV 411-51-13]

**3.11
cyclic duration factor**

the ratio between the period of loading, including starting and electric braking, and the duration of the duty cycle, expressed as a percentage

[IEV 411-51-09]

**3.12****locked-rotor torque**

the smallest measured torque the motor develops at its shaft and with the rotor locked, over all its angular positions, at rated voltage and frequency

[IEV 411-48-06]

3.13**locked-rotor current**

the greatest steady-state r.m.s. current taken from the line with the motor held at rest, over all angular positions of its rotor, at rated voltage and frequency

[IEV 411-48-16]

3.14**pull-up torque (of an a.c. motor)**

the smallest steady-state asynchronous torque which the motor develops between zero speed and the speed which corresponds to the breakdown torque, when the motor is supplied at the rated voltage and frequency

This definition does not apply to those asynchronous motors of which the torque continually decreases with increase in speed.

NOTE In addition to the steady-state asynchronous torques, harmonic synchronous torques, which are a function of rotor load angle, will be present at specific speeds.

At such speeds, the accelerating torque may be negative for some rotor load angles.

Experience and calculation show this to be an unstable operating condition and therefore harmonic synchronous torques do not prevent motor acceleration and are excluded from this definition.

3.15**breakdown torque (of an a.c. motor)**

the maximum steady-state asynchronous torque which the motor develops without an abrupt drop in speed, when the motor is supplied at the rated voltage and frequency

This definition does not apply to motors with torques that continually decrease with increase in speed.

3.16**pull-out torque (of a synchronous motor)**

the maximum torque which the synchronous motor develops at synchronous speed with rated voltage, frequency and field current

3.17**cooling**

a procedure by means of which heat resulting from losses occurring in a machine is given up to a primary coolant, which may be continuously replaced or may itself be cooled by a secondary coolant in a heat exchanger

[IEV 411-44-01]

3.18**coolant**

a medium, liquid or gas, by means of which heat is transferred

[IEV 411-44-02]

**3.19****primary coolant**

a medium, liquid or gas, which, being at a lower temperature than a part of a machine and in contact with it, removes heat from that part

[IEV 411-44-03]

3.20**secondary coolant**

a medium, liquid or gas, which, being at a lower temperature than the primary coolant, removes the heat given up by this primary coolant by means of a heat exchanger or through the external surface of the machine

[IEV 411-44-04]

3.21**direct cooled winding****inner cooled winding**

a winding mainly cooled by coolant flowing in direct contact with the cooled part through hollow conductors, tubes, ducts or channels which, regardless of their orientation, form an integral part of the winding inside the main insulation

[IEV 411-44-08]

NOTE In all cases when 'indirect' or 'direct' is not stated, an indirect cooled winding is implied.

3.22**indirect cooled winding**

any winding other than a direct cooled winding

NOTE In all cases when 'indirect' or 'direct' is not stated, an indirect cooled winding is implied.

[IEV 411-44-09]

3.23**supplementary insulation**

an independent insulation applied in addition to the main insulation in order to ensure protection against electric shock in the event of failure of the main insulation

3.24**moment of inertia**

the sum (integral) of the products of the mass elements of a body and the squares of their distances (radii) from a given axis

3.25**thermal equilibrium**

the state reached when the temperature rises of the several parts of the machine do not vary by more than a gradient of 2 K per hour

[IEV 411-51-08]

NOTE Thermal equilibrium may be determined from the time-temperature rise plot when the straight lines between points at the beginning and end of two successive reasonable intervals each have a gradient of less than 2 K per hour.

3.26**thermal equivalent time constant**

the time constant, replacing several individual time constants, which determines approximately the temperature course in a winding after a step-wise current change

**3.27****encapsulated winding**

a winding which is completely enclosed or sealed by moulded insulation

[IEV 411-39-06]

3.28**rated form factor of direct current supplied to a d.c. motor armature from a static power converter**

the ratio of the r.m.s. maximum permissible value of the current $I_{\text{rms,maxN}}$ to its average value I_{avN} (mean value integrated over one period) at rated conditions:

$$k_{\text{fN}} = \frac{I_{\text{rms,maxN}}}{I_{\text{avN}}}$$

3.29**current ripple factor**

the ratio of the difference between the maximum value I_{max} and the minimum value I_{min} of an undulating current to two times the average value I_{av} (mean value integrated over one period):

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{2 \times I_{\text{av}}}$$

NOTE For small values of current ripple, the ripple factor may be approximated by the following expression:

$$q_i = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} + I_{\text{min}}}$$

The above expression may be used as an approximation if the resulting calculated value of q_i is equal to or less than 0,4.

3.30**tolerance**

the permitted deviation between the declared value of a quantity and the measured value

3.31**type test**

a test of one or more machines made to a certain design to show that the design meets certain specifications

[IEV 411-53-01]

NOTE The type test may also be considered valid if it is made on a machine which has minor deviations of rating or other characteristics. These deviations should be subject to agreement.

3.32**routine test**

a test to which each individual machine is subjected during or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria

[IEV 411-53-02]



3.33

runaway speed

the maximum speed attained by the engine/generator set after removal of the full load of the generator if the speed regulator does not function

[IEV 811-17-23]

NOTE For motors, the maximum overspeed at loss of supply is meant that a motor might reach driven by the coupled equipment

4 Duty

4.1 Declaration of duty

It is the responsibility of the purchaser to declare the duty. The purchaser may describe the duty by one of the following:

- a) numerically, where the load does not vary or where it varies in a known manner;
- b) as a time sequence graph of the variable quantities;
- c) by selecting one of the duty types S1 to S10 that is no less onerous than the expected duty.

The duty type shall be designated by the appropriate abbreviation, specified in 4.2, written after the value of the load.

An expression for the cyclic duration factor is given in the relevant duty type figure.

The purchaser normally cannot provide values for the moment of inertia of the motor (J_M) or the relative thermal life expectancy (TL), see Annex A. These values are provided by the manufacturer.

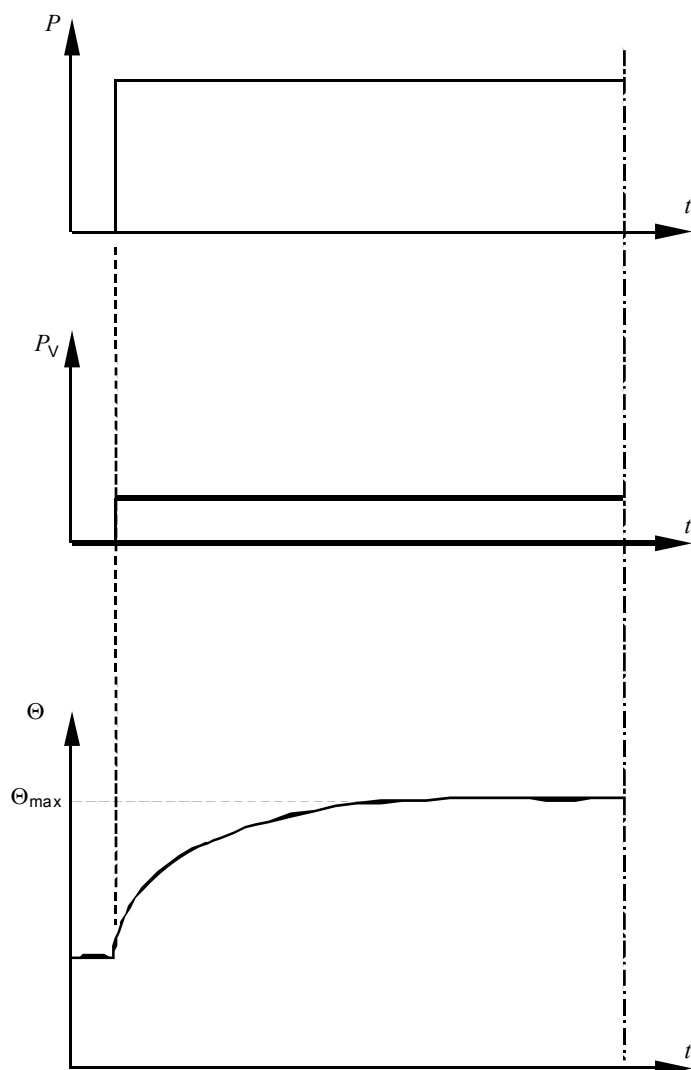
Where the purchaser does not declare a duty, the manufacturer shall assume that duty type S1 (continuous running duty) applies.

4.2 Duty types

4.2.1 Duty type S1 – Continuous running duty

Operation at a constant load maintained for sufficient time to allow the machine to reach thermal equilibrium, see Figure 1.

The appropriate abbreviation is S1.

**Key**

P	load
P_V	electrical losses
Θ	temperature
Θ_{\max}	maximum temperature attained
t	time

Figure 1 – Continuous running duty – Duty type S1

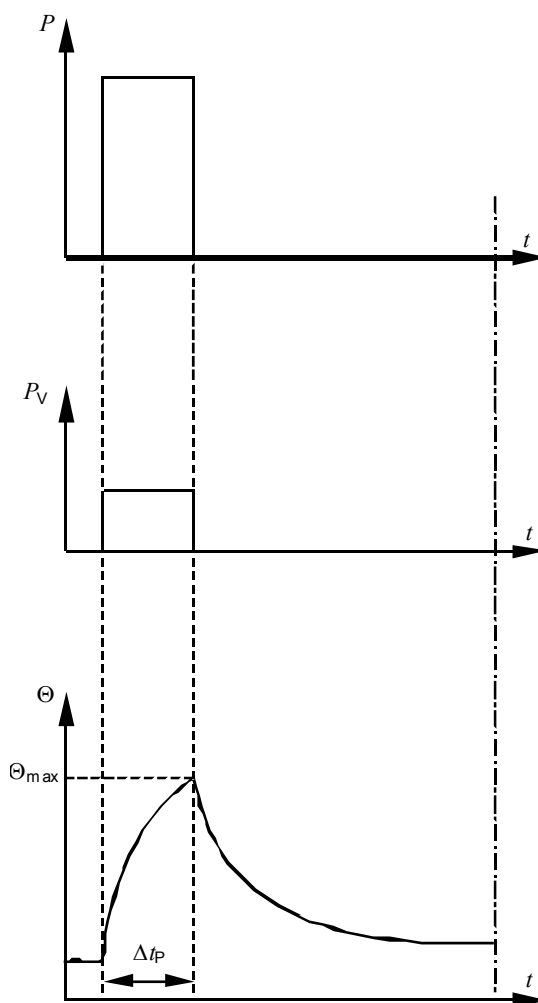


4.2.2 Duty type S2 – Short-time duty

Operation at constant load for a given time, less than that required to reach thermal equilibrium, followed by a time de-energized and at rest of sufficient duration to re-establish machine temperatures within 2 K of the coolant temperature, see Figure 2.

The appropriate abbreviation is S2, followed by an indication of the duration of the duty,

Example: S2 60 min.



Key

P	load
P_v	electrical losses
Θ	temperature
Θ_{\max}	maximum temperature attained
t	time
Δt_p	operation time at constant load

Figure 2 – Short-time duty – Duty type S2



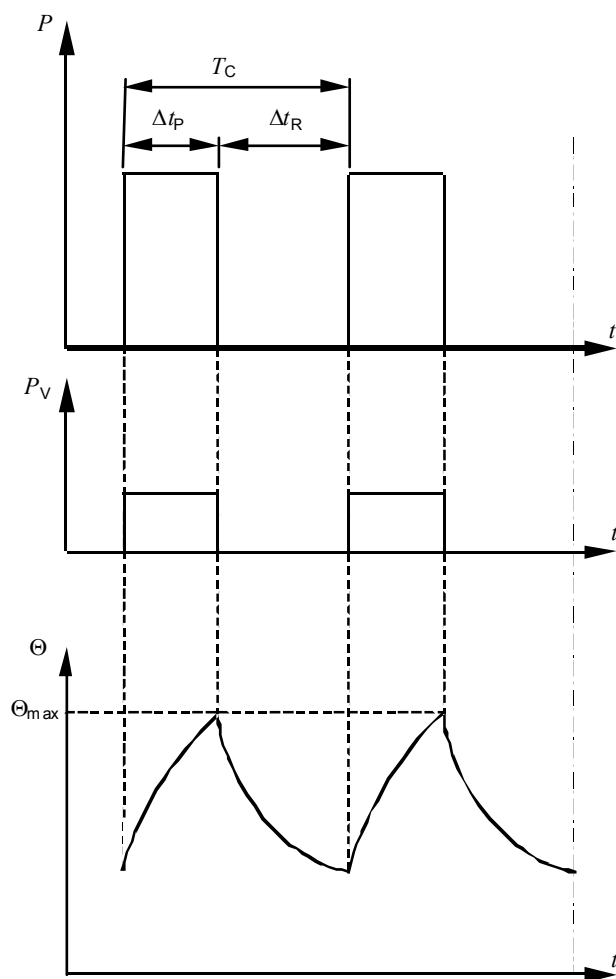
4.2.3 Duty type S3 – Intermittent periodic duty

NOTE Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

A sequence of identical duty cycles, each including a time of operation at constant load and a time de-energized and at rest, see Figure 3. In this duty, the cycle is such that the starting current does not significantly affect the temperature rise.

The appropriate abbreviation is S3, followed by the cyclic duration factor.

Example: S3 25 %



Key

P	load
P_V	electrical losses
Θ	temperature
Θ_{\max}	maximum temperature attained
t	time
T_C	time of one load cycle
Δt_P	operation time at constant load
Δt_R	time de-energized and at rest
Cyclic duration factor = $\Delta t_P / T_C$	

Figure 3 – Intermittent periodic duty – Duty type S3



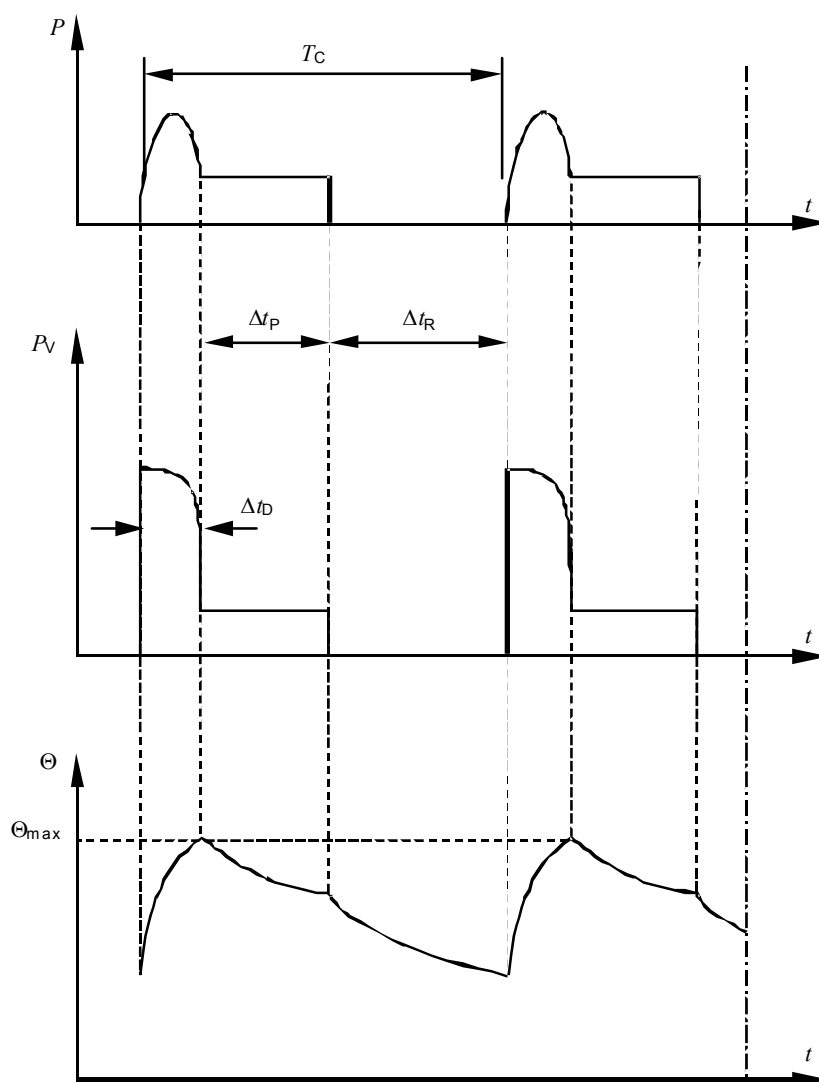
4.2.4 Duty type S4 – Intermittent periodic duty with starting

NOTE Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

A sequence of identical duty cycles, each cycle including a significant starting time, a time of operation at constant load and a time de-energized and at rest, see Figure 4.

The appropriate abbreviation is S4, followed by the cyclic duration factor, the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft.

Example: S4 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Key

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_D	starting/accelerating time
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_P	operation time at constant load
		Δt_R	time de-energized and at rest

Cyclic duration factor = $(\Delta t_D + \Delta t_P)/T_C$

Figure 4 – Intermittent periodic duty with starting – Duty type S4



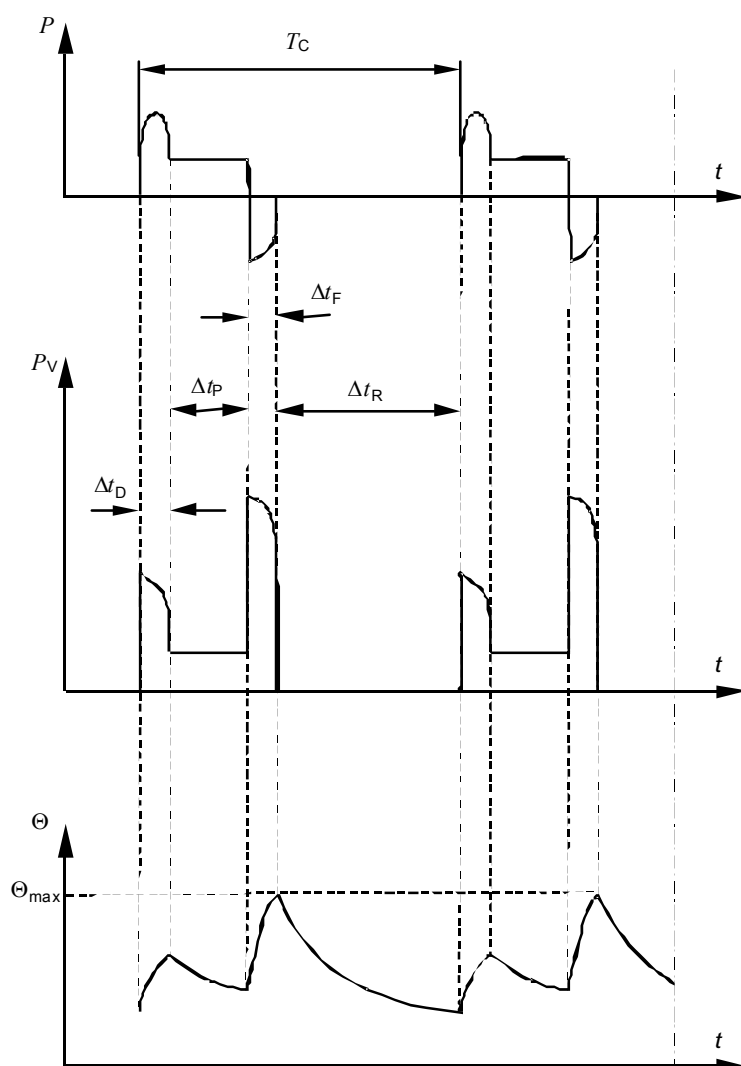
4.2.5 Duty type S5 – Intermittent periodic duty with electric braking

NOTE Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a starting time, a time of operation at constant load, a time of electric braking and a time de-energized and at rest, see Figure 5.

The appropriate abbreviation is S5, followed by the cyclic duration factor, the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft.

Example: S5 25 % $J_M = 0,15 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 0,7 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Key

P	load	T_C	time of one load cycle
P_V	electrical losses	Δt_D	starting/accelerating time
Θ	temperature	Δt_P	operation time at constant load
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_F	time of electric braking
t	time	Δt_R	time de-energized and at rest

Cyclic duration factor = $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F)/T_C$

Figure 5 – Intermittent periodic duty with electric braking – Duty type S5



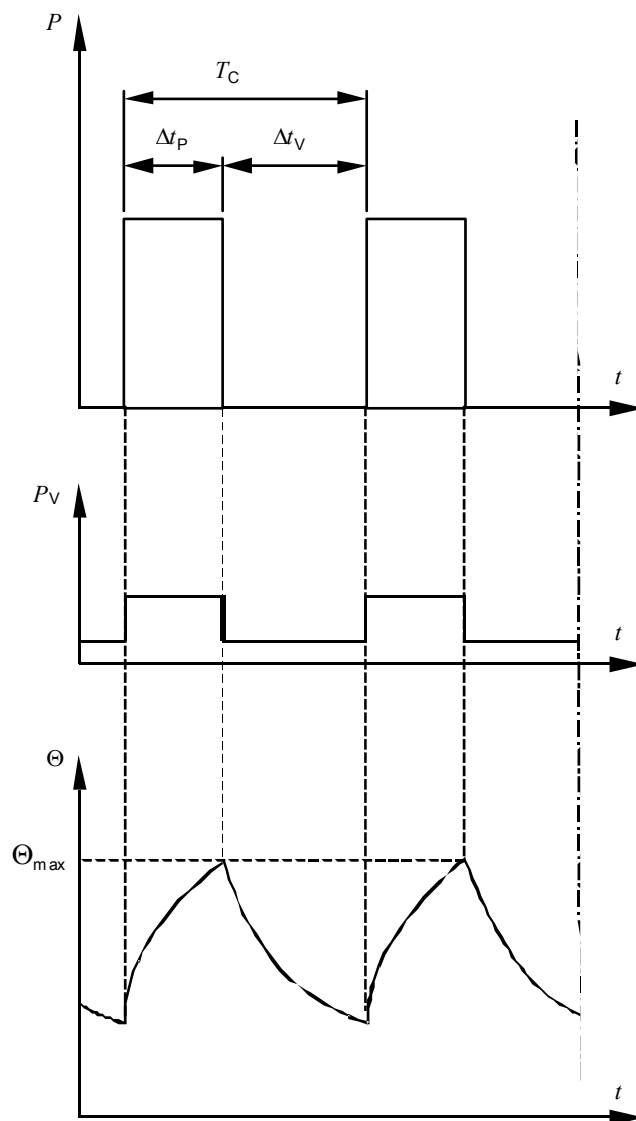
4.2.6 Duty type S6 – Continuous operation periodic duty

NOTE Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a time of operation at constant load and a time of operation at no-load. There is no time de-energized and at rest, see Figure 6.

The appropriate abbreviation is S6, followed by the cyclic duration factor.

Example: S6 40 %



Key

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_P	operation time at constant load
Θ_{\max}	maximum temperature attained	Δt_V	operation time at no-load

Cyclic duration factor = $\Delta t_P / T_C$

Figure 6 – Continuous operation periodic duty – Duty type S6



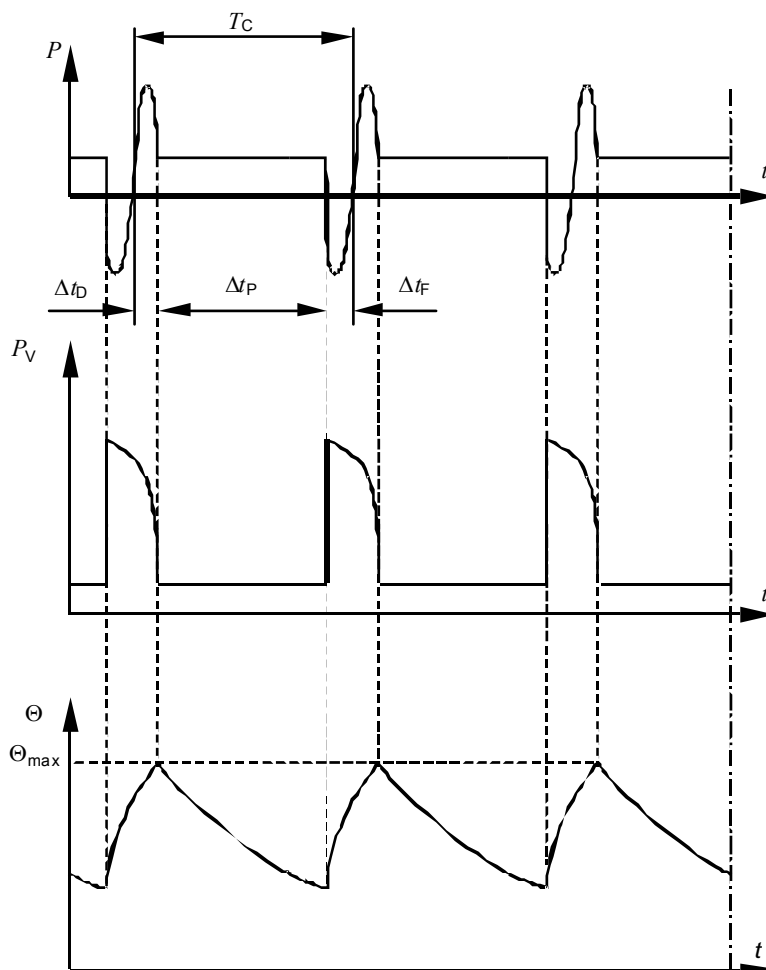
4.2.7 Duty type S7 – Continuous operation periodic duty with electric braking

NOTE Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a starting time, a time of operation at constant load and a time of electric braking. There is no time de-energized and at rest, see Figure 7.

The appropriate abbreviation is S7, followed by the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft.

Example: S7 $J_M = 0,4 \text{ kg} \times \text{m}^2$ $J_{ext} = 7,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$



Key

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_D	starting/accelerating time
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_P	operation time at constant load
Cyclic duration factor = 1		Δt_F	time of electric braking

Figure 7 – Continuous operation periodic duty with electric braking – Duty type S7



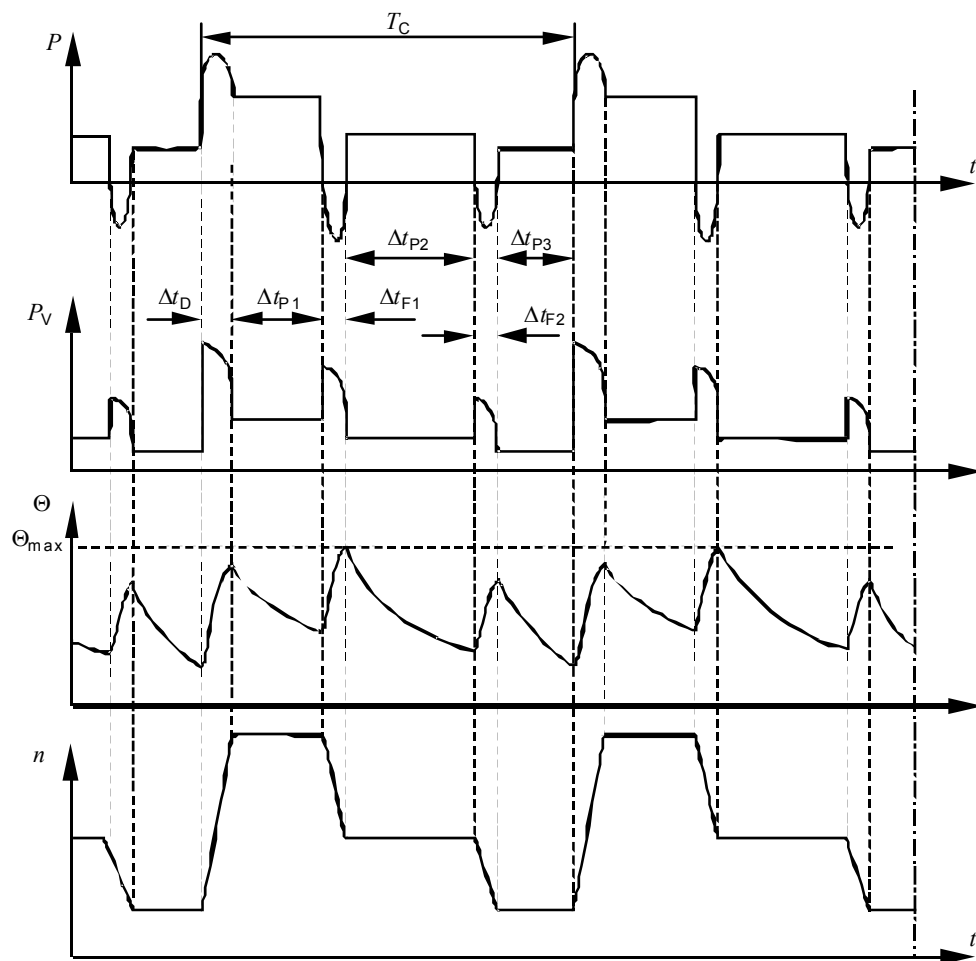
4.2.8 Duty type S8 – Continuous operation periodic duty with related load/speed changes

NOTE Periodic duty implies that thermal equilibrium is not reached during the time on load.

A sequence of identical duty cycles, each cycle consisting of a time of operation at constant load corresponding to a predetermined speed of rotation, followed by one or more times of operation at other constant loads corresponding to different speeds of rotation (carried out, for example, by means of a change in the number of poles in the case of induction motors). There is no time de-energized and at rest (see Figure 8).

The appropriate abbreviation is S8, followed by the moment of inertia of the motor (J_M) and the moment of inertia of the load (J_{ext}), both referred to the motor shaft, together with the load, speed and cyclic duration factor for each speed condition.

Example:	S8 $J_M = 0,5 \text{ kg} \times \text{m}^2$	$J_{ext} = 6 \text{ kg} \times \text{m}^2$	16 kW	740 min ⁻¹	30 %
			40 kW	1 460 min ⁻¹	30 %
			25 kW	980 min ⁻¹	40 %

**Key**

P	load	t	time
P_V	electrical losses	T_C	time of one load cycle
Θ	temperature	Δt_D	starting/accelerating time
Θ_{\max}	maximum temperature attained	Δt_P	operation time at constant load (P1, P2, P3)
n	speed	Δt_F	time of electric braking (F1, F2)

Cyclic duration factor = $(\Delta t_D + \Delta t_{P1})/T_C$; $(\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2})/T_C$; $(\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3})/T_C$

Figure 8 – Continuous operation periodic duty with related load/speed changes – Duty type S8

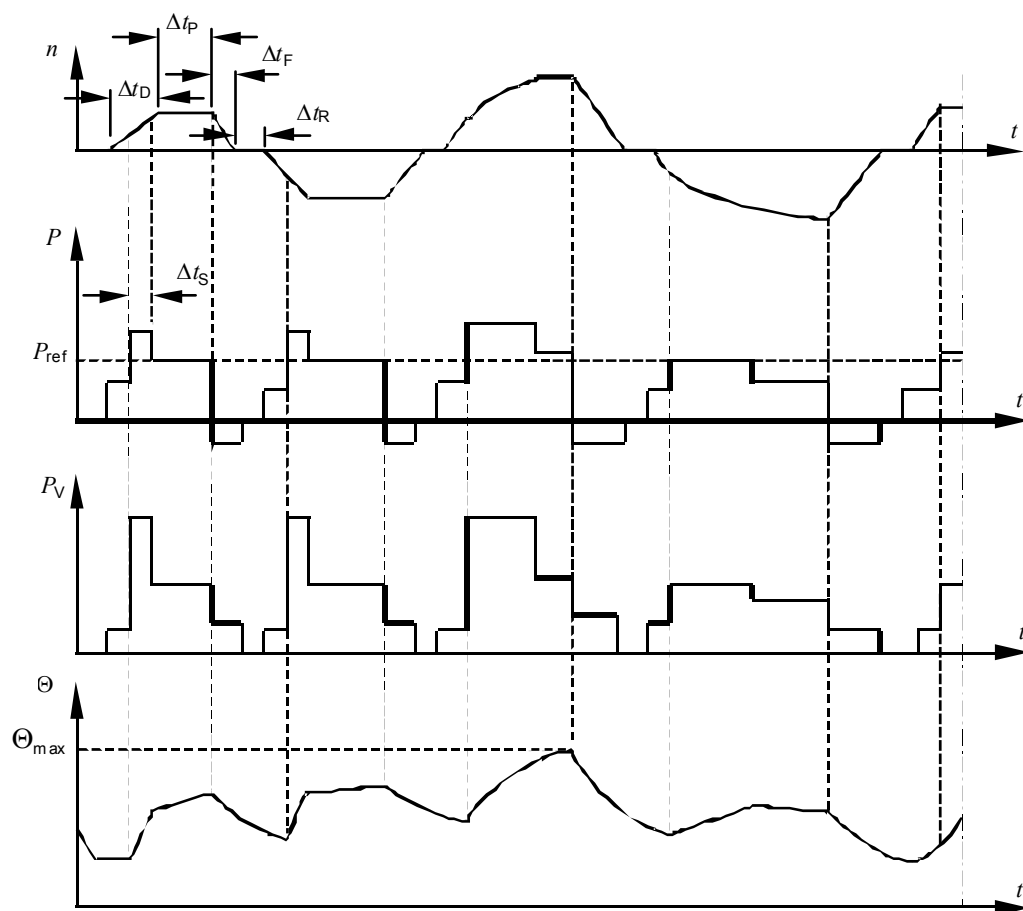


4.2.9 Duty type S9 – Duty with non-periodic load and speed variations

A duty in which generally load and speed vary non-periodically within the permissible operating range. This duty includes frequently applied overloads that may greatly exceed the reference load (see Figure 9).

The appropriate abbreviation is S9.

For this duty type, a constant load appropriately selected and based on duty type S1 is taken as the reference value (" P_{ref} " in Figure 9) for the overload concept.



Key

P	load	t	time
P_{ref}	reference load	Δt_D	starting/accelerating time
P_V	electrical losses	Δt_P	operation time at constant load
Θ	temperature	Δt_F	time of electric braking
Θ_{max}	maximum temperature attained	Δt_R	time de-energized and at rest
n	speed	Δt_S	time under overload

Figure 9 – Duty with non-periodic load and speed variations – Duty type S9



4.2.10 Duty type S10 – Duty with discrete constant loads and speeds

A duty consisting of a specific number of discrete values of load (or equivalent loading) and if applicable, speed, each load/speed combination being maintained for sufficient time to allow the machine to reach thermal equilibrium, see Figure 10. The minimum load within a duty cycle may have the value zero (no-load or de-energized and at rest).

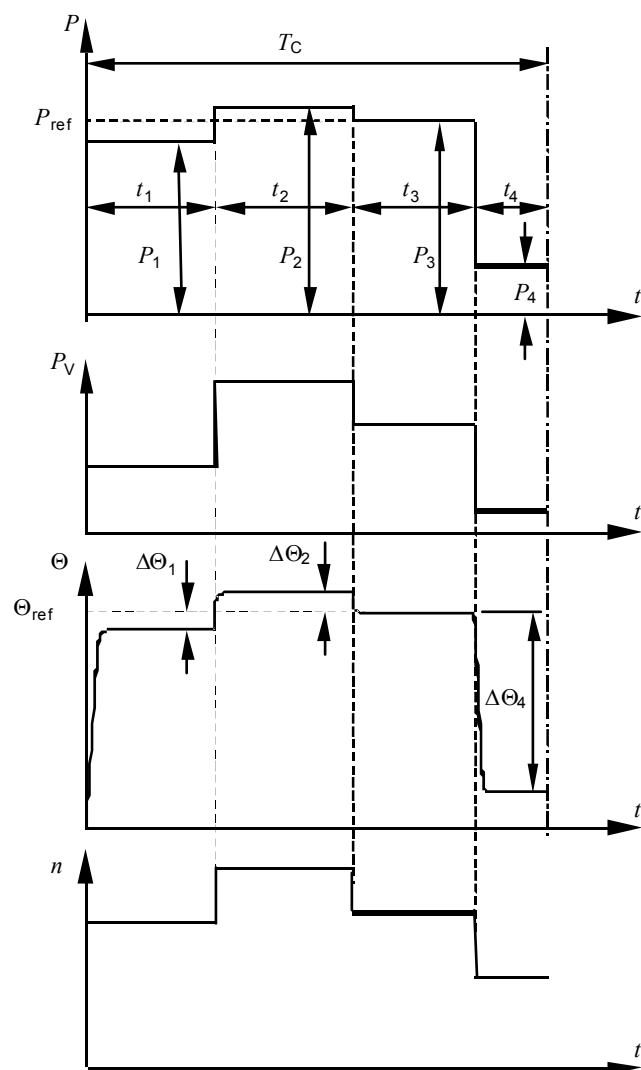
The appropriate abbreviation is S10, followed by the per unit quantities $p/\Delta t$ for the respective load and its duration and the per unit quantity TL for the relative thermal life expectancy of the insulation system. The reference value for the thermal life expectancy is the thermal life expectancy at rating for continuous running duty and permissible limits of temperature rise based on duty type S1. For a time de-energized and at rest, the load shall be indicated by the letter r .

Example: S10 $p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1$ $TL = 0,6$

The value of TL should be rounded off to the nearest multiple of 0,05. Advice concerning the significance of this parameter and the derivation of its value is given in Annex A.

For this duty type a constant load appropriately selected and based on duty type S1 shall be taken as the reference value (P_{ref} in Figure 10) for the discrete loads.

NOTE The discrete values of load will usually be equivalent loading based on integration over a period of time. It is not necessary that each load cycle be exactly the same, only that each load within a cycle be maintained for sufficient time for thermal equilibrium to be reached, and that each load cycle be capable of being integrated to give the same relative thermal life expectancy.

**Key**

P	load	t	time
P_i	constant load within a load cycle	t_i	time of a constant load within a cycle
P_{ref}	reference load based on duty type S1	T_C	time of one load cycle
P_V	electrical losses	$\Delta\Theta_i$	difference between the temperature rise of the winding at each of the various loads within one cycle and the temperature rise based on duty cycle S1 with reference load
Θ	temperature	n	speed
Θ_{ref}	temperature at reference load based on duty type S1		

Figure 10 – Duty with discrete constant loads – Duty type S10



5 Rating

5.1 Assignment of rating

The rating, as defined in 3.2, shall be assigned by the manufacturer. In assigning the rating the manufacturer shall select one of the classes of rating defined in 5.2.1 to 5.2.6. The designation of the class of rating shall be written after the rated output. If no designation is stated, rating for continuous running duty applies.

When accessory components (such as reactors, capacitors, etc.) are connected by the manufacturer as part of the machine, the rated values shall refer to the supply terminals of the whole arrangement.

NOTE This does not apply to power transformers connected between the machine and the supply.

Special considerations are required when assigning ratings to machines fed from or supplying static converters. IEC 60034-17 gives guidance for the case of cage induction motors covered in IEC 60034-12.

5.2 Classes of rating

5.2.1 Rating for continuous running duty

A rating at which the machine may be operated for an unlimited period, while complying with the requirements of this standard.

This class of rating corresponds to duty type S1 and is designated as for the duty type S1.

5.2.2 Rating for short-time duty

A rating at which the machine may be operated for a limited period, starting at ambient temperature, while complying with the requirements of this standard.

This class of rating corresponds to duty type S2 and is designated as for the duty type S2.

5.2.3 Rating for periodic duty

A rating at which the machine may be operated on duty cycles, while complying with the requirements of this standard.

This class of rating corresponds to one of the periodic duty types S3 to S8 and is designated as for the corresponding duty type.

Unless otherwise specified, the duration of a duty cycle shall be 10 min and the cyclic duration factor shall be one of the following values:

15 %, 25 %, 40 %, 60 %.

5.2.4 Rating for non-periodic duty

A rating at which the machine may be operated non-periodically while complying with the requirements of this standard.

This class of rating corresponds to the non-periodic duty type S9 and is designated as for the duty type S9.



5.2.5 Rating for duty with discrete constant loads and speeds

A rating at which the machine may be operated with the associated loads and speeds of duty type S10 for an unlimited period of time while complying with the requirements of this standard. The maximum permissible load within one cycle shall take into consideration all parts of the machine, for example, the insulation system regarding the validity of the exponential law for the relative thermal life expectancy, bearings with respect to temperature, other parts with respect to thermal expansion. Unless specified in other relevant IEC standards, the maximum load shall not exceed 1,15 times the value of the load based on duty type S1. The minimum load may have the value zero, the machine operating at no-load or being de-energized and at rest. Considerations for the application of this class of rating are given in Annex A.

This class of rating corresponds to the duty type S10 and is designated as for the duty type S10.

NOTE Other relevant IEC standards may specify the maximum load in terms of limiting winding temperature (or temperature rise) instead of per unit load based on duty type S1.

5.2.6 Rating for equivalent loading

A rating, for test purposes, at which the machine may be operated at constant load until thermal equilibrium is reached and which results in the same stator winding temperature rise as the average temperature rise during one load cycle of the specified duty type.

NOTE The determination of an equivalent rating should take account of the varying load, speed and cooling of the duty cycle.

This class of rating, if applied, is designated 'equ'.

5.3 Selection of a class of rating

A machine manufactured for general purpose shall have a rating for continuous running duty and be capable of performing duty type S1.

If the duty has not been specified by the purchaser, duty type S1 applies and the rating assigned shall be a rating for continuous running duty.

When a machine is intended to have a rating for short-time duty, the rating shall be based on duty type S2, see 4.2.2.

When a machine is intended to supply varying loads or loads including a time of no-load or times where the machine will be in a state of de-energized and at rest, the rating shall be a rating for periodic duty based on a duty type selected from duty types S3 to S8, see 4.2.3 to 4.2.8.

When a machine is intended non-periodically to supply variable loads at variable speeds, including overloads, the rating shall be a rating for non-periodic duty based on duty type S9, see 4.2.9.

When a machine is intended to supply discrete constant loads including times of overload or times of no-load (or de-energized and at rest) the rating shall be a rating with discrete constant loads based on duty type S10, see 4.2.10.



5.4 Allocation of outputs to class of rating

In the determination of the rating:

For duty types S1 to S8, the specified value(s) of the constant load(s) shall be the rated output(s), see 4.2.1 to 4.2.8.

For duty types S9 and S10, the reference value of the load based on duty type S1 shall be taken as the rated output, see 4.2.9 and 4.2.10.

5.5 Rated output

5.5.1 DC generators

The rated output is the output at the terminals and shall be expressed in watts (W).

5.5.2 AC generators

The rated output is the apparent power at the terminals and shall be expressed in volt-amperes (VA) together with the power factor.

The rated power factor for synchronous generators shall be 0,8 lagging (over-excited), unless otherwise specified by the purchaser.

5.5.3 Motors

The rated output is the mechanical power available at the shaft and shall be expressed in watts (W).

NOTE It is the practice in some countries for the mechanical power available at the shafts of motors to be expressed in horsepower (1 h.p. is equivalent to 745,7 W; 1 ch (cheval or metric horsepower) is equivalent to 736 W).

5.5.4 Synchronous condensers

The rated output is the reactive power at the terminals and shall be expressed in volt-amperes reactive (var) in leading (under-excited) and lagging (over-excited) conditions.

5.6 Rated voltage

5.6.1 DC generators

For d.c. generators intended to operate over a relatively small range of voltage, the rated output and current shall apply at the highest voltage of the range, unless otherwise specified, see also 7.3.

5.6.2 AC generators

For a.c. generators intended to operate over a relatively small range of voltage, the rated output and power factor shall apply at any voltage within the range, unless otherwise specified, see also 7.3.

5.7 Co-ordination of voltages and outputs

It is not practical to build machines of all ratings for all rated voltages. In general, for a.c. machines, based on design and manufacturing considerations, preferred voltage ratings above 1 kV in terms of rated output are as shown in Table 1.

**Table 1 – Preferred voltage ratings**

Rated voltage kV	Minimum rated output kW (or kVA)
$1,0 < U_N \leq 3,0$	100
$3,0 < U_N \leq 6,0$	150
$6,0 < U_N \leq 11,0$	800
$11,0 < U_N \leq 15,0$	2 500

5.8 Machines with more than one rating

For machines with more than one rating, the machine shall comply with this standard in all respects at each rating.

For multi-speed motors, a rating shall be assigned for each speed.

When a rated quantity (output, voltage, speed, etc.) may assume several values or vary continuously within two limits, the rating shall be stated at these values or limits. This provision does not apply to voltage and frequency variations during operation as defined in 7.3 or to star-delta connections intended for starting.

6 Site operating conditions

6.1 General

Unless otherwise specified, machines shall be suitable for the following site operating conditions. For site operating conditions deviating from those values, corrections are given in Clause 8.

6.2 Altitude

The altitude shall not exceed 1 000 m above sea-level.

6.3 Maximum ambient air temperature

The ambient air temperature shall not exceed 40 °C.

6.4 Minimum ambient air temperature

The ambient air temperature shall not be less than –15 °C for any machine.

The ambient air temperature shall be not less than 0 °C for a machine with any of the following:

- rated output greater than 3 300 kW (or kVA) per 1 000 min⁻¹;
- rated output less than 600 W (or VA);
- a commutator;
- a sleeve bearing;
- water as a primary or secondary coolant.



6.5 Water coolant temperature

For the reference water coolant temperature see Table 4. For other water coolant temperatures see Table 9. The water coolant temperature shall not be less than +5 °C.

6.6 Storage and transport

When temperatures lower than specified in 6.4 are expected during transportation, storage, or after installation, the purchaser shall inform the manufacturer and specify the expected minimum temperature.

6.7 Purity of hydrogen coolant

Hydrogen cooled machines shall be capable of operating at rated output under rated conditions with a coolant containing not less than 95 % hydrogen by volume.

NOTE For safety reasons, the hydrogen content should at all times be maintained at 90 % or more, it being assumed that the other gas in the mixture is air.

For calculating efficiency in accordance with IEC 60034-2 (all parts), the standard composition of the gaseous mixture shall be 98 % hydrogen and 2 % air by volume, at the specified values of pressure and temperature of the re-cooled gas, unless otherwise agreed. Windage losses shall be calculated at the corresponding density.

7 Electrical operating conditions

7.1 Electrical supply

For three-phase a.c. machines, 50 Hz or 60 Hz, intended to be directly connected to distribution or utilisation systems, the rated voltages shall be derived from the nominal voltages given in IEC 60038.

NOTE For large high-voltage a.c. machines, the voltages may be selected for optimum performance.

For a.c. motors supplied from static converters these restrictions on voltage, frequency and waveform do not apply. In this case, the rated voltages shall be selected by agreement.

7.2 Form and symmetry of voltages and currents

7.2.1 AC motors

7.2.1.1 AC motors rated for use on a power supply of fixed frequency, supplied from an a.c. generator (whether local or via a supply network) shall be suitable for operation on a supply voltage having a harmonic voltage factor (*HVF*) not exceeding:

- 0,02 for single-phase motors and three-phase motors, including synchronous motors but excluding motors of design N (see IEC 60034-12), unless the manufacturer declares otherwise.
- 0,03 for design N motors.



The *HVF* shall be computed by using the following formula:

$$HVF = \sqrt{\sum_{n=2}^k \frac{u_n^2}{n}}$$

where

u_n is the ratio of the harmonic voltage U_n to the rated voltage U_N ;

n is the order of harmonic (not divisible by three in the case of three-phase a.c. motors);

$k = 13$.

Three-phase a.c. motors shall be suitable for operation on a three-phase voltage system having a negative-sequence component not exceeding 1 % of the positive-sequence component over a long period, or 1,5 % for a short period not exceeding a few minutes, and a zero-sequence component not exceeding 1 % of the positive-sequence component.

Should the limiting values of the *HVF* and of the negative-sequence and zero-sequence components occur simultaneously in service at the rated load, this shall not lead to any harmful temperature in the motor and it is recommended that the resulting excess temperature rise related to the limits specified in this standard should be not more than approximately 10 K.

NOTE In the vicinity of large single-phase loads (e.g. induction furnaces), and in rural areas particularly on mixed industrial and domestic systems, supplies may be distorted beyond the limits set out above. Special arrangements will then be necessary.

7.2.1.2 AC motors supplied from static converters have to tolerate higher harmonic contents of the supply voltage; see IEC 60034-17 for the case of cage motors within the scope of IEC 60034-12.

NOTE When the supply voltage is significantly non-sinusoidal, for example from static converters, the r.m.s. value of the total waveform and of the fundamental are both relevant in determining the performance of an a.c. machine.

7.2.2 AC generators

Three-phase a.c. generators shall be suitable for supplying circuits which, when supplied by a system of balanced and sinusoidal voltages:

- a) result in currents not exceeding a harmonic current factor (*HCF*) of 0,05, and
- b) result in a system of currents where neither the negative-sequence component nor the zero-sequence component exceed 5 % of the positive-sequence component.

The *HCF* shall be computed by using the following formula:

$$HCF = \sqrt{\sum_{n=2}^k i_n^2}$$

where

i_n is the ratio of the harmonic current I_n to the rated current I_N ;

n is the order of harmonic;

$k = 13$.



Should the limits of deformation and imbalance occur simultaneously in service at the rated load, this shall not lead to any harmful temperature in the generator and it is recommended that the resulting excess temperature rise related to the limits specified in this standard should be not more than approximately 10 K.

7.2.3 Synchronous machines

Unless otherwise specified, three-phase synchronous machines shall be capable of operating continuously on an unbalanced system in such a way that, with none of the phase currents exceeding the rated current, the ratio of the negative-sequence component of current (I_2) to the rated current (I_N) does not exceed the values in Table 2 and under fault conditions shall be capable of operation with the product of $(I_2/I_N)^2$ and time (t) not exceeding the values in Table 2.

Table 2 – Unbalanced operating conditions for synchronous machines

Item	Machine type	Maximum I_2/I_N value for continuous operation	Maximum $(I_2/I_N)^2 \times t$ in seconds for operation under fault conditions
Salient pole machines			
1	Indirect cooled windings		
	motors	0,1	20
	generators	0,08	20
	synchronous condensers	0,1	20
2	Direct cooled (inner cooled) stator and/or field windings		
	motors	0,08	15
	generators	0,05	15
	synchronous condensers	0,08	15
Cylindrical rotor synchronous machines			
3	Indirect cooled rotor windings		
	air-cooled	0,1	15
	hydrogen-cooled	0,1	10
4	Direct cooled (inner cooled) rotor windings		
	≤350 MVA	0,08	8
	>350 ≤900 MVA	a	b
	>900 ≤1 250 MVA	a	5
	>1 250 ≤1 600 MVA	0,05	5
<p>a For these machines, the value of I_2/I_N is calculated as follows:</p> $\frac{I_2}{I_N} = 0,08 - \frac{S_N - 350}{3 \times 10^4}$ <p>b For these machines, the value of $(I_2/I_N)^2 \times t$, in seconds, is calculated as follows:</p> $(I_2/I_N)^2 \times t = 8 - 0,005 \, 45 (S_N - 350)$ <p>where in the two footnotes, S_N is the rated apparent power in MVA.</p>			



7.2.4 DC motors supplied from static power converters

In the case of a d.c. motor supplied from a static power converter, the pulsating voltage and current affect the performance of the machine. Losses and temperature rise will increase and the commutation is more difficult compared with a d.c. motor supplied from a pure d.c. power source.

It is necessary, therefore, for motors with a rated output exceeding 5 kW, intended for supply from a static power converter, to be designed for operation from a specified supply, and, if considered necessary by the motor manufacturer, for an external inductance to be provided for reducing the undulation.

The static power converter supply shall be characterized by means of an identification code, as follows:

$$[CCC - U_{aN} - f - L]$$

where

CCC is the identification code for converter connection according to IEC 60971;

U_{aN} consists of three or four digits indicating the rated alternating voltage at the input terminals of the converter, in V;

f consists of two digits indicating the rated input frequency, in Hz;

L consists of one, two or three digits indicating the series inductance to be added externally to the motor armature circuit, in mH. If this is zero, it is omitted.

Motors with rated output not exceeding 5 kW, instead of being tied to a specific type of static power converter, may be designed for use with any static power converter, with or without external inductance, provided that the rated form factor for which the motor is designed will not be surpassed and that the insulation level of the motor armature circuit is appropriate for the rated alternating voltage at the input terminals of the static power converter.

In all cases, the undulation of the static power converter output current is assumed to be so low as to result in a current ripple factor not higher than 0,1 at rated conditions.

7.3 Voltage and frequency variations during operation

For a.c. machines rated for use on a power supply of fixed frequency supplied from an a.c. generator (whether local or via a supply network), combinations of voltage variation and frequency variation are classified as being either zone A or zone B, in accordance with Figure 11 for generators and synchronous condensers, and Figure 12 for motors.

For d.c. machines, when directly connected to a normally constant d.c. bus, zones A and B apply only to the voltages.

A machine shall be capable of performing its primary function, as specified in Table 3, continuously within zone A, but need not comply fully with its performance at rated voltage and frequency (see rating point in Figures 11 and 12), and may exhibit some deviations. Temperature rises may be higher than at rated voltage and frequency.



A machine shall be capable of performing its primary function within zone B, but may exhibit greater deviations from its performance at rated voltage and frequency than in zone A. Temperature rises may be higher than at rated voltage and frequency and most likely will be higher than those in zone A. Extended operation at the perimeter of zone B is not recommended.

NOTE 1 In practical applications and operating conditions, a machine will sometimes be required to operate outside the perimeter of zone A. Such excursions should be limited in value, duration and frequency of occurrence. Corrective measures should be taken, where practical, within a reasonable time, for example, a reduction in output. Such action may avoid a reduction in machine life from temperature effects.

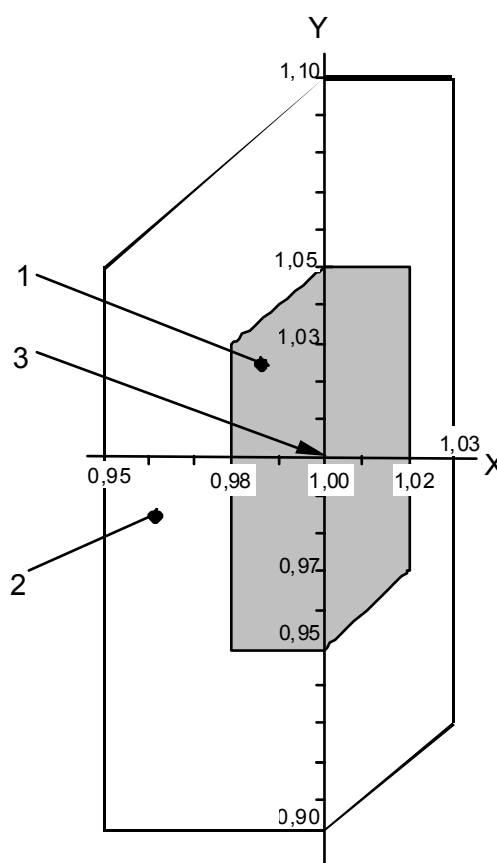
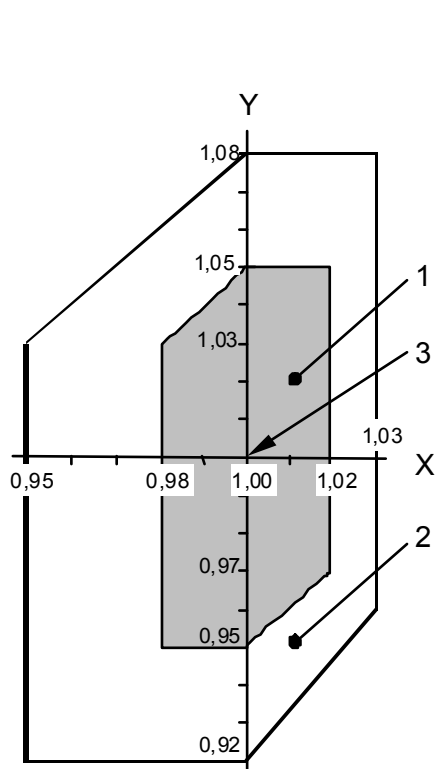
NOTE 2 The temperature-rise limits or temperature limits in accordance with this standard apply at the rating point and may be progressively exceeded as the operating point moves away from the rating point. For conditions at the extreme boundaries of zone A, the temperature rises and temperatures typically exceed the limits specified in this standard by approximately 10 K.

NOTE 3 An a.c. motor will start at the lower limit of voltage only if its starting torque is adequately matched to the counter-torque of the load, but this is not a requirement of this clause. For starting performance of design N motors, see IEC 60034-12.

NOTE 4 For machines covered by IEC 60034-3, different voltage and frequency limits apply.

**Table 3 – Primary functions of machines**

Item	Machine type	Primary function
1	AC generator, excluding item 5	Rated apparent power (kVA), at rated power factor where this is separately controllable
2	AC motor, excluding items 3 and 5	Rated torque (Nm)
3	Synchronous motor, excluding item 5	Rated torque (Nm), the excitation maintaining either rated field current or rated power factor, where this is separately controllable
4	Synchronous condenser, excluding item 5	Rated apparent power (kVA) within the zone applicable to a generator, see Figure 11, unless otherwise agreed
5	Turbine-type machine, with rated output ≥ 10 MVA	See IEC 60034-3
6	DC generator	Rated output (kW)
7	DC motor	Rated torque (Nm), the excitation of a shunt motor maintaining rated speed, where this is separately controllable

**Key**

X axis frequency p.u.

Y axis voltage p.u.

1 zone A

2 zone B (outside zone A)

3 rating point

Figure 11 – Voltage and frequency limits for generators**Figure 12 – Voltage and frequency limits for motors**



7.4 Three-phase a.c. machines operating on unearthed systems

Three-phase a.c. machines shall be suitable for continuous operation with the neutral at or near earth potential. They shall also be suitable for operation on unearthed systems with one line at earth potential for infrequent periods of short duration, for example as required for normal fault clearance. If it is intended to run the machine continuously or for prolonged periods in this condition, a machine with a level of insulation suitable for this condition will be required.

If the winding does not have the same insulation at the line and neutral ends, this shall be stated by the manufacturer.

NOTE The earthing or interconnection of the machine's neutral points should not be undertaken without consulting the machine manufacturer because of the danger of zero-sequence components of currents of all frequencies under some operating conditions and the risk of mechanical damage to the windings under line-to-neutral fault conditions.

7.5 Voltage (peak and gradient) withstand levels

For a.c. motors the manufacturer shall declare a limiting value for the peak voltage and for the voltage gradient in continuous operation.

For cage induction motors within the scope of IEC 60034-12, see also IEC 60034-17.

For high-voltage a.c. motors, see also IEC 60034-15.

For creepage and clearance distances of bare live copper, see IEC 60664-1.

8 Thermal performance and tests

8.1 Thermal class

A thermal class in accordance with IEC 60085 shall be assigned to the insulation systems used in machines.

It is the responsibility of the manufacturer of the machine to interpret the results obtained by thermal endurance testing according to the appropriate part of IEC 60034-18.

NOTE 1 The thermal class of a new insulation system should not be assumed to be directly related to the thermal capability of the individual materials used in it.

NOTE 2 The continued use of an existing insulation system is acceptable where it has been proved by satisfactory service experience.

8.2 Reference coolant

The reference coolant for a given method of cooling the machine is specified in Table 4.

**Table 4 – Reference coolant (see also Table 10)**

Item	Primary coolant	Method of cooling	Secondary coolant	Table number	Table referred to in column 5 specifies limits of:	Reference coolant
1	Air	Indirect	None	7	Temperature rise	Ambient air Reference temperature: 40 °C
2	Air	Indirect	Air	7		
3	Air	Indirect	Water	7		Coolant at inlet to machine or ambient water Reference temperature of cooling gas at inlet to machine: 40 °C Reference temperature of ambient water: 25 °C (see note)
4	Hydrogen	Indirect	Water	8		
5	Air	Direct	None	12	Temperature	Ambient air Reference temperature: 40 °C
6	Air	Direct	Air	12		
7	Air	Direct	Water	12		Gas at entry to machine or liquid at entry to the windings Reference temperature: 40 °C
8	Hydrogen or liquid	Direct	Water	12		
NOTE A machine with indirect cooled windings and a water cooled heat exchanger may be rated using either the primary or secondary coolant as the reference coolant (see also 10.2 for information to be given on the rating plate). A submersible machine with surface cooling or a machine with water jacket cooling should be rated using the secondary coolant as reference coolant.						

If a third coolant is used, temperature rise shall be measured above the temperature of the primary or secondary coolant as specified in Table 4.

NOTE A machine may be so arranged and cooled that more than one item of Table 4 applies, in which case different reference coolants may apply for different windings.

8.3 Conditions for thermal tests

8.3.1 Electrical supply

During thermal testing of an a.c. motor the HVF of the supply shall not exceed 0,015 and the negative-sequence component of the system of voltages shall be less than 0,5 % of the positive-sequence component, the influence of the zero-sequence component being eliminated.

By agreement, the negative-sequence component of the system of currents may be measured instead of the negative-sequence component of the system of voltages. The negative-sequence component of the system of currents shall not exceed 2,5 % of the positive-sequence component.



8.3.2 Temperature of machine before test

If the temperature of a winding is to be determined from the increase of resistance, the initial winding temperature shall not differ from the coolant by more than 2 K.

When a machine is to be tested on a short-time rating (duty type S2) its temperature at the beginning of the thermal test shall be within 5 K of the temperature of the coolant.

8.3.3 Temperature of coolant

A machine may be tested at any convenient value of coolant temperature. See Table 11 (for indirect cooled windings) or Table 14 (for direct cooled windings).

8.3.4 Measurement of coolant temperature during test

The value to be adopted for the temperature of a coolant during a test shall be the mean of the readings of the temperature detectors taken at equal intervals of time during the last quarter of the duration of the test. To reduce errors due to the time lag of the change of temperature of large machines following variations in the temperature of the coolant, all reasonable precautions shall be taken to minimize such variations.

8.3.4.1 Open machines or closed machines without heat exchangers (cooled by surrounding ambient air or gas)

The temperature of the ambient air or gas shall be measured by means of several detectors placed at different points around and halfway up the machine at 1 m to 2 m from it. Each detector shall be protected from radiant heat and draughts.

8.3.4.2 Machines cooled by air or gas from a remote source through ventilation ducts and machines with separately mounted heat exchangers

The temperature of the primary coolant shall be measured where it enters the machine.

8.3.4.3 Closed machines with machine-mounted or internal heat exchangers

The temperature of the primary coolant shall be measured where it enters the machine. The temperature of the secondary coolant shall be measured where it enters the heat exchanger.

8.4 Temperature rise of a part of a machine

The temperature rise, $\Delta\theta$, of a part of a machine is the difference between the temperature of that part measured by the appropriate method in accordance with 8.5, and the temperature of the coolant measured in accordance with 8.3.4.

For comparison with the limits of temperature rise (see Table 7 or 8) or of temperature (see Table 12), when possible, the temperature shall be measured immediately before the machine is shut down at the end of the thermal test, as described in 8.7.

When this is not possible, for example, when using the direct measurement of resistance method, see 8.6.2.3.

For machines tested on actual periodic duty (duty types S3 to S8) the temperature at the end of the test shall be taken as that at the middle of the rise period causing the greatest heating in the last cycle of operation (but see also 8.7.3).



8.5 Methods of measurement of temperature

8.5.1 General

Three methods of measuring the temperature of windings and other parts are recognized:

- resistance method;
- embedded temperature detector (ETD) method;
- thermometer method.

Different methods shall not be used as a check upon one another.

For indirect testing see IEC 60034-29.

8.5.2 Resistance method

The temperature of the windings is determined from the increase of the resistance of the windings.

8.5.3 Embedded temperature detector (ETD) method

The temperature is determined by means of temperature detectors (e.g. resistance thermometers, thermocouples or semi-conductor negative coefficient detectors) built into the machine during construction, at points which are inaccessible after the machine is completed.

8.5.4 Thermometer method

The temperature is determined by thermometers applied to accessible surfaces of the completed machine. The term 'thermometer' includes not only bulb-thermometers, but also non-embedded thermocouples and resistance thermometers. When bulb-thermometers are used in places where there is a strong varying or moving magnetic field, alcohol thermometers shall be used in preference to mercury thermometers.

8.6 Determination of winding temperature

8.6.1 Choice of method

In general, for measuring the temperature of the windings of a machine, the resistance method in accordance with 8.5.1 shall be applied (but see also 8.6.2.3.3).

For a.c. stator windings of machines having a rated output of 5 000 kW (or kVA) or more the ETD method shall be used.

For a.c. machines having a rated output less than 5 000 kW (or kVA) but greater than 200 kW (or kVA) the manufacturer shall choose either the resistance or the ETD method, unless otherwise agreed.

For a.c. machines having a rated output less than or equal to 200 kW (or kVA) the manufacturer shall choose the direct measurement version or the superposition version of the resistance method (see 8.6.2.1), unless otherwise agreed (but see also below).

For machines having a rated output less than or equal to 600 W (or VA), when the windings are non-uniform or severe complications are involved in making the necessary connections, the temperature may be determined by means of thermometers. Temperature rise limits in accordance with Table 7, item 1d for resistance method shall apply.



The thermometer method is recognized in the following cases:

- a) when it is not practicable to determine the temperature rise by the resistance method as, for example, with low-resistance commutating coils and compensating windings and, in general, in the case of low-resistance windings, especially when the resistance of joints and connections forms a considerable proportion of the total resistance;
- b) single layer windings, rotating or stationary;
- c) during routine tests on machines manufactured in large numbers.

For a.c. stator windings having only one coil-side per slot, the ETD method shall not be used for verifying compliance with this standard: the resistance method shall be used.

NOTE For checking the temperature of such windings in service, an embedded detector at the bottom of the slot is of little value because it gives mainly the temperature of the iron core. A detector placed between the coil and the wedge will follow the temperature of the winding much more closely and is, therefore, better for checks in service. Because the temperature there may be rather low, the relation between it and the temperature measured by the resistance method should be determined by a thermal test.

For other windings having one coil-side per slot and for end windings, the ETD method shall not be used for verifying compliance with this standard.

For windings of armatures having commutators and for field windings, the resistance method and the thermometer method are recognized. The resistance method is preferred, but for stationary field windings of d.c. machines having more than one layer the ETD method may be used.

8.6.2 Determination by resistance method

8.6.2.1 Measurement

One of the following methods shall be used:

- direct measurement at the beginning and the end of the test, using an instrument having a suitable range;
- measurement by d.c. current/voltage in d.c. windings, by measuring the current in and the voltage across the winding, using instruments having suitable ranges;
- measurement by d.c. current/voltage in a.c. windings, by injecting direct current into the winding when de-energized.



8.6.2.2 Calculation

The temperature rise, $\theta_2 - \theta_a$, may be obtained from the equation:

$$\frac{\theta_2 + k}{\theta_1 + k} = \frac{R_2}{R_1}$$

where

θ_1 is the temperature (°C) of the winding (cold) at the moment of the initial resistance measurement;

θ_2 is the temperature (°C) of the winding at the end of the thermal test;

θ_a is the temperature (°C) of the coolant at the end of the thermal test;

R_1 is the resistance of the winding at temperature θ_1 (cold);

R_2 is the resistance of the winding at the end of the thermal test;

k is the reciprocal of the temperature coefficient of resistance at 0 °C of the conductor material.

For copper $k = 235$

For aluminium $k = 225$ unless specified otherwise.

For practical purposes, the following alternative formula may be found convenient:

$$\theta_2 - \theta_a = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (k + \theta_1) + \theta_1 - \theta_a$$

8.6.2.3 Correction for stopping time

8.6.2.3.1 General

The measurement of temperatures at the end of the thermal test by the direct measurement resistance method requires a quick shutdown. A carefully planned procedure and an adequate number of people are required.

8.6.2.3.2 Short stopping time

If the initial resistance reading is obtained within the time interval specified in Table 5, that reading shall be accepted for the temperature measurement.

Table 5 – Time interval

Rated output (P_N) kW or kVA	Time interval after switching off power s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	By agreement



8.6.2.3.3 Extended stopping time

If a resistance reading cannot be made in the time interval specified in Table 5, it shall be made as soon as possible but not after more than twice the interval specified in Table 5, and additional readings shall be taken at intervals of approximately 1 min until these readings have begun a distinct decline from their maximum value. A curve of these readings shall be plotted as a function of time and extrapolated to the appropriate time interval of Table 5 for the rated output of the machine. A semi-logarithmic plot is recommended where temperature is plotted on the logarithmic scale. The value of temperature thus obtained shall be considered as the temperature at shutdown. If successive measurements show increasing temperatures after shutdown the highest value shall be taken.

If a resistance reading cannot be made until after twice the time interval specified in Table 5, this method of correction shall only be used by agreement.

8.6.2.3.4 Windings with one coil-side per slot

For machines with one coil-side per slot, the resistance method by direct measurement may be used if the machine comes to rest within the time interval specified in Table 5. If the machine takes more than 90 s to come to rest after switching off the power, the superposition method may be used if previously agreed.

8.6.3 Determination by ETD method

8.6.3.1 General

The detectors shall be suitably distributed throughout the winding and the number of detectors installed shall be not less than six.

All reasonable efforts, consistent with safety, shall be made to place the detectors at the points where the highest temperatures are likely to occur, in such a manner that they are effectively protected against contact with the primary coolant.

The highest reading from the ETD elements shall be used to determine the temperature of the winding.

NOTE ETD elements or their connections may fail and give incorrect readings. Therefore, if one or more readings are shown to be erratic, after investigation they should be eliminated.

8.6.3.2 Two or more coil-sides per slot

The detectors shall be located between the insulated coil-sides within the slot in positions at which the highest temperatures are likely to occur.

8.6.3.3 One coil-side per slot

The detectors shall be located between the wedge and the outside of the winding insulation in positions at which the highest temperatures are likely to occur, but see also 8.6.1.

8.6.3.4 End windings

The temperature detectors shall be located between two adjacent coil-sides within the end windings in positions where the highest temperatures are likely to occur. The sensing point of each detector shall be in close contact with the surface of a coil-side and be adequately protected against the influence of the coolant, but see also 8.6.1.



8.6.4 Determination by thermometer method

All reasonable efforts, consistent with safety, shall be made to place thermometers at the point, or points where the highest temperatures are likely to occur (e.g. in the end windings close to the core iron) in such a manner that they are effectively protected against contact with the primary coolant and are in good thermal contact with the winding or other part of the machine.

The highest reading from any thermometer shall be taken to be the temperature of the winding or other part of the machine.

8.7 Duration of thermal tests

8.7.1 Rating for continuous running duty

The test shall be continued until thermal equilibrium has been reached.

8.7.2 Rating for short-time duty

The duration of the test shall be the time given in the rating.

8.7.3 Rating for periodic duty

Normally the rating for equivalent loading assigned by the manufacturer (see 5.2.6) shall be applied until thermal equilibrium has been reached. If a test on the actual duty is agreed, the load cycle specified shall be applied and continued until practically identical temperature cycles are obtained. The criterion for this shall be that a straight line between the corresponding points of successive duty cycles on a temperature plot has a gradient of less than 2 K per hour. If necessary, measurements shall be taken at reasonable intervals over a period of time.

8.7.4 Ratings for non-periodic duty and for duty with discrete constant loads

The rating for equivalent loading assigned by the manufacturer (see 5.2.6) shall be applied until thermal equilibrium has been reached.

8.8 Determination of the thermal equivalent time constant for machines of duty type S9

The thermal equivalent time constant with ventilation as in normal operating conditions, suitable for approximate determination of the temperature course, can be determined from the cooling curve plotted in the same manner as in 8.6.2.3. The value of the time constant is 1,44 times (that is to say, $1/\ln(2)$ times) the time taken by the machine to cool to one-half of the full load temperature rise, after its disconnection from the supply.

8.9 Measurement of bearing temperature

Either the thermometer method or the ETD method may be used.

The measuring point shall be as near as possible to one of the two locations specified in Table 6.

**Table 6 – Measuring points**

Type of bearing	Measuring point	Location of measuring point
Ball or roller	A	In the bearing housing and not more than 10 mm ^a from the outer ring of the bearing ^b
	B	Outer surface of the bearing housing as close as possible to the outer ring of the bearing
Sleeve	A	In the pressure zone of the bearing shell ^c and not more than 10 mm ^a from the oil-film gap ^b .
	B	Elsewhere in the bearing shell

^a The distance is measured to the nearest point of the ETD or thermometer bulb.

^b In the case of an 'inside out' machine, point A will be in the stationary part not more than 10 mm from the inner ring and point B on the outer surface of the stationary part as close as possible to the inner ring.

^c The bearing shell is the part supporting the bearing material and which is secured in the housing. The pressure zone is the portion of the circumference which supports the combination of rotor weight and radial loads.

The thermal resistance between the temperature detector and the object whose temperature is to be measured shall be minimized; for example, air gaps shall be packed with thermally conducting paste.

NOTE Between the measuring points A and B, as well as between these points and the hottest point of the bearing, there are temperature differences which depend, among other things, on the bearing size. For sleeve bearings with pressed-in bushings and for ball and roller bearings with an inside diameter of up to 150 mm, the temperature difference between points A and B may be assumed to be negligible. In the case of larger bearings, the temperature difference between measuring points A and B is approximately 15 K.

8.10 Limits of temperature and of temperature rise

Limits are given for operation under site operating conditions specified in Clause 6 and at rating for continuous running duty (reference conditions), followed by rules for the adjustment of those limits when operating at site under other conditions and on other ratings. Further rules give adjustments to the limits during thermal testing when conditions at the test site differ from those at the operating site.

The limits are stated relative to the reference coolant specified in Table 4.

A rule is given to allow for the purity of hydrogen coolant.

8.10.1 Indirect cooled windings

Temperature rises under reference conditions shall not exceed the limits given in Table 7 (air coolant) or Table 8 (hydrogen coolant) as appropriate.

For other operating site conditions, for ratings other than continuous running duty, and for rated voltages greater than 12 000 V, the limits shall be adjusted according to Table 9. (See also Table 10 for limit on coolant temperature which is assumed in Table 9.)

In the case of thermometer readings made in accordance with 8.6.1, the limit of temperature rise shall be according to Table 7.



If, for windings indirectly cooled by air, conditions at the test site differ from those at the operating site, the adjusted limits given in Table 11 shall apply at the test site.

If the adjusted limits given in Table 11 lead to permissible temperatures at the test site which the manufacturer considers to be excessive, the testing procedure and the limits shall be agreed.

No adjustments at the test site are given for windings indirectly cooled by hydrogen, because it is very unlikely that they will be tested at rated load anywhere other than at the operating site.



Table 7 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by air

Thermal class		130 (B)			155 (F)			180 (H)		
Method of measurement		Th K	R K	ETD K	Th K	R K	ETD K	Th K	R K	ETD K
Th = Thermometer, R = Resistance, ETD = Embedded temperature detector										
Item	Part of machine									
1a)	AC windings of machines having outputs of 5 000 kW (or kVA) or more	–	80	85 ^a	–	105	110 ^a	–	125	130 ^a
1b)	AC windings of machines having outputs above 200 kW (or kVA), but less than 5 000 kW (or kVA)	–	80	90 ^a	–	105	115 ^a	–	125	135 ^a
1c)	AC windings of machines having outputs of 200 kW (or kVA) or less, other than those in items 1d) or 1e) ^b	–	80	–	–	105	–	–	125	–
1d)	AC windings of machines having rated outputs of less than 600 W (or VA) ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–
1e)	AC windings which are self-cooled without a fan (IC 40) and/or with encapsulated windings ^b	–	85	–	–	110	–	–	130	–
2	Windings of armatures having commutators	70	80	–	85	105	–	105	125	–
3	Field windings of a.c. and d.c. machines other than those in item 4	70	80	–	85	105	–	105	125	–
4a)	Field windings of synchronous machines with cylindrical rotors having a d.c. excitation winding embedded in slots, except synchronous induction motors	–	90	–	–	110	–	–	135	–
4b)	Insulated stationary field windings of d.c. machines having more than one layer	70	80	90	85	105	110	105	125	135
4c)	Low-resistance field windings of a.c. and d.c. machines having more than one layer and compensating windings of d.c. machines	80	80	–	100	100	–	125	125	–
4d)	Single-layer windings of a.c. and d.c. machines with exposed bare or varnished metal surfaces ^c	90	90	–	110	110	–	135	135	–
^a For adjustment for high-voltage a.c. windings, see item 4 of Table 9. ^b With the application of the superposition test method to windings of machines rated at 200 kW (or kVA) or less with thermal classes 130 (B) and 155 (F), the limits of temperature rise given for the resistance method may be exceeded by 5 K. ^c Also includes multiple layer windings, provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.										

**Table 8 – Limits of temperature rise of windings indirectly cooled by hydrogen**

Thermal class		130 (B)		155 (F)	
Method of measurement		Resistance	ETD	Resistance	ETD
ETD = Embedded temperature detector		K	K	K	K
Item					
1	AC windings of machines having outputs of 5 000 kW (or kVA) or more or having a core length of 1 m or more Absolute hydrogen pressure ^b <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 40%;"> $\leq 150 \text{ kPa (1,5 bar)}$ $> 150 \text{ kPa} \leq 200 \text{ kPa (2,0 bar)}$ $> 200 \text{ kPa} \leq 300 \text{ kPa (3,0 bar)}$ $> 300 \text{ kPa} \leq 400 \text{ kPa (4,0 bar)}$ $> 400 \text{ kPa}$ </div> <div style="width: 40%;"> 85^a 80^a 78^a 73^a 70^a </div> </div>	–	85 ^a	–	105 ^a
2a	AC windings of machines having outputs of less than 5 000 kW (or kVA), or having a core length of less than 1 m	80	85 ^a	100	110 ^a
2b	DC field windings of a.c. and d.c. machines other than those in items 3 and 4	80	–	105	–
3	DC field windings of machines having cylindrical rotors	85	–	105	–
4a	Low-resistance field windings of more than one layer and compensating windings	80	–	100	–
4b	Single-layer windings with exposed bare or varnished metal surfaces ^c	90	–	110	–
^a For adjustment for high-voltage a.c. windings see item 4 of Table 9. ^b This is the only item where the limit of temperature rise is dependant on hydrogen pressure. ^c Also includes multi-layer field windings provided that the under layers are each in contact with the circulating primary coolant.					

Table 9 – Adjustments to limits of temperature rise at the operating site of indirect cooled windings to take account of non-reference operating conditions and ratings

Item	Operation conditions or rating		Adjustment to limit of temperature rise ($\Delta\theta$) in Tables 7 and 8
1a	Maximum temperature of ambient air or of the cooling gas at inlet to the machine (θ_c) and for altitudes of up to 1 000 m. If the difference between the thermal class and the observable limit of temperature, consisting of the sum of the reference cold coolant inlet temperature of 40 °C and the limit of temperature rise according to Tables 7 and 8 is less or equal to 5 K: For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 10.	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Increased by the amount by which the coolant temperature is less than 40 °C.



Table 9 (continued)

Item	Operation conditions or rating		Adjustment to limit of temperature rise ($\Delta\theta$) in Tables 7 and 8
1b	Maximum temperature of ambient air or of the cooling gas at the inlet to the machine (θ_c) and for altitudes of up to 1 000 m. If the difference between the thermal class and the observable limit of the temperature, consisting of the sum of the reference cold coolant inlet temperature of 40 °C and the limit of temperature rise according to Tables 7 and 8 is larger than 5 K: For a higher altitude replace 40 °C with the value given in Table 10.	$0\text{ °C} \leq \theta_c \leq 40\text{ °C}$	Increased by the amount by which the coolant temperature is less than 40 °C, but this amount is reduced by the factor $\left(1 - \frac{\text{thermal class} - (40\text{ °C} + \text{lim.tmp.})}{80\text{ K}}\right)$ with lim.tmp. = limit of temperature rise according to Tables 7 or 8 at 40 °C cold coolant temperature
1c		$40\text{ °C} < \theta_c \leq 60\text{ °C}$	Reduced by the amount by which the coolant temperature exceeds 40 °C
1d		$\theta_c < 0\text{ °C}$ or $\theta_c > 60\text{ °C}$	By agreement
2	Maximum temperature of the water at the inlet to water-cooled heat exchangers or maximum temperature of the ambient water for submersible machines with surface cooling or machines with water jacket cooling (θ_w)	$5\text{ °C} \leq \theta_w \leq 25\text{ °C}$ $\theta_w > 25\text{ °C}$	Increased by 15 K and by the difference between 25 °C and θ_w Increased by 15 K and reduced by the difference between θ_w and 25 °C
3a	Altitude (H) - general rule	1 000 m < H ≤ 4 000 m and maximum ambient air temperature not specified	No adjustment. It shall be assumed that the reduced cooling resulting from altitude is compensated by a reduction of maximum ambient temperature below 40 °C and that the total temperature will therefore not exceed 40 °C plus the Table 7 and 8 temperature rises ^a
3b	Altitude (H) - power plant generator specific	H > 4 000 m according specification of the purchaser	By agreement The capability of power plant generators should be adjusted and is a function of the altitude (air pressure). No adjustment of the capability is needed for power plant generators if the absolute coolant pressure is maintained constant regardless of the altitude.

**Table 9** (continued)

Item	Operation conditions or rating		Adjustment to limit of temperature rise ($\Delta\theta$) in Tables 7 and 8
4	Rated stator winding voltage (U_N)	$12\text{ kV} < U_N \leq 24\text{ kV}$ $U_N > 24\text{ kV}$	$\Delta\theta$ for embedded temperature detectors (ETD) shall be reduced by 1 K for each 1 kV (or part thereof) from 12 kV up to and including 24 kV By agreement
5 b	Rating for short-time duty (S2), with rated output less than 5 000 kW (kVA)		Increased by 10 K
6 b	Rating for non-periodic duty (S9)		$\Delta\theta$ may be exceeded for short periods during the operation of the machine
7 b	Rating for duty with discrete loads (S10)		$\Delta\theta$ may be exceeded for discrete periods during the operation of the machine
a Assuming the decrease in ambient temperature is 1 % of the limiting rises for every 100 m of altitude above 1 000 m, the maximum ambient air temperature at the operating site can be as shown in Table 10.			
b For air-cooled windings only.			

Table 10 – Assumed maximum ambient temperature

Altitude m	Thermal class		
	130 (B)	155 (F)	180 (H)
	Temperature °C		
1 000	40	40	40
2 000	32	30	28
3 000	24	19	15
4 000	16	9	3

8.10.2 Direct cooled windings

Temperatures under reference conditions shall not exceed the limits given in Table 12.

For other operating site conditions the limits shall be adjusted according to Table 13.

If conditions at the test site differ from those at the operating site, the adjusted limits given in Table 14 shall apply at the test site.

If the adjusted limits given in Table 14 lead to temperatures at the test site which the manufacturer considers to be excessive, the testing procedure and the limits shall be agreed.

8.10.3 Adjustments to take account of hydrogen purity on test

For windings directly or indirectly cooled by hydrogen, no adjustment shall be made to limits of temperature rise or of total temperature if the proportion of hydrogen in the coolant is between 95 % and 100 %.



8.10.4 Permanently short-circuited windings, magnetic cores and all structural components (other than bearings) whether or not in contact with insulation

The temperature rise or the temperature shall not be detrimental to the insulation of that part or to any other part adjacent to it.

8.10.5 Commutators and sliprings, open or enclosed and their brushes and brushgear

The temperature rise or temperature of any commutator, slipring, brush or brushgear shall not be detrimental to the insulation of that part or any adjacent part.

The temperature rise or temperature of a commutator or slipring shall not exceed that at which the combination of brush grade and commutator or slipring material can handle the current over the full operating range.

Table 11 – Adjusted limits of temperature rise at the test site ($\Delta\theta_T$) for windings indirectly cooled by air to take account of test site operating conditions

Item	Test condition		Adjusted limit at test site $\Delta\theta_T$
1	Temperature difference of reference coolant at test site (θ_{cT}) and operating site (θ_c)	Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30$ K	$\Delta\theta_T = \Delta\theta$
		Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30$ K	By agreement
2	Difference of altitudes of test site (H_T) and operating site (H)	$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $H_T < 1\,000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 - \frac{H - 1\,000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right)$
		$H < 1\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - 1\,000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right)$
		$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\Delta\theta_T = \Delta\theta \left(1 + \frac{H_T - H}{10\,000\text{ m}} \right)$
		$H > 4\,000\text{ m}$ or $H_T > 4\,000\text{ m}$	By agreement

NOTE 1 $\Delta\theta$ is given in Table 7 and adjusted if necessary in accordance with Table 9.

NOTE 2 If temperature rise is to be measured above the temperature of the water where it enters the cooler, the effect of altitude on the temperature difference between air and water should strictly be allowed for. However, for most cooler designs, the effect will be small, the difference increasing with increasing altitude at the rate of roughly 2 K per 1 000 m. If an adjustment is necessary, it should be by agreement.

**Table 12 – Limits of temperature of directly cooled windings and their coolants**

Thermal class		130 (B)			155 (F)		
Method of measurement		Thermo- meter °C	Resistance °C	ETD °C	Thermo- meter °C	Resistance °C	ETD °C
Item	Part of the machine						
1	Coolant at the outlet of direct-cooled a.c. windings. These temperatures are preferred to the values given in item 2 as the basis of rating.						
1a)	Gas (air, hydrogen, helium, etc.)	110	–	–	130	–	–
1b)	Water	90	–	–	90	–	–
2	AC windings						
2a)	Gas cooled	–	–	120 ^a	–	–	145 ^a
2b)	Liquid cooled						
3	Field windings of turbine type machines						
3a)	Cooled by gas leaving the rotor through the following number of outlet regions ^b						
	1 and 2	–	100	–	–	115	–
	3 and 4	–	105	–	–	120	–
	5 and 6	–	110	–	–	125	–
	7 to 14	–	115	–	–	130	–
	above 14	–	120	–	–	135	–
3b)	Liquid cooled	Observance of the maximum coolant temperature given in item 1b) will ensure that the hotspot temperature of the winding is not excessive					
4	Field windings of a.c. and d.c. machines having d.c. excitation other than in item 3.						
4a)	Gas cooled	–	130	–	–	150	–
4b)	Liquid cooled	Observance of the maximum coolant temperature given in item 1b) will ensure that the hotspot temperature of the winding is not excessive					

^a

No adjustment in the case of high-voltage a.c. windings is applicable to these items, see Table 13, item 2.

^b

The rotor ventilation is classified by the number of radial outlet regions on the total length of the rotor. Special outlet regions for the coolant of the end windings are included as one outlet for each end. The common outlet region of two axially opposed flows is to be counted as two regions.



Table 13 – Adjustments to limits of temperature at the operating site for windings directly cooled by air or hydrogen to take account of non-reference operating conditions and ratings

Item	Operating condition or rating		Adjustment to limit of temperature in Table 12
1	Temperature θ_c of reference coolant	$0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta_c \leq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	Reduction by the amount of the difference between $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and θ_c . However, by agreement, a smaller reduction may be applied, provided that for $\theta_c < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ the reduction is made at least equal to the difference between $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ and θ_c .
		$40\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_c \leq 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	No adjustment
		$\theta_c < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ or $\theta_c > 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	By agreement
2	Rated stator winding voltage (U_N)	$U_N > 11\text{ kV}$	No adjustment The heat flow is mainly towards the coolant inside the conductors and not through the main insulation of the winding.

Table 14 – Adjusted limits of temperature at the test site θ_T for windings directly cooled by air to take account of test site operating conditions

Item	Test condition		Adjusted limit of temperature at test site θ_T
1	Difference of reference coolant temperatures of test site (θ_{cT}) and operating site (θ_c)	Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) \leq 30\text{ K}$	$\theta_T = \theta$
		Absolute value of $(\theta_c - \theta_{cT}) > 30\text{ K}$	By agreement
2	Difference of altitudes of test site (H_T) and operating site (H)	$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $H_T < 1\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 - \frac{H - 1000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H < 1\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - 1000\text{ m}}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$1\,000\text{ m} < H \leq 4\,000\text{ m}$ $1\,000\text{ m} < H_T \leq 4\,000\text{ m}$	$\theta_T = (\theta - \theta_c) \left(1 + \frac{H_T - H}{10\,000\text{ m}} \right) + \theta_{cT}$
		$H > 4\,000\text{ m}$ or $H_T > 4\,000\text{ m}$	By agreement
NOTE θ is given in Table 12 and adjusted if necessary in accordance with Table 13.			



9 Other performance and tests

9.1 Routine tests

Routine tests are always factory tests. They can only be performed on machines which are assembled at the works of the manufacturer. The machine need not be completely assembled. It can lack components which are not significant for the testing. Routine tests do not need the machine to be coupled except for the open-circuit test on synchronous machines.

The minimum test schedule is listed in Table 15 and is applicable for machines with rated output ≤ 20 MW (MVA). Additional routine tests may be performed especially on machines with ratings above 200 kW (kVA). The term synchronous machines includes permanent magnet machines.

For d.c. machines, depending on size and design, a commutation test under load may be performed as a routine test.

Table 15 – Minimum schedule of routine tests

Number	Test	Induction machines (including synchronous induction motors) ^a	Synchronous machines		DC machines with separate or shunt excitation
			Motors	Generators	
1	Resistance of windings (cold)	Yes	Yes		Yes
2	No-load losses and current	Yes	–		–
3a	No-load losses at unity power factor ^b	–	Yes ^d		–
3b	No-load excitation current at rated voltage by open-circuit test ^b	–	Yes ^d		–
4	Excitation current at rated speed and rated armature voltage	–	–		Yes
5	Open circuit secondary induced voltage at standstill (wound rotor) ^c	Yes	–		–
6a	Direction of rotation	Yes	Yes	–	Yes
6b	Phase sequence	–	–	Yes	–
7	Withstand voltage test according to 9.2	Yes	Yes		Yes

^a IEC 411-33-04.

^b Permanent magnet machines excluded.

^c For safety considerations this test may be performed at reduced voltage.

^d Tests 3a and 3b are exclusive. Only one of these tests is required.



9.2 Withstand voltage test

A test voltage, as specified below, shall be applied between the windings under test and the frame of the machine, with the core and the windings not under test connected to the frame. It shall be applied only to a new and completed machine with all its parts in place under conditions equivalent to normal working conditions and shall be carried out at the manufacturer's works or after erection on site. When a thermal test is carried out, the withstand voltage test shall be carried out immediately after that test.

In the case of polyphase machines with rated voltage above 1 kV having both ends of each phase individually accessible, the test voltage shall be applied between each phase and the frame, with the core and the other phases and windings not under test connected to the frame.

Except as stated below, the test voltage shall be of power frequency and as near as possible to a sine wave form. The final value of the voltage shall be in accordance with Table 16. However, for machines with a rated voltage 6 kV or greater, when power frequency equipment is not available, then by agreement a d.c. test may be carried out at a voltage 1,7 times the r.m.s. value given in Table 16.

NOTE It is recognized that, during a d.c. test, the surface potential distribution along the end winding insulation and the ageing mechanisms are different from those occurring during an a.c. test.

The test shall be commenced at a voltage not exceeding half of the full test voltage. The voltage shall then be increased to the full value, steadily or in steps of not more than 5 % of the full value, the time allowed for the voltage increase from half to full value being not less than 10 s. The full test voltage shall then be maintained for 1 min in accordance with the value as specified in Table 16. There shall be no failure (see IEC 60060-1) during this period.

During the routine testing of quantity produced machines up to 200 kW (or kVA) and rated for $U_N \leq 1$ kV, the 1 min test may be replaced by a test of 1 s at 120 % of the test voltage specified in Table 16.

The withstand voltage test at full voltage made on the windings on acceptance shall not be repeated. If, however, a second test is made at the request of the purchaser, after further drying if considered necessary, the test voltage shall be 80 % of the voltage specified in Table 16.

To determine the test voltage from Table 16 for d.c. motors supplied by static power converters, the direct voltage of the motor or the r.m.s. phase-to-phase value of the rated alternating voltage at the input terminals of the static power converter shall be used, whichever is the greater.

Completely rewound windings shall be tested at the full test voltage for new machines.

When a user and a repair contractor have agreed to carry out withstand voltage tests in cases where windings have been partially rewound or in the case of an overhauled machine, the following procedure is recommended:

- a) partially rewound windings are tested at 75 % of the test voltage for a new machine. Before the test, the old part of the winding shall be carefully cleaned and dried;
- b) overhauled machines, after cleaning and drying, are subjected to a test at a voltage equal to 1,5 times the rated voltage, with a minimum of 1 000 V if the rated voltage is equal to or greater than 100 V and a minimum of 500 V if the rated voltage is less than 100 V.

**Table 16 – Withstand voltage tests**

Item	Machine or part	Test voltage (r.m.s.)
1	Insulated windings of rotating machines of rated output less than 1 kW (or kVA) and of rated voltage less than 100 V with the exception of those in items 4 to 8	500 V + twice the rated voltage
2	Insulated windings of rotating machines of rated output less than 10 000 kW (or kVA) with the exception of those in item 1 and items 4 to 8 ^b	1 000 V + twice the rated voltage with a minimum of 1 500 V ^a
3	Insulated windings of rotating machines of rated output 10 000 kW (or kVA) or more with the exception of those in items 4 to 8 ^b Rated voltage ^a : - up to and including 24 000 V - above 24 000 V	1 000 V + twice the rated voltage Subject to agreement
4	Separately excited field windings of d.c. machines	1 000 V + twice the maximum rated circuit voltage with a minimum of 1 500 V
5	Field windings of synchronous generators, synchronous motors and synchronous condensers.	
5a)	Rated field voltage: - up to, and including 500 V, - above 500 V.	Ten times the rated field voltage with a minimum of 1 500 V 4 000 V + twice the rated field voltage
5b)	When a machine is intended to be started with the field winding short-circuited or connected across a resistance of value less than ten times the resistance of the winding	Ten times the rated field voltage with a minimum of 1 500 V and a maximum of 3 500 V.
5c)	When the machine is intended to be started either with the field winding connected across a resistance of value equal to, or more than, ten times the resistance of the winding, or with the field windings on open circuit with or without a field-dividing switch	1 000 V + twice the maximum value of the r.m.s. voltage, which can occur under the specified starting conditions, between the terminals of the field winding, or in the case of a sectionalized field winding between the terminals of any section, with a minimum of 1 500 V ^c
6	Secondary (usually rotor) windings of induction motors or synchronous induction motors if not permanently short-circuited (e.g. if intended for rheostatic starting)	
6a)	For non-reversing motors or motors reversible from standstill only	1 000 V + twice the open-circuit standstill voltage as measured between slip-rings or secondary terminals with rated voltage applied to the primary windings
6b)	For motors to be reversed or braked by reversing the primary supply while the motor is running	1 000 V + four times the open-circuit standstill secondary voltage as defined in item 6a)



Table 16 (continued)

Item	Machine or part	Test voltage (r.m.s.)
7	Exciters (except as below)	As for the windings to which they are connected
	<i>Exception 1:</i> exciters of synchronous motors (including synchronous induction motors) if connected to earth or disconnected from the field windings during starting	1 000 V + twice the rated exciter voltage, with a minimum of 1 500 V
	<i>Exception 2:</i> separately excited field windings of exciters (see item 4)	
8	Electrically interconnected machines and apparatus	A repetition of the tests in items 1 to 7 above should be avoided if possible, but if a test is performed on a group of machines and apparatus, each having previously passed its withstand voltage test, the test voltage to be applied to such an electrically connected arrangement shall be 80 % of the lowest test voltage appropriate for any individual piece of the arrangement ^d
9	Devices that are in physical contact with windings, for example, temperature detectors, shall be tested to the machine frame. During the withstand test on the machine, all devices in physical contact with the winding shall be connected to the machine frame.	1 500 V

^a For two-phase windings having one terminal in common, the voltage in the formula shall be the highest r.m.s. voltage arising between any two terminals during operation.

^b Withstand tests on machines having graded insulation should be the subject of agreement.

^c The voltage occurring between the terminals of the field windings, or sections thereof, under the specified starting conditions, may be measured at any convenient reduced supply voltage, and the voltage so measured shall be increased in the ratio of the specified starting supply voltage to the test supply voltage.

^d For windings of one or more machines connected together electrically, the voltage to be considered is the maximum voltage that occurs in relation to earth.

9.3 Occasional excess current

9.3.1 General

The excess current capability of rotating machines is given for the purpose of co-ordinating these machines with control and protective devices. Tests to demonstrate these capabilities are not a requirement of this standard. The heating effect in the machine windings varies approximately as the product of the time and the square of the current. A current in excess of the rated current will result in increased temperature. Unless otherwise agreed, it can be assumed that the machine will not be operated at the excess currents specified for more than a few short periods during the lifetime of the machine. When an a.c. machine is to be used as both a generator and a motor, the excess current capability should be the subject of agreement.

NOTE For the capability of synchronous machines concerning the occasional negative-sequence component of current under fault conditions, see 7.2.3.



9.3.2 Generators

AC generators having rated outputs not exceeding 1 200 MVA shall be capable of withstanding a current equal to 1,5 times the rated current for not less than 30 s.

AC generators having rated outputs above 1 200 MVA shall be capable of withstanding a current equal to 1,5 times the rated current for a period which shall be agreed, but this period shall be not less than 15 s.

9.3.3 Motors (except commutator motors and permanent magnet motors)

Polyphase motors having rated outputs not exceeding 315 kW and rated voltages not exceeding 1 kV shall be capable of withstanding:

- a current equal to 1,5 times the rated current for not less than 2 min.

NOTE Polyphase motors having rated outputs above 315 kW and all single-phase motors, no occasional excess current is specified.

9.3.4 Commutator machines

A commutator machine shall be capable of withstanding, for 60 s, 1,5 times rated current under the appropriate combination of conditions as follows:

a) speed:

- 1) d.c. motor: highest full-field speed;
- 2) d.c. generator: rated speed;
- 3) a.c. commutator motor: highest full-field speed;

b) armature voltage: that corresponding to the specified speed.

NOTE Attention should be given to the limits of commutation capability.

9.4 Momentary excess torque for motors

9.4.1 Polyphase induction motors and d.c. motors

Motors, whatever their duty and construction, shall be capable of withstanding an excess torque of at least 60 % of their rated torque for 15 s without either stalling or exhibiting an abrupt change of speed (under gradual increase of torque). The voltage and frequency (for induction motors) shall be maintained at their rated values.

NOTE Higher torques are required for some motors manufactured according to IEC 60034-12.

For d.c. motors, the torque shall be expressed in terms of overload current.

Motors for duty type S9 shall be capable of withstanding momentarily an excess torque determined according to the duty specified.

NOTE For an approximate determination of the change in temperature due to the current-related losses, the thermal equivalent time constant determined according to 8.8 may be used.

Motors intended for specific applications that require a high torque (for example for hoisting) shall be the subject of agreement.



For cage-type induction motors specially designed to ensure a starting current of less than 4,5 times the rated current, the excess torque can be below the value of 60 % given in paragraph 1, but not less than 50 %.

In the case of special types of induction motors with special inherent starting properties, for example motors intended for use at variable frequency or induction motors supplied from static converters, the value of the excess torque shall be the subject of agreement.

9.4.2 Polyphase synchronous motors

Unless otherwise agreed, a polyphase synchronous motor, irrespective of the duty, shall be capable of withstanding an excess torque as specified below for 15 s without falling out of synchronism, the excitation being maintained at the value corresponding to rated load. When automatic excitation is used, the limits of torque shall be the same values with the excitation equipment operating under normal conditions:

- synchronous (wound rotor) induction motors: 35 % excess torque;
- synchronous (cylindrical rotor) motors: 35 % excess torque;
- synchronous (salient pole) motors: 50 % excess torque.

9.4.3 Other motors

The momentary excess torque for single-phase, commutator and other motors shall be the subject of agreement.

9.5 Pull-up torque

Unless otherwise specified (for example machines according to IEC 60034-12), the pull-up torque of cage induction motors under full voltage shall be not less than 0,3 times the rated torque.

9.6 Safe operating speed of cage induction motors

All three-phase single-speed cage induction motors of frame number up to and including 315 and for voltages up to and including 1 000 V shall be capable of safe continuous operation at speeds up to the appropriate speed given in Table 17 unless otherwise stated on the rating plate.

Table 17 – Maximum safe operating speed (min^{-1}) of three-phase single-speed cage induction motors for voltages up to and including 1 000 V

Frame number	2 pole	4 pole	6 pole
≤ 100	5 200	3 600	2 400
112	5 200	3 600	2 400
132	4 500	2 700	2 400
160	4 500	2 700	2 400
180	4 500	2 700	2 400
200	4 500	2 300	1 800
225	3 600	2 300	1 800
250	3 600	2 300	1 800
280	3 600	2 300	1 800
315	3 600	2 300	1 800
NOTE The above values may have to be reduced to meet the requirements of IEC 60079 [8].			

NOTE When operating at speeds above rated speed, for example, when used with adjustable speed controls, noise and vibration levels will increase. The user may require to fine balance the motor rotor for acceptable operation above rated speed. Bearing life may be reduced. Attention should be paid to the re-greasing intervals and the grease service life.



9.7 Overspeed

Machines shall be designed to withstand the speeds specified in Table 18.

An overspeed test is not normally considered necessary but can be performed when this is specified and has been agreed. (For turbine-type a.c. generators, see also IEC 60034-3.) An overspeed test shall be considered as satisfactory if no permanent abnormal deformation is apparent subsequently, and no other weakness is detected which would prevent the machine from operating normally, and provided the rotor windings after the test comply with the required dielectric tests. The duration of any overspeed test shall be 2 min.

Due to settling of laminated rotor rims, laminated poles held by wedges or by bolts, etc. a minute permanent increase in the diameter is natural, and not to be considered as an abnormal deformation indicating that the machine is not suitable for normal operation.

During commissioning of a hydraulic-turbine driven synchronous generator, the machine shall be driven at the speed it can reach with the overspeed protection operating, so as to ascertain that the balance is satisfactory up to that speed.

Table 18 – Overspeeds

Item	Machine type	Overspeed
1	AC machines All machines other than those specified below:	1,2 times the maximum rated speed
1a)	Water-turbine driven generators, and any auxiliary machines connected directly (electrically or mechanically) to the main machine	Unless otherwise specified, the runaway speed of the set but not less than 1,2 times the maximum rated speed
1b)	Machines which may under certain circumstances be driven by the load	The specified runaway speed of the set but not less than 1,2 times the maximum rated speed.
1c)	Series and universal motors	1,1 times the no-load speed at rated voltage. For motors integrally attached to loads that cannot become accidentally disconnected, the words 'no-load speed' shall be interpreted to mean the lightest load condition possible with the load
1d)	Three-phase single-speed cage induction motors according to 9.6	1,2 times the maximum safe operating speed
2	DC machines	
2a)	Shunt and separately excited motor	1,2 times the highest rated speed or 1,15 times the corresponding no-load speed, whichever is greater
2b)	Compound excited motors having speed regulation of 35 % or less	1,2 times the higher rated speed or 1,15 times the corresponding no-load speed, whichever is greater but not exceeding 1,5 times the highest rated speed
2c)	Compound excited motors having speed regulation greater than 35 % and series motors	The manufacturer shall assign a maximum safe operating speed which shall be marked on the rating plate. The overspeed for these motors shall be 1,1 times the maximum safe operating speed. The safe operating speed marking is not required on motors that are capable of an overspeed of 1,1 times the no-load speed at rated voltage
2d)	Permanent-magnet excited motors	Overspeed as specified in item 2a) unless the motor has a series winding and, in such a case, they shall withstand the overspeeds specified in items 2b) or 2c) as appropriate
2e)	Generators	1,2 times the rated speed



9.8 Short-circuit current for synchronous machines

Unless otherwise specified, the peak value of the short-circuit current for synchronous machines, including turbine-type machines not covered by IEC 60034-3, in the case of short circuit on all phases during operation at rated voltage, shall not exceed 15 times the peak value or 21 times the r.m.s. value of the rated current.

Verification may be carried out by calculation or by means of a test at a voltage of 0,5 times the rated voltage or above.

9.9 Short-circuit withstand test for synchronous machines

The three-phase short-circuit test for synchronous machines shall be carried out only at the request of the purchaser. In this case, the test shall be carried out on the machine running on no-load with an excitation corresponding to the rated voltage unless otherwise agreed. The test shall not be carried out with an excitation greater than that corresponding to 1,05 times the rated voltage at no load.

The test excitation, as determined, may be reduced by agreement, in order to take into account the impedance of the transformer which may be placed between the machines and the system. In this latter case, it may also be agreed that the test be made at the operating site with the over-excitation device in operation. The short circuit shall be maintained for 3 s.

The test is considered satisfactory if no harmful deformation occurs and if the requirements of the applied voltage dielectric test (see Table 16) are met after the short-circuit test. For three-phase turbine-type machines, see IEC 60034-3.

9.10 Commutation test for commutator machines

A d.c. or a.c. commutator machine shall be capable of operating from no-load to operation with the excess current or excess torque, specified in 9.3 and 9.4 respectively, without permanent damage to the surface of the commutator or brushes and without injurious sparking, the brushes remaining in the same set position. If possible, the commutation test shall be performed in warm conditions.

9.11 Total harmonic distortion (*THD*) for synchronous machines

9.11.1 General

The requirements of this subclause apply only to synchronous machines having rated outputs of 300 kW (or kVA) or more, intended for connection to power networks operating at nominal frequencies of 16 ²/₃ Hz to 100 Hz inclusive, with a view to minimizing interference caused by the machines.

9.11.2 Limits

When tested on open-circuit and at rated speed and voltage, the total harmonic distortion (*THD*) of the line-to-line terminal voltage, as measured according to the methods laid down in 9.11.3, shall not exceed 5 %.

NOTE Limiting values of individual harmonics are not specified as it is considered that machines which meet the above requirements will operate satisfactory.



9.11.3 Tests

Type tests shall be carried out on a.c. machines to verify compliance with 9.11.2. The range of frequencies measured shall cover all harmonics from rated frequency up to the 100th harmonic.

Either the *THD* may be measured directly by means of a meter and associated network specially designed for the purpose, or each individual harmonic shall be measured and from the measured values the *THD* shall be computed using the following formula:

$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^k u_n^2}$$

where

u_n is the ratio of the line-to-line terminal voltage U_n of the machine to the line-to-line terminal fundamental voltage U_1 of the machine;

n is the order of harmonic;

$k = 100$.

10 Rating plates

10.1 General

Every electrical machine shall be provided with a rating plate(s). The plates shall be made of durable material and be securely mounted. The writing has to be made with durable print.

The rating plate(s) shall preferably be mounted on the frame of the machine and be located so as to be easily legible in the position of use determined by the type of construction and mounting arrangement of the machine. If the electrical machine is so enclosed or incorporated in the equipment that its rating plate is not easily legible, the manufacturer shall, on request, supply a second plate to be mounted on the equipment.

10.2 Marking

Machines with rated outputs up to and including 750 W (or VA) and dimensions not covered by IEC 60072 shall be marked with the information given in items a, b, k, l and z below as a minimum. For special-purpose and built-in machines with rated outputs up to and including 3 kW (or kVA) items a, b, k and l shall be marked as a minimum and item z may be provided in another form.

In all other cases, rating plate(s) shall be durably marked with the items in the following list, as far as they apply. The items need not all be on the same plate. Letter symbols for units and quantities shall be in accordance with IEC 60027-1 and IEC 60027-4.

If the manufacturer gives more information, this need not necessarily be marked on the rating plate(s).



The items are numbered for convenient reference, but the order in which they appear on the rating plate(s) is not standardized. Items may be suitably combined.

- a) The manufacturer's name or mark.
- b) The manufacturer's serial number, or identification mark.

NOTE A single identification mark may be used to identify each member of a group of machines which are made to the same electrical and mechanical design and are produced in one batch using the same technology.

- c) Information to identify the year of manufacture. This shall be marked on the rating plate or be given on a separate data sheet to be provided with the machine.

NOTE If this information can be obtained from the manufacturer by quoting the data specified in item b, it may be omitted from both the rating plate and the separate data sheet.

- d) The manufacturer's machine code.
- e) For a.c. machines, the number of phases.
- f) The number(s) of the rating and performance standard(s) which are applicable (IEC 60034-X and/or equivalent national standard(s)). If IEC 60034 is marked, this implies compliance with all the other relevant standards of the IEC 60034 series.
- g) The degree of protection provided by the integral design of the rotating electrical machine (IP code) in accordance with IEC 60034-5.
- h) For motors within the scope of IEC 60034-30, the efficiency class (IE code) and the rated efficiency as specified in IEC 60034-30.
- i) The thermal class and the limit of temperature or of temperature rise (when lower than that of the thermal class) and, if necessary, the method of measurement, followed in the case of a machine with a water-cooled heat exchanger by 'P' or 'S', depending on whether the temperature rise is measured above the primary or secondary coolant respectively (see 8.2). This information shall be given for both stator and rotor (separated by a slash) when their thermal class differ.
- j) The class(es) of rating of the machine if designed for other than rating for continuous running duty S1, see 5.2.
- k) The rated output(s) or range of rated output.
- l) The rated voltage(s) or range of rated voltage.
- m) For a.c. machines the rated frequency or range of rated frequency.
For universal motors, the rated frequency shall be followed by the appropriate symbol:
for example, ~ 50 Hz/ $\overline{\overline{=}}$ or a.c. 50 Hz/DC.
- n) For synchronous machines excited by permanent magnets the open circuit voltage at rated speed.
- o) The rated current(s) or range of rated current.
- p) The rated speed(s) or range of rated speed.
- q) The permissible overspeed if other than specified in 9.7.

or

the maximum safe operating speed if less than in 9.6 or if the machine is designed especially for variable speed operation.



- r) For d.c. machines with separate excitation or with shunt excitation and for synchronous machines, the rated field voltage and the rated field current.
- s) For a.c. machines, the rated power factor(s).
- t) For wound-rotor induction machines, the rated open-circuit voltage between slip-rings and the rated slip-ring current.
- u) For d.c. motors with armatures intended to be supplied by static power converters, the identification code of the static power converter in accordance with IEC 60971. Alternatively, for motors not exceeding 5 kW, the rated form factor and the rated alternating voltage at the input terminals of the static power converter, when this exceeds the rated direct voltage of the motor armature circuit.
- v) The maximum ambient air temperature, if other than 40 °C.
The maximum water coolant temperature, if other than 25 °C.
- w) The minimum ambient air temperature if other than specified in 6.4.
- x) The altitude for which the machine is designed (if exceeding 1 000 m above sea-level).
- y) For hydrogen-cooled machines, the hydrogen pressure at rated output.
- z) When specified, the approximate total mass of the machine, if exceeding 30 kg.
- aa) For machines suitable for operation in only one direction of rotation, the direction of rotation, indicated by an arrow. This arrow need not be on the rating plate, but it shall be easily visible.
- bb) The connecting instructions in accordance with IEC 60034-8 by means of a diagram or text located near the terminals.

Two different rated values shall be indicated by X/Y and a range of rated values shall be indicated by X–Y (see IEC 61293).


Except for normal maintenance, when a machine is repaired or refurbished an additional plate shall be provided to indicate the name of the company undertaking the work, the year of repair and the changes made.

11 Miscellaneous requirements

11.1 Protective earthing of machines

Machines shall be provided with an earthing terminal or another device to permit the connection of a protective conductor or an earthing conductor.



The symbol  or legend shall identify this device. However, machines shall neither be earthed nor be provided with an earthing terminal when:

- a) they are fitted with supplementary insulation, or;
- b) they are intended for assembly in apparatus having supplementary insulation, or;
- c) they have rated voltages up to 50 V a.c. or 120 V d.c. and are intended for use on SELV circuits.

NOTE The term SELV is defined in IEC 60884-2-4.



In the case of machines having rated voltages greater than 50 V a.c. or 120 V d.c., but not exceeding 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c., the terminal for the earthing conductor shall be situated in the vicinity of the terminals for the line conductors, being placed in the terminal box, if one is provided. Machines having rated outputs in excess of 100 kW (or kVA) shall have in addition an earthing terminal fitted on the frame.

Machines for rated voltages greater than 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. shall have an earthing terminal on the frame, for example an iron strap, and in addition, a means inside the terminal box for connecting a conducting cable sheath, if any.

The earthing terminal shall be designed to ensure a good connection with the earthing conductor without any damage to the conductor or terminal. Accessible conducting parts which are not part of the operating circuit shall have good electrical contact with each other and with the earthing terminal. When all bearings and the rotor winding of a machine are insulated, the shaft shall be electrically connected to the earthing terminal, unless the manufacturer and the purchaser agree to alternative means of protection.

When an earthing terminal is provided in the terminal box, it shall be assumed that the earthing conductor is made of the same metal as the lead conductors.

When an earthing terminal is provided on the frame, the earthing conductor may, by agreement, be made of another metal (for example, steel). In this case, in designing the terminal, proper consideration shall be given to the conductivity of the conductor.

The earthing terminal shall be designed to accommodate an earthing conductor of cross-sectional area in accordance with Table 19. If an earthing conductor larger than the size given in the table is used, it is recommended that it should correspond as nearly as possible to one of the other sizes listed.

For other cross-sectional areas of phase conductors, the earthing or protective conductor shall have a cross-sectional area at least equivalent to:

- that of the phase conductor for cross-sectional areas less than 25 mm²;
- 25 mm² for cross-sectional areas between 25 mm² and 50 mm²;
- 50 % of that of the phase conductor for cross-sectional areas exceeding 50 mm².

The earthing terminal shall be identified in accordance with IEC 60445.

**Table 19 – Cross-sectional areas of earthing conductors**

Cross-sectional area of the phase conductor mm ²	Cross-sectional area of the earthing or protective conductor mm ²
4	4
6	6
10	10
16	16
25	25
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

11.2 Shaft-end key(s)

When a machine shaft end is provided with one or more keyways, each shall be provided with a full key of normal shape and length.

12 Tolerances

12.1 General

Tolerance is the maximum allowed deviation between the test result of a quantity from Table 20 and the declared value on the rating plate or in the catalogue. As long as test procedures and test equipment according to IEC standards are used, the test result shall not exceed the allowed deviation independent of test laboratory or equipment. Tolerance does not cover the uncertainty of a test procedure, i.e. the deviation between the test result and the true value.

NOTE In case of a series production the tolerance applies to any selected sample, i.e. tolerance covers variations in raw material properties and manufacturing procedures.

12.2 Tolerances on values of quantities

Unless stated otherwise, tolerances on declared values shall be as specified in Table 20.

**Table 20 – Schedule of tolerances on values of quantities**

Item	Quantity	Tolerance
1	Efficiency η – machines up to and including 150 kW (or kVA) – machines above 150 kW (or kVA)	–15 % of $(1 - \eta)$ –10 % of $(1 - \eta)$
2	Total losses (applicable to machines with ratings >150 kW or kVA)	+10 % of the total losses
3	Power-factor, $\cos \phi$, for induction machines	–1/6 $(1 - \cos \phi)$ Minimum absolute value 0,02 Maximum absolute value 0,07
4	Speed of d.c. motors (at full load and at working temperature) ^a	
4a)	Shunt and separately excited motors	$1\,000\,P_N/n_N < 0,67$ $\pm 15\%$ $0,67 \leq 1\,000\,P_N/n_N < 2,5$ $\pm 10\%$ $2,5 \leq 1\,000\,P_N/n_N < 10$ $\pm 7,5\%$ $10 \leq 1\,000\,P_N/n_N$ $\pm 5\%$
4b)	Series motors	$1\,000\,P_N/n_N < 0,67$ $\pm 20\%$ $0,67 \leq 1\,000\,P_N/n_N < 2,5$ $\pm 15\%$ $2,5 \leq 1\,000\,P_N/n_N < 10$ $\pm 10\%$ $10 \leq 1\,000\,P_N/n_N$ $\pm 7,5\%$
4c)	Compound excited motors	Tolerances as for item 4b) unless otherwise agreed
5	Variation of speed of d.c. shunt and compound excited motors (from no-load to full load)	$\pm 20\%$ of the variation with a minimum of $\pm 2\%$ of the rated speed
6	Inherent voltage regulation of d.c. generators, shunt or separately excited at any point on the characteristic	$\pm 20\%$ of the regulation at that point
7	Inherent voltage regulation of compound excited generators (at the rated power-factor in the case of alternating current)	$\pm 20\%$ of the regulation, with a minimum of $\pm 3\%$ of the rated voltage. (This tolerance applies to the maximum deviation at any load between the observed voltage at that load and a straight line drawn between the points of no-load and full-load voltage.)
8 a)	Slip of induction motors (at full load and at working temperature) $P_N < 1\text{ kW}$ $P_N \geq 1\text{ kW}$	$\pm 30\%$ of the slip $\pm 20\%$ of the slip
8 b)	Speed of a.c. (commutator) motors with shunt characteristics (at full load and at working temperature)	– on the highest speed: –3 % of the synchronous speed – on the lowest speed: +3 % of the synchronous speed
9	Locked rotor current of cage induction motors with any specified starting apparatus	+20 % of the current
10	Locked rotor torque of cage induction motors	+25 –15 % of the torque. (+25 % may be exceeded by agreement)

**Table 20** (continued)

Item	Quantity	Tolerance
11	Pull-up torque of cage induction motors	–15 % of the value
12	Breakdown torque of induction motors	–10 % of the torque except that after allowing for this tolerance the torque shall be not less than 1,6 or 1,5 times the rated torque, see 9.4.1
13	Locked rotor current of synchronous motors	+ 20 % of the value
14	Locked rotor torque of synchronous motors	+25 –15 % of the value (+25 % may be exceeded by agreement)
15	Pull-out torque of synchronous motors	–10 % of the value except that after allowing for this tolerance, the torque shall be not less than 1,35 or 1,5 times the rated torque, see 9.4.2
16	Peak value of short-circuit current of an a.c. generator under specified conditions	±30 % of the value
17	Steady short-circuit current of an a.c. generator at specified excitation	±15 % of the value
18	Moment of inertia	±10 % of the value
NOTE When a tolerance is stated in only one direction, the value is not limited in the other direction.		
^a Tolerances in item 4 depend on the ratio of rated output P_N in kW, to rated speed in min ^{–1} .		

13 Electromagnetic compatibility (EMC)

13.1 General

The following requirements apply to rotating electrical machines with rated voltages not exceeding 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and which are intended for operation in industrial environments.

Electronic components mounted inside a rotating electrical machine and which are essential for its operation (for example rotating excitation devices) are part of the machine.

Requirements which apply to the final drive system and its components, for example power and control electronic equipment, coupled machines, monitoring devices, etc. whether mounted inside or outside the machine, are outside the scope of this standard.

The requirements of this clause apply to machines that are supplied directly to the end-user.

NOTE Machines that are intended for incorporation as components in an apparatus, where the enclosure and assembly will affect the EMC emissions, are covered by the EMC standard that relates to the final product.

Transients (such as starting) are not covered by this clause.



13.2 Immunity

13.2.1 Machines not incorporating electronic circuits

Machines without electronic circuits are not sensitive to electromagnetic emissions under normal service conditions and, therefore, no immunity tests are required.

13.2.2 Machines incorporating electronic circuits

As electronic circuits which are incorporated in machines generally utilize components that are passive (for example diodes, resistors, varistors, capacitors, surge suppressors, inductors), immunity tests are not required.

13.3 Emission

13.3.1 Machines without brushes

Radiated and conducted emissions shall comply with the requirements of CISPR 11, Class B, Group 1, see Table B.1.

13.3.2 Machines with brushes

Radiated and conducted (if applicable) emissions shall comply with the requirements of CISPR 11, Class A, Group 1, see Table B.2.

WARNING: Class A equipment is intended for use in an industrial environment. In the documentation for the user, a statement shall be included drawing attention to the fact that there may be potential difficulties in ensuring electromagnetic compatibility in other environments, due to conducted as well as radiated disturbances.

13.4 Immunity tests

Immunity tests are not required.

13.5 Emission tests

Type tests shall be carried out in accordance with CISPR 11, CISPR 14 and CISPR 16 as applicable.

13.5.1 Machines without brushes

Machines without brushes shall comply with the emission limits of 13.3.1.

NOTE The emission from squirrel cage induction motors are always so low that testing is not needed.

13.5.2 Machines with brushes

Machines with brushes, when tested at no-load, shall comply with the emission limits of 13.3.2.

NOTE 1 The no-load measurement is justified by the negligible influence of load on the emission.

NOTE 2 There are no conducted emissions from d.c. machines, as they are not directly connected to the a.c. supply.

NOTE 3 The emission from earthing brushes are always so low that testing is not needed.



14 Safety

Rotating machines in accordance with this standard shall comply with the requirements of IEC 60204-1 or IEC 60204-11 or, in the case of rotating machines incorporated in household and similar electrical appliances, IEC 60335-1, as appropriate unless otherwise specified in this standard, and be designed and constructed as far as possible in accordance with internationally accepted best design practice, appropriate to the application.

NOTE It is the responsibility of the manufacturer or assembler of equipment incorporating electrical machines as components to ensure that the overall equipment is safe.

This may involve consideration of relevant product standards such as:

IEC 60079 (all parts), *Explosive atmospheres* [8],

and other parts of IEC 60034 including:

IEC 60034-5, IEC 60034-6 [1], IEC 60034-7 [2], IEC 60034-8, IEC 60034-9 [3], IEC 60034-11 [4], IEC 60034-12 and IEC 60034-14 [5].

In addition, it may be necessary to consider limitation of the surface temperature and similar characteristics; see for example IEC 60335-1, Clause 11: Heating.



Annex A (informative)

Guidance for the application of duty type S10 and for establishing the value of relative thermal life expectancy *TL*

A.1 The load of the machine at any moment is equivalent to duty type S1 corresponding to 4.2.1. However, the load cycle may comprise loads other than the rated load based on duty type S1. A load cycle comprising four discrete constant load/speed combinations is shown in Figure 10.

A.2 Depending on the value and duration of the different loads within one cycle, the relative life expectancy of the machine based on the thermal ageing of the insulation system can be calculated by the following equation:

$$\frac{1}{TL} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \times 2^{\frac{\Delta \Theta_i}{k}}$$

where

TL is the relative thermal life expectancy related to the thermal life expectancy in case of duty type S1 with rated output;

$\Delta \Theta_i$ is the difference between the temperature rise of the winding at each of the various loads within one cycle and the temperature rise based upon duty type S1 with reference load;

Δt_i is the p.u. time of a constant load within a load cycle;

k is the increase in temperature rise in K, which leads to a shortening of the thermal life expectancy of the insulation system by 50 %;

n is the number of discrete values of load.

A.3 The quantity *TL* is an integral part of the unambiguous identification of the class of rating.

A.4 The value of the quantity *TL* can be determined only when, in addition to information concerning the load cycle according to Figure 10, the value *k* for the insulation system is known. This value *k* has to be determined by experiments in conformity with IEC 60034-18 for the whole temperature range within which the load cycle takes place according to Figure 10.

A.5 *TL* can be stated sensibly as a relative value only. This value can be used by approximation to assess the real change in the machine thermal life expectancy as compared to duty type S1 with rated output, because it may be assumed that in consideration of the varying loads existing within a cycle the remaining influences over the lifetime of the machine (e.g. dielectric stress, environmental influences) are approximately the same as in the case of duty type S1 with rated output.

A.6 The manufacturer of the machine is responsible for the correct compilation of the various parameters for determining the value of *TL*.



Annex B (informative)

Electromagnetic compatibility (EMC) limits

Table B.1 – Electromagnetic emission limits for machines without brushes

	Frequency range	Limits
Radiated emission	30 MHz to 230 MHz	30 dB(μ V/m) quasi peak, measured at 10 m distance (Note 1)
	230 MHz to 1 000 MHz	37 dB(μ V/m) quasi peak, measured at 10 m distance (Note 1)
Conducted emission on a.c. supply terminals	0,15 MHz to 0,50 MHz Limits decrease linearly with logarithm frequency	66 dB(μ V) to 56 dB(μ V) quasi peak 56 dB(μ V) to 46 dB(μ V) average
	0,50 MHz to 5 MHz	56 dB(μ V) quasi peak 46 dB(μ V) average
	5 MHz to 30 MHz	60 dB(μ V) quasi peak 50 dB(μ V) average
NOTE 1 May be measured at 3 m distance using the limits increased by 10 dB.		
NOTE 2 Emission limits are from CISPR 11, Class B, Group 1.		

Table B.2 – Electromagnetic emission limits for machines with brushes

	Frequency range	Limits
Radiated emission	30 MHz to 230 MHz	30 dB(μ V/m) quasi peak, measured 30 m distance (Note 1)
	230 MHz to 1 000 MHz	37 dB(μ V/m) quasi peak, measured 30 m distance (Note 1)
Conducted emission on a.c. supply terminals	0,15 MHz to 0,50 MHz	79 dB(μ V) quasi peak 66 dB(μ V) average
	0,50 MHz to 30 MHz	73 dB(μ V) quasi peak 60 dB(μ V) average
NOTE 1 May be measured at 10 m distance using the limits increased by 10 dB or measured at 3 m distance using the limits increased by 20 dB.		
NOTE 2 Emission limits are from CISPR 11, Class A, Group 1.		



Bibliography

- [1] IEC 60034-6¹⁾, *Rotating electrical machines – Part 6: Methods of cooling (IC code)*
- [2] IEC 60034-7²⁾, *Rotating electrical machines – Part 7: Classification of types of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM code)*
- [3] IEC 60034-9³⁾, *Rotating electrical machines – Part 9: Noise limits*
- [4] IEC 60034-11⁴⁾, *Rotating electrical machines – Part 11: Thermal protection*
- [5] IEC 60034-14⁵⁾, *Rotating electrical machines – Part 14: Mechanical vibration of certain machines with shaft heights 56 mm and higher – Measurement, evaluation and limits of vibration severity*
- [6] IEC 60034-29⁶⁾, *Rotating electrical machines – Part 29: Equivalent loading and superposition techniques – Indirect testing to determine temperature rise*
- [7] IEC 60050-811:1991, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 811: Electric traction*
- [8] IEC 60079⁷⁾ (all parts), *Explosive atmospheres*
- [9] IEC 60092 (all parts), *Electrical installations in ships*
- [10] IEC 60349⁸⁾ (all parts), *Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles*

1) NOTE Harmonized as EN 60034-6.

2) NOTE Harmonized as EN 60034-7.

3) NOTE Harmonized as EN 60034-9.

4) NOTE Harmonized as EN 60034-11.

5) NOTE Harmonized as EN 60034-14.

6) NOTE Harmonized as EN 60034-29.

7) NOTE Harmonized in EN 60079 series (partially modified).

8) NOTE Harmonized in EN 60349 series (partially modified).



Allegato ZA (normativo)

Normative references to international publications with their corresponding European publications

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

NOTE When an international publication has been modified by common modifications, indicated by (mod), the relevant EN/HD applies.

<u>Publication</u>	<u>Year</u>	<u>Title</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Year</u>
IEC 60027-1	–	Letter symbols to be used in electrical technology - Part 1: General	EN 60027-1	–
IEC 60027-4	-	Letter symbols to be used in electrical technology - Part 4: Rotating electrical machines	EN 60027-4	-
IEC 60034-2	Series	Rotating electrical machines - Part 2: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)	EN 60034-2	Series
IEC 60034-3	-	Rotating electrical machines - Part 3: Specific requirements for synchronous generators driven by steam turbines or combustion gas turbines	EN 60034-3	-
IEC 60034-5	-	Rotating electrical machines - Part 5: Degrees of protection provided by the integral design of rotating electrical machines (IP code) - Classification	EN 60034-5	-
IEC 60034-8	-	Rotating electrical machines - Part 8: Terminal markings and direction of rotation	EN 60034-8	-
IEC 60034-12	-	Rotating electrical machines - Part 12: Starting performance of single-speed three-phase cage induction motors	EN 60034-12	-
IEC 60034-15	-	Rotating electrical machines - Part 15: Impulse voltage withstand levels of form-wound stator coils for rotating a.c. machines	EN 60034-15	-
IEC 60034-17	-	Rotating electrical machines - Part 17: Cage induction motors when fed from converters - Application guide	-	-
IEC 60034-18	Series	Rotating electrical machines - Part 18: Functional evaluation of insulation systems	EN 60034-18	Series
IEC 60034-30	-	Rotating electrical machines - Part 30: Efficiency classes of single-speed, three-phase, cage-induction motors (IE code)	EN 60034-30	-
IEC 60038	-	IEC standard voltages	-	-
IEC 60050-411	1996	International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 411: Rotating machinery	-	-
IEC 60060-1	-	High-voltage test techniques - Part 1: General definitions and test requirements	HD 588.1	-
IEC 60072	Series	Dimensions and output series for rotating electrical machines	-	-



<u>Publication</u>	<u>Year</u>	<u>Title</u>	<u>EN/HD</u>	<u>Year</u>
IEC 60085	-	Electrical insulation - Thermal evaluation and designation	EN 60085	-
IEC 60204-1	-	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements	EN 60204-1	-
IEC 60204-11	-	Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 11: Requirements for HV equipment for voltages above 1 000 V a.c. or 1 500 V d.c. and not exceeding 36 kV	EN 60204-11	-
IEC 60335-1	-	Household and similar electrical appliances - Safety - Part 1: General requirements	EN 60335-1	-
IEC 60445	-	Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification - Identification of equipment terminals and conductor terminations	EN 60445	-
IEC 60664-1	-	Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1: Principles, requirements and tests	EN 60664-1	-
IEC 60971 ¹⁾	-	Semiconductor convertors. Identification code for convertor connections	-	-
IEC 61293	-	Marking of electrical equipment with ratings related to electrical supply - Safety requirements	EN 61293	-
CISPR 11	-	Industrial, scientific and medical equipment - Radio-frequency disturbance characteristics - Limits and methods of measurement	EN 55011	-
CISPR 14	Series	Electromagnetic compatibility - Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus	EN 55014	Series
CISPR 16	Series	Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods	EN 55016	Series

¹⁾ IEC 60971 was withdrawn and not replaced in 2004.



Annex ZZ (informative)

Coverage of Essential Requirements of EC Directives

This European Standard has been prepared under a mandate given to CENELEC by the European Commission and the European Free Trade Association and within its scope the standard covers all relevant essential requirements as given in Annex I of the EC Directives 2004/108/EC and 2006/95/EC.

Compliance with this standard provides one means of conformity with the specified essential requirements of the Directive concerned.

WARNING: Other requirements and other EC Directives may be applicable to the products falling within the scope of this standard.





La presente Norma è stata compilata dal Comitato Elettrotecnico Italiano e beneficia del riconoscimento di cui alla legge 1° Marzo 1968, n. 186.

Editore CEI, Comitato Elettrotecnico Italiano, Milano – Stampa in proprio

Autorizzazione del Tribunale di Milano N. 4093 del 24 Luglio 1956

Responsabile: Ing. R. Bacci

Comitato Tecnico Elaboratore
CT 2-Macchine rotanti

Altre Norme di possibile interesse sull'argomento

CEI EN 60034-22 (CEI 2-28)

Macchine elettriche rotanti - Parte 22: Generatori a corrente alternata per gruppi elettrogeni azionati da motori a combustione interna a pistoni

CEI UNI EN 45510-2-6 (CEI 2-29)

Guida per l'approvvigionamento di apparecchiature destinate a centrali per la produzione dell'energia elettrica - Parte 2-6: Apparecchiature elettriche - Generatori

CEI EN 60034-18-22 (CEI 2-30)

Macchine elettriche rotanti - Parte 18-22: Valutazione funzionale dei sistemi di isolamento - Procedure di prova per avvolgimenti a filo - Classificazione di modifiche e sostituzione di componenti dell'isolamento

CEI EN 50347 (CEI 2-31)

Motori asincroni trifase di uso generale con dimensioni e potenze normalizzate - Grandezze da 56 a 315 e numeri di flangia da 65 a 740

CEI TR 60778 (CEI 2-33)

Portaspazzole per anelli gruppo R - Tipo RA

CEI EN 60034-11 (CEI 2-34)

Macchine elettriche rotanti - Parte 11: Protezione termica

CEI EN 88528-11 (CEI 2-35)

Gruppi elettrogeni a corrente alternata azionati da motori a combustione interna a pistoni - Parte 11: Gruppi di continuità rotanti - Prestazioni richieste e metodi di prova

CEI CLC/TS 60034-20-1 (CEI 2-36)

Macchine elettriche rotanti - Parte 20-1: Servomotori - Motori passo passo

CEI CLC/TS 60034-25 (CEI 2-37)

Macchine elettriche rotanti - Parte 25: Guida per la progettazione e le prestazioni dei motori in corrente alternata specificamente progettati per l'alimentazione da convertitori

CEI UNI EN 45510-2-5 (CEI 2-38)

Guida per l'approvvigionamento di apparecchiature destinate a centrali per la produzione dell'energia elettrica - Parte 2-5: Apparecchiature elettriche - Motori

CEI EN 60034-26 (CEI 2-39)

Macchine elettriche rotanti - Parte 26: Effetti di tensioni dissimmetriche sul funzionamento dei motori asincroni trifase con rotore a gabbia

CEI EN 60034-28 (CEI 2-40)

Macchine elettriche rotanti - Parte 28: Metodi di prova per la determinazione delle grandezze del circuito equivalente per motori asincroni trifase a bassa tensione con rotore a gabbia

CEI EN 60034-2-1 (CEI 2-41)

Macchine elettriche rotanti - Parte 2-1: Metodi normalizzati per la determinazione, mediante prove, delle perdite e del rendimento (escluse le macchine per veicoli di trazione)

CEI EN 60034-29 (CEI 2-42)

Macchine elettriche rotanti - Parte 29: Tecniche di carico equivalente e di sovrapposizione - Prove indirette per la determinazione delle sovratemperature

CEI EN 60034-30 (CEI 2-43)

Macchine elettriche rotanti - Parte 30: Classi di rendimento dei motori asincroni trifase con rotore a gabbia ad una sola velocità (Codice IE)